



Análisis de viabilidad para la implementación de un sistema de generación eléctrica usando la energía solar en el fuerte militar de Tolomaida del Ejército Nacional de Colombia

José Luis Reina Amado

Universidad EAN
Facultad de Ingeniería
Maestría en Proyectos de Desarrollo Sostenible
Bogotá, Colombia
Febrero 2024

Análisis de viabilidad para la implementación de un sistema de generación eléctrica usando la energía solar en el fuerte militar de Tolomaidá del Ejército Nacional de Colombia

José Luis Reina Amado

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Magister en Proyectos de Desarrollo Sostenible

Directora:

Lina María Chacón Rivera, Mgtr.

Modalidad:

Trabajo Dirigido

Universidad EAN

Facultad de Ingeniería

Maestría en Proyectos de Desarrollo Sostenible

Bogotá, Colombia

Febrero 2024

Nota de aceptación

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del director del trabajo de grado

Agradecimientos

Este trabajo no se hubiese llevado a cabo sin la participación directa o indirecta de algunas personas e instituciones.

Agradezco a Dios por permitirme este anhelado logro en mi vida, así como a mi familia quienes me han acompañado en este recorrido de sacrificios y retos.

A mi Fuerza Militar, Ejército Nacional, quienes me brindaron las herramientas y la oportunidad de cumplir con un eslabón más en mi carrera.

A mi asesora de tesis, Doctora Lina María Chacón Rivera, quien dedicó su tiempo y paciencia para llevar a buen término este trabajo.

José Luis Reina Amado

Resumen

El presente trabajo aborda la problemática de la dependencia de fuentes de energía convencionales en la base militar de Tolemaida, Colombia, y propone una solución a través de la implementación de un sistema de generación de energía solar fotovoltaica. El problema identificado radica en la alta factura energética y la necesidad de aumentar la autonomía energética de la base.

Los objetivos del proyecto se centraron en diseñar un sistema de generación solar fotovoltaica, evaluar su viabilidad técnica y económica, y proponer indicadores de seguimiento. La metodología incluyó el análisis de datos, el diseño técnico del sistema, el cálculo de costos y beneficios y la definición de indicadores clave.

Los resultados obtenidos indican que es viable implementar un sistema de generación solar fotovoltaica en la base de Tolemaida, lo que reduciría significativamente las facturas de energía y permitiría amortizar la inversión en aproximadamente nueve años. Además, se estima que se reducirían las emisiones de CO₂ en unas 18,48 toneladas durante la vida útil del proyecto.

En cuanto a las conclusiones, se destaca que el proyecto contribuiría al ahorro económico y ambiental, promoviendo la generación de energías limpias y diversificando la canasta energética nacional. Además, se resalta la importancia de la colaboración civil y militar en el desarrollo de proyectos de este tipo.

Las recomendaciones incluyen armonizar el proyecto con actividades que promuevan la conservación de recursos naturales y la cultura de la generación de energías limpias. Se sugiere replicar la experiencia en otras instalaciones militares y comunidades remotas. Se hace hincapié en la necesidad de establecer un comité técnico y de supervisión y considerar la implementación de un sistema de adquisición de datos y control supervisado de planta (SCADA).

Palabras Claves: Panel solar, energía fotovoltaica, análisis de viabilidad, energía renovable.

Abstract

The objective of this work is to propose and evaluate an alternative with photovoltaic solar energy in the Tolemaida military base that belong to the Colombian Army. The work considers environmental issues. The current dependence on hydroelectric systems and the economic benefits in the medium and long term that may be derived from the study. The characteristics of a clean, inexhaustible alternative energy solution with sufficient availability colombian area in which the project is located are detailed.

This work shows the background, the current situation, the benefits of migrating to a solution of this nature and scope, in terms of innovation for the country. With the radiation conditions in the area, this works presents a feasibility study for the implementation of an electricity generation system that states a design methodology for the installation of solar panels, inverters and other components of the system. A central grid-connected solar electric system without battery backup is proposed.

It has been determined that 40% of the energy demand of the Tolemaida military base could be replaced with the proposed system according to numbers and technical specifications. The average population in the military base is around 15,000 people. Moreover, the required investment amounts, the administration and maintenance expenses during the project duty life and finally the profitability of the investment and benefits are evaluated.

Key words: Photovoltaic panel, solar energy, feasibility analysis, renewable energy.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 ANTECEDENTES.....	14
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
2 OBJETIVOS.....	21
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	21
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
3 JUSTIFICACIÓN.....	22
4 MARCO INSTITUCIONAL.....	25
4.1 FUERTE MILITAR DE TOLEMAIDA.....	27
4.2 ORGANIZACIÓN.....	28
5 MARCO DE REFERENCIA.....	30
5.1 ENERGÍA SOLAR.....	31
5.2 TIPOS DE INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS.....	36
5.3 ESTADO ENERGÉTICO SOLAR FOTOVOLTAICO.....	38
5.4 SITUACIÓN ENERGÉTICA EN COLOMBIA.....	40
5.4.1 Energías renovables en Colombia.....	42
5.4.2 Energía solar fotovoltaica en Colombia.....	43
5.5 CLIMA DE LA ZONA Y RADIACIÓN SOLAR.....	44
5.6 MARCO LEGAL Y REGULATORIO ENERGÉTICO EN COLOMBIA.....	53
6 DISEÑO METODOLÓGICO.....	57
6.1 METODOLOGÍA.....	57
6.2 DESARROLLO METODOLÓGICO.....	59
6.2.1 Diagnostico situación actual.....	59
6.2.1.1 Impacto ambiental.....	63
6.2.1.1.1 Evaluación de impacto y matriz DOFA.....	64
6.2.2 Diseño del sistema fotovoltaico.....	69
6.3 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS.....	70
6.3.1 Estimación del consumo.....	70
6.3.2 Determinación de la potencia pico del sistema.....	75

6.3.3	Dimensionamiento de los paneles solares fotovoltaicos	77
6.3.4	Inversores	83
6.3.5	Dimensionado del inversor	84
6.3.6	Cables, conectores y etiquetado	90
6.3.7	Protección de toma a tierra	93
6.3.8	Diagrama en bloques del sistema propuesto.....	94
6.3.9	Producción	95
6.4	VIABILIDAD DE LA PROPUESTA.....	97
7	PLAN DE INTERVENCIÓN	105
7.1	MODELO ESTRATÉGICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN	105
7.1.1	Grupos de interés.....	106
7.1.2	Estructura de desglose del trabajo	107
7.1.3	Cuadro de mandos.....	108
7.1.4	Plan de ejecución de actividades	110
7.2	OBRAS PARA TENER EN CUENTA	111
8	RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.....	114
8.1	RECOMENDACIONES.....	114
8.2	CONCLUSIONES	116
	REFERENCIAS.....	118
A.	ANEXO. APLICACIONES DE LA ENERGÍA SOLAR	130
B.	ANEXO. DISTRIBUCIÓN DE MÓDULOS, CADENAS Y MMPT.	131
C.	ANEXO. INFORME DE VALIDACIÓN CONTRA EL SOFTWARE DE CONTROL	134

Lista de figuras	Pág.
Figura 1. Gasto anual de energía eléctrica de los gastos generales del sector Defensa y Seguridad.....	19
Figura 2. Potencia de generación de electricidad instalada, horizonte 2040	22
Figura 3. Base Militar de Tolemaida – Ubicación Geográfica.....	27
Figura 4. Distribución del Fuerte Militar de Tolemaida	28
Figura 5. Organización Fuerte Militar de Tolemaida	29
Figura 6. Generalidades de la energía.	30
Figura 7. Fuentes de energía	32
Figura 8. Sistema solar térmico para uso doméstico	34
Figura 9. Estructura básica de una celda fotovoltaica.....	35
Figura 10. Elementos de un sistema aislado.	36
Figura 11. Elementos de un sistema conectado a la red.	38
Figura 12. Capacidad efectiva instalada en Colombia	40
Figura 13. Demanda y Capacidad instalada con y sin la entrada de Hidroituango.....	41
Figura 14. Valores de irradiación promedio para algunas regiones de Colombia.....	43
Figura 15. Esquema de distribución de climas por zonas latitudinales	44
Figura 16. Temperatura y precipitaciones de la localidad	46
Figura 17. Promedio Radiación Solar local-Tolemaida.	47
Figura 18. Mapa de la velocidad anual del viento más probable a 10 m de altura	49
Figura 19. Mapa de la Radiación Global Solar en Colombia.....	51
Figura 20. Radiación zona centro del país.....	52
Figura 21. Datos estación meteorológica Girardot Cundinamarca	53
Figura 23. Histórico de consumos vs costos cancelado.....	61
Figura 24. Análisis cruzado, matriz DOFA	68
Figura 25. Comportamiento de la curva de carga.	71
Figura 26. Promedio mensual de irradiación global media en superficie.....	73
Figura 27. Trayectorias solares en cada mes del año.....	74
Figura 28. Parámetros de simulación.	75
Figura 29. Tablas de eficiencias de células- Best Resea rch-Cell Efficiency Chart.....	78
Figura 30. Módulo monocristalino, tipo JA Solar - JAM72S10-400-MR.....	83
Figura 31. Tipos diferentes de Inversores.....	84

Figura 32. Instalación fotovoltaica, estructura fija	89
Figura 33. Diagrama de la propuesta del sistema solar fotovoltaico	94
Figura 34. Producción de energía de cada etapa de 1MWp	95
Figura 35. Producción de energía CA. 20 años	96
Figura 36. Periodo de recuperación de la inversión	102
Figura 37. Comparativo estimado del valor actual al proyecto	102
Figura 38. Estructura de desglose de trabajo	107
Figura 39. Cuadro de Seguimiento de actividades	108
Figura 40. Ubicación georreferenciada del proyecto	113

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1. Principales consecuencias de afectación de las actividades humanas	17
Tabla 2. Consumo de energía e impacto ambiental.....	18
Tabla 3. Sectores Económicos	26
Tabla 4. Tipos de Energía según su fuente	31
Tabla 5. Ventajas y desventajas de la energía solar.....	33
Tabla 6. Ideario energético 2050 para la UPME	41
Tabla 7. Clasificación climática según Köppen	45
Tabla 8. Estaciones con promedios anuales de velocidad del viento y posición nacional. Se indican las de mejor promedio y las estaciones más próximas al proyecto ubicadas en la región central del país.	50
Tabla 9. Datos equipo registrador de consumo	62
Tabla 10. Matriz de Impactos de las fuentes de energía.....	63
Tabla 11. Criterios de evaluación utilizados en el método de Conesa simplificado	64
Tabla 12. Resultados de la matriz de evolución de impactos.....	66
Tabla 13. Matriz DOFA Estratégica aplicada al proyecto	67
Tabla 14. DOFA aplicada en el plan estratégico.....	68
Tabla 15. Formulación para la estimación de la energía diaria y horaria, promedio.....	71
Tabla 16 Cuadro comparativo de módulos fotovoltaicos.....	79
Tabla 17. Datos comparativos módulos policristalinos vs. Monocristalinos marca JA JAM	80
Tabla 18. Ficha técnica de los módulos monocristalinos	81

Tabla 19. Características del inversor recomendado	85
Tabla 20. Configuración final del sistema	89
Tabla 21. Cálculo de producción de Energía	95
Tabla 22. Resumen radiación solar y producción de Energía	96
Tabla 23. Resumen y descripción del Sistema Proyectado	96
Tabla 24. Análisis económico modelo NREL	99
Tabla 25. Resumen indicador financieros	101
Tabla 26. Matriz de involucrados- Grupos de interés - Stakeholders.	106
Tabla 27. Cuadro de mandos: Indicadores	109
Tabla 28. Obras preliminares	111

Abreviaturas y acrónimos

AIE Agencia Internacional de Energía

ASPI Susceptibles de Producir Impacto

CC Corriente continua

COP Peso colombiano

COTEF Comando de Transformación del Ejército.

CSP Electricidad solar térmica de concentración

DPN Departamento Nacional de planeación

ESFV Energía Solar Fotovoltaica

FRENC fuentes renovables no convencionales

FV fotovoltaica

HPS Horas de Pico Solar

ICEE reciente Índice de Cobertura de Energía Eléctrica

IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

Imp_{pp} (A) Corriente de máxima potencia

IMÁX (A) Intensidad máxima de corriente

IRENA Agencia internacional de Energías Renovables

ISC (A) Intensidad por Corto-Circuito

NOCT (°C) Temperatura de Operación Normal de la Celda

OEF Obligaciones de Energía Firme

OMM Organización Mundial Meteorológica

PEN Plan Energético Nacional

PND Plan Nacional de Desarrollo

Pmax CA (W) Potencia máxima

PNUMA Programa de Naciones Unidas para el Medioambiente

RSU residuos sólidos urbanos

RTU Unidad terminal remota (por sus siglas en inglés)

SCADA Plataforma de monitorización diseñada para controlar y supervisar las instalaciones fotovoltaicas.

SIN Sistema Interconectado Nacional

SINA Sistema Nacional Ambiental

UPME Unidad de Planeación Minero Energética

Vmpp (V) Voltaje a máxima potencia

Vmín (V) Valor medio de tensión

Vmáx (V) Voltaje máximo

VCO (V) Oscilador controlado por voltaje

ZNI Zonas no Interconectadas

1. Introducción

Las prácticas humanas sin control han acelerado el cambio climático en las últimas décadas, por esto se hace necesario revisar estas conductas para modificar las políticas de crecimiento económico e impacto ambiental de emisiones de efecto invernadero. Esto obliga a pensar en actuaciones inmediatas (CEPAL, 2017). Además, es preciso materializar la instrumentación de políticas públicas que conduzcan a la mitigación de gases de efecto invernadero. A pesar de que todos sus efectos futuros están suficientemente diagnosticados y se han generado iniciativas para hacer frente a la problemática, esta se agudiza y las medidas son tímidas. Estas iniciativas apuntan fundamentalmente a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero mediante la sustitución de las fuentes de energía fósil y el aumento de la eficiencia energética (Gerard, 2009).

En cuanto a América Latina y el Caribe consumieron 1.378 GWh de energía en 2021, una cantidad que, según algunas estimaciones, podría duplicarse en 2040, teniendo en cuenta el crecimiento demográfico de la región, situación que también incrementa la demanda de industrias y grandes comercios (Ariel Yepez, 2023, párr. 2). Dependiendo como hasta ahora, de fuentes convencionales, atenta contra la estabilidad climática, por ello se orientan los esfuerzos de generación a las soluciones no convencionales de energías renovables, las cuales corresponden a una cuarta parte de la generación total de energía a partir de 2010 para Latinoamérica y el Caribe (Banco Mundial, 2017). Lo anterior, se apoya fácilmente en la cantidad y diversidad de recursos favorables de la zona que motivan la búsqueda de alternativas innovadoras en materia energética: los precios de electricidad, la demanda de energía, la confiabilidad que requieren los sistemas para producción y exportación en algunos casos, la autonomía requerida en los sistemas de generación, entre otros.

En Colombia, actualmente se orientan los esfuerzos hacia la protección de las fuentes naturales de generación de energía y ofrece estudios sobre el cambio climático, efectos y propuestas de tratamiento y mitigación (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020). Es posible decir que Colombia cuenta con las condiciones regulatorias y administrativas para poder explotar adecuadamente el enorme potencial de energía renovable con que cuenta, para lo cual deberá considerar aspectos de la seguridad

energética y la economía, lo cual pasa por considerar factores como: i) pluralidad del suministro, ii) alcance geográfico, iii) gestión eficiente de los recursos, iv) manejo de las reservas, v) protección institucional y vi) control de lo financiero. Así mismo, observar la relación que exista entre la seguridad energética y el medio ambiente, la política, ingeniería y la tecnología (UPME, 2016).

Las Fuerzas Militares de Colombia (FFMM), de acuerdo con la Constitución política, su misión principal consiste en la defensa de la soberanía, la independencia, la integridad del territorio nacional y el orden constitucional (Const., 1991, art. 217). Particularmente, con el propósito de direccionar a las unidades nacionales para prevenir, mitigar y compensar los impactos ambientales derivados del cumplimiento de su misión constitucional, se crearon las Direcciones de Medio Ambiente en las Fuerzas Militares. Adicionalmente, se fomentan actividades de capacitación y sensibilización ambiental al interior de la institución, al personal militar y civil, inclusive se adelantan talleres con otras instituciones como Parques Nacionales Naturales, Ministerio de Ambiente y la Fiscalía sobre procesos administrativos y judiciales en el marco de su actuación.

Es así, como atendiendo ese lineamiento normativo, ambiental y energético, además de beneficios económicos y de confiabilidad se plantea el presente proyecto. El cual se ocupa de proponer una alternativa de solución para implementar un sistema de generación eléctrica con energía solar fotovoltaica en el Fuerte Militar de Tolemaida, del Ejército Nacional en el municipio de Nilo, departamento de Cundinamarca, Colombia. Para ello, se presentan algunos antecedentes que introducen al tema general y concreto, global y local.

El documento del trabajo de grado se ha estructurado en 8 capítulos. En el primero de ellos se encuentra la introducción, donde se muestra el planteamiento del problema, en el capítulo II se establecen los objetivos del trabajo de grado. En el capítulo III se plantean las razones por las cuales se establece el proyecto. En el capítulo IV, se desarrollan los conceptos y el contexto de desarrollo del proyecto. En el capítulo V, se hace una descripción institucional. En el capítulo VI, se desarrolla el diseño metodológico. En el capítulo VII, se procede con el dimensionamiento del proyecto, los equipos, los espacios físicos requeridos y el análisis comparativo con el sistema energético actual. En el capítulo VIII, se detalla el plan de intervención y el modelo estratégico para su implementación. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones.

1.1 Antecedentes

La imperiosa necesidad de migrar a energías limpias en beneficio de las condiciones ambientales, económicas y sociales son unos de los principales motivos por los que el estado decide apostar de manera decidida a la transformación de la matriz energética, incentivando la investigación y el desarrollo de proyectos de uso de energías alternativas. Cabe mencionar que la normativa colombiana es una de las primeras en el contexto latinoamericano en relación con la protección del medio ambiente y la configuración de una amplia regulación de manejo que privilegia el cuidado de los recursos naturales y el medio ambiente (Universidad Nacional de Colombia, 2014).

Es así como en 1974 se expide el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente, decreto que en su artículo único determina como patrimonio común el medio ambiente y su preservación como utilidad de interés social (Presidencia de la República, 1974). Adicionalmente, se ha ido enriqueciendo todo el marco regulatorio y normativo en materia de recursos naturales, su utilización, preservación, tratamiento y comercialización en todas las órbitas de actuación de la sociedad. La ley 1715 de 2014, por su parte, significó un avance importante respecto a la regulación de energías renovables, ya que define incentivos, contables y tributarios, lo cual propicia el desarrollo de proyectos energéticos que masifican y potencian la tecnología, además que más asequible (Aldana, 2015).

Vale la pena mencionar que, el área militar no ha de permanecer inmune a estos cambios y, por el contrario, por su necesidad, capacitación y compromiso con el progreso ambiental, económico, social y tecnológico se convierte en un escenario propicio para acompañar el cambio. Eso ocurre en las Fuerzas Armadas de diversos países incluidas las de la República de Colombia que hoy cuentan con diversos proyectos en este sentido (Alonso E. A., 2012).

Es así como, la Armada de Colombia (ARC) ha dado un paso significativo al convertirse en la primera institución militar en implementar un sistema de energías renovables, a través de la instalación de una moderna granja de generación de energía solar fotovoltaica en el departamento del Vichada. El proyecto se desarrolló en el año 2020, e incluyó la intervención de un terreno de 520 m², para la instalación de 240 paneles solares, que

tienen la capacidad de producir 91,500 Kw anuales de corriente directa, capaces de cubrir más del 40% de la demanda energética de la Base Naval ARC “Orinoquía” en las instalaciones del Cantón Militar “Jabalí Rojo” ubicada en la ciudad de Puerto Carreño. Así mismo, producir un ahorro anual de 110 millones de pesos en las finanzas del Sector Defensa. Este proyecto piloto sirvió como modelo de implementación en las Fuerzas Militares. (Ministerio de Defensa Nacional, 2022).

A causa de los buenos resultados del proyecto anterior, el Ministerio de Defensa y el Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía, crearon alianza con una inversión de \$2.009.062.266 COP que harán parte de la transición energética, con el objetivo de realizar estudios de factibilidad y diseño para la instalación de sistemas solares fotovoltaicos que logren disminuir el consumo energético en 39 unidades militares y policiales, 16 sedes de la Armada Nacional, 12 sedes del Ejército Nacional y 11 sedes de la Policía Nacional. (FENOGE, 2022)

A su vez, el proyecto de investigación planteado se armoniza con lo previsto en las siete áreas misionales para el año 2030 de la fuerza pública, dentro de las cuales se destaca el área de Contaminación de recursos hídricos atmosféricos y terrestres (Ministerio de Defensa Nacional, 2018, p. 24). En la misma línea, se considera fundamental garantizar el suministro, disminuir los costos, aumentar la eficiencia en el uso y gestión de la energía y atender las necesidades en materia de Cambio Climático, a través de la promoción de las energías alternativas quitándole presión a los sistemas de generación hidroeléctrica que alcanzan el 70% del consumo total de energía eléctrica del país (UPME, 2018, p. 36).

1.2 Planteamiento del problema

Las fuentes de energía que se usan hoy en día son muy variadas y, aunque a primera vista pueda parecer que las energías renovables ocupan un puesto importante, la realidad es que los datos dejan claro que todavía hay mucho por hacer si queremos tener un futuro verde y respetuoso con el medio ambiente.

En 2022, se observó una desaceleración en el crecimiento del consumo mundial de energía, con una tasa de crecimiento del 2.1%, en comparación con el 4.9% registrado en el año 2021. A pesar de esta desaceleración, la tasa de crecimiento de 2022 sigue siendo superior al promedio anual de 1.4% registrado en la década de 2010-2019. (Enerdata, 2022)

Por otro lado, se observaron reducciones significativas en el consumo de energía en varias regiones, como Europa (-4%), la Comunidad de Estados Independientes (CEI, -3.2%), y la OCDE-Asia (donde se mantuvo estable o disminuyó ligeramente en algunos países).

Estos cambios en el consumo de energía se debieron a una serie de factores, incluyendo eventos geopolíticos, fluctuaciones en los precios de la energía, y condiciones climáticas moderadas que influyeron en la demanda energética de consumidores industriales y particulares. (Enerdata, 2022).

Además, la temperatura global promedio en el 2018 fue 0,98 grados por encima de los niveles registrados entre 1850 y 1900. Existe gran probabilidad que se trate de influencia antropógena, en relación con los gases de efecto invernadero y la afectación del ozono estratosférico, la cual haya desencadenado este tipo de consecuencias climáticas. Esas variaciones impactan los sistemas naturales y también las actividades humanas. La emisión persistente de gases de efecto invernadero ocasionará ineludiblemente un mayor calentamiento y cada vez con efectos de más largo plazo, más graves e irreversibles (IPCC, 2014, p. 1).

Las principales consecuencias de actividades humanas en los ecosistemas se pueden resumir en la siguiente tabla 1. Los problemas derivados por el desarrollo de las actividades humanas se resumen en la explotación inadecuada de bosques, alteración de cuencas hídricas, erosión y contaminación entre otras, a partir de las cuales se desarrolla

un inventario de pasivos ambientales (Contraloría Delegada para el Medio Ambiente, 2016), sobre los cuales cada grupo de interés debe ocuparse de mitigar lo que le corresponde.

Tabla 1. Principales consecuencias de afectación de las actividades humanas

Evento - Situación presentada	Efecto
La Revolución Verde, un gigante depredador y tóxico con pies de barro	El balance energético de la agricultura industrializada es deficitario, se pierden variedades del ecosistema
La explotación industrializada amenaza los bosques del mundo	Ms del 50% de los bosques han sido talados. Desde 1950 se empezó a deforestar con maquinaria pesada, llevándola a niveles nunca antes vistos. SE pierden niveles de pluviosidad.
La pesca esquilma las reservas mundiales	El 80% de las especies de peces han sido sobreexplotadas. La acuicultura está impactando los ecosistemas. Las técnicas de pesca son en su mayoría muy depredadoras y agresivas con el ecosistema.
El turismo también arrasa el planeta	La mayor parte del turismo se hace a la playa y sitios de gran floresta natural, afectando su normal desarrollo, lo cual hace dependientes a sus habitantes y satura de residuos las zonas visitadas.
Sexta extinción en marcha	La pérdida de la biodiversidad está en la agricultura y pesca industrializada, agotando la existencia de muchas especies.
Desbordamiento de la biocapacidad del planeta.	La generación de CO ₂ debería estar en 350 ppm, pero está por encima de 400.
Deuda Ecológica	Se ha superado en más del 50% la huella ecológica. Esto es la cuantificación de los territorios requeridos para los sistemas urbano-agro-industrial mundial y sus respectivos deshechos.

Fuente. Elaboración propia, datos de (Fernandez & Gonzalez, 2018)

Aunado a lo anterior, Colombia registra bajas calificaciones con respecto a la contaminación atmosférica, ya que las partículas sólidas y líquidas minúsculas, que se encuentran en el aire que se respira (PM10 y PM2.5) son muy dañinas para la sociedad y el medio ambiente.

Por consiguiente, también tiene una gran dependencia de los derivados de combustibles fósiles, que se han ido reduciendo en bajos porcentajes, de acuerdo a lo presentado por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) en los resultados preliminares del balance energético colombiano (UPME, 2022) para los años 2020 y 2021, los fósiles tuvieron una participación del 75,7%. Sin embargo, en el informe presentado por (Unidad de Planeación Minero Energética- UPME, 2023), manifiestan que el escenario de los combustibles fósiles para el año 2052 reducirán su participación en la matriz energética,

representando aproximadamente el 28% del total.

Pese a lo anterior, existe una alerta que puede causar grandes consecuencias sobre el medio ambiente y por ende sobre la población como se muestra en Tabla 2.

Tabla 2. Consumo de energía e impacto ambiental.

Afectación	Características
Zonas Costeras	<ul style="list-style-type: none"> • Amenaza de inundaciones sobre el 4,9% de áreas de cultivo y pasto. • Amenaza del 44.8% de la malla vial terrestre • Inundaciones del 17% de San Andrés. Afectando vías, aeropuerto, infraestructura hotelera y población de la zona costera. • Afectación por infiltración salina de los acuíferos de la isla, los cuales abastecen el 82% del agua potable
Inundaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento en las precipitaciones del 15% y 20%, en el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en el año 2050 y 2080 respectivamente. • Vulneración del sistema sanitario básico, como consecuencia de lo anterior. • Afectación en el 2% del total de la población y un valor de capital del orden del 2,2% del PIB, por los problemas anteriores. • La pérdida de cobertura de ecosistemas marinos y costeros como manglares, de los cuales Colombia cuenta con la mayor extensión del Pacífico americano. • Daños irreversibles, por la exposición prolongada de los arrecifes coralinos a altas temperaturas, posteriormente su pérdida es inevitable. Estos corales, protegen la costa de mares de leva y huracanes. • Avalanchas en las quebradas vecinas de los páramos por la erosión por los cultivos y ganadería intensa.
Vulneración de los recursos Hídricos	<ul style="list-style-type: none"> • Afectación de un 50% del territorio nacional por la modificación en el funcionamiento del régimen hidrológico, con consecuencias sobre todos los aspectos que dependen de ello. • En la región Andina, La Guajira y Nariño disminuiría el promedio de lluvias anuales, en la Amazonía, Orinoquía, norte de las regiones Andina y Pacífica y el resto de la región Caribe registrarían un aumento. • Vulnerabilidad de las coberturas vegetales y ecosistemas • Disminución en las coberturas de los glaciares con efectos sobre la disponibilidad de agua para algunas poblaciones que dependen de estos sistemas. Los nevados son fuente de agua de los ríos que abastecen los acueductos de las cabeceras municipales de muchas ciudades.
Sector agrícola y Suelos	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento en 3.5 millones de hectáreas de las áreas con un potencial de desertificación. • Afectación de una tercera parte de las zonas que actualmente son agro ecosistemas. • Las amenazas sobre la población y salud humana tendrán como consecuencia: • Incremento de áreas vulnerables para el desarrollo de la malaria, el dengue y mayor población afectada por inundaciones.

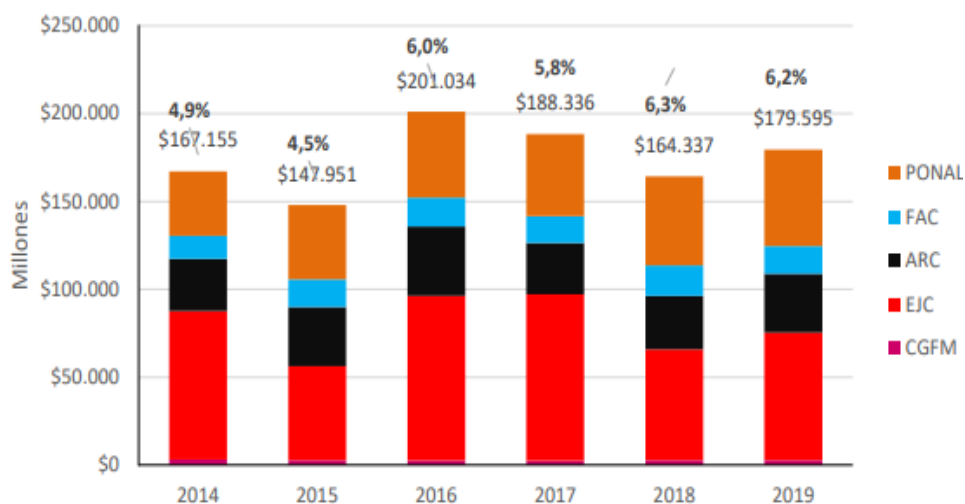
Fuente. (Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020)

Sin embargo, las políticas establecidas en el Plan Energético Nacional (PEN) 2022- 2050, apuntan a la oportunidad para amortiguar el impacto ambiental, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero y mitigando el cambio climático. Mediante la transformación de la matriz energética hacia fuentes renovables y tecnologías más eficientes, para reducir la dependencia de combustibles fósiles y disminuir la huella de carbono del país. La diversificación de la matriz energética también fortalece la seguridad

energética al reducir la dependencia de fuentes externas, aumenta la autonomía energética y disminuye la vulnerabilidad ante la volatilidad de precios y la disponibilidad de combustibles.

Por otra parte, es importante mencionar que seguido de los impactos que afectan el pilar ambiental, se encuentra el económico en relación al gasto- energía eléctrica, dado que, de acuerdo al informe de rendición de cuentas emitido por el Viceministerio para la Estrategia y Planeación para el periodo (2018-2022), presento en promedio el 5,6% de los gastos generales de la Fuerza Pública, correspondiente a más de \$220.000 millones anuales en promedio, representando el cuarto rubro presupuestal con mayor impacto dentro de los gastos generales del sector, con el mayor impacto presupuestal, como se evidencia en la Figura 1.

Figura 1. Gasto anual de energía eléctrica de los gastos generales del sector Defensa y Seguridad.



Fuente: MDN- Análisis histórico del gasto en Defensa y Seguridad 1990-2020.

Aunado a lo anterior, es importante mencionar que el Fuerte Militar de Tolemaida, es el Cantón Militar más grande (en extensión y unidades acantonadas) del Ejército Nacional, por lo que el consumo de energía eléctrica es significativo, alcanzando un aproximado del 4% del rubro presupuestal de la fuerza. Lo anterior, teniendo en cuenta que alberga alrededor de 10.000 personas itinerante y cerca de 15.000 personas hacen uso de las diferentes instalaciones del complejo militar todo el tiempo.

Adicional a lo anterior, como respaldo del sistema de energía se suele acudir a un sistema

a base de combustible diésel como opción autónoma alternativa, aclarando que cada una de las trece (13) unidades acantonadas en el Fuerte Militar cuentan con una planta eléctrica, esto implica el aumento de costos, teniendo en cuenta que la partida fija para este servicio es de 30 Gls de combustible diésel mensuales por planta, correspondiente a un promedio de 4.600 Gls anuales.

Si bien se cuenta con alimentación desde dos operadores de red, el complejo militar es alimentado por redes de distribución aéreas que la hacen vulnerables a las condiciones climatológicas adversas (viento y lluvia) y a la vegetación exuberante de la zona, que produce frecuentemente fallas transitorias por contacto de las ramas sobre la red como, sobrecargas eléctricas, fallas de suministros y apagones, interrumpiendo las actividades diarias.

Por estas razones, desde el Ministerio de Defensa de Colombia, se ha resuelto a aportar con medidas de control medioambientales y económicas en guarniciones militares, mediante políticas y estrategias para la eficiente ejecución del gasto en energía eléctrica en el sector defensa y seguridad dando respuesta al Plan de Austeridad del gasto y las directivas del Gasto Publico definidas por el gobierno nacional en el decreto 2467 del 2018 y la Directiva Presidencial 09 de 2018, respectivamente. (Ministerio de Defensa Nacional, 2021)

2 Objetivos

2.1 Objetivo general

Presentar un análisis de viabilidad para la implementación de un sistema de generación eléctrica usando la energía solar en el Fuerte Militar de Tolomaida del Ejército Nacional del sector seguridad y defensa, ubicado en el municipio de Nilo, Departamento de Cundinamarca.

2.2 Objetivos específicos

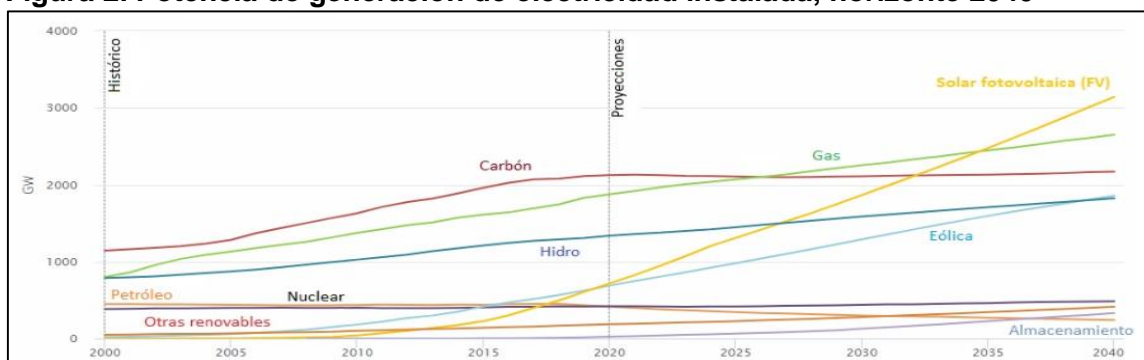
- Presentar el diagnóstico de la situación actual del sistema de generación eléctrica en el Fuerte Militar de Tolomaida del Ejército Nacional.
- Diseñar una propuesta de generación de energía solar fotovoltaica para la optimización del sistema actual de energía en el Fuerte Militar de Tolomaida del Ejército Nacional de Colombia.
- Elaborar el análisis de viabilidad técnico económico para la implementación de un sistema de generación de energía solar fotovoltaica, para el Ejército Nacional colombiano en el Fuerte Militar de Tolomaida.
- Analizar y cuantificar las inversiones requeridas para la puesta en marcha en el Fuerte Militar de Tolomaida de un sistema de generación eléctrica utilizando energía solar fotovoltaica.

3 Justificación

El futuro energético es incierto y dependerá en gran medida de como gobiernos y ciudadanos aborden el desafío del desarrollo sostenible. Esto implica la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, y la adopción de soluciones tecnológicas que brinden eficiencia y servicios energéticos limpios y rentables para todos los sectores de la sociedad (International Energy Agency, 2019). La transición hacia fuentes de energía más sostenibles y la adopción de prácticas responsables en el consumo energético son fundamentales para abordar los desafíos climáticos y garantizar un futuro más seguro y saludable para el planeta.

Una alternativa de apoyo al desarrollo sostenible y que debe articularse, tiene que ver con la energía solar, dado que está disponible en todo el globo terráqueo y adicionalmente en la medida en que se generalicen sus diferentes aplicaciones, los costos deben bajar a niveles comercialmente más fáciles de acceder (Arancibia, Best, & Brown, 2010). Es de considerar que la demanda de energía crece a razón de un uno por ciento al año hasta 2040, lo cual se puede ver en la Figura 2, y sugiere que las fuentes hipocarbónicas, como la solar fotovoltaica, cubran más de la mitad del crecimiento (International Energy Agency, 2019, párr. 5).

Figura 2. Potencia de generación de electricidad instalada, horizonte 2040



Fuente: (International Energy Agency, 2019)

La energía solar es un recurso inagotable ya que sobre la tierra se reciben cada 10 días el equivalente a todas las reservas de petróleo, carbón y gas reconocidas (Estrada Gasca, 2013). El sol, además de producir calor, también tiene aplicaciones industriales, por ejemplo, la energía termo solar para producir electricidad y además puede generar energía

fotovoltaica, basada en celdas solares, que finalmente es el tipo de energía solar con mayor crecimiento en la actualidad.

Las ventajas de introducir un proyecto con tecnología energética de estas características son diversas, se registra una baja contaminación al medio ambiente, en la producción de energía fotovoltaica o en la energía solar térmica, así mismo se reduce la emisión de gases de efecto invernadero. Otra de las ventajas relevante de este tipo de proyectos es el bajo costo, comparado con instalaciones convencionales, y su mantenimiento tampoco se compara en gastos. Finalmente, se trata de una de las opciones energéticas más amigables con el medio ambiente (Energía Solar, 2018).

Particularmente en Colombia, la Constitución Política establece la obligación del Estado de proteger los recursos naturales, su diversidad y conservar la integridad del ambiente, es allí donde lo hace explícito en sus artículos 80; 95 y 334 entre otros (Presidencia de la República de Colombia, 1991), y dice concretamente en el artículo 80: “El estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución”. En ese orden de ideas, el Ministerio de Defensa no es ajeno a las obligaciones constitucionales determinadas en este ordenamiento fundamental para hacer todo lo que esté a su alcance, para impulsar y apoyar las iniciativas que se orienten en la consecución de ese propósito. A partir de la normativa se busca la reducción de los efectos del cambio climático.

Particularmente, en la búsqueda de implementar la política de gestión ambiental institucional, el Fuerte Militar de Tolemaida, unidad militar del Ejército en Cundinamarca, se propone estudiar e incluir programas ambientales que contribuyan a mitigar la generación de los impactos ambientales y hacer uso eficiente de los recursos naturales en el ejercicio de sus actividades. Además de ese propósito, la iniciativa se acompaña de la necesidad de asegurar la confiabilidad en el suministro y continuidad de energía para la base militar de Tolemaida. También se considera el componente de ahorro en los costos de generación de energía. En consecuencia, se realiza la presente propuesta de un sistema de generación eléctrica usando la energía solar en el fuerte militar de Tolemaida, alineado completamente a la política de gestión ambiental institucional.

Con respecto a las emisiones evitadas, se estima que por 1 MWh hay un total de 3,08

equivalentes a CO₂ toneladas, es decir, cantidad de gases de efecto invernadero que se emiten por la producción de electricidad mediante métodos no convencionales de (0.154 tonCO₂eq/MWh). Lo cual, no quiere decir que se eviten todas las emisiones, ya que la fabricación y el transporte de los módulos solares fotovoltaicos también generan gases de efecto invernadero.

También significa que el ahorro final es superior si se tiene en cuenta que este cálculo es:

*Energía generada por el SSFV anual * Vida útil del proyecto * Factor marginal de emisiones*

$$1 \text{ MWh} * 20 \text{ años} * 0.154 \text{ Ton de } \frac{CO_2}{\text{MWh}} = 3,08 \text{ Ton de } CO_2$$

*El factor marginal definido por el Gobierno Nacional mediante la Resolución No. 00762 de la (Unidad de Planeación Minero Energética- UPME, 2023), es igual a 0.154 tonCO₂eq/MWh.

Para 1 MWh, el valor total es seis (6) veces superiores = 3,08 X 6 = **18,48 toneladas** de CO₂.

No obstante, es importante traer a relación la generación de emisión gases de efecto invernadero producidas actualmente por el sistema de energía convencional, la cual tiene un aproximado a 5.767 toneladas de CO₂ por año. En tal sentido, la producción de GEI generados durante la vida útil del proyecto (20 años) sería cercana a las 69.213 toneladas de CO₂.

*Energía generada por el Sistme convencional anual * Vida util del proyecto*

** Factor marginal de emisiones*

$$22.472,05 \text{ MWh} * 20 \text{ años} * 0.154 \text{ Ton de } \frac{CO_2}{\text{MWh}} = 69.213,90 \text{ Ton de } CO_2$$

4 Marco Institucional

La organización para la cual se hará el desarrollo de este proyecto es el Ejército Nacional de Colombia. Institución que nació el 7 de agosto de 1819 cuando tuvo lugar la Batalla de Boyacá, la cual otorgó la independencia definitiva del país. Se trata de una de las organizaciones más grande del país, con mayor presencia geográfica y recurso humano. No produce bienes tangibles, por lo cual es considerado como sector no productivo, aunque contribuye a la formación del ingreso nacional y del producto nacional; es de naturaleza vital para el funcionamiento de la economía.

La **misión** de El Ejército Nacional es:

Conducir operaciones militares orientadas a defender la soberanía, la independencia y la integridad territorial y proteger a la población civil y los recursos privados y estatales para contribuir a generar un ambiente de paz, seguridad y desarrollo, que garantice el orden constitucional de la nación. (Ejército Nacional de Colombia, 2023)

La **visión** de El Ejército Nacional es:

En el año 2030, el Ejército Nacional continuará siendo la fuerza de acción decisiva de la Nación, con capacidad de conducir operaciones autónomas, conjuntas, coordinadas y combinadas, en forma simultánea en dos teatros de operaciones, uno externo y/o uno interno (Ejército Nacional de Colombia, 2023, párr. 2)

Todo esto se encuentra relacionado en el Plan de Desarrollo 2022- 2026 “Colombia Potencia Mundial de la Vida”, el cual esta compuesto por cinco grandes transformaciones: Derecho humano a la alimentación, ordenamiento del territorio alrededor del agua, seguridad humana, economía productiva para la vida y lucha contra el cambio climático y convergencia regional.

Por otra parte, las actividades que desarrollan las Fuerzas militares y en consecuencia el Ejército, están clasificadas dentro de los sectores económicos en la categoría del sector terciario, si bien, los sectores económicos son tres principales y dos subgrupos que hacen parte del sector terciario. Esa clasificación se puede ver en la Tabla 3. Reconocer

adecuadamente la clasificación, determina la mejor comprensión de las políticas económicas, así como la estrecha relación entre la producción y comercio de los productos y servicios ofrecidos. “Es indudable, que estos sectores económicos son totalmente fundamentales para que un determinado país pueda disfrutar de una economía progresiva y estable” (Pacheco, 2020).

Tabla 3. Sectores Económicos

Sectores	Qué tipo de actividad	Ejemplos
Primario	Sector dedicado a explotar el medio natural, tanto de tierra como de mar. Obtiene los productos directamente de la naturaleza, luego los convierte y los comercializa como materias primas para la industria.	<ul style="list-style-type: none"> • Siembra y cosecha. • Cría y reproducción de ganado y pesca, caza de animales.
Secundario	Se ocupa de transformar la materia prima, obtenida por el sector primario, en productos industriales: distintos tipos de alimentos procesados, bienes y productos. Depende obligatoriamente del sector primario, ya que de este obtiene los diferentes productos naturales.	<ul style="list-style-type: none"> • Carpintería, minería, construcción. • Industria energética, de gas • Industria textil, de construcción.
Terciario	Se dedica a ofrecer servicios necesarios para el funcionamiento de la economía; es decir, no produce bienes sino servicios. Puede llegar hasta un 60% de población empleada por empresas de servicios. Tiene dos subsectores	<ul style="list-style-type: none"> • Servicios de transportes, turismo, servicios financieros, • Servicios educativos, administración • Servicios de seguridad privada.
Subsector Cuaternario	Se ocupa de la rama de conocimiento. Este sector abarca la ciencia, investigación y desarrollo tecnológico. Las empresas que se encuentran en este sector se dedican a investigaciones científicas para los demás sectores productivos.	<ul style="list-style-type: none"> • Servicios de consultoría, investigación, desarrollo, • planificación financiera y económica • Empresas de tecnología, robótica.
Subsector Quinario	En este sector se ubican actividades sin fines de lucro pero que son necesarias para el funcionamiento de la economía, así mismo, las actividades domésticas. Al igual que el sector cuaternario, en algunos casos se considera como una sub-división del sector terciario.	<ul style="list-style-type: none"> • Servicios de salud pública; educación; cultura. • Servicios de policía, seguridad. • Servicios de bomberos.

Fuente: (Enciclopedia Económica, 2017)

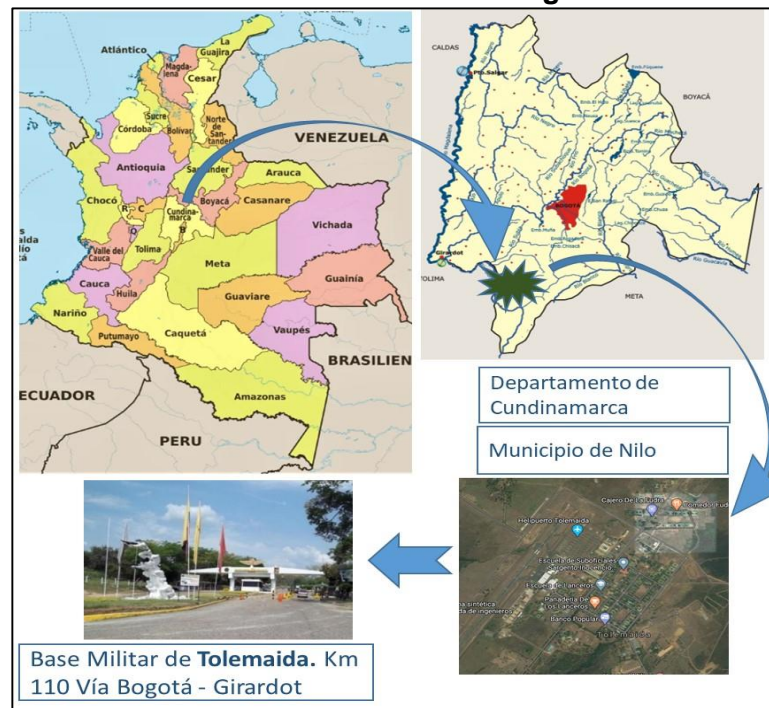
El sector quinario abarca aquellas actividades económicas relacionadas con la organización e interpretación de información y orientación en la toma de decisiones aplicando las nuevas tecnologías (Montoya, Sector quinario, 2023). También se encuentran agrupadas allí, las actividades que no están orientadas a la generación de utilidades como resultado de su operación, es decir el lucro no está dentro de sus objetivos corporativos, más bien están orientadas a resolver necesidades constitucionales, legales, salud pública, cultura y similares. Es así como las fuerzas militares, bomberos y organismos de protección civil, entre otras, se encuentran clasificadas en este sector.

4.1 Fuerte Militar de Tolemaida

El fuerte militar de Tolemaida posee una extensión de 6.952 hectáreas en el municipio de Nilo, Cundinamarca, cuenta con un clima cálido y una ubicación geográfica central en el país. Se trata de la guarnición de entrenamiento militar más importante del Ejército Nacional. Allí se encuentran las principales escuelas de capacitación para su entrenamiento, reentrenamiento, formación, cursos diversos de combate y sus especialidades.

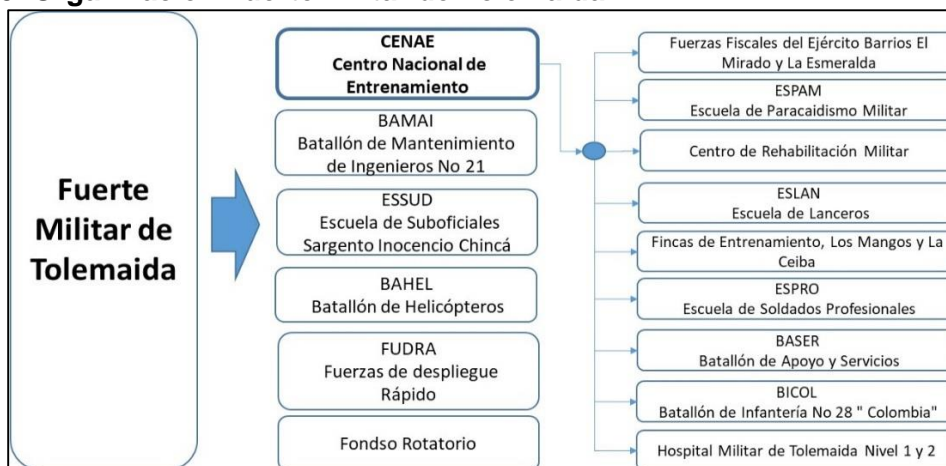
La base militar de Tolemaida es el centro nacional de entrenamiento y capacitación del ejército más grande del país. Se encuentra ubicado en unas coordenadas geográficas de **4,58465 grados de latitud -74,628479 grados de longitud** (ver figura 16). Su distribución interna es la siguiente: 5.700 hectáreas en la Finca Tolemaida y 1.200 hectáreas en la Finca Jamaica localizada a las afueras de la Finca Tolemaida, cercana al casco urbano del municipio de Nilo (Coneo & Amaya, 2002, p. 7). La base militar se encuentra en una zona de clima cálido húmedo, con temperaturas promedio de **32 a 41°C**, y una altura sobre el nivel del mar de **484 metros** (IDEAM, 2020).

Figura 3. Base Militar de Tolemaida – Ubicación Geográfica



Fuente: Elaboración propia, información de (UPME, 2015); (Google Maps, 2020).

Figura 5. Organización Fuerte Militar de Tolemaida



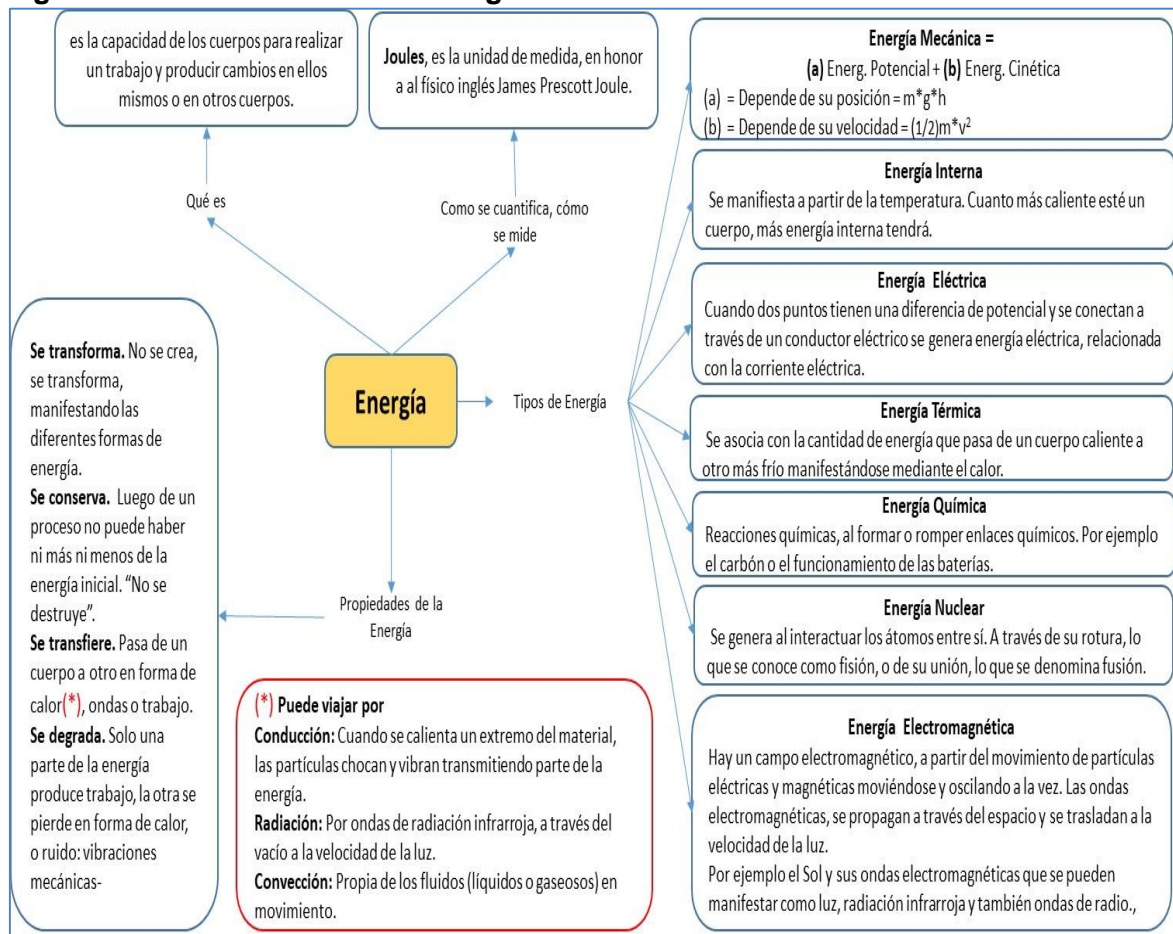
Fuente: Elaboración propia, información de (Pinzón Acevedo, 2006).

Todas estas instalaciones están alimentadas por una red de distribución a 34,5 kV. El operador de la red es la Compañía Energética del Tolima S.A. ESP, es a su vez el distribuidor y comercializador de la energía en la zona. A partir del punto de conexión a 34,5 kV, se alimenta una subestación MT/MT (34,5/13.2 kV) que cuenta con un circuito de respaldo de otro operador (Enel/Codensa). Desde dicha subestación, se derivan circuitos de 13,2 kV que alimentan a los diferentes complejos internos dentro de la instalación.

5 Marco de Referencia

La energía es una fuente motora que dinamiza todas las funciones y actividades posibles de la tierra y del universo mismo (Alonso A. , 2012). Un mapa conceptual relacionado con definición de la energía, sus características, sus particularidades y clasificación se puede apreciar en la Figura 6.

Figura 6. Generalidades de la energía.



Fuente: Elaboración propia, información de (Fundación Endesa, 2020)

Hay una estrecha relación entre el consumo de energía y el grado de desarrollo de las naciones. Países como Islandia o Estados Unidos, puede ofrecerles a sus ciudadanos promedio, en todo momento la energía desarrollada por unos 22,000 vatios (W), mientras que habitantes de Senegal o Eritrea, apenas disponen en promedio de unos 200 W. La mayoría de los países con esas condiciones de pobreza se encuentran en Asia,

Latinoamérica o África, los cuales basan su consumo de energía en la madera o excrementos animales (Alonso A. , 2012).

Las fuentes de energía se pueden clasificar dependiendo de algunos criterios, asociados a diversos aspectos de origen, disponibilidad, esta clasificación no considera que tan nocivas puedan ser luego de su proceso de utilización. La Tabla 4 muestra la clasificación y detalle explicativo de cada una de esas tipologías.

Tabla 4. Tipos de Energía según su fuente

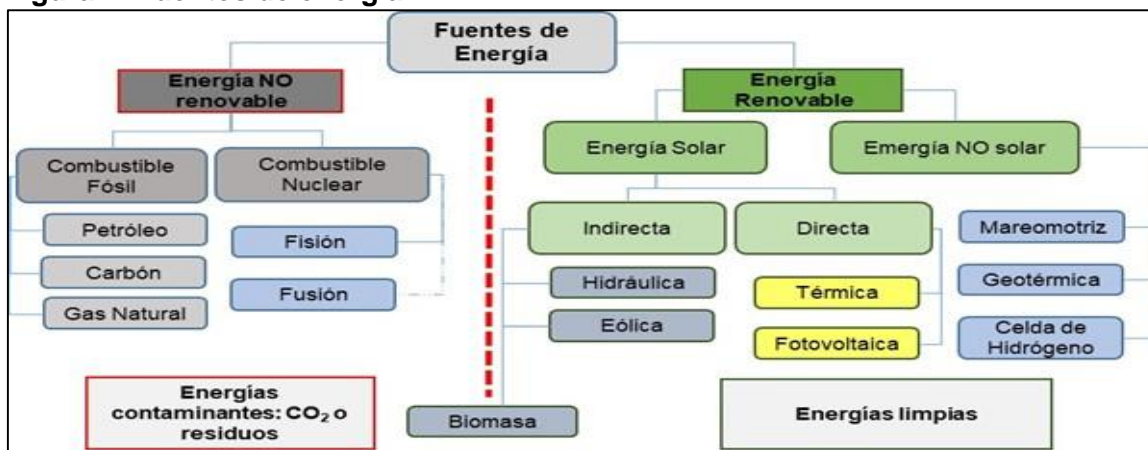
Criterio de clasificación	Tipo de Energía	Detalles
Según sean o no renovables	Renovables	Consideradas inagotables, llegan al planeta de forma continua como consecuencia de la radiación solar o la atracción gravitatoria de otros cuerpos de nuestro sistema solar. Son la energía solar, eólica, hidráulica, mareomotriz y la biomasa.
	No renovables	Existen en una cantidad limitada en la naturaleza. En la actualidad satisfacen más del 80% de la demanda mundial. Son: carbón, petróleo, gas natural y uranio.
Según su grado de disponibilidad	Convencionales	Son aquellas que tienen una participación relevante en los balances energéticos de los países industrializados. Son: carbón, petróleo, gas natural, hidráulica y nuclear.
	En desarrollo, no convencionales	Se trata de nuevas fuentes de energía, en una etapa de desarrollo tecnológico, no es apreciable su demanda. Es el caso de la energía solar, eólica, mareomotriz y biomasa.
Según su forma de utilización	Primarias	Se obtienen directamente de la naturaleza, como el carbón, petróleo y gas natural.
	Secundaria	Llamadas también finales. Se obtienen luego de un proceso de transformación, es el caso de la electricidad o de los combustibles derivados del petróleo

Fuente: Elaboración propia, información (Foro Nuclear, 2020)

5.1 Energía solar

Los tipos de fuentes de energía y su clasificación, puede explicar de dónde se extrae el recurso para su futura explotación. En la Figura 7, se muestra la clasificación que tiene la energía según su fuente, con lo cual también se determina el efecto que tiene en materia de emisiones al medio ambiente.

Figura 7. Fuentes de energía



Fuente: (Enerrenovable, 2019)

Por su parte, las energías renovables son aquellas provenientes de fuentes de energía con un flujo continuo y ciclos naturales, se estiman inagotables debido a su regeneración permanente. Se trata de recursos limpios generados en la naturaleza, aportan en la disminución de la dependencia de los suministros de energéticos difíciles de explotar y contaminantes en términos de partículas a la atmósfera (Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía, 2020). Entre ellas se trae a relación las siguientes:

- ✓ Biomasa.
- ✓ Energía Eólica.
- ✓ Energía mareomotriz.
- ✓ Energía Geotérmica.
- ✓ Celda de hidrógeno.
- ✓ Energía Hidráulica.
- ✓ Energía solar

Los usos que pueden tener los diferentes sistemas de uso de energía solar son numerosos y muy diversos, en todos los ramos de desarrollo de la economía y las familias se observa en el **Anexo A**.

A continuación, se describen las características principales de la energía solar, por su

pertinencia con el proyecto de grado planteado.

✓ **Energía solar Directa.**

El sol, una estrella con un diámetro de 109 veces mayor que el de la tierra, ubicado a unos 150 millones de kilómetros de distancia de nuestro planeta, este compuesto principalmente de gas a altas temperaturas y presiones. En su núcleo, lleva a cabo una reacción nuclear que convierte alrededor de 700 millones de toneladas de hidrógeno en helio cada segundo, liberando una enorme cantidad de energía hacia el espacio. Esta energía solar que llega a la tierra es equivalente a 10,000 veces el consumo energético mundial. Según las estimaciones, en los próximos 6,000 millones de años, el sol solo habrá consumido el 10% de su hidrógeno total, lo que significa que la energía que nos brinda es prácticamente inagotable, además de gratuita, accesible y completamente limpia (López Cózar, 2006).

No obstante, de la radiación que recibe la tierra del sol, la atmósfera refleja al espacio exterior una tercera parte de ella, por ese mismo efecto que hace que la temperatura no sufra variaciones extremas y tenga unos rangos soportables para la vida como se conoce. A esta condición, debe sumarse factores como la forma de la tierra; la inclinación respecto de sol (23.5°); la hora del día y las condiciones de nubosidad entre otros. A pesar de esos factores que disminuyen la radiación directa del sol en algunos sitios de la tierra, es apreciable el beneficio de la sumatoria de la radiación directa y la radiación difusa, llamada así por la condición de nubosidad, condiciones a partir de las cuales se elaboran los mapas solares de cada región. Particularmente, en la Tabla 5, se aprecian las ventajas y desventajas más relevantes de su utilización.

Tabla 5. Ventajas y desventajas de la energía solar

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> La energía solar es renovable e inagotable, por lo que anteriormente se indicó. 	<ul style="list-style-type: none"> Su eficiencia es limitada comparada con otras fuentes de energía.
<ul style="list-style-type: none"> Los niveles de contaminación solamente se observan en los procesos de instalación y mantenimiento de equipos, en todas las demás situaciones se considera limpia no es contaminante ni provoca gases de efecto invernadero. 	<ul style="list-style-type: none"> El costo económico de la energía solar, térmica principalmente, comparado con otras opciones es superior.
<ul style="list-style-type: none"> Los costos de instalación han ido reduciéndose en la medida en que se van construyendo muchas más instalaciones y la tecnología se vuelve más asequible, igual ocurre con los procesos de mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> El rendimiento está en función de la climatología, lo que limita ciertas zonas y ciertas condiciones de nubosidad. Lo mismo ocurre con las limitaciones horarias, por ejemplo en países nórdicos donde las horas de sol en algunas épocas del año son muy cortos.
<ul style="list-style-type: none"> Tanto la generación eléctrica como la térmica, 	<ul style="list-style-type: none"> Se requiere una opción de almacenamiento de la

derivadas de la energía solar, son ideales para zonas aisladas, donde otro tipo de soluciones limpias cuestan mucho esfuerzo llevarlas y muchos recursos.	energía generada mediante baterías solares y depósitos de agua caliente, pero su eficiencia es muy baja aún
• Tiene una gran aceptación social	

Fuente: Elaboración propia, información de (Energía Solar, 2018).

A partir de la radiación del sol, se pueden desarrollar la energía solar térmica y la energía solar fotovoltaica.

- ✓ **Energía Solar Térmica.** También llamada termosolar, se desarrolla a partir del calor del sol usando colectores o paneles solares térmicos, como se muestra en la Figura 8, para luego calentar el agua u otro tipo de fluidos. Actualmente también se puede alimentar una máquina de refrigeración por absorción, para producir frío como lo haría un aparato de aire acondicionado tradicional, una parte del calor absorbido por el panel solar es transferido al agua y ya puede ser directamente usada o almacenada (Energíasolartermica, 2020, párr. 2). Adicionalmente, los vapores generados se pueden aprovechar como energía mecánica en turbinas acopladas a generadores convencionales (Cumbre Pueblos, 2019). Como se muestra en la Figura 8.

Figura 8. Sistema solar térmico para uso doméstico



Fuente: (Energíasolartermica, 2020).

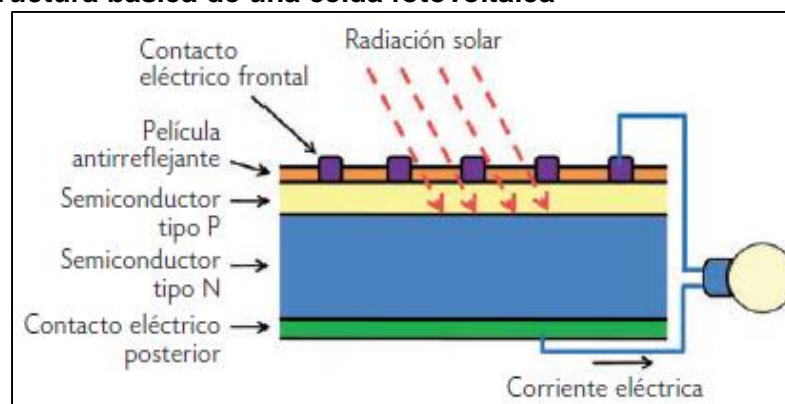
- ✓ **Energía Solar Fotovoltaica.** Descubierta en 1839 por el físico francés Alexandre Edmond Becquerel, pero fue más de 100 años después que se encontró el material que presentaba el efecto fotovoltaico eficiente para las celdas solares: el silicio. Luego de la carrera espacial se alcanzó un rendimiento de las celdas del 15%, muy bueno para la época, hoy se ha alcanzado un rendimiento hasta del 39%, acompañado de la disminución de los costos que cada vez se logra mediante eficiencias técnicas y mercados más abiertos (Arancibia, Best, & Brown, 2010).

La energía solar Fotovoltaico genera corriente continua (potencia medida en vatios o Kilovatios), utilizando semiconductores cuando son iluminados por un haz de fotones. Mientras la luz incide sobre el elemento fotovoltaico individual o célula solar se genera potencia eléctrica, cuando la luz se extingue la electricidad desaparece. Estas células solares no necesitan ser cargadas como las baterías, algunas de ellas llevan funcionando en el espacio por más de 30 años. Dichas células están hechas de materiales semiconductores, que facilitan el flujo de electrones en el circuito exterior y su producto por el voltaje con el que se liberan los electrones determina la potencia generada, todo ello ocurre a temperatura ambiente con un calentamiento adicional de cerca de 30°C (Colegio Oficial Ingenieros de Telecomunicaciones, 2002).

Sin embargo, para producir el efecto fotovoltaico, debe procurarse que los electrones se muevan en una dirección preferencial con la unión de dos materiales semiconductores de características electrónicas diferentes: uno cede parte de sus electrones con facilidad (se le llama material tipo N), mientras que el otro recibe esos electrones adicionales (material tipo P).

El efecto fotovoltaico se produce al iluminar la superficie de unión entre los dos diferentes materiales, esto se puede apreciar en la Figura 9. La potencia lograda es pequeña, con lo cual, para lograr una potencia aceptable lo que se hace es conectar varias celdas entre sí (panel o módulo fotovoltaico) para aumentar el voltaje o la corriente.

Figura 9. Estructura básica de una celda fotovoltaica



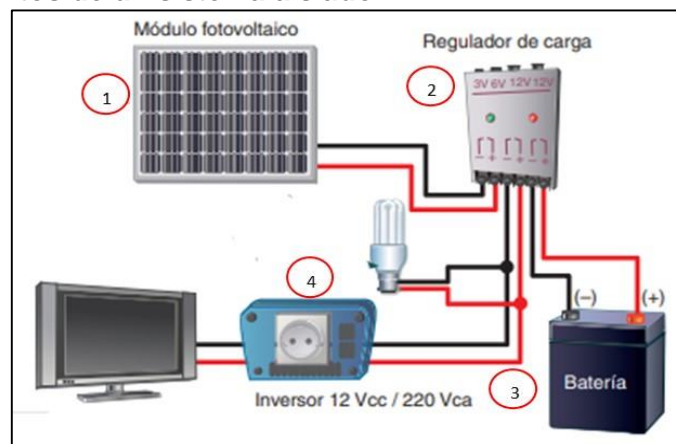
Fuente: (Arancibia, Best, & Brown, 2010).

5.2 Tipos de instalaciones solares fotovoltaicas

Hay dos tipos principales de conexión de un sistema de energía solar fotovoltaica, que dependen de la autonomía: los sistemas aislados y los sistemas conectados a la red. A continuación, se describen cada uno de ellos.

- **Sistemas aislados.** Se trata de una instalación autónoma sin conexión a la red eléctrica de la localidad. La mayoría requiere almacenamiento eléctrico, otras restantes a través de llenados de balsas de agua bombeada por un sistema fotovoltaico-eólico. Una de las principales aplicaciones se hace en instalaciones rurales, donde la conexión a la red de viviendas remotas resulta difícil. Los elementos fundamentales de un sistema fotovoltaico aislado/autónomo se pueden ver en la Figura 10.

Figura 10. Elementos de un sistema aislado.



Fuente: (Diaz & Carmona, 2010).

Los componentes del sistema aislado son:

- **Módulos Fotovoltaicos (1).**
- **Regulador de carga (2).**
- **Baterías solares (3).**
- **Inversor (4).**

Sistemas conectados a la red: Son un caso particular de las aplicaciones de estos esquemas, que trabajan en base a un intercambio de energía con la red eléctrica local. Este sistema puede alimentar la carga durante las horas del día donde la energía proveniente del sol sea suficiente para este fin. Si esta energía es excedentaria podrían cargar baterías o inyectar este exceso a la red convencional, y en horas donde el sol no pueda el aporte energético la carga puede ser alimentada desde la red eléctrica convencional o mediante la energía acumulada en baterías (Cupertino, de Resende, Pereira, Seleme Junior, & others, 2012).

Lo componen los mismos elementos en general y un inversor que convierte la corriente continua en alterna y la inyecta en la red de distribución local, como lo son:

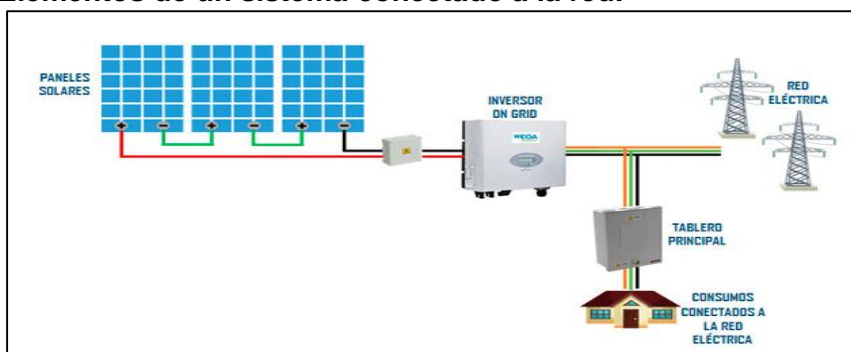
- **Paneles solares:** Los paneles solares o módulos fotovoltaicos están formados por la interconexión de células solares encapsuladas entre materiales que las protegen de los efectos de la intemperie, son las encargadas de captar la energía procedente del sol en forma de radiación solar y transformarla en energía eléctrica por el efecto fotovoltaico (McGraw Hill, 2022, p. 14).
- **Inversor conectado a la red:** El inversor fotovoltaico es el equipo electrónico que permite suministrar la potencia generada a la red comercial. Su función principal es convertir la corriente continua producida por el generador fotovoltaico en corriente alterna (Rocha, 2022, párr. 2).
- **Bloque de cableado:** El bloque de cableado es un bloque que puede parecer evidente, pero es fundamental hacer un breve análisis del mismo. Se compone por todos los conductores eléctricos de la instalación. La importancia del mismo reside en que su correcto dimensionamiento puede suponer una reducción importante de las pérdidas de energía en el sistema (Cassassolares, 2020, párr. 6).

Se emplean en proyectos de gran escala, donde el mayor riesgo es el diseño y la planificación, el suministro es totalmente garantizado por que el propio sistema de distribución local podrá proveer las necesidades cuando el sistema por autonomía no lo logre, y podrá comprar los excedentes que el sistema genere, requiere un medidor de doble sentido para saber cuál es el balance de energía que en uno y otro sentido ha fluido (Diaz & Carmona, 2010, párr. 9).

Sin embargo, dentro de una instalación solar fotovoltaica tenemos varios dispositivos o equipos que debemos dimensionar para que sea posible la transformación de la radiación solar en energía eléctrica que inyectamos a la red (Hilcu, 2021).

La diferencia fundamental entre un sistema fotovoltaico autónomo y los conectados a red, consiste en la ausencia, en este último caso, del subsistema de acumulación formado por la batería y la regulación de carga (Ujaen, 2020, párr. 2). Además, el inversor en los sistemas conectados a red, deberá estar en fase con la tensión de la red. Los elementos fundamentales de un sistema fotovoltaico on grid o conectado a la red sin respaldo de baterías se pueden ver en la Figura 11.

Figura 11. Elementos de un sistema conectado a la red.



Fuente: (Díaz & Carmona, 2010).

Las motivaciones para dar un paso semejante son diversas, en algunas oportunidades lo hacen para ganar dinero con la venta de la electricidad solar, aunque este no es el caso; otros para ahorrar electricidad en los picos de demanda o para dar estabilidad al consumo si el suministro que reciben es inestable; muchos otros justifican en todo o parte la inversión por conciencia ambiental. En todos los casos existe la motivación de contribuir al desarrollo de esta tecnología limpia (Cambio energético, 2022, párr. 16).

5.3 Estado energético solar fotovoltaico.

La competitividad de los costos de las energías renovables también ha aumentado notablemente durante la década. El costo nivelado de la electricidad (una medida que permite la comparación de diferentes métodos de generación de electricidad de manera consistente) ha disminuido en un 81% para la energía solar fotovoltaica desde 2009 y para

la energía eólica terrestre ha bajado un 46%, con lo cual invertir en las energías limpias cada vez se hace más atractivo y cada vez más económico, (World Energy Trade, 2019).

Según la Organización de las Naciones Unidas, 2020, la Agencia Internacional de Energía (AIE), indica que las proyecciones en materia de energía para el año 2050 ubicarían las tecnologías que aprovechan la energía solar en la fuente principal de producción de electricidad en todo el mundo (párr. 9). Se prevé que la energía solar fotovoltaica (FV) podría generar el 16% de la electricidad mundial y la electricidad solar térmica de concentración (CSP) proporcionaría un 11% adicional; lo cual evitaría cerca de seis mil millones de toneladas de CO₂ por año emitidas a la atmósfera, cifra comparada con la totalidad de las emisiones directas del sector del transporte de todo el mundo. La reducción de costos contrasta con el hecho de que se requiere la anticipación del pago de esas inversiones

En total, la capacidad mundial pasará de 480 GW en 2018 a más de 8,000 GW en 2050, un crecimiento de 9% cada año, dice la misma publicación. En el mismo orden de beneficios, se estima que el desarrollo de la energía solar fotovoltaica genere 18 millones de empleos nuevos, en materia de conexiones se estaría mucho más cerca de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Organización de Naciones Unidas los cuales contemplan la universalidad de la electricidad, como se señaló al inicio del capítulo 3, son muchos millones de personas en el mundo los que no tiene acceso a la electricidad. En los últimos años, la capacidad instalada de energía solar FV fuera de red se ha multiplicado a prácticamente 3 GW en 2018, gracias a su carácter modular y flexible. Países como Brasil, China, Alemania, México, otros de Norteamérica, resto de Asia y por supuesto Europa, están impulsando notablemente el mercado solar FV (Ambientum, 2019).

En la Región de Latinoamérica, existe un buen ambiente y unas mejores condiciones por sus recursos excepcionales y un buen marco regulatorio para el desarrollo de la tecnología Solar. Hay países referentes en la zona que están marcando el camino a seguir, con buenas orientaciones en la política energética, una buena capacidad solar, tecnologías de punta, financiación, regulación y contratos robustos entre otros factores dinamizadores, han permitido que así sea. Esos países son México, Chile, Brasil y Argentina. Al mirar hacia los próximos años, el compromiso de la región con la inversión en energías renovables parece fuerte (Robberechets, 2017).

5.4 Situación energética en Colombia

El más reciente Índice de Cobertura de Energía Eléctrica (ICEE) reportado en 2015, dice que el 96,9% de la población cuenta con energía eléctrica en sus hogares, labor conjunta de las cuatro actividades: generación, transmisión, distribución y comercialización e integrar el Sistema Interconectado Nacional (SIN). Las áreas que no tienen acceso al SIN son denominadas las Zonas No Interconectadas (ZNI) y allí habita el 3,04% de la población de Colombia (UPME, 2015, p. 41). En estas zonas el consumo debe ser cubierto por plantas diésel, pequeñas centrales hidroeléctricas y, más recientemente, paneles solares.

Adicional al Sistema Interconectado local, Colombia se conecta con Venezuela y Ecuador, para hacer intercambios de energía según la situación de cada mercado, los eventos hidrológicos y la disponibilidad de recursos hídricos. Colombia se posiciona como uno de los países con mayor riqueza hídrica tanto a nivel global como en Latinoamérica, por lo cual la matriz de generación de energía eléctrica del país está basada en un 70% en el recurso hídrico, lo que la hace una matriz limpia (ver Figura 12). El 30% restante lo componen otras fuentes como carbón, gas natural, gas licuado de petróleo, que ayudan a soportar la menor generación de las grandes hidroeléctricas (Arango, 2019, párr. 3).

Figura 12. Capacidad efectiva instalada en Colombia



Fuente: (Arango, 2019)

El consumo de energía eléctrica anual del país es del orden de 70.000 GWh/año, y se estima un crecimiento del 2% cada año hasta el 2030, según la UPME, lo cual, sumado a un incremento en el número de vehículos eléctricos, hasta de 400.000 en circulación, es necesario expandir más la infraestructura energética del país. Por lo cual se ha puesto gran parte de las expectativas en Hidroituango, pero los retrasos en la entrada en funcionamiento, sumado al crítico factor de lluvias que afecta algunas zonas del país, podría generar insuficiencias, como se observa en la Figura 13.

Figura 13. Demanda y Capacidad instalada con y sin la entrada de Hidroituango



Fuente: (Arango, 2019)

A esta problemática se le debe tratar con soluciones inmediatas como i) Subasta, la UPME convocó a una subasta de expansión de asignación de Obligaciones de Energía Firme (OEF), para el abastecimiento de energía en el mediano plazo y asegurar la confiabilidad al sistema a partir de 2022 y ii) energías renovables, a través de incentivos para fuentes renovables no convencionales (FRNC), con el fin de migrar hacia una matriz energética cada vez más limpia, diversificada, competitiva. En total son 392 proyectos de **energía solar** los que aparecen registrados ante la UPME que suman 5.339 MW, 19 proyectos de energía eólica que generarían 2.747 MW y 14 proyectos de biomasa para generar 59 MW, todo lo cual tranquiliza al sector eléctrico en Colombia (Arango, 2019, párr. 15).

En la misma apuesta de futuro energético, está el Plan Energético Nacional de Colombia, también presentado como **Ideario Energético 2050** por la UPME, con ideas que pueden ser base de la implementación de la política energética con la cual se transitará en las siguientes décadas hacia un desarrollo energético, sostenible. Esos objetivos se aprecian en la Tabla 6.

Tabla 6. Ideario energético 2050 para la UPME

Objetivo	Descripción
•Suministro Confiable y Diversificación de la Canasta de Energéticos	La seguridad y la confiabilidad en el suministro de energía. En la actualidad hay una notable concentración de ciertos energéticos, tanto en la oferta de hidrocarburos, como en la generación eléctrica y en los combustibles del sector transporte. Se requiere una política energética de largo y trabajar en la reducción de las vulnerabilidades actuales y futura como consecuencia del cambio climático o de otros factores externos.

•Demanda eficiente de Energía.	Pretende trabajar en dos factores: i) Valoración de la energía suministrada y ii) mejores hábitos de utilización de la energía.
•Esquemas que promuevan la universalización y asequibilidad al servicio de energía eléctrica	Elaboración de un plan de mejora de la prestación del servicio, con usos energéticos vitales. Promover el desarrollo y bienestar, a través de “Contratos Plan” que lidera el DNP es el ámbito natural para desarrollar un plan de mejora y ampliación de los servicios energéticos.
•Mantener los ingresos y viabilizar la transformación productiva y generación de valor	Tres acciones concretas para atender este aspecto se proponen: i) mejorar las condiciones institucionales del sector hidrocarburos en el país; ii) realizar los ajustes en las finanzas territoriales y iii) adelantar los ajustes macroeconómicos necesarios y la transformación productiva.
•Consolidar la institucionalidad y avanzar en mayor eficiencia del estado y la regulación	Es el sistema eléctrico ya se cuenta con la interacción de millones de actores. La regulación debe evitar aumentos en los costos, temor en inversionistas, pérdida de competitividad y deterioro de oportunidades de trabajo y oportunidades de trabajo en el sector. Las normas que rigen los mercados deben guardar los propósitos fundamentales y privilegiar acciones de supervisión y control

Fuente: Elaboración propia, información (UPME, 2015).

5.4.1 Energías renovables en Colombia

En los últimos 30 años Colombia ha logrado sumar experiencia en tecnologías solar fotovoltaica y solar térmica, al igual de biomasa como el bagazo de caña y proyectos con energía eólica, ante la ausencia de desarrollos de tecnologías. Los recursos aprovechables a nivel nacional están representados en una irradiación solar promedio de 194 W/m² en todo el territorio, vientos localizados en la Guajira de velocidades medias en el orden de 9 m/s y potenciales energéticos de 450.000 TJ por año en residuos de biomasa, sumado al propósito de la Ley 1715 de 2014, por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional, que busca además, promover la gestión eficiente de la energía, que comprende tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda, además de mantener una baja huella de carbono y desarrollar una industria energética ambiental, social y económicamente sostenible en el largo plazo. Concretamente, se impulsan de manera prioritaria proyectos como:

- El desarrollo de proyectos de cogeneración (obtención de energía eléctrica y térmica del mismo proceso) a partir del aprovechamiento de la biomasa.
- Proyectos eólicos en zonas de alto potencial, como los de La Guajira.
- El desarrollo masivo de proyectos de autogeneración solar FV a pequeña y mediana escala. Con expectativas de generación.

- Proyectos geotérmicos en zonas como el área del macizo volcánico del Ruiz.
- El despliegue de proyectos con fuentes no convencionales de energías renovables (FNCER), especialmente a través de esquemas híbridos de generación, como solución energética en zonas no interconectadas (ZNI). Las potencias esperadas de cada grupo de proyectos, alivia el panorama energético del país, con sumas de potencias menores, pero en cantidad significativa de ellos (UPME, 2015).

5.4.2 Energía solar fotovoltaica en Colombia

La Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia (UPME) hizo público el Informe de Registro de Proyectos de Generación de 2018 hasta el 31 de marzo de 2020 y corresponde a los proyectos que la entidad considera como “vigentes”; según lo cual, de todos los proyectos vigentes (341 proyectos), el 68,47% corresponde a solares fotovoltaicos (159 inferiores a 1 MW, 59 entre 1 y 10 MW y 27 de más de 100MW), seguidos muy de lejos por 123 (24,7%) hidráulicos (World Energy Trade, 2020).

Además, el país cuenta con un recurso de radiación solar promedio de 4,5 kWh/m²/d, que supera el promedio mundial (3,9 kWh/m²/d), y de Alemania (3,0 kWh/m²/d) país que hace el mayor uso de la energía solar FV en el mundo. El Atlas de radiación indica que hay regiones del país, ver Figura 14, que reciben tanta radiación como los mejores lugares del mundo, entre los que están el desierto de Atacama en Chile; los estados de Arizona y Nuevo México en EE.UU. Hay otras regiones del país con menor radiación, pero en todo caso, siguen siendo muy buenas (ANLA, 2018).

Figura 14. Valores de irradiación promedio para algunas regiones de Colombia

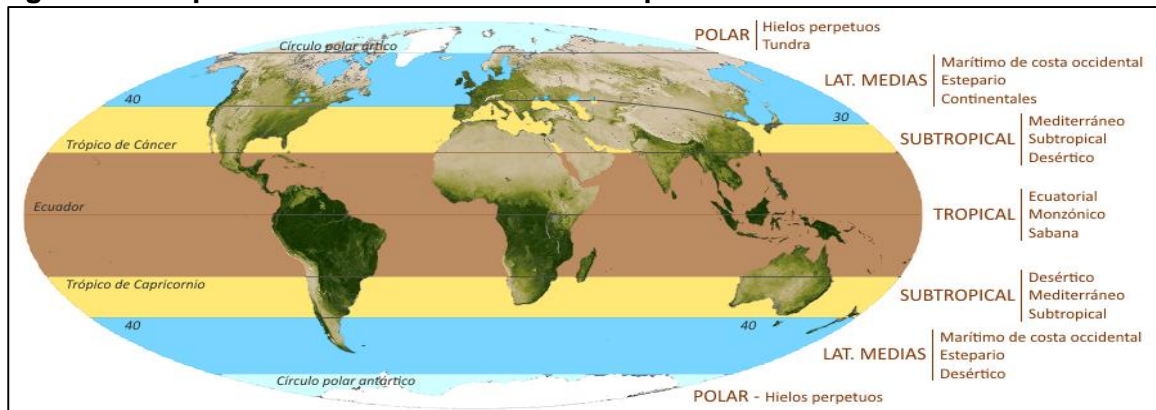
Región	Promedio irradiación (kWh/m ² /día)
Guajira	6,0
Costa Atlántica	5,0
Orinoquía	4,5
Amazonía	4,2
Región Andina	4,5
Costa Pacífica	3,5

Fuente: (UPME, 2015)

5.5 Clima de la zona y Radiación solar

Las primeras clasificaciones climáticas tuvieron su sustento en elementos de análisis básicos, como la geometría tierra – sol. Simplemente se dividía la tierra en cinturones latitudinales, y de esta forma se establecieron cinturones más o menos proporcionales y de igual o similar comportamiento de las temperaturas, justificadas por su proximidad a los polos o al ecuador geográfico. Estas franjas fueron denominadas: zona tórrida, templada y zona fría. Posteriormente, como se muestra en la Figura 15, se amplió la cantidad y calidad de las variables a considerar y reunir una suficiente magnitud de características del clima (IDEAM, 2015).

Figura 15. Esquema de distribución de climas por zonas latitudinales



Fuente: (Navarra.es, 2020)

De esa reunión, de más y mejores factores se llegó a adoptar la clasificación que concluye que, la zona geográfica donde se ubica la base militar de Tolemaida tiene un clima tropical, con una probabilidad de precipitaciones máxima del 71% en la mayoría de los meses del año, con una estación seca relativamente corta. Esa clasificación del clima de la zona, que se ajusta a los parámetros de clasificación propuesta por el modelo *Köppen-Geiger*, (detallada en la Tabla 7).

Tabla 7. Clasificación climática según Köppen

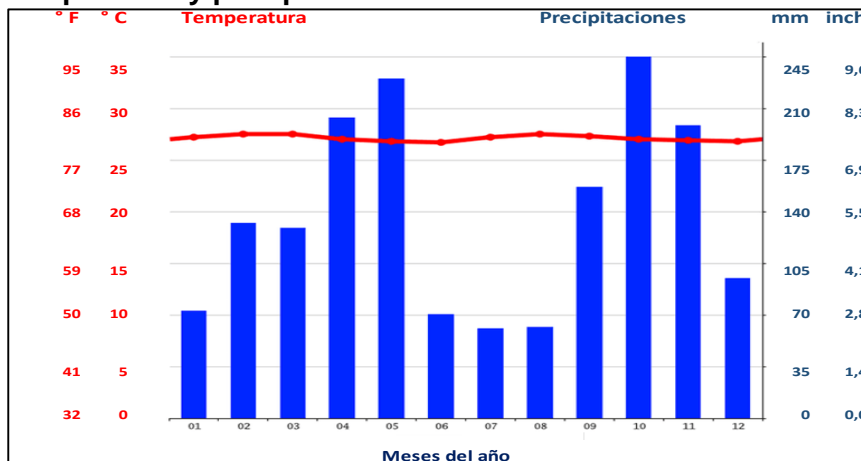
Clima	Segunda letra	Tercera letra
A. Tropicales. Ningún mes con temperaturas medias inferiores a 18 grados, y las precipitaciones anuales son superiores a la evaporación. La segunda letra se refiere al nivel de precipitaciones	f. Ecuatorial. Ningún mes con precipitaciones por debajo de 60 mm. m. Monzónico. Por los menos un mes por debajo de 60 mm, y precipitaciones superiores. w. Sabana. Por lo menos un mes por debajo de 60 mm, y precipitaciones inferiores	
B. Climas secos. Las precipitaciones anuales son inferiores a la evapotranspiración potencial anual. Son los climas de las estepas y desiertos. La segunda letra indica el grado de aridez.	s. Estepario. También llamado mediterráneo. Poco lluvioso. w. Desértico. Precipitaciones anuales menores que el umbral.	h. Cálido. Temperatura meda superior a 18° C. k. frío. Temperatura meda inferior a 18° C
C. Templados. La temperatura media del mes más frío está entre -3°C y 18°C, y la del mes más cálido supera los 10°C. En estos climas se encuentran los bosques templados. La segunda letra para el régimen de lluvias. La tercera letra para el comportamiento de las temperaturas en verano.	s. Verano seco. Con un mínimo de precipitaciones. w. Invierno Seco. Precipitaciones del mes seco inferior a la décima parte del mes más húmedo. f. Húmedo. Precipitaciones todo el año, sin estación seca	a. Subtropical. Verano caluroso. b. Templado. Verano fresco. c. Frío. Verano frío.
D. Climas Continentales-inviernos muy fríos. Ningún mes con temperaturas medias inferiores a 18 grados, y las precipitaciones anuales son superiores a la evaporación. Otoño y primavera, muy cortas y las precipitaciones exceden a la evaporación. Estos climas se dan raramente en el hemisferio sur. Segunda y Tercera Letra, igual que la categoría C	s. verano seco. Con un mínimo de precipitaciones. w. Invierno Seco. Precipitaciones del mes seco inferior a la décima parte del mes más húmedo. f. Húmedo. Precipitaciones todo el año, sin estación seca	d. inviernos muy fríos. Menos de 3 meses con temperaturas superiores a 10°C. a. Subtropical. Verano caluroso. b. Templado. Verano fresco. c. Frío. Verano frío.
E. Climas Polares. Temperaturas medias que no superan los 10°C en ningún mes del año. Son climas secos y siempre fríos.	t. Tundra. Mes más cálido entre 0 y 10°C. f. Hielos perpetuos. Temperatura mes más cálido menor de 0°C.	
Clasificación Köppen	Creada por el climatólogo alemán Wladimir Köppen en 1884 y revisada luego por él mismo y por Rudolf Geiger. Describe cada tipo de clima con una serie de letras, normalmente tres, que indican el comportamiento de las temperaturas y las precipitaciones. Es una de las clasificaciones climáticas más utilizadas por su facilidad de interpretación.	

Fuente: Elaboración propia, información de (Navarra.es, 2020)

Los datos más relevantes del clima y las precipitaciones de la zona, Figura 15, indican que la temperatura es en promedio 27.1 °C; la precipitación es 1.553 milímetros (mm), julio es el mes más seco. En octubre, la precipitación alcanza su pico, con un promedio de 230 mm. Además, se concluye que febrero es el mes más caluroso del año con un promedio de 27.5 °C a 26.7 °C en promedio, junio es el mes más frío del año. La diferencia en la precipitación entre el mes más seco y el mes más lluvioso es de 173 mm y la variación en

la temperatura anual está alrededor de 0.8 °C. Data: 1982 – 2012. (Climate.Data.Org, 2020, párr. 8). Así como se obtuvo que la irradiación global es de 1.806 kWh/m²/año.

Figura 16. Temperatura y precipitaciones de la localidad



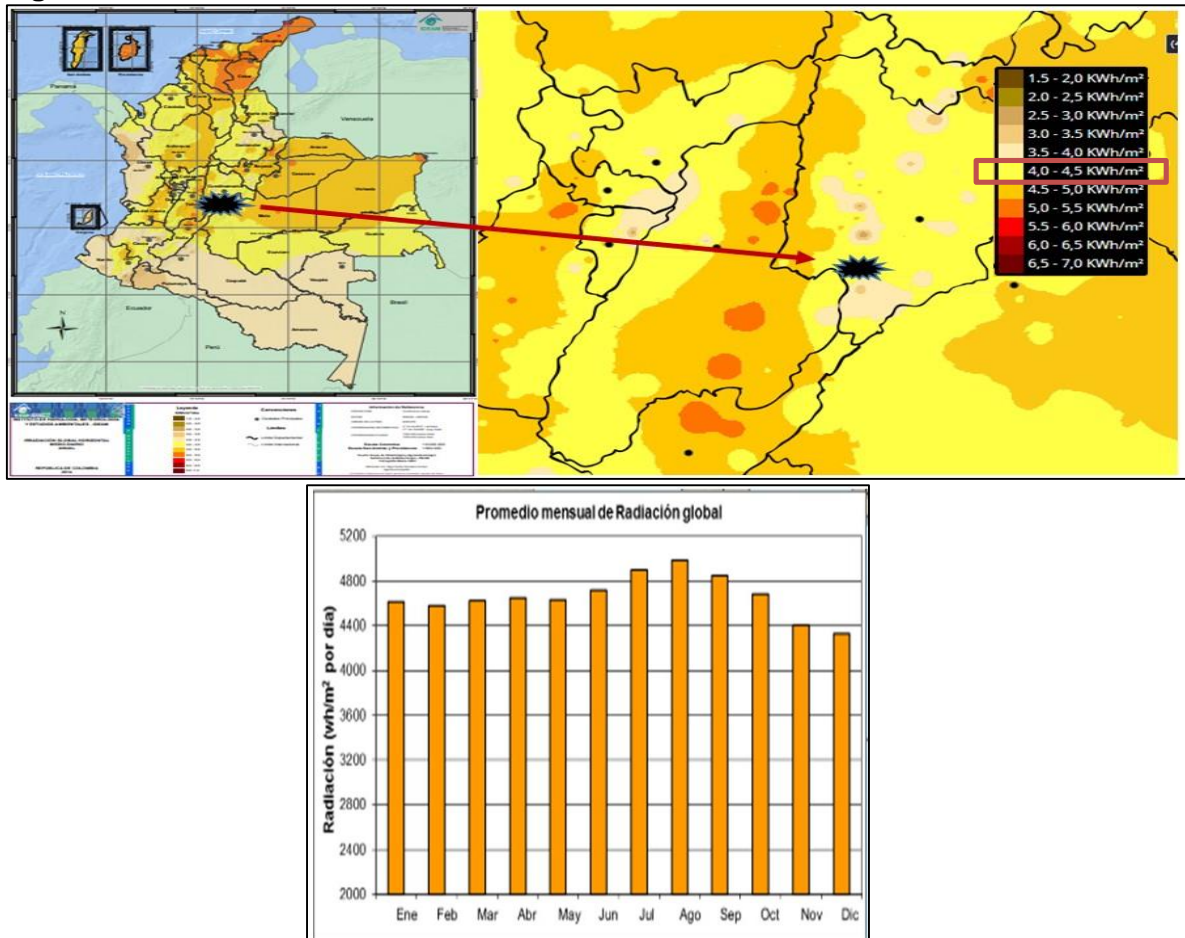
Fuente: (Climate.Data.Org, 2020)

Por otro lado, la UPME y el IDEAM crearon en el 2005 un Atlas de radiación en Colombia, el cual recopila la información básica de referencia para el aprovechamiento de la energía solar como una opción para el uso sostenible de los recursos energéticos de Colombia, estableciendo el valor promedio diario de radiación por regiones. El cual depende de factores propios como:

- **Latitud.** Distancia angular desde la línea ecuatorial a unos puntos específicos. A mayor distancia, menor radiación solar.
- **Altura sobre el nivel del mar:** a mayor altura, mayor radiación.
- **Orografía:** Se refiere a las elevaciones en una zona en particular, los valles profundos tienen menor radiación solar.
- **Nubosidad:** A mayor nubosidad, menor radiación solar hay.
- **Movimiento de traslación del planeta:** Movimiento en órbita que tiene la tierra alrededor del sol, responsable de las estaciones a lo largo del año. Los polos de la tierra, por ejemplo, reciben menos radiación en ciertas temporadas del año (La Guía Solar, 2020).

Donde se ubica el Fuerte Militar de Tolemaida, se tienen las características de radiación solar que se evidencia en la Figura 16, en la cual se resumen los datos relevantes de radiación solar y producción de energía. Es así como, en la Figura 17 se evidencia el color y en la tabla de la misma, la hora solar pico para este punto que es de 4 [kWh/m²/día].

Figura 17. Promedio Radiación Solar local-Tolemaida.



Fuente: (IDEAM, 2014)

La UPME desarrolló un estudio consolidado en el documento “Atlas de Radiación Solar”, que brinda información que cuantifica la energía solar que incide sobre la superficie del país. El Atlas de Radiación Solar de Colombia contiene una aproximación a la distribución espacial del recurso solar, desarrollada con base en información radiométrica medida directamente en 71 estaciones sobre el territorio nacional, complementada con 383 estaciones meteorológicas donde se realizan medidas rutinarias de brillo solar, y 96 estaciones donde se realizan mediciones de humedad relativa y temperatura, variables que fueron correlacionadas con la intensidad radiante sobre la superficie. El Atlas ofrece 4 colecciones de 13 mapas sobre radiación solar global, brillo solar, radiación solar UV, ozono e índices UV. Corresponde en el caso de la radiación solar global a la interpolación de información recolectada y estimada de 550 estaciones meteorológicas y en el caso de brillo, a 479 estaciones. (UPME, 2015, p. 16)

Justificación de la alternativa de energía solar fotovoltaica.

En Colombia se ha definido como Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER), aquellos recursos de energía renovable disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleados o son utilizados de manera marginal y no se comercializan ampliamente. Se consideran FNCER la biomasa, los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, la eólica, la geotérmica, la solar y los mares. Otras fuentes podrán ser consideradas como FNCER según lo determine la (UPME, 2014, p. 6)

En los últimos años, el desarrollo de las tecnologías asociadas las energías renovables se han vuelto favorable debido a la velocidad y la tasa con la que sus costos han venido disminuyendo, especialmente la energía solar fotovoltaica. En el caso de Colombia, se ha presentado una dinámica importante para el desarrollo de este tipo de proyectos con una oferta importante de empresas dedicadas al desarrollo de estos proyectos bajo diferentes modalidades, ofreciendo mano de obra calificada, equipos y componentes con tecnología de punta y precios muy competitivos.

El beneficio de exclusión de IVA en componentes tan relevantes como los módulos fotovoltaicos, inversores de energía y controladores de carga han mejorado sustancialmente las tasas de retorno y los periodos de recuperación de la inversión para este tipo de proyectos. Por otra parte, en el caso de la energía eólica, los costos de dicha tecnología no han mostrado una tendencia similar a la presentada en el caso de la tecnología solar fotovoltaica, pero se resalta los avances representativos logrados en términos de eficiencia y sofisticación de estos equipos, lo cual permite hoy en día obtener la misma producción de energía por menores costos que hace 5 y 10 años (UPME, 2015, p. 33).

Entre tanto, las tecnologías asociadas a recursos renovables como la energía geotérmica o la biomasa presentan costos relativamente estables al estar asociados principalmente con tecnologías maduras igualmente utilizadas en el caso de plantas térmicas operadas con combustibles convencionales. Sin embargo, en la medida en que estas tecnologías avanzan, los costos, si bien pueden ser aún altos en el caso de tecnologías relativamente novedosas asociadas a la biomasa como la gasificación o la pirolisis, en el largo plazo

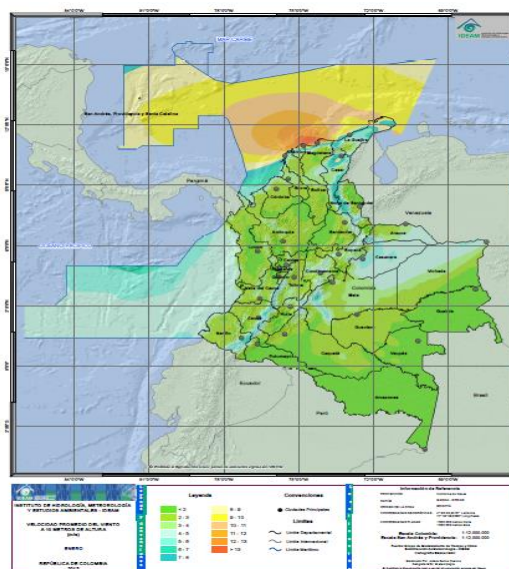
tienden hacia su reducción (Universidad Distrital Francisco José de Cladas, 2020, p. 20).

Para el caso de la implantación de un sistema de energías renovables en la base militar de Tolemaida, se evaluaron las principales alternativas disponibles a saber: energía eólica, cogeneración con biomasa y energía solar fotovoltaica. Se descarta de plano la opción de energía geotérmica, al no estar la zona del proyecto ubicada en una zona de alto potencial geotérmico.

Para el caso de la energía eólica, los estudios adelantados a nivel nacional, han identificado el mayor potencial de energía eólica en Colombia en la zona norte del país, particularmente en la franja de la Costa Caribe y de manera más concentrada en el departamento de La Guajira, donde se pueden alcanzar velocidades superiores a los 10m/s (ver mapa de velocidad promedio del viento a 10 m de altura – Ideam). En ese mismo mapa para la zona del proyecto (Flandes Tolima), se observa niveles inferiores a los 4m/s.

Con base en el documento Atlas de Viento de Colombia, elaborado por el IDEAM con información climatológica del comportamiento del viento a nivel local, se puede determinar con mayor precisión el potencial de viento, considerando el promedio de velocidad del viento registradas en estaciones meteorológicas.

Figura 18. Mapa de la velocidad anual del viento más probable a 10 m de altura



Fuente: IDEAM, 2020

En la siguiente Tabla, se muestran el departamento, el municipio, el periodo de tiempo en el cual se tomaron las medidas, los registros promediados por año y la posición que ocupa a nivel nacional de las estaciones. Para la región central del país, se encuentran 15 estaciones meteorológicas ubicadas en Bogotá, Boyacá, Cundinamarca, Meta y Tolima. Dicho documento muestra que el primer lugar a nivel nacional de velocidad del viento a 10 m de altura, se encuentra la estación Galerazamba ubicada en Bolívar en el municipio de Santa Catalina; sólo hasta el puesto 17, se encuentra la estación de Planadas en Tolima, con una velocidad promedio sustancialmente menor (2,59 m/s). Las estaciones de Natagaima y Perales en el Tolima, las más próximas a la zona del proyecto (Tolemaida), registran niveles bajos de velocidad del viento (inferiores a 2 m/s), lo que indica un limitado potencial para la implementación de un proyecto de tipo eólico.

Si bien el potencial real debe medirse directamente en sitio, la información disponible no favorece esta alternativa.

Tabla 8. Estaciones con promedios anuales de velocidad del viento y posición nacional. Se indican las de mejor promedio y las estaciones más próximas al proyecto ubicadas en la región central del país.

Estación	Departamento	Municipio	Período	Promedio anual velocidad del viento (m/s)	Puesto
Galerazamba	Bolívar	Santa Catalina	1981-2009	5,14	1
Villa Carmen	Boyacá	Samacá	2002-2008	4,01	2
Aeropuerto Planadas	Tolima	Planadas	1981-2001	2,59	17
Aeropuerto El Dorado	Bogotá D.C.	Bogotá D.C.	1981-2010	2,31	25
Tibaitatá	Cundinamarca	Mosquera	1981-2009	2,02	33
Anchique	Tolima	Natagaima	2002-2009	1,97	37
Aeropuerto Perales	Tolima	Ibagué	1981-2010	1,87	39

Fuente: Elaboración propia. Información IDEAM

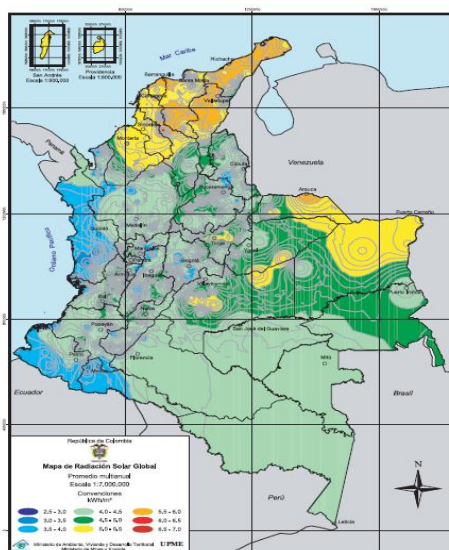
La otra alternativa de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER), es la biomasa, cuyo potencial se evalúa con base en el contenido de algunas especies

representativas de los sectores agrícola, considerando la producción de residuos sólidos orgánicos y el sector pecuario, que depende de la producción de estiércol. Si bien esta alternativa es interesante desde el punto de aprovechamiento de un potencial energético, las características de la base militar no facilitan la consideración de esta opción por razones logísticas y por la naturaleza de las actividades que se desarrollan en el complejo, que requieren niveles altos de seguridad. Para un adecuado aprovechamiento, la generación de residuos en el complejo, no serían suficientes para suplir las necesidades de materia prima y el acopio de residuos de la región requeriría de una logística especial que no hace viable esta alternativa, aunque podrían considerarse pilotos de pequeña escala en un futuro.

Para el análisis del potencial de la solución haciendo uso de energía fotovoltaica, es fundamental la cuantificación del potencial solar en la zona del proyecto.

Uno de los mapas que se relaciona a continuación, es el mapa de radiación solar global en Colombia, que indica mediante convenciones de colores, los rangos de radiación solar global en kW / m² día. De esta manera se pueden determinar las zonas geográficas del país donde se presentan los mayores niveles de radiación y por lo tanto las zonas con mayor potencial solar.

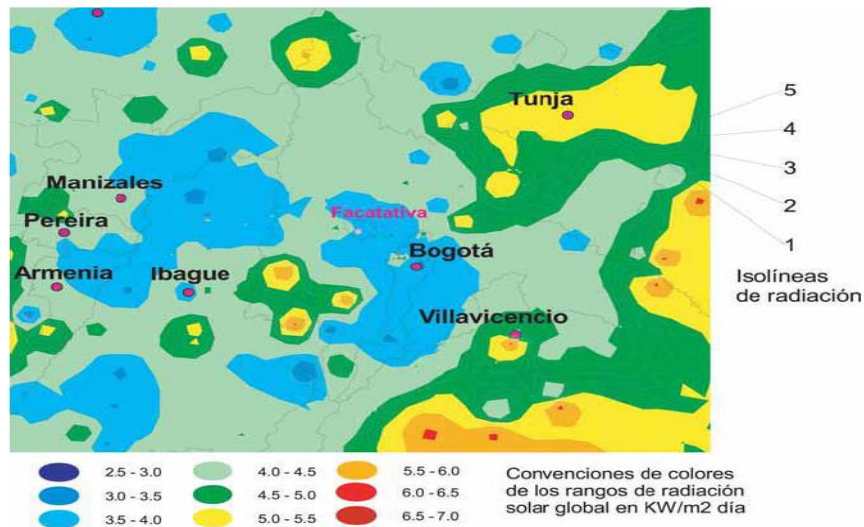
Figura 19. Mapa de la Radiación Global Solar en Colombia



Fuente: UPME, 2018

Un acercamiento para la zona centro del país, donde se localiza el proyecto, se puede observar en la figura a continuación.

Figura 20. Radiación zona centro del país.

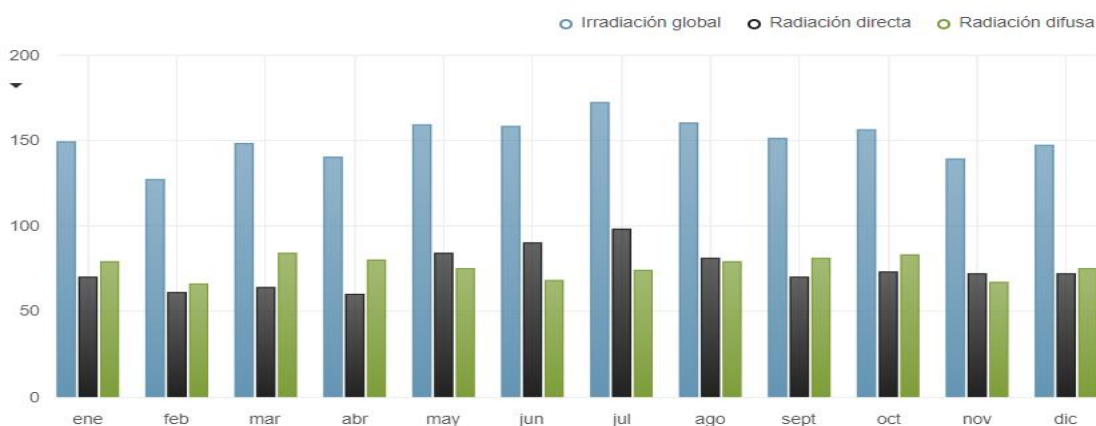


Fuente: Atlas de radiación solar (UPME)

Se puede observar que, para la zona del proyecto, la radiación solar está entre 4 y 5 kW/m² día. Comparando estos valores con ciudades europeas como Glasgow (2.36), Hamburgo (2.6) y Londres (2.61), se concluye que el potencial solar de la zona no sólo es adecuado para el desarrollo de proyectos solares, sino que es muy favorable comparado con otras zonas del mundo, lo que es evidente al estar todo el territorio de Colombia, en la zona tórrida.

Con el fin de validar este potencial solar, se obtuvieron los datos de la estación meteorológica más cercana a la zona del proyecto (aeropuerto Santiago Vila en Girardot, Cundinamarca), los cuales se presentan a continuación.

Figura 21. Datos estación meteorológica Girardot Cundinamarca



Fuente: (Meteonorm, 2022)

La gráfica presenta el nivel de irradiancia que es derivada de la radiación solar. Se presenta para la estación meteorológica, el cálculo de las irradiaciones directas, difusas y globales mes por mes.

Con base en toda la información disponible y comparando el potencial solar de la zona del proyecto con otras regiones de Colombia y el mundo, se puede concluir que en la zona del proyecto hay suficiente recurso solar para el desarrollo de un proyecto de tipo fotovoltaico con los objetivos de producción de energía requeridos para el complejo militar.

Por último, involucrando otras fuentes de energía renovables, se puede concluir que, de las tres principales alternativas planteadas, eólica, biomasa y energía fotovoltaica, se considera esta última como la más conveniente de cara al potencial energético disponible y por las características del complejo militar y la institución encargada de su administración y operación en el futuro.

5.6 Marco legal y regulatorio energético en Colombia

Con el fin de promover el desarrollo de proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía en Colombia, en 2014 se expidió la Ley 1715 de 2014, que 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 sistema 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. Con los mismos propósitos, busca promover la gestión eficiente de la energía, que comprende tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda.

La finalidad de dicha Ley es establecer el marco legal y los instrumentos para la promoción del aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, lo mismo que para el fomento de la inversión, investigación y desarrollo de tecnologías limpias para producción de energía, la eficiencia energética y la respuesta de la demanda, en el marco de la política energética nacional.

A través de dicha Ley y del Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022, el Gobierno Nacional otorgó incentivos tributarios para los proyectos a partir de Fuentes No Convencionales de Energía, específicamente otorgó una deducción adicional de renta, aplicable en un plazo de 5 años, de hasta el 50% del valor de las inversiones en esta materia (aplicable a proyectos sólo de generación eléctrica), la exclusión de IVA por la compra de equipos, elementos, maquinaria o la adquisición de servicios necesarios para el proyecto, cero aranceles en la importación de maquinaria y otros insumos necesarios para el proyecto y una depreciación acelerada que no puede superar el 20% anual de activos aplicables a equipos, maquinaria y obras civiles necesarias para el proyecto. Este beneficio de deducción de renta también se estableció para proyectos de eficiencia energética.

El Plan Nacional de Desarrollo 2018 -2022, mejoró los beneficios establecidos en la Ley 1715, al ampliar los beneficios tributarios, por lo que la deducción de renta pasó de 5 a 15 años y se estableció una exclusión automática del IVA para la adquisición de paneles solares, inversores de energía y controladores de carga para sistemas de energía solar.

Con la expedición del Decreto 829 de 2020 también se reglamenta esta deducción de renta, permitiendo que las empresas nuevas accedan al beneficio a partir del año gravable siguiente a la entrada en operación del proyecto. En dicho decreto se delega a la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) como única entidad para evaluar y certificar los proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía y de eficiencia energética que opten por dichos beneficios.

El Decreto 829 de 2020 facultó a la UPME a actualizar la reglamentación y racionalizar los trámites para acceder a estos beneficios tributarios, transformándolos en 100% digitales. Esto quedó plasmado en la Resolución UPME 203 de 2020 por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento específico para acceder a los beneficios tributarios en inversiones en investigación, desarrollo o producción de energía a partir de Fuentes no Convencionales de Energía FNCE

Por último y a manera de contexto, se relaciona el marco normativo de la Ley 1715 de 2014 con la relación de los decretos que se han expedido en el marco de su reglamentación:

- Ley 1955 de 25 de mayo de 2019, "Por el cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2018 – 2022. "Pacto por Colombia, pacto por equidad"". El artículo 174 modifica el artículo 11 de la Ley 1715 de 2014.
- Resolución UPME 703 del 14 de diciembre de 2018 "Por la cual se establecen el procedimiento y los requisitos para obtener la certificación que avala los proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE), con miras a obtener el beneficio de la exclusión del IVA y la exención de gravamen arancelario de que tratan los artículos 12 y 13 de la Ley 1715 de 2014, y se adoptan otras disposiciones".
- Resolución Minambiente 1303 del 13 de julio de 2018 "Por la cual se modifica la Resolución 1283 de 2016 y se dictan otras disposiciones".
- Resolución MinAmbiente 1312 de 11 agosto de 2016, "Por la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA, requerido para el trámite de la licencia ambiental de proyectos de uso de fuentes de energía eólica continental y se toman otras determinaciones".
- Resolución MinAmbiente 1283 de 8 agosto de 2016, "Por la cual se establece el procedimiento y requisitos para la expedición de la certificación de beneficio ambiental por nuevas inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de

energías renovables - FNCER y gestión eficiente de la energía, para obtener los beneficios tributarios de que tratan los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014 y se adoptan otras determinaciones".

- Decreto 2143 de 2015, "Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con la definición de los lineamientos para la aplicación de los incentivos establecidos en el Capítulo III de la Ley 1715 de 2014".
- Resolución UPME 0281 de 2015, "Por la cual se define el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala".
- Resolución CREG 024 de 2015, "Por la cual se regula la actividad de autogeneración a gran escala en el Sistema Interconectado Nacional (SIN)".
- Decreto 1623 de 2015, "Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1073 de 2015, en lo que respecta al establecimiento de los lineamientos de política para la expansión de la cobertura del servicio de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional y en las Zonas No Interconectadas".
- Decreto 2492 de 2014, "Por el cual se adoptan disposiciones en materia de implementación de mecanismos de respuesta de la demanda".
- Decreto 2469 de 2014, "Por el cual se establecen los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración"

6 Diseño Metodológico

6.1 Metodología

En este trabajo se ha aplicado metodología de investigación cualitativa de tipo exploratoria. La recolección de datos se realizó por medio de análisis documental de una forma estructurada, logrando identificar las problemáticas que afectan a la zona de la investigación, se tuvo en cuenta documentos privados y públicos. Lo anterior con el fin de cumplir los objetivos propuestos.

El desarrollo del presente trabajo se plantea por medio de etapas con las cuales se llevará a cabo la investigación, así:



En la primera etapa, se indaga información en diferentes documentos, sobre la prestación del servicio, la cobertura y las necesidades de la población en la zona de estudio para el desarrollo del mismo. Así mismo, se realiza una revisión de la producción energética en el país y su relación con el crecimiento económico, el potencial energético y los agentes contaminantes asociados a la generación de energía eléctrica, los compromisos internacionales adquiridos y los proyectos que se han desarrollado en Colombia y el Ministerio de Defensa Nacional, todo desde la perspectiva de implementación de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER), con el fin de contextualizar y dar a conocer la importancia y trascendencia de esta investigación. (Figueredo Medina & Cardona Ortegón, 2021, p. 34).

Así mismo, la revisión permitió identificar los impactos ambientales asociados a la energía fotovoltaica, haciendo énfasis en los factores bióticos, abióticos y socioeconómicos, así como, las actividades involucradas en las etapas de construcción, operación y fin de vida y las medidas de manejo propuestas en cada caso, en proyectos ya ejecutados a nivel nacional y en guarniciones militares.

Aunado a lo anterior, se revisaron los marcos normativos que el país ha realizado en

términos legales, técnicos y financieros, que establecen los lineamientos nacionales para la utilización de este tipo de sistemas e incentivan su implementación para entidades privadas como públicas (Figueredo Medina & Cardona Ortegón, 2021, p. 34).

Adicional a esto, dadas las características del proyecto, se utiliza la matriz DOFA como herramienta para determinar las debilidades, oportunidades y fortalezas del proyecto. Previo a ese análisis, se construye la matriz de impacto ambiental de las distintas fuentes de energía, propuesto por la UPME para proyectos de esta naturaleza. De igual forma, se elabora el listado de Actividades Susceptibles de Producir Impacto (ASPI).

A partir de la información histórica de consumo, las ASPI y la de ubicación geográfica, se plantea en el desarrollo de la investigación, las mediciones que permiten el dimensionamiento técnico del proyecto y posteriormente, se procede con el dimensionamiento económico del mismo, la planeación estratégica para la materialización de este.

En la siguiente etapa, se realiza el diagnóstico de la situación actual del sistema de energía convencional con el que cuenta el Fuerte Militar de Tolemaida. Información necesaria para realizar el diseño y cálculo del proyecto solar fotovoltaico en este Fuerte, además, para comparar esos consumos y demás costos actuales con los futuros, luego de materializarse la instalación.

En la tercera etapa, se realizó una exploración acerca de fuentes alternativas de generación de energía eléctrica que se implementan en la actualidad, así como también de los proyectos de tecnologías renovables que existen en Colombia y son referencia a nivel mundial, con el fin de evaluar, comparar y analizar cuál es la mejor alternativa para implementar en la zona de estudio (Figueredo Medina & Cardona Ortegón, 2021, p. 35).

Posteriormente, se realizó una estimación de las condiciones de radiación solar en el sector donde se encuentra ubicado el Fuerte Militar de Tolemaida. Con esta información se realiza el cálculo independiente del requerimiento total de energía eléctrica para las instalaciones y los equipos eléctricos utilizados en Tolemaida. Con esas estimaciones claras, se procede a establecer el dimensionamiento de las capacidades a instalar, en materia de paneles solares, inversores, reguladores y demás elementos de orden técnico.

El análisis técnico de este proyecto se identifica a través de un estudio de producción de energía fotovoltaica para el Fuerte Militar de Tolemaida, con el objetivo de analizar si la implementación de un sistema solar fotovoltaico es viable técnicamente en esta zona, teniendo en cuenta las características del lugar de estudio.

Finalmente, lo anterior, permite analizar el mejor resultado para la implementación de un sistema de generación eléctrica usando energía solar fotovoltaica, partir de comparar los beneficios logrados y los costos que se generan durante el horizonte del tiempo de ejecución del proyecto. La evaluación se realiza en el momento de tomar la decisión en cuanto la rentabilidad que se esperaría de un proyecto financiado con recursos propios del **Ejército Nacional**.

6.2 Desarrollo metodológico

6.2.1 Diagnostico situación actual

El Ejército Nacional ha querido contribuir a estos esfuerzos realizando investigaciones y patrocinando proyectos que aporten en la generación de energías renovables en Colombia. La implementación y puesta en marcha de este tipo de proyectos contribuyen eficientemente a la reducción de costos, además, de las emisiones de gases de efecto invernadero, en particular del CO₂; así mismo, ayuda a reducir la dependencia de la energía del sistema nacional, la independencia de las fuentes de energía convencionales y la utilización de recursos gratuitos para la generación propia del recurso energético.

Considerando aspectos económicos, ambientales, técnicos y sociales, de vida útil, competitividad internacional, es preciso determinar un sistema de fuente de energía alternativa, en línea con los propósitos misionales señalados por las fuerzas militares de Colombia. Ahora, no todas las opciones que se enmarcan en este tipo de alternativas están disponibles en la base de Tolemaida, por las siguientes consideraciones: i) mareomotriz, por ubicación geográfica, distante de los mares, ii) eólica, por el relieve montañoso de menor aprovechamiento de soluciones asociadas a este tipo de energía iii) geotérmica, que requiere unas condiciones que según medidas hechas, se ubican en zonas como los Llanos Orientales, Caguan, Putumayo y Cordillera Oriental (Servicio Geológico Colombiano, 2019).

La ubicación del país y de la región donde se asienta la instalación militar, ofrece condiciones para el desarrollo de este proyecto energía solar, como se evidencia en el Capítulo 5.5 Clima de la zona y Radiación solar, para cumplir con las características ambientales, de confiabilidad y de ahorro deseadas.

En el desarrollo del proyecto, se procede con el dimensionamiento del sistema fotovoltaico. Lo cual significa determinar la capacidad a instalar, márgenes de potencia que permitan asegurar la total autonomía del proyecto, características y descripción de los equipos requeridos, cantidad de los mismos haciendo una comparación con la solución actual de suministro de energía eléctrica para la base militar. Es así como se desarrolla la propuesta para el sistema de generación de energía para el Ejército Nacional en el Fuerte Militar de Tolemaida, dando alcance al objetivo específico correspondiente.

Adicionalmente, como respaldo se suele acudir a un sistema a base de combustible diésel como opción autónoma alternativa, aclarando que cada una de las trece (13) unidades acantonadas en el Fuerte Militar cuentan con una planta eléctrica, esto implica el aumento de costos, teniendo en cuenta que la partida fija para este servicio es de 30 Gls de combustible diésel mensuales por planta, correspondiente a un promedio de 4.600 Gls anuales. No obstante, la primera opción debe ser la interconexión a la red de distribución local de energía eléctrica, porque es más limpia y porque ya existe, de manera que exige unas adaptaciones menores. Se ha tenido en cuenta que la regulación vigente (Resolución 030 de 2018) es permitida en cualquier parte del territorio colombiano, siempre que haya interconexión en la región.

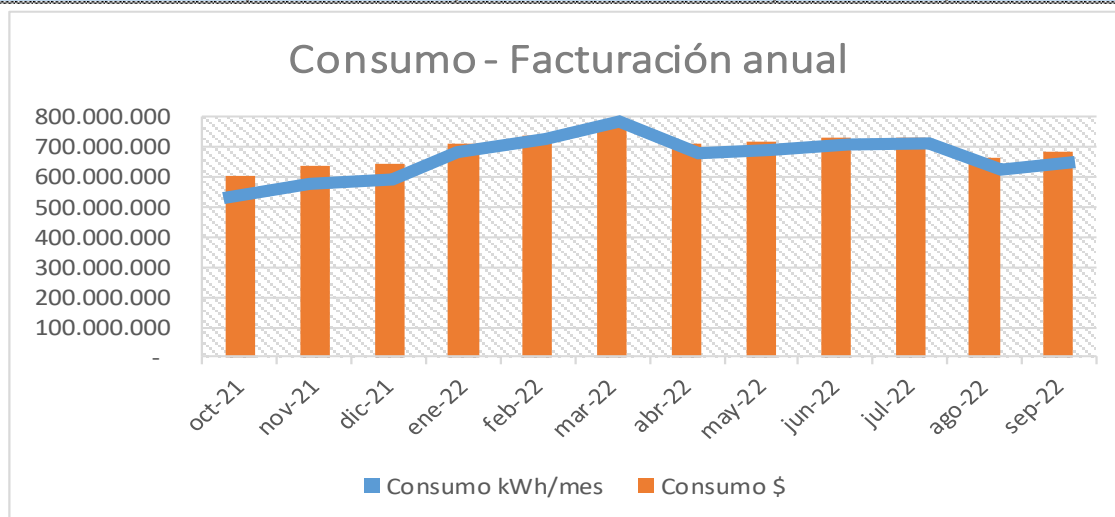
Inicialmente, para saber el consumo energético total diario, se calcula el aforo del consumo energético de todos los equipos, a partir de sus potencias unitarias por el número de horas diarias de uso, lo cual resulta muy difícil de obtener por el tamaño del complejo militar y la cantidad de ocupantes de las diferentes agrupaciones. Considerando que solo el personal itinerante es de alrededor de 10.000 personas y cerca de 15,000 personas hacen uso de las diferentes instalaciones del complejo militar todo el tiempo, como se describió en el numeral 4.2 Organización. En consecuencia, el consumo inicialmente se calculó con el histórico de consumo eléctrico mensual de todo un año considerando los costos en pesos colombianos (COP), como se muestra en la Figura 22, de igual forma se empleó un equipo registrador de consumo de potencia por un periodo de una (1) semana en el mes de

septiembre del 2.021, como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, y a partir de ello, se estimó el consumo hora-diario (Whd), al igual que la curva de carga.

Información necesaria para realizar el diseño y cálculo del proyecto solar fotovoltaico del Fuerte Militar de Tolemaida, además, para comparar esos consumos y demás costos actuales con los futuros, luego de materializarse la instalación, sumado a las consideraciones de orden ambiental que son, un eje de actuación en este proyecto.

Figura 22. Histórico de consumos vs costos cancelado

Periodo	Consumo kWh/mes	Consumo (\$)	Promedios \$/kWh	Consumo kWh/día
oct-21	1.681.870	\$ 599.313.209,00	356,3	56.062,33
nov-21	1.777.808	\$ 634.557.952,00	356,9	59.260,27
dic-21	1.744.081	\$ 644.140.986,00	369,3	58.136,03
ene-22	1.864.537	\$ 705.791.097,00	378,5	62.151,23
feb-22	1.966.289	\$ 733.233.026,00	372,9	65.542,97
mar-22	2.041.568	\$ 775.339.089,00	379,8	68.052,27
abr-22	1.848.356	\$ 708.138.238,00	383,1	61.611,87
may-22	1.892.022	\$ 713.369.678,00	377,0	63.067,40
jun-22	1.921.517	\$ 727.383.844,00	378,5	64.050,57
jul-22	1.950.433	\$ 726.975.605,00	372,7	65.014,43
ago-22	1.860.653	\$ 663.178.709,00	356,4	62.021,77
sep-22	1.922.911	\$ 684.550.811,00	356,0	64.097,03
Total/Promedio	22.472.045	\$ 8.315.972.244,00	369,8	62.422,3



Fuente: Elaboración propia, Datos del comando de Tolemaida.

Tabla 9. Datos equipo registrador de consumo

% CARGA SEMANA SEPTIEMBRE 2.021										
HORAS	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO	PROMEDIO kWh	% CARGA	
1	782,88 kWh	810,92 kWh	836,20 kWh	831,41 kWh	732,34 kWh	482,21 kWh	459,97 kWh	705,133 kWh	19%	
2	794,55 kWh	831,18 kWh	876,44 kWh	862,15 kWh	789,61 kWh	497,95 kWh	497,43 kWh	735,616 kWh	20%	
3	847,38 kWh	914,45 kWh	925,21 kWh	888,24 kWh	836,33 kWh	784,18 kWh	493,16 kWh	812,709 kWh	22%	
4	3.317,36 kWh	2.587,93 kWh	3.403,06 kWh	3.361,70 kWh	3.127,62 kWh	2.989,77 kWh	1.689,30 kWh	2.925,249 kWh	79%	HORAS PICO
5	2.881,83 kWh	2.603,53 kWh	3.413,72 kWh	3.380,95 kWh	2.863,63 kWh	3.369,43 kWh	1.702,83 kWh	2.887,988 kWh	78%	
6	3.394,22 kWh	2.613,94 kWh	3.419,70 kWh	3.866,02 kWh	2.600,93 kWh	3.595,79 kWh	1.810,80 kWh	3.043,057 kWh	82%	
7	3.656,57 kWh	3.134,12 kWh	3.769,87 kWh	4.400,00 kWh	2.736,18 kWh	3.890,21 kWh	1.958,76 kWh	3.363,673 kWh	91%	
8	3.793,46 kWh	3.383,81 kWh	3.957,32 kWh	3.983,46 kWh	2.598,33 kWh	3.905,43 kWh	2.076,84 kWh	3.385,521 kWh	91%	
9	2.083,35 kWh	2.591,83 kWh	3.619,35 kWh	3.125,02 kWh	3.127,62 kWh	3.620,11 kWh	3.645,42 kWh	3.116,099 kWh	84%	
10	1.955,90 kWh	1.885,68 kWh	3.105,77 kWh	2.715,37 kWh	3.313,59 kWh	2.812,91 kWh	1.806,55 kWh	2.513,681 kWh	68%	
11	1.565,76 kWh	1.901,28 kWh	2.162,88 kWh	2.327,83 kWh	3.629,86 kWh	2.786,12 kWh	1.697,18 kWh	2.295,845 kWh	62%	
12	3.123,72 kWh	2.379,85 kWh	2.691,34 kWh	2.587,93 kWh	3.251,16 kWh	2.821,49 kWh	1.569,03 kWh	2.632,075 kWh	71%	
13	3.911,80 kWh	3.394,22 kWh	3.631,94 kWh	3.108,11 kWh	3.703,73 kWh	2.489,03 kWh	1.902,45 kWh	3.163,039 kWh	85%	HORAS PICO
14	3.898,54 kWh	3.777,85 kWh	4.050,69 kWh	3.628,30 kWh	3.956,02 kWh	2.071,85 kWh	1.974,37 kWh	3.336,802 kWh	90%	
15	2.557,76 kWh	2.885,73 kWh	3.857,91 kWh	3.585,49 kWh	4.150,02 kWh	1.809,83 kWh	1.898,42 kWh	2.963,594 kWh	80%	
16	2.429,27 kWh	2.595,73 kWh	3.309,68 kWh	3.372,32 kWh	3.679,80 kWh	1.557,18 kWh	1.885,41 kWh	2.689,913 kWh	72%	
17	2.280,76 kWh	2.587,15 kWh	2.871,43 kWh	2.866,23 kWh	2.873,51 kWh	1.679,94 kWh	2.002,20 kWh	2.451,601 kWh	66%	
18	2.175,42 kWh	2.477,35 kWh	2.926,05 kWh	2.559,32 kWh	2.448,97 kWh	1.955,34 kWh	2.042,22 kWh	2.369,236 kWh	64%	
19	4.049,39 kWh	3.680,32 kWh	3.512,56 kWh	3.578,10 kWh	2.422,09 kWh	2.058,36 kWh	2.435,69 kWh	3.105,216 kWh	84%	HORAS PICO
20	4.008,03 kWh	3.888,39 kWh	3.372,32 kWh	3.783,26 kWh	2.600,67 kWh	2.084,75 kWh	2.462,56 kWh	3.171,427 kWh	85%	
21	2.600,93 kWh	2.746,58 kWh	3.124,86 kWh	2.330,02 kWh	2.867,53 kWh	1.827,36 kWh	2.243,30 kWh	2.534,370 kWh	68%	
22	2.218,59 kWh	2.294,02 kWh	3.080,80 kWh	1.448,72 kWh	3.124,37 kWh	1.546,77 kWh	2.111,38 kWh	2.260,666 kWh	61%	
23	1.123,86 kWh	1.572,78 kWh	1.532,99 kWh	1.209,43 kWh	2.509,12 kWh	1.104,10 kWh	1.304,89 kWh	1.479,595 kWh	40%	
24	793,28 kWh	810,92 kWh	810,19 kWh	932,17 kWh	1.070,02 kWh	913,19 kWh	1.018,19 kWh	906,852 kWh	24%	
								2.452,040 kWh		Promedio hora
TOTAL	60.244,61 kWh	58.349,55 kWh	68.262,28 kWh	64.731,55 kWh	65.013,03 kWh	52.653,30 kWh	42.688,37 kWh	58.848,96 kWh		Promedio día

Fuente: Elaboración propia.

6.2.1.1 Impacto ambiental

La gran mayoría de las fuentes de energía impactan el entorno natural, como en el caso de los cuerpos de agua contaminados. En Tabla 10, se puede apreciar cómo cada fuente de energía traslada sus efectos al medio ambiente. En ese orden de ideas, cada una de las actividades programadas y ejecutadas, bien sea por personal propio o contratado en el proyecto, deberá ceñirse rigurosamente con lo previsto en la regulación de orden técnico, ambiental y social; estos son aspectos que deben socializarse con claridad y oportunidad necesaria para comprometer a todos los que deben participar en esas medidas (Tovar, 2014, p. 16).

Tabla 10. Matriz de Impactos de las fuentes de energía

Impacto		Fuentes de energía						
		Combustibles. Fósiles			Energías Renovables			
		Carbón Mineral	Petróleo	Gas Natural	Energía FV	Eólica	Planta Hidráulica	Biomasa
Abióticos	Cambio en las características fisicoquímicas del agua	Alto	Alto	Bajo			Medio	Bajo
	Afectaciones de la dinámica del agua superficial.	Bajo	Bajo	Bajo			Bajo	
	Afectaciones de la dinámica del agua superficial.	Bajo	Bajo					
	Emisión de material particulado.	Alto	Alto	Medio				Medio
	Emisión de gases.	Alto	Alto	Medio	Bajo			Medio
	Incremento de niveles de ruidos.							
	Aumento de temperatura.	Alto	Alto					
	Alteraciones de las propiedades. fisicoquímicas del suelo.				Bajo	Bajo	Bajo	
Bióticos	Remoción y pérdida de la cobertura vegetal.	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo			
	Afectación de la fauna.					Alto		
Alto impacto		Alto						
Medio impacto		Medio						
Bajo impacto		Bajo						
Sin impacto								

Fuente. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013)

Es necesario ahondar en las medidas necesarias para garantizar el proyecto en términos de la sostenibilidades tecnológica, social y ambiental, a saber:

- 1) *Sostenibilidad tecnológica.* Que los equipos a instalar, paneles solares, reguladores de voltaje, y demás, se encuentren certificados nacional o internacionalmente y que sean

instalados por un profesional competente en este tipo de sistemas.

2) *Sostenibilidad social.* Que todo el entorno social que se beneficie con el proyecto vea satisfechas sus necesidades energéticas.

3) *Sostenibilidad ambiental.* Debe establecerse un procedimiento planificado de disposición final de las baterías para minimizar el impacto medioambiental del proyecto. En general, los mismos fabricantes reciben las baterías usadas y les dan un tratamiento limpio ambientalmente. Pero siempre, es necesario dejar claro los compromisos medioambientales.

6.2.1.1.1 Evaluación de impacto y matriz DOFA

Con el método de evaluación de Conesa, se evalúa cada impacto mediante 10 criterios diferentes y se asigna al impacto el signo (+) si causa un beneficio o se asigna el signo (-) según cause un perjuicio sobre el factor específico, haciendo énfasis en las particularidades de la región de estudio. Las actividades se clasifican según su ocurrencia en las etapas de construcción, operación o desmantelamiento de una instalación. En la Tabla 11, se aprecian las variables y la manera como se evalúan los rangos obtenidos.

Tabla 11. Criterios de evaluación utilizados en el método de Conesa simplificado

Criterio	Valor inferior	Valor superior	Significación
Intensidad (IN)	1: afectación mínima	12: destrucción total	Grado de destrucción del área afectada
Extensión (EX)	1: puntual	8: generalizada o total +4 si el área es crítica	Área de influencia del impacto con respecto al entorno.
Momento (MO)	1: largo plazo (>5 años)	4: inmediato o corto plazo	Relaciona el tiempo entre la actividad que produce el impacto y el efecto sobre el factor.
Persistencia (PE)	1: fugaz	4: permanente	Tiempo que permanecerá el efecto desde su aparición
Reversibilidad (RV)	1: corto plazo	4: irreversible	Posibilidad de recuperación natural del factor afectado.
Recuperabilidad (MC)	1: inmediato	8: irrecuperable	Posibilidad de recuperación del factor afectado por medio de la intervención humana.
Sinergia (SI)	1: simple	4: muy sinérgico	Refleja el reforzamiento de dos o más efectos simples.
Acumulación (AC)	1: simple	4: acumulativo	Incremento progresivo de la manifestación del efecto.
Efecto (EF)	1: indirecto	4: directo	Relación causa-efecto
Periodicidad (PR)	1: irregular o discontinuo	4: constante o continuo R	Regularidad de la manifestación del efecto

Fuente: (Pascualino, Cabrera, & Vanegas, 2014)

La importancia del impacto (en el rango 13 a 100) se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$I = (3 \cdot IN + 2 \cdot EX + MO + PE + RV + MC + SI + AC + EF + PR)$$

Donde:

I= Impacto

IN= Intensidad

EX= Extensión

MO= Momento

PE= Persistencia

RV= Reversibilidad

MC= Recuperabilidad

SI= Sinergia

AC= Acumulación

EF= Efecto

PR= Periodicidad

La cual permite clasificar el impacto (I) como:

- Irrelevantes o compatibles los impactos con importancia inferior a 25,
- Moderados, los impactos con importancia entre 25 y 50,
- Severos, aquellos con importancia entre 50 y 75 y
- Críticos, los de importancia superior a 75.

Por otro lado, En la Tabla 12, se pueden apreciar los resultados de la aplicación de la metodología. Se observa en ella, la valoración de aspectos bióticos, abióticos y medioambientales del proyecto, valorados todos en los rangos de compatibles a moderados, a partir de las consideraciones y criterios definidos anteriormente.

Tabla 12. Resultados de la matriz de evolución de impactos

Aspecto	Elemento	Construcción													Operación				Desmantelamiento																	
		Trasp. maquinaria, equip. y mater	Construcción de accesos y canales	Cerrado del terreno	Limpieza y adecuación del terreno	Excavación	Almacenamiento de materiales	Contruc. provisionales oficinas	Fabricación del módulo	Fabricación estructura de soporte	Fabricación de baterías	Montaje de soportes y paneles	Pruebas y puesta en marcha	Desmantelamiento de inst. provisionales	Entrenamiento del personal	Manejo y disposición de residuos	Generación de energía	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento correctivo	Manejo y disposición de residuos	Desmontaje de paneles	Desmontaje de estructuras	Desmontaje de edif. auxiliares	Gestión de residuos sólidos	Recuperación de suelos											
Abióticos	Aire	21					19								15	16	25																			
	Agua	28	21		19	17		15	13	13	19					17			16					14												
	Presión sonora	20	15		14	13		13	13	14	13	13		13				13	13				17	16												
	Suelo	26	27	14	14	14		13	13	13	13	18		14		15			19	21	15	14		18	14											
	Residuos sólidos	15			13	13	20	19	19	13		13				13			19	19	19	19	19	19	19											
Bióticos	Ecosistemas			24	24	13										19			19					19												
	vegetación	13	27		27	13																														
	Fauna	24	20	13	13	13																														
Socioeconómicos	Sit. Eco local																																			
	Ed. Ciencia y tecnología																																			
	Aspectos sociales																																			
	Aspectos culturales	26	21	21										21																						
		<table border="1"> <tr> <td>Compatible</td> <td><= 25</td> </tr> <tr> <td>Moderado</td> <td>>25, < 50</td> </tr> <tr> <td>Severos</td> <td>>50, < 75</td> </tr> <tr> <td>Critico</td> <td>=, > 75</td> </tr> <tr> <td>Impacto Positivo</td> <td></td> </tr> </table>																									Compatible	<= 25	Moderado	>25, < 50	Severos	>50, < 75	Critico	=, > 75	Impacto Positivo	
Compatible	<= 25																																			
Moderado	>25, < 50																																			
Severos	>50, < 75																																			
Critico	=, > 75																																			
Impacto Positivo																																				

Fuente: (Pascualino, Cabrera, & Vanegas, 2014)

La identificación de las Acciones Susceptibles de Producir Impacto (ASPI) en Proyectos de energía fotovoltaica, se dividió en las etapas de construcción, operación y desmantelamiento (Pascualino, Cabrera, & Vanegas, 2014, p. 72). Como base de análisis se mantiene el estándar de proyectos similares en todo el mundo en el entendido que, el grueso de los factores de impacto son los mismos, las normas técnicas se han universalizado y el energético es de la misma calidad en todo el planeta, con características puntuales en la región. Las ASPI fueron ubicadas en una matriz de relación causa-efecto en la que se identificaron las relaciones entre las ASPI y los factores del medio, con la evaluación el método Conesa simplificado para cada tipo de impacto (Pascualino, Cabrera, & Vanegas, 2014, p. 73)

Para finalizar la aplicación metodológica se analizan los factores internos y externos que pueden llegar a ser positivos o negativos y se identifican medidas de actuación para aprovechar esos factores positivos y trabajar en aquellos que no sean positivos. En ese sentido se estructura la matriz DOFA, en la Tabla 13.

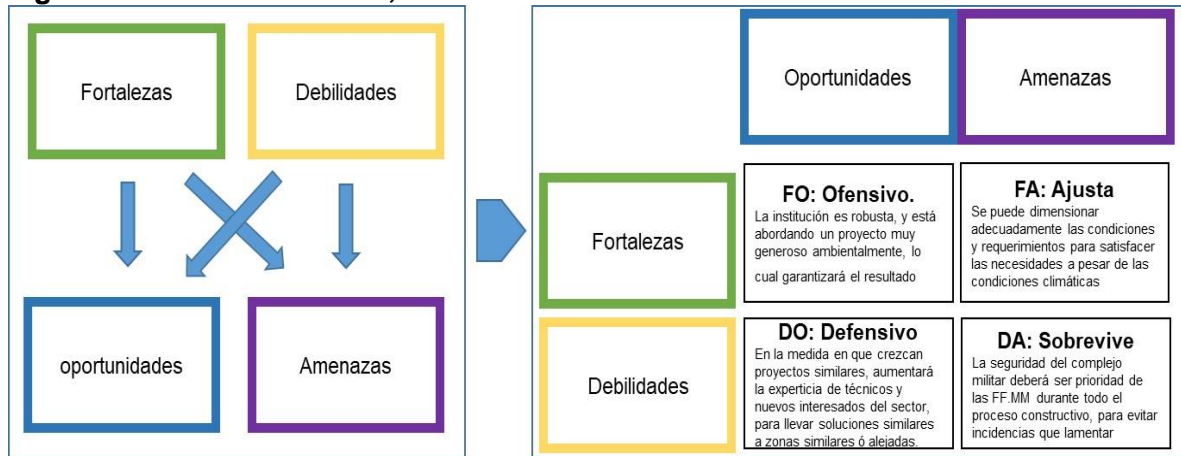
Tabla 13. Matriz DOFA Estratégica aplicada al proyecto

	Positivos Para alcanzar el objetivo	Negativos Para alcanzar el objetivo
<p>Origen Interno:</p> <p>Atributos del proyecto</p>	<p style="text-align: center;">FORTALEZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se trata de un proyecto en una institución muy robusta, una de las más sólidas del país. • Se pueden formar grupos de trabajo al interior de las FF.MM. para que apropien ese conocimiento como un activo más, para el mantenimiento de este proyecto y desarrollo de otros similares en el futuro. • Tiene personal altamente calificado en todos los frentes del conocimiento y la tecnología, de manera que el talento humano para atender soluciones de esta naturaleza es adecuado. • Se trata de un proyecto corporativo que, el mercado no debilitará en fases de aprendizaje, 	<p style="text-align: center;">DEBILIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Requiere de una importante extensión de área para su instalación debido a la cantidad de paneles solares a instalar en la planta SFV. • Se trata de un campo energético relativamente nuevo en el país, aunque de muchos años de recorrido en el mundo, no se cuenta con gran experticia. • La seguridad de las instalaciones durante los procesos de construcción, de debe fortalecer, evitando ataques en sus vulnerabilidades, con muchas personas entrando masivamente. • Requiere mano de obra calificada para la instalación, operación y mantenimiento, que hoy no se tiene.
<p>Origen Externo:</p> <p>Atributos del Ambiente</p>	<p style="text-align: center;">OPORTUNIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> • La fuente de energía del proyecto es inagotable, por su naturaleza, de manera que nunca habrá desabastecimiento • El presente escenario no requiere de mayor logística, material y personal para su implementación, puesto que su conformación aprovecha las instalaciones existentes. • Solución de generación de energía eléctrica a las zonas no interconectadas por medio de fuentes renovables. • Minimización del impacto ambiental debido a una menor generación eléctrica por medio de fuentes convencionales. • No habrá incrementos en los costos de adquisición del energético, por sus características de gratuidad. • Desarrollo de tecnologías innovadoras con bajo nivel de infraestructura. 	<p style="text-align: center;">AMENAZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los costos iniciales, la inversión es elevada y los tiempos de retorno son lentos dado que se compensan en el consumo de energía. • A pesar de los cálculos meteorológicos Se depende en mayor medida de las condiciones climatológicas de la región debido al aumento del porcentaje de participación de los sistemas de generación con fuentes renovables. • Durante el proceso constructivo, pueden generarse eventos de orden público que atenten contra las instalaciones, aprovechando la cantidad de foráneos que harán ingreso rutinario. • Incertidumbre en las condiciones climatológicas que inciden sobre la producción de energía, a pesar de los estudios que los organismos especializados emiten sobre el particular. • Proyectos de esta naturaleza, son susceptibles de presentar accidentes de trabajo.

Fuente: Elaboración propia

Una vez identificados los aspectos correspondientes a cada cuadrante de la matriz, se procede a hacer un análisis cruzado, de allí saldrá la formulación de medidas estratégicas para fortalecer el proyecto. El ejercicio se hace como se indica en la Figura 23.

Figura 23. Análisis cruzado, matriz DOFA



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se procedió con la identificación de los elementos relevantes para la formulación de los resultados, los objetivos y el plan de acción, de manera estructurada. En la Tabla 14, se encuentran los resultados del ejercicio realizado.

Tabla 14. DOFA aplicada en el plan estratégico

Delineación del plan estratégico		
Elemento	Pregunta / Indicación	Definición del elemento
Visión del proyecto	A donde llegar en el proyecto	Ejecución del proyecto en las condiciones de modo, tiempo y calidad de conformidad con el cronograma elaborado, sin retrasos significativos. En todo caso, deberá estar concluido a más tardar en julio de 2024.
Misión	Cómo alcanzarlo	El proyecto deberá contar con una gerencia rigurosa y ceñida a las herramientas propuestas en el capítulo 8, tendientes a controlar las actividades de manera que el sistema solar fotovoltaico se lleve a término cumpliendo con los parámetros ambientales, técnicos y de suficiencia que los grupos de interés esperan.
Políticas	¿Cómo abordará las oportunidades, según tendencias?	El Departamento Nacional de planeación (DPN), está ofreciendo apoyo técnico y reglamentario en proyectos de esta naturaleza y, en general las directrices energéticas recientes están rodeando los proyectos de energías limpias como el que se trata en este documento. De manera que deberá alinearse el contexto de políticas en cabeza de la dirección de proyecto para aprovechar las herramientas que están disponibles en la regulación y organismos como la UPME y el DPN.

Delineación del plan estratégico		
Elemento	Pregunta / Indicación	Definición del elemento
Resultados DOFA	Resultado de la Matriz DOFA.	<ul style="list-style-type: none"> • Institución robusta, lo cual es garantía del éxito del proyecto. • Grupo humano dentro de las FF.MM con buena formación técnica y profesional. • Se trata de un proyecto de alto impacto ambiental y social, que además contribuirá en la disminución de emisión de gases de efecto invernadero. • La fase de aprovechamiento del proyecto está garantizada debido a la calidad y acceso al energético inagotable. • A pesar de ser un proyecto innovador, la demanda en términos de desarrollo tecnológico no es tan elevado ni tan costoso. • La seguridad de la base militar se presenta no solo como amenaza, también debe entenderse como una debilidad, durante todo el proceso constructivo.
Plan de acción	¿Cuáles serán las medidas que reducirán los aspectos negativos y maximizarán los positivos en el análisis hecho en el punto anterior? ¿Quién, será el responsable de cada actividad sensible? ¿Cuándo y dónde serán implementadas? ¿Qué recursos se necesitarán?	<ul style="list-style-type: none"> • Aprovechar el apoyo institucional para lograr los resultados propuestos. • Formar personal técnico interno para fortalecer ese activo intangible, que es el conocimiento para extenderlo a proyectos similares. • Deberá ponerse especial atención en la elaboración de todos los planes de actuación: de calidad; de mitigación de riesgos; de comunicaciones; de manejo de RR.HH; de adquisiciones y demás que se plantean en el capítulo 8. • Las condiciones lluviosas de la región n son las ideales cuando el proyecto esté funcionando y a tope con la demanda de luz solar. Ahí no se podrá hacer nada por evitarlo, pero en la fase constructiva, se pueden programar las obras en temporada seca preferiblemente. • Grupos dentro de las mismas FF.MM que podrán liderar etapas estratégicas del proyecto. • Accidentes laborales en este tipo de proyectos, hacen presencia si no se toman las medidas adecuadas.
Observaciones <ul style="list-style-type: none"> • Relevante es la definición de los planes de acción, pero tanto o más importante será definir los responsables de las mismas. • Los planes estratégicos encierran muchos elementos más, los cuales en ejercicio de su autonomía (del grupo directivo), quedan para que profundice sobre ellos. • Deberán, además, estos planes estratégicos involucrar todas las áreas funcionales que puedan aportar en el desarrollo del proyecto. 		

Fuente: Elaboración propia.

6.2.2 Diseño del sistema fotovoltaico.

Para la propuesta del sistema solar fotovoltaico con conexión a la red, sin respaldo de baterías y sin venta de excedentes a red, las consideraciones de tipo técnico deben desplegarse antes de cualquier otro paso en materia de decisiones o cálculos de naturaleza económica, entendiendo que otros factores relevantes están asociados a esta solución ambientalmente limpia. En este sentido la propuesta, considera el dimensionamiento de equipos, paneles, y demás elementos requeridos. Así mismo, se debe generar una lista de aspectos logísticos, de espacio físico y condiciones que acompañen todo el proceso técnico y que permitan optimizar cada uno de los componentes de la solución solar fotovoltaica, de manera que cada uno de sus componentes, dé su mayor rendimiento y se logre el aprovechamiento que el fabricante ofrece. Es también

importante, tener presente las recomendaciones técnicas de instalación, orientación e inclinación de los paneles solares para que obtenga una eficiencia apropiada.

6.3 Requerimientos técnicos

6.3.1 Estimación del consumo

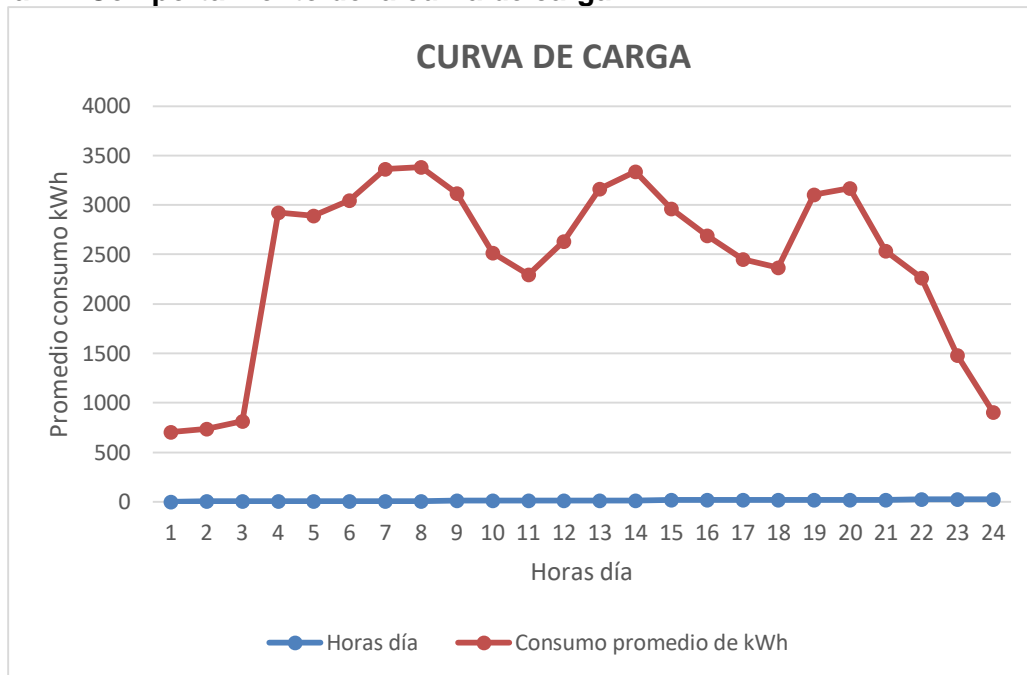
Inicialmente, para saber el consumo energético total diario, se calcula el aforo del consumo energético de todos los equipos, a partir de sus potencias unitarias por el número de horas diarias de uso, lo cual resulta muy difícil de obtener por el tamaño del complejo militar y la cantidad de ocupantes de las diferentes agrupaciones. Considerando que solo el personal itinerante es de alrededor de 10.000 personas, como se describió en el numeral 4.2 Organización, y cerca de 15,000 personas hacen uso de las diferentes instalaciones del complejo militar todo el tiempo. En consecuencia, el consumo inicialmente se calculó con el histórico de consumo eléctrico mensual de todo un año considerando los costos en pesos colombianos (COP), como se muestra en la Figura 22, de igual forma se empleó un equipo registrador de consumo de potencia por un periodo de una (1) semana en el mes de septiembre del 2.021, como se muestra en la Tabla 9, y a partir de ello, se estimó el consumo hora-diario (Whd), al igual que la curva de carga.

Información necesaria para realizar el diseño y cálculo del proyecto solar fotovoltaico del Fuerte Militar de Tolemaida, además, para comparar esos consumos y demás costos actuales con los futuros, luego de materializarse la instalación, sumado a las consideraciones de orden ambiental que son, un eje de actuación en este proyecto.

Por su parte, la curva de carga normalizada se muestra en la Figura 24 , esta curva es calculada a partir de los consumos diarios observados durante las 24 horas en el curso de una semana y la formulación empleada en el cálculo final de la curva, que se aprecia en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, allí se encuentran todos los datos calculados durante el periodo observado y se evidencia que el horario pico de consumo se da entre las 5:00 y las 9:00 pm, teniendo en cuenta que, son horas de iniciación de actividades laborales, escolares y de hogar, puesto que hay que resaltar que este es un complejo militar donde hay viviendas fiscales y familiares, colegios, oficinas, tiendas etc. De igual forma se observa que de las 13:00 a 14:00 nuevamente se dispara el pico ya que son horas donde nuevamente regresa el personal a laborar después de la hora de

almuerzo y de las 19:00 a las 20:00 horas, se evidencia el último pico y este se presume que es porque es la hora en la que las familias regresan nuevamente todos a sus hogares, empieza a oscurecer y se requiere de energía para realizar las actividades nocturnas.

Figura 24. Comportamiento de la curva de carga.



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los datos emitidos por el equipo registrador de consumo relacionado en la Tabla 9, se evidencia que el promedio de consumo día es de 58.848,96 kWh. Este dato tiene relación con la Figura 22 que muestra el histórico de consumo del fuerte militar durante un año, el cual tiene un promedio de consumo día de 62.422,30 kWh. A continuación, en Tabla 15 se muestra la formulación para la estimación de la energía diaria y horaria, promedio.

Tabla 15. Formulación para la estimación de la energía diaria y horaria, promedio.

Energía total Anual	21.479.868,70 kWh	Fórmulas de validación de información tomada en campo.
	22.472.045 kWh	Promedio histórico de consumo anual según ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.
Energía total diaria promedio	58.848,96 kWh	$Energía\ total\ diaria\ prom. = \frac{Energía\ total\ año}{365\ días}$
	62.422,30 kWh	
Energía hora promedio	2.452,04 kWh	$Energía\ hora\ prom. = \frac{Energía\ total\ diaria\ promedio}{24\ horas}$
	2.600,93 kWh	

Fuente: Elaboración propia

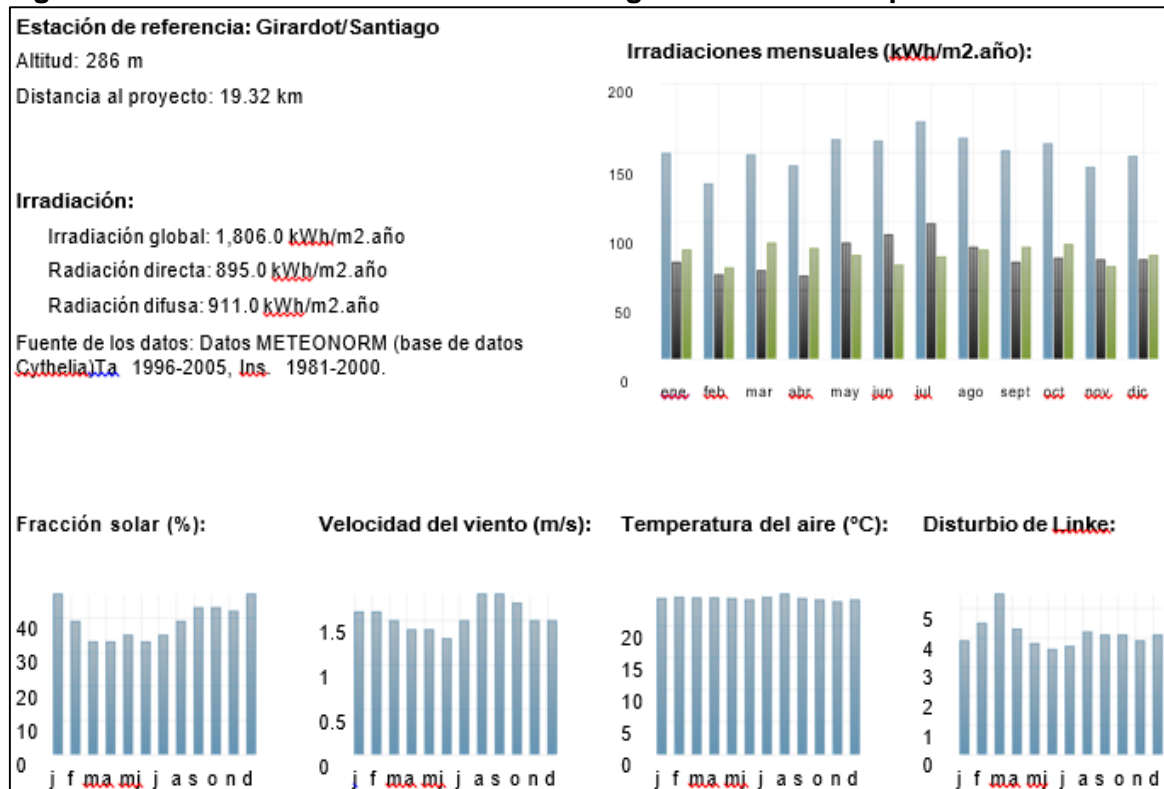
Una vez establecidos los valores de consumo (anual, diario y hora) tanto del equipo registrador de consumo (1 semana), así como, el promedio del histórico del consumo anual según la facturación del fuerte militar, se define que para la implementación del proyecto se tomarán los valores de consumo anual más altos, que para este caso son los valores evidenciados en la factura. Vale la pena aclarar que, los valores del equipo registrador están dentro del margen, teniendo en cuenta que, existen meses de mayor consumo como lo son los meses de marzo, junio y julio y la semana en la que se tomó la muestra de campo corresponde al mes de septiembre.

Cálculo de Horas de Pico Solar (HPS)

En general, se hace referencia a la Hora Solar Pico como la cantidad de energía solar que recibe un metro cuadrado de superficie. Las horas de pico solar (HPS) también se definen como “el número de horas que se disponen de una hipotética irradiación solar constante de 1000 W/m^2 sobre cada panel solar que componen la instalación fotovoltaica” (Sunfields, 2020, párr. 25). Es decir, una hora sol pico equivale a 1 kWh/m^2 o, lo que es lo mismo, 3.6 MJ/m^2 . Se trata de otro aspecto relevante a determinar, que se estima a partir de la localización geográfica del proyecto.

El dato de horas pico solar, se puede construir a partir de la información de la Figura 25, con los datos de los promedios mensuales de irradiación global media en el obtenidos en el aeropuerto Santiago Villa en la ciudad de Girardot. Aeropuerto cercano a la base militar de Tolemaida, cuyas condiciones climáticas son similares al sitio de ubicación de la base militar, con condiciones similares meteorológicas generales, localizado por debajo de los 1,000 msnm. A partir de esta información se calcula las horas pico solar, dividiendo el valor de la irradiación incidente entre el valor de la potencia de irradiancia en condiciones estándar de medida (STC), es bajo esas condiciones donde se cumplen las características eléctricas óptimas de los módulos fotovoltaicos. Los datos generales se pueden apreciar en la misma gráfica.

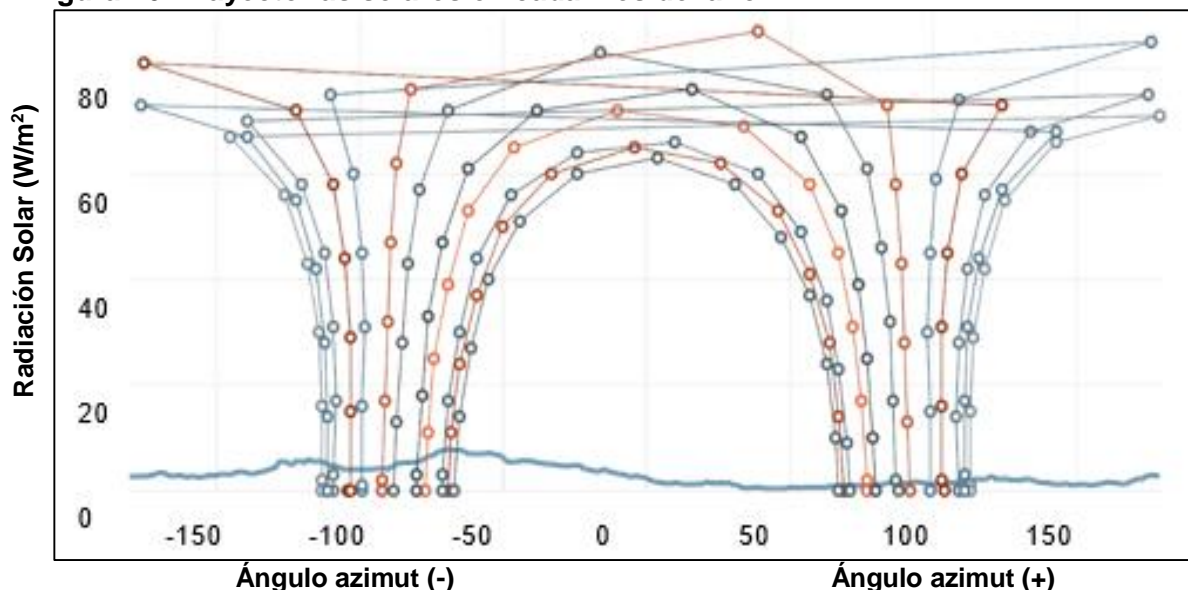
Figura 25. Promedio mensual de irradiación global media en superficie.



Fuente: (Meteonorm, 2022)

Por su parte, las trayectorias de las proyecciones solares que se registran mes a mes se muestran en la Figura 26, evidenciando que cada mes la irradiancia es diferente. Además, la gráfica muestra el perfil de obstáculos lejanos que pueden influir en el mismo nivel de irradiancia de la región. Esta figura permite evidenciar como el sitio de implantación del proyecto cuenta con características geográficas óptimas, ya que, los ángulos de irradiación permiten una constante sobre el área del proyecto, así mismo, se evidencia que no hay presencia de obstáculos que afecten la implementación del proyecto en esta zona.

Figura 26. Trayectorias solares en cada mes del año



Fuente: (Meteonorm, 2022)

El perfil de obstáculos lejanos se calcula a partir de los datos que el simulador “**Archielos.Pro**” estima con información previamente obtenida de la página de la NASA, así:

Horizontal sin perfil de obstáculos: Global 1.803.4 kWh/m².año

Radiación directa: 893.2 kWh/m².año.

Difuso: 910.3 kWh/m².año

Horizontal con perfil de obstáculos: Global 1.778.3 kWh/m².año

Radiación directa: 892.9 kWh/m².año.

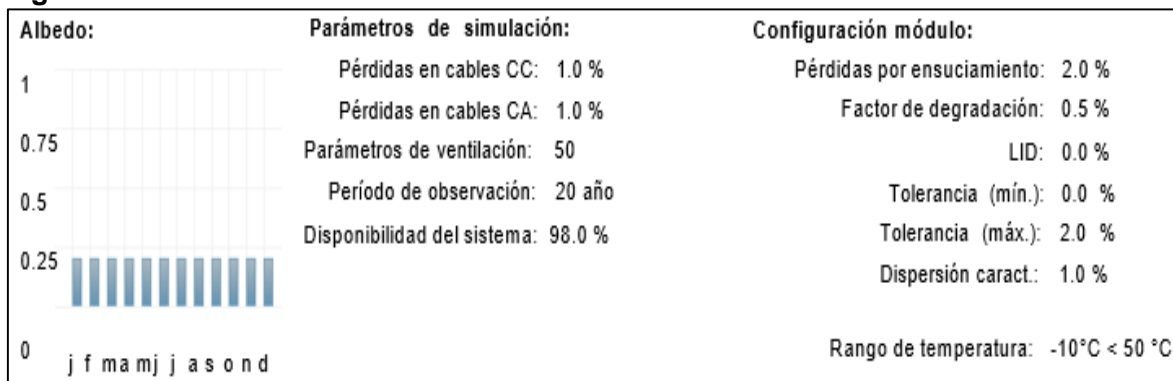
Difuso: 885.4 kWh/m².año

A partir de las condiciones antes mencionadas, se empleó el simulador Archielos Pro Platinum, el cual es un programa profesional para el diseño, cálculo y simulación de plantas solares sin límite de potencia. El cual permite acceder a bases de datos meteorológicas y georreferenciación y una amplia variedad de componentes fotovoltaicos, permitiendo disponer de un proyecto riguroso, menos costoso y más ajustado a las condiciones de producción.

Así las cosas, los parámetros tenidos en cuenta en la simulación para obtener los valores de producción de energía que se ajusten a las condiciones de terreno y que presenten la menor desviación posible comparada con la producción real, se presentan a continuación

en la Figura 27. Este cálculo se obtiene también, de la información del simulador Archielos.Pro.

Figura 27. Parámetros de simulación.



Fuente. Elaboración propia, información de *archielo.Pro*

6.3.2 Determinación de la potencia pico del sistema

El dimensionamiento de la potencia total del sistema solar fotovoltaico depende de la producción de energía esperada. Para ello hay que considerar el consumo actual de la carga que se desea alimentar. El consumo total del complejo militar se calculó a partir de los datos obtenidos de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y la Tabla 15 y del histórico del consumo eléctrico mensual de todo un año, como se indicó en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** En este sentido, se determinó el valor de **22.472.045 kWh** para la energía consumida al año en total.

Para alimentar todo el complejo con energía solar sería necesario tener una planta de generación fotovoltaica con una potencia instalada en módulos de 15,8 MWp, lo que significaría un total aproximado de **39.500 módulos**. Esta cantidad requiere un espacio disponible suficiente para la instalación del parque solar de aproximadamente de 10 hectáreas, área correspondiente a cerca de 12 campos de futbol, lo cual, *además, requeriría trámite de licencia ambiental, por superar los 10 MWp*. Sin embargo, para la primera etapa de proyecto se propone, se inicie con un 40% teniendo en cuenta el terreno disponible y la inversión inicial del proyecto, teniendo en cuenta que, actualmente el Fuerte Militar de Tolemaida cuenta con un terreno aproximado de 4 hectáreas, las cuales no se emplean como laboratorios de instrucción ni presentan vegetación. Adicionalmente, las condiciones geográficas de esta área son totalmente planas lo facilitaría la implementación

del proyecto. Se considera más conveniente desarrollar el proyecto asumiendo parte del consumo actual y no su totalidad. Considerando la curva de demanda de potencia típica, y el área geográfica disponible para tal fin. Lo cual lleva a determinar un dimensionamiento que cubra alrededor **del 40% del consumo actual**. Para lo cual se debe estimar,

$$\text{Potencia Solar [kWp]} = \frac{\text{Energía deseada en generación solar} \left(\frac{\text{KWh}}{\text{año}} \right)}{\text{Producción solar específica} \left(\frac{\text{KWh}}{\text{año}} \right)}$$

$$\text{Producción solar específica (kWh/kWp/año)} = 365 \text{ días} \times \text{HSP}$$

Donde:

HSP= Hora solar pico

Para el sitio de instalación la Hora Solar Pico = 4 [kWh/m²/día], según los mapas de irradiación solar del IDEAM para la zona de Girardot, según Figura 17. Por lo tanto:

$$\text{Producción solar específica} = 365 \text{ días} * 4 [\text{kWh}/\text{m}^2/\text{día}] = 1.460 [\text{kWh}/\text{kWp}/\text{año}]$$

Si se considera la energía deseada en generación solar como el 40% del consumo actual, tendríamos un valor de 8.988.818 [kWh/año].

De esta manera tenemos que:

$$\text{Potencia solar} = \frac{8.988.818 [\text{kWh}/\text{año}]}{1.460 [\text{kWh}/\text{kWp}/\text{año}]} = 6.156,7 [\text{kWp}]$$

En consecuencia, se puede acotar el dimensionamiento a una planta fotovoltaica de 6 MWp (6000 kWp), con una configuración de: 6 x 1MWp. Con lo cual, la planta fotovoltaica estaría constituida por **15.800 módulos de 400 Wp** para una potencia instalada total de 6 MWp.

Ajustando el cálculo de la Energía de generación solar, tenemos que:

$$[\text{kWh}/\text{año}] = 6.156.7 \text{ kWp} \times 1.460 [\text{kWh}/\text{kWp}/\text{año}] = 8.988.818 \text{ kWh/año}$$

Este valor puede ajustarse haciendo uso de herramientas informáticas que consideran

variables adicionales para depurar la estimación y acercarlo más a la producción real del sistema, como se desarrolla en el numeral 6.3.9 Producción. Este valor representa el 40% del consumo de energía anual, cumpliéndose el objetivo planteado.

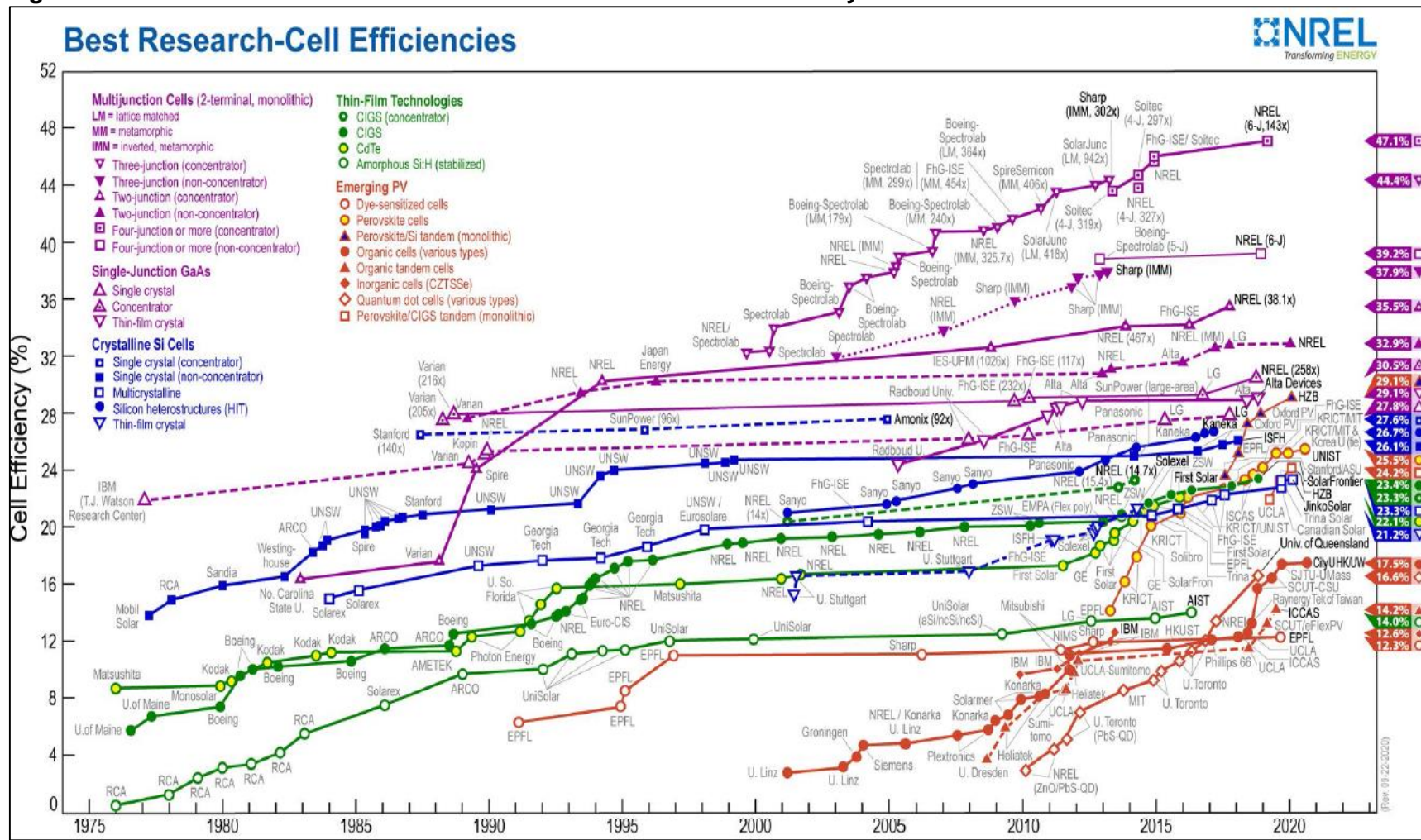
Partiendo de la base de un diseño final de 6 x 1MWp, a continuación, se desarrolla el dimensionamiento de una sección correspondiente a 1 MWp. Este dimensionamiento permite ir escalando el proyecto en varias etapas hasta seis y llegar así a la configuración final. No obstante, este no es el caso en el que se aplicará la discrecionalidad que el sistema permite, en este proyecto se desarrollará la totalidad del trabajo en una única etapa.

6.3.3 Dimensionamiento de los paneles solares fotovoltaicos

El módulo fotovoltaico es el primer elemento en cualquier sistema fotovoltaico y tiene como función principal captar la energía solar incidente y convertirla en corriente eléctrica directa (DC). El módulo fotovoltaico está formado por un conjunto de células solares asociadas entre ellas en serie y paralelo. Los módulos fotovoltaicos están contruidos basados en materiales semiconductores, principalmente silicio, capaces de transformar parte de la energía solar incidente por el sol en energía eléctrica. El principio de funcionamiento viene descrito por el efecto fotovoltaico, que se define como la liberación de electrones de valencia del material semiconductor, ligados débilmente al núcleo de los átomos, al recibir la energía de los fotones procedentes de la radiación solar que incide. Esto les permite a los electrones circular fácilmente por el material y producir electricidad.

Existe un aspecto técnico importante que diferencia los distintos módulos fotovoltaicos: su comportamiento frente a la temperatura. Cuando se especifica que un módulo fotovoltaico es de 400 Wp, significa que bajo condiciones estándar de pruebas (*STC-Standard Test Conditions*) el módulo es capaz de generar 400 W de potencia. Las STC están definidas en las características técnicas de cada fabricante.

Figura 28. Tablas de eficiencias de células- Best Research-Cell Efficiency Chart



Fuente: (Nrel Transforming energy, 2020).

Para este proyecto, se plantea, la utilización de módulos solares fotovoltaicos de mercado. En Colombia existe una amplia gama de marcas, referencias y tecnologías, de conformidad con la oferta mundial. En la Figura 28 se muestran las principales tecnologías y la evolución de la eficiencia de cada una de ellas en el tiempo.

Particularmente, la tecnología de módulos monocristalinos presenta típicamente mayores valores de eficiencia que los módulos tipo policristalinos. En promedio, los módulos monocristalinos tienen una eficiencia de 19% al 21.5% versus 17% al 18% de los policristalinos. La ventaja de estos últimos está en función de un precio más económico. No obstante, la decisión de escoger el tipo de modulo debe involucrar no solo el precio inicial sino la capacidad del módulo de producir energía durante la vida útil del proyecto, así mismo se debe tener en cuenta las características técnicas de estos.

Tabla 16 Cuadro comparativo de módulos fotovoltaicos

Características	Policristalino	Monocristalino
Potencia pico (w)	400	400
Corriente máxima potencia (A)	1.111	1.16
Voltaje a la máxima potencia (V)	18	17.2
Voltaje de circuito abierto (V)	22.50	21.50
Corriente de corto circuito (A)	1.202	1.25
Peso (Kg)	1.9	2.2
Dimensiones (mm)	1048*2108*40	996*2015*40
Voltaje del sistema (VDC)	750	1000 V

Fuente: Elaboración propia

En relación a lo anterior, se calcula el rendimiento de un panel solar, teniendo en cuenta que se establece con la relación entre la potencia útil (P_u), es decir, la máxima potencia que puede aportar el panel teóricamente y, la potencia absorbida (P_a) que es la que recibe realmente. Esto se resume en la siguiente fórmula:

$$n = 100 \left(\frac{P_u}{G * A} \right)$$

Donde:

P_{max} es la potencia máxima del módulo

G la Radiación estándar de 1000W/m²

A el Área del módulo en metros cuadrados. A manera de ejemplo y teniendo en cuenta los valores de la tabla 16, es posible determinar que:

$$n = 100 \left(\frac{400w}{1,048m * 2,108m * \frac{1000w}{m^2}} \right) = 18,1\% \text{ modulo policristalino}$$

$$n = 100 \left(\frac{400w}{0,996m * 2,015m * \frac{1000w}{m^2}} \right) = 19,93\% \text{ modulo monocristalino}$$

El rendimiento del panel monocristalino es de 19.93% y el del policristalino es de 18.11%, para una potencia de 400w.

Para el proyecto, se seleccionó una de las marcas presentes en el mercado nacional (JA Solar), teniendo en cuenta el respaldo que tiene, así mismo, vale la pena mencionar que esta marca se encuentra dentro de las 10 mejores marcas de paneles solares en 2022, en donde se evalúan criterios básicos, como, potencia nominal, eficiencia, tecnología, garantías, entre otros (**Eficiency for Energy, 2022**). Basados en las características del panel solar se hizo un análisis de producción de energía comparativo, considerando las condiciones de irradiancia presentes en el sitio y la eficiencia de los dos tipos de módulos. En la **Tabla 17** se muestran los resultados del análisis comparativo:

Tabla 17. Datos comparativos módulos policristalinos vs. Monocristalinos marca JA JAM

Comparación Sistema fotovoltaico considerando un sistema de 10 kWp (29 módulos x Wp)	Potencia pico (kWp)	Producción media CA (kWh)	Coefficiente de rendimiento
Usando módulos fotovoltaicos Mono Cristalinos JA JAM 60S10 345 W	10	14.090	78.4
Utilizando módulos fotovoltaicos Policristalinos JA JAP72S09 345 W	10	13.400	74.6

Fuente: Elaboración propia.

Con base en el análisis del ejemplo anterior, los módulos monocristalinos arrojan un 5,15% más de producción de energía durante el año, cifra relevante teniendo en cuenta la vida útil del proyecto (20 a 25 años). Este incremento de generación justifica la mayor inversión inicial y la utilización de la tecnología de módulos monocristalinos.

Con base en los criterios técnico-económicos mencionados, se propone para el proyecto la utilización de módulos monocristalinos JA Solar, o de características similares. El módulo propuesto es el modelo JAM72S10-400/MR/1500V o en su defecto, de un fabricante y modelo de calidad similar. A continuación, se detallan las características del módulo de acuerdo con su ficha técnica, que se muestra en la Tabla 18 y que corresponde a la Referencia Modelo O JA Solar - JAM72S10-400-MR 1500V, (*Potencia Nominal de generador - P_{stc} (W) 400*). Vale la pena mencionar que el cálculo de este proyecto se realizó con módulos de las características anteriores. Lo anterior, teniendo en cuenta la disponibilidad del momento en el mercado Nacional, sin embargo, es importante mencionar que en el mercado se encuentran módulos con capacidades superiores al anterior.

Tabla 18. Ficha técnica de los módulos monocristalinos

Tipo	singlecrystalline (sc-Si)
N.º total de células	144
Longitud (mm)	2015
Anchura (mm)	996
V _{co} (V)	49.58
V _{mpp} (V)	41.33
I _{sc} (A)	10.33
I _{mpp} (A)	9.68
NOCT (°C)	45
Coef. potencia (%/°C)	-0.35
Coef. corriente (%/°C)	0.044
Coef. Voltaje (%/°C)	-0.272

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, la característica del sistema de paneles solares seleccionado en el proyecto propuesto se realizó de acuerdo a la ficha técnica del mismos, como se evidencia a continuación:

- Potencia nominal de 400 Wp. Los módulos fotovoltaicos tendrán una potencia nominal de 400 Wp.
- 144 células. Los módulos fotovoltaicos serán del tipo 144 (6 x 24) células partida y unas dimensiones aproximadas de 2015 x 996 x 40 mm.
- Tolerancia positiva 0/+ 5W.

- Garantía de rendimiento linear. Mínimo 97.5% de la potencia máxima inicial, un 91.2% después de 10 años y al menos 84.2% de la potencia nominal después de 20 años.
- Compatibilidad con sistemas de CC de 1500 V.
- Eficiencia del módulo en condiciones STC. Más del 19.7% de eficiencia para el módulo.
- Fill factor, cuyo coeficiente es de 0.79.
- Temperatura. Los módulos fotovoltaicos funcionan a temperaturas extremas (de -40°C a +85°C)
- Humedad. Los módulos fotovoltaicos operan correctamente entre el 15% y el 95% de humedad.
- Porcentaje de pérdida de potencia. No supera el 0.35% por grado Celsius (°C) en STC.
- El diseño de la célula fotovoltaica y la calidad del módulo están certificados internacionalmente mediante un partido reconocido, de acuerdo con las normas IEC relevantes:
 - ✓ ISO 9001: 2008: Diseño, producción y venta de obleas de silicio cristalino, células y módulos fotovoltaicos.
 - ✓ IEC 61215: 2005: Calificación de diseño y aprobación del tipo de los módulos fotovoltaicos (FV) terrestres de silicio cristalino.
 - ✓ EN 61730-1, 61730-2: Parte 2: requisitos para las pruebas.
 - ✓ Conformidad CE con los requisitos de conformidad europeos.
 - ✓ IEC 61730 PV Calificación de seguridad de los módulos.
 - ✓ IEC 60904 Datos de prueba (flash) del módulo.
 - ✓ IEC 61724:2002 Monitorización del rendimiento del sistema fotovoltaico - Directrices para mediciones, intercambio de datos y análisis.
 - ✓ ISO 14001 Sistema de Gestión Ambiental.
 - ✓ EN 50380 Hoja de datos e información de la placa de identificación para módulos fotovoltaicos.

El tipo de panel es el que se muestra en la Figura 29, y que tiene las siguientes especificaciones:

Figura 29. Módulo monocristalino, tipo JA Solar - JAM72S10-400-MR



Fuente: Elaboración propia.

6.3.4 Inversores

El inversor fotovoltaico es el equipo electrónico que permite suministrar la potencia generada por los módulos fotovoltaicos a la red del operador (Rocha, 2022, párr. 2). La función principal del inversor es convertir la corriente continua (DC) producida por el generador fotovoltaico en corriente alterna (AC), con unas características establecidas por la red, para este caso particular 208/120VAC de valor eficaz de tensión y una frecuencia de 60 Hz.

El inversor incorpora todos los equipos necesarios para adecuar la energía producida por los módulos fotovoltaicos e incluye el cableado interno. Algunos modelos incluyen protecciones internas y sistemas de monitoreo integrados que permiten la visualización vía Web de los principales parámetros del sistema y especialmente la energía generada por el sistema. Si bien la potencia instalada del sistema [Wp] determina el dimensionamiento del inversor, es importante considerar la disponibilidad comercial de los equipos y la red de soporte técnico en caso de contingencia, ya que la indisponibilidad del inversor compromete la producción de energía y con ello la rentabilidad del proyecto. Así las cosas, los cálculos del proyecto se elaboraron con inversores de 1 MWp como se muestra en el *“Anexo B. Distribución de módulos, cadenas y MMPT”*

La determinación del inversor debe obedecer criterios de eficiencia y costos. Inversores de mayor capacidad como los inversores tipo central trifásico, con una potencia de hasta 3000 kVA permiten una planificación más eficiente de la planta y una reducción de los costes específicos en centrales fotovoltaicas de gran tamaño. Son ideales para trabajo en temperaturas extremas y poseen una larga vida útil (25 años) aproximadamente. No

obstante, son más costosos y en caso de falla, impactan en mayor grado la disponibilidad del sistema. La alternativa a este tipo de inversores es el inversor tipo “string”, con potencias pico menores, pero con mayores niveles de eficiencia y menores costos por unidad. No obstante, a menor potencia pico por equipo el número de equipos para suministrar la potencia requerida aumenta y esto debe ser considerado en el análisis, para determinar la elección óptima para la instalación. Para este tipo de inversores, la oferta local es amplia en marcas y referencias. En la Figura 30, se muestra un ejemplo de los tipos de inversores de referencias populares encontradas en el mercado local colombiano.

Figura 30. Tipos diferentes de Inversores



Fuente: elaboración propia.

6.3.5 Dimensionado del inversor

Para el dimensionamiento del inversor, se debe tener presente que existe la posibilidad de escalamiento en etapas de la misma potencia que finalmente permita llegar hasta 6 MWp. El proyecto actual no es un ejemplo de ello, pero, a efectos del dimensionamiento para un sistema de **1 MWp**, se desarrolla el cálculo a continuación y se multiplicará por seis (6). A continuación, se mencionan algunos de parámetros técnicos considerados en el diseño del proyecto:

Tensión máxima del sistema: 1.000 V.

Coeficiente Potencia del inversor / Potencia pico: 75 % < 120 %

Factor de potencia: 1.0

Como regla general, dado que los inversores poseen diferentes niveles de potencia se asume que la relación entre la potencia del generador fotovoltaico y la potencia de los inversores está dentro del siguiente rango:

$$0,7 \times P_{fv} < P_{inv} < 1,2 \times P_{fv};$$

Donde P_{fv} es la potencia del sistema fotovoltaico. En este caso $P_{fv} = 1 \text{ MW}$.

P_{inv} es la potencia en inversores. En este caso P_{inv} debe estar en el siguiente rango:

$$0,7 \times 1 \text{ MWp} < P_{inv} < 1.2 \times 1 \text{ MWp}, \quad 0.7 \text{ MWp} < P_{inv} < 1.2 \text{ MWp}$$

Como criterio general, se recomienda escoger un inversor con una potencia entre un 10% a un 20% menor a la del sistema fotovoltaico: $P_{inv} < P_{fv}$, dado que la eficiencia de los inversores es relativamente baja cuando trabajan a potencias inferiores al 10% de la potencia nominal. Adicionalmente la potencia nominal de los sistemas fotovoltaicos se estima con base en condiciones de irradiancia ideales de 1.000 W/m^2 , que no se logran en la práctica por diversos factores como sombreado, nubosidad, altas temperaturas en los módulos, entre otros. Dado lo anterior, la potencia operacional de los sistemas fotovoltaicos está, en el orden del 80% de la potencia nominal, con lo cual se calcula el número y potencia de los inversores:

$$\text{Número total de inversores} = \text{Potencia total Sistema Fotovoltaico} / \text{Potencia del inversor}$$

$$\text{Número total de inversores} = 1000 / 110 = 9 \text{ inversores.}$$

Se recomienda por parte de los fabricantes que los inversores estén dimensionados teniendo en cuenta el rango de coeficiente potencia (inversor/módulos), por lo general entre 70 a 110%. Aplicando un rango de un 80% se tiene que para una potencia instalada de 1 MWp el número óptimo es de **8 inversores**.

Para esta propuesta, se hace uso de un inversor tipo “string” marca *HUAWEI*, referencia *SUN2000 100 KTL M1 de 480 V*, potencia nominal del generador 100.000 W, el cual se aprecia sus principales características en la Tabla 19.

Tabla 19. Características del inversor recomendado

Pmax CA (W)	110.00	Vmín (V)	200	Rend. Máx.	98
Imáx (A)	260	Vmax	1.0	Rend. Euro.	98
Número de entradas	20	Vmáx (V)	1.100	Tipo de protección	IP66

Fuente: Elaboración propia

Las principales especificaciones del inversor son:

- Potencia nominal de 100 kW. Potencia máxima de 110kVA. Sus dimensiones son 1035 x 700 x 365 mm y su peso es de 90 kg.
- Voltaje de entrada en CC hasta 1100 Vdc.
- Voltaje de salida de CA a 480 Vac.
- Entradas. 10 MPPT con un rango de voltaje de operación entre 200 V y 1000 V.
- Máxima eficiencia del 98.8%. Su eficiencia europea es del 98.6%.
- Temperatura. El inversor trabaja en un rango de temperatura entre -25°C y 60°C.
- Grado de protección: IP65.
- Comunicación. Indicadores LED y servidor web compatible con dispositivos móviles. Comunicación USB, RS485 y línea eléctrica.

El inversor satisface plenamente los estándares correspondientes de alto nivel:

- Certificado: UL 1741 (IEE 1547-2003), EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, EN 50530, IEC 62116, IEC 62910, IEC 60068, IEC 61683, EN 61000-6-1/-2/-3, EN 61000-3-11/-12.
- Código de red: IEEE 1547, IEEE 1547a, IEC 61727, UTE C 15-712-1, CLC/TS 50549-1, CEI 0-16/21, C10/11, RD 1699, PO 12.9.

8.5.1.1 Dimensionado de la tensión del Inversor. Al igual que la potencia, la tensión y la corriente del generador fotovoltaico deben ser adaptadas al inversor. Cada inversor tiene una tensión máxima permisible (*V_{inv máxima}*) que causara un apagado por protección del inversor si es excedido. Si se asume que la temperatura del módulo es -10°C, entonces el máximo número de módulos por cadena se obtiene de la siguiente formula:

Máximo número de módulos por cadena:

$$\text{número max} = \frac{V_{inv_max}}{V_{ocm} (-10^{\circ}\text{C})}$$

donde:

V_{inv_max} : Voltaje máximo permisible en el inversor.

V_{ocm} : Tensión o voltaje del circuito abierto del módulo fotovoltaico

Para el módulo JA JAM72S10-400-MR 1500V, el valor de *V_{ocm}* es de 49,58 a condiciones estándar STC.

Para hacer el ajuste a (-10°C) se utiliza el coeficiente de temperatura de V_{ocm} , que es de -0,272%/°C. Por lo tanto, el valor de V_{ocm} (-10°C) es de 54,3 V. Particularmente, para la referencia del inversor Huawei SUN2000-100KTL-M1 480V el valor de V_{inv_max} es de 1.100 V

Por lo tanto:

$$\text{número máximo de módulos por cadena } (n_{max}) = \frac{1.100}{54.3} = 20.3 \sim 20 \text{ módulos}$$

Mínimo número de módulos: Este valor está determinado por la región Punto de Máxima Potencia (MPP, por sus siglas en inglés) de trabajo del inversor. Como la tensión disminuye con el aumento de la temperatura, en condiciones de temperaturas de célula de aproximadamente 70°C, la tensión de máxima potencia de una fila de módulos desciende.

$$\text{número min} = \frac{V_{mpp \text{ min}}}{V_{mpp \text{ modulo } (70^{\circ}\text{C})}}$$

donde:

V_{mpp} : Voltaje a máxima potencia

A manera de ejemplo, para el módulo JA JAM72S10-400-MR 1500V, el valor de V_{mpp} es de 41,33 a condiciones estándar STC. Para hacer el ajuste a (70°C) se utiliza el coeficiente de temperatura de V_{max} , que es de -0,35%/°C.

Por lo tanto:

$$V_{mpp \text{ modulo } (70^{\circ}\text{C})} = 34.82 \text{ V}$$

Por otro lado, para el inversor Huawei SUN2000-100KTL-M1 480V el $V_{mpp \text{ min}} = 200 \text{ V}$

Por lo tanto:

$$\text{Número mínimo de módulos por cadena } [n_{min}] = \frac{200}{34.82} = 5.74 \sim 6 \text{ módulos}$$

Con base en el número máximo ($n_{max} = 20$), en el número mínimo ($n_{min} = 6$) de módulos conectados en serie y el número total de módulos (2.500), se define una distribución de 16 módulos en serie por cada cadena (string).

8.5.1.2 Dimensionado de la corriente del inversor. Una vez definidos el número de módulos conectados en serie, y comprobada teóricamente que es operativa esta configuración, se debe dimensionar el número de series o cadenas (strings) del sistema fotovoltaico. En este caso el límite lo determina la corriente máxima admisible de entrada del inversor. El número de posibles cadenas n_{string} es determinado por la máxima corriente del inversor $I_{inv_{max}}$ y la máxima corriente de la cadena $I_{string_{max}}$, aplicando la siguiente fórmula:

$$número\ string \leq \frac{I_{inv_{max}}}{I_{string_{max}}}$$

donde:

$I_{inv_{max}}$: Número de inversores máximo

$I_{string_{max}}$: Número de cadena máximo

Para el módulo JA JAM72S10-400-MR 1500V, el valor de mpp es de 9,68 A, a condiciones estándar STC. A diferencia de la tensión que varía con la temperatura, la corriente varía en mucho menor grado, por lo que se desprecia el efecto en este caso. No obstante, como precaución, ya que ocasionalmente se pueden tener en la zona niveles de irradiancia superiores a 1000 W/m², se puede asumir que el $I_{string_{max}} = 1,25 \times$ corriente del MPP así:

$$I_{string_{max}} = 1,25 \times \text{corriente del MPP}$$

$$I_{string_{max}} = 1,25 \times 9.68 \text{ A} = 12.1 \text{ A}$$

En el caso del inversor Huawei SUN2000-100KTL-M1 480V, el $I_{inv_{max}} = 26 \text{ A}$

Por lo tanto:

$$n_{string} \leq \frac{I_{inv_{max}}}{I_{string_{max}}}$$

$$n_{string} \leq \frac{26}{12.1} = 2.15$$

Hoy en día existen múltiples herramientas de simulación desarrolladas especialmente para sistemas fotovoltaicos que consideran los límites mencionados para el número de módulos por cadena (*string*) y el máximo número de cadenas por cada MPP del inversor.

En el **ANEXO B**, se relaciona la distribución de módulos, cadenas y MPPT sugeridas para cada uno de los 8 inversores por cada sección del proyecto, tomando como ejemplo 1 MWp ya que esto sirve como guía en el momento en que el proyecto requiera ampliar su cobertura o se quiera implementar en otra unidad militar. En el **ANEXO C**, se muestra la validez que el software de **Archelios.Pro** ejecuta contra la información incorporada, la cual satisface en todos los inversores respecto de la potencia de cada inversor sobre la potencia pico (**Cociente P_{inv} / P_{pico} (%)**)

8.5.1.3 Configuración final de la propuesta. Se propone que la planta solar fotovoltaica, tenga una potencia pico total de **6 MWp** y está compuesto por **6 campos o secciones de 1 MWp** de potencia nominal, por lo que el número de módulos y paneles propuesto es el que se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20. Configuración final del sistema

Campo	1	2	3	4	5	6	TOTAL
Potencia [kWp]	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	6.000
Número de módulos (440 Wp)	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	15.000
Área de módulos [m ²]	5.020	5.020	5.020	5.020	5.020	5.020	30.020
Número de inversores (100 kVA)	8	8	8	8	8	8	48

Fuente: Elaboración propia

La instalación fotovoltaica sobre el suelo se instalará con una estructura fija, que tendrá una inclinación de 7° y configuración horizontal, determinadas por el simulador Archielos Pro Platinum, teniendo en cuenta la latitud, para favorecer una mayor producción de electricidad, como se muestra en la Figura 31 .

Figura 31. Instalación fotovoltaica, estructura fija



Fuente: Energía renovable (2018)

Sus principales características son las siguientes:

- Garantía. Se sugieren 10 años de garantía por parte del fabricante del sistema de montaje para las partes estructurales.
- Cálculos estáticos. Los cálculos estáticos se realizarán de acuerdo con los Eurocódigos y los estándares locales de Colombia, teniendo en cuenta las condiciones especiales del área (carga de viento y nieve, factor de importancia sísmica, etc.).
- Los diseños se realizarán de acuerdo con los siguientes estándares:
USA: UL508 ASCE 7-10, UL3703 incluido UL2703 y Europa: CE, IEC TS62727

6.3.6 Cables, conectores y etiquetado

Cable de CC para los strings. Se utilizarán cables de cobre de CC de 1x6 mm² para la conexión entre los strings y el inversor. El fabricante será Top Cable o marca de calidad similar.

El sistema de CC se debe instalar de acuerdo con los requisitos de IEC 60364 y IEC 62446 en general y IEC 60364-7-712 en particular. Todos los componentes de CC están cualificados para un funcionamiento continuo a 1,500 voltios y para la corriente máxima ante un posible fallo en CC y se seleccionan para minimizar el riesgo de fallo a tierra y cortocircuitos (ABB, 2019, p. 50).

Los cables propuestos para la implementación del proyecto, deben cumplir los siguientes requerimientos:

- Material conductor: cobre estañado trenzado flexible completamente recocido, clase 5 según EN 60228 / IEC 60228.
- Material aislante: XLPE.
- Material de la envoltura: XLPE.
- 1.8 kV de voltaje DC máximo.
- Calificado para la instalación en exterior.
- Protección impermeable.
- Resistencia a los rayos ultravioletas (UV) durante 30 años de exposición directa al sol.

- Libre de halógeno.
- Permite una temperatura ambiente máxima de 120°C y mínima de -40°C.
- Los cables serán de tipo no propagador de incendios, con emisiones reducidas de humo y gases tóxicos y corrosivos (IEC 60331 e IEC 60754).

Todos los cables de CC se instalarán a través del método apropiado con el fin de:

- No ser afectado por los rayos del sol.
- Ser soportado en su longitud de manera apropiada (conducto de cables, bandejas de malla de alambre, envoltura de corbata, y demás).
- No debe exceder el radio de curvatura del fabricante.
- Ser protegido 0.5 m en la entrada/salida al suelo a través del conducto de cable resistente a UV o tendido en lecho de arena en el caso de diámetros grandes.
- Estar protegido en el suelo a través de un conducto de PE de diámetro apropiado.
- Cualificación (adecuado para usar con 1500 VDC).
- Todos los cables antes de conectarse serán probados en términos de:
 - Control de polaridad.
 - Prueba de aislamiento del cable.
 - Prueba de voltaje de cadena.

Cable de corriente alterna (CA). Se recomienda utilizar cables de aluminio de 3x1x185 mm² CA de Top Cable o una marca similar para conectar los inversores al panel de baja tensión. El sistema de CA se diseñará, especificará y se instalará de acuerdo con los requisitos de IEC 60364. Todos los componentes de CA están calificados para un funcionamiento continuo en CA con el voltaje del sistema de 1500 V y para la máxima corriente de fallo de CA posible (solarpowerworldonline, 2019, párr. 1).

Los cables de CA propuestos para la implementación del proyecto, deben cumplir los siguientes requerimientos:

- Material: conductor de aluminio.
- Aislamiento: Aislante de caucho termoestable sin halógenos.
- Tensión CA nominal de 1.0 kV.
- 1.8 kV de voltaje CA máximo.

- Calificado para instalación exterior.
- Protección impermeable.
- Resistencia a los rayos UV durante 30 años de exposición directa al sol.
- Libre de halógeno.
- Permite una temperatura ambiente máxima de 120°C y mínima de -40°C.
- Los cables serán de tipo no propagador de incendios, con emisiones reducidas de humo y gases tóxicos y corrosivos (IEC 60331 e IEC 60754).

Todo el cableado de CA se instalará a través del método apropiado en con el fin de:

- Ser soportado en su longitud de manera apropiada (conducto de cables, bandejas de malla de alambre, envoltura de corbata, etc.).
- No debe exceder el radio de curvatura del fabricante.
- Ser protegido 0.5 m en la entrada/salida al suelo a través del conducto de cable resistente a UV o tendido en lecho de arena en el caso de diámetros grandes.
- Estar protegido en el suelo a través de un conducto de PE de diámetro apropiado.
- Los cables que conectan las cajas de conexión del generador al inversor deben colocarse bajo tierra, directamente enterrados o en conductos de PE. Se requieren cables solares de CA para esta parte del tendido del cable debido a su voltaje.
- Cualificación (adecuado para usar con 1500V CA).
- Todos los cables antes de conectarse serán probados en términos de:
 - Control de polaridad.
 - Prueba de aislamiento del cable.
 - Prueba de voltaje de string.

Conectores. Se utilizarán conectores de CC de tipo MC4 para los cables de CC. Se utilizarán abrazaderas de cobre o bimetálicas de acuerdo con el tipo de cada cable.

Señales. Todas las señales y etiquetas serán instaladas acorde a las especificaciones. También los cables serán etiquetados.

6.3.7 Protección de toma a tierra

El terreno medido debe estar por debajo de 10 ohmios en cualquier condición.

Las estaciones de inversor deben tener suficientes barras de puesta a tierra para obtener un valor de tierra inferior a 2Ω .

Todas las redes de conexión a tierra deben estar interconectadas eléctricamente, excepto las estaciones de inversores, que tendrán una red independiente con un valor de tierra inferior.

Se seguirán las siguientes normas y especificaciones:

- IEEE 80/2000 Puesta a tierra de subestaciones de CA.
- DIN VDE 0141/2000 Sistema de puesta a tierra para instalaciones especiales con tensión nominal superior a 1 KV.
- EN 60071.0:2006 y .02:1996 - Coordinación de aislamiento.
- EN 60664.01 E2:2007 Coordinación de aislamiento para equipos dentro de sistemas de baja tensión.
- EN 61557.08 E2:2007 Monitoreo de aislamiento para sistemas de IT.
- IEEE 81/1983 Medición de la resistividad de la tierra, impedancia del suelo y potencial de la superficie de la tierra.
- IEEE 81.2/1991 Medición de la impedancia en sistemas de ingestión.
- IEC 60947-4-1:2002 Celda de baja tensión: contactores y motores Staters.

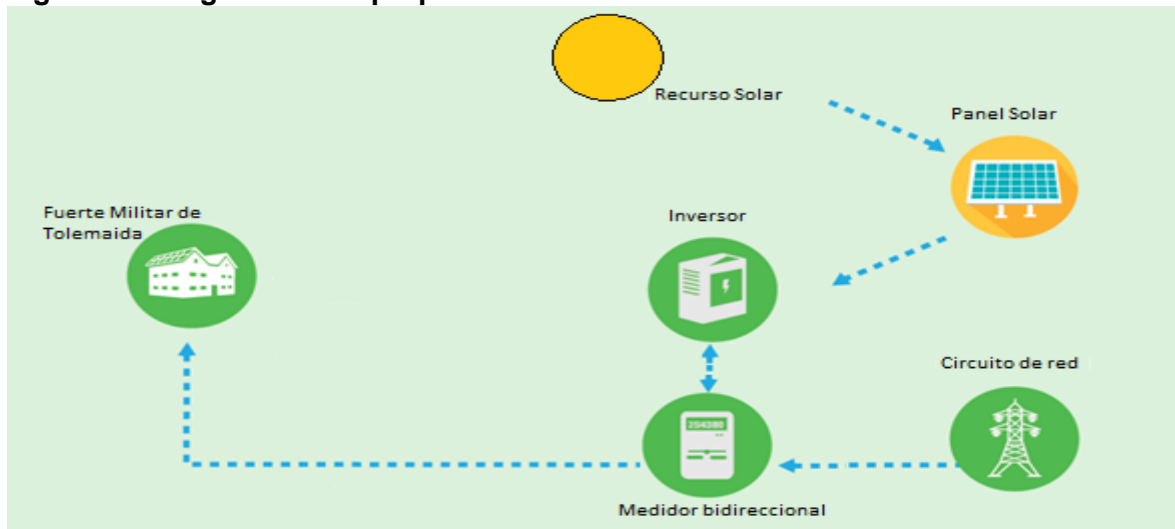
Específicamente para rayos:

- EN 50164-1/2/3 Componentes de protección contra rayos.
- EN 61643.11 y .12 Protección contra sobretensiones para potencias de BT.
- EN 61643.21 y .22 Dispositivos de protección contra sobretensiones para sistemas de telecomunicaciones y señalización.
- IEC 60099-4:2001 Descargadores de sobretensión.
-

6.3.8 Diagrama en bloques del sistema propuesto

El diagrama de bloques de la propuesta de sistema solar fotovoltaico con conexión a la red sin respaldo de baterías, se muestra en la Figura 32, donde se evidencia que el sistema de generación eléctrica para el Fuerte Militar de Tolemaida es un sistema fotovoltaico de funcionamiento mixto, puesto que al sistema eléctrico convencional se está integrando el sistema de alimentación solar fotovoltaico. Este proyecto se encuentra diseñado para que el sistema eléctrico convencional continúe suministrado el sesenta (60%) de energía para el Fuerte Militar y el cuarenta (40%) restante correspondiente a la implementación del sistema solar fotovoltaico.

Figura 32. Diagrama de la propuesta del sistema solar fotovoltaico



Fuente: Elaboración propia

Es importante mencionar que, para la interconexión entre los dos sistemas se empleó un controlador eléctrico de múltiples funciones llamado inversor, este es el encargado de la interconexión del sistema solar fotovoltaico con el sistema de energía convencional. Este cuenta con un microprocesador que es programado para que los dos sistemas trabajen de manera eficaz y se garantice el suministro necesario para su funcionamiento. Finalmente, mencionar que la instalación eléctrica del proyecto cuenta con un transformador elevador de 5,6 MVA de potencia de 0.8/6.6 kV encargado de unir eléctricamente la planta fotovoltaica con el circuito eléctrico existente. El transformador se sugiere sea instalado aguas abajo del contador eléctrico y está correctamente protegido a través de ruptofusibles, al igual que la celda de conexión correspondiente, según CNO1071.

6.3.9 Producción

El cálculo de producción de energía para una de las secciones del sistema de generación con una potencia instalada de 1 MWp, se presenta en la Tabla 21. Particularmente, la producción de energía total de la planta fotovoltaica debe considerar todas las etapas, es decir, 6 x 1MWp. Estos cálculos consideran la ubicación del sitio de instalación con sus niveles de irradiancia y el perfil de obstáculos lejanos presentados en la sección anterior y fue resultado del simulador Archelios PRO (versión: 2020.2.06).

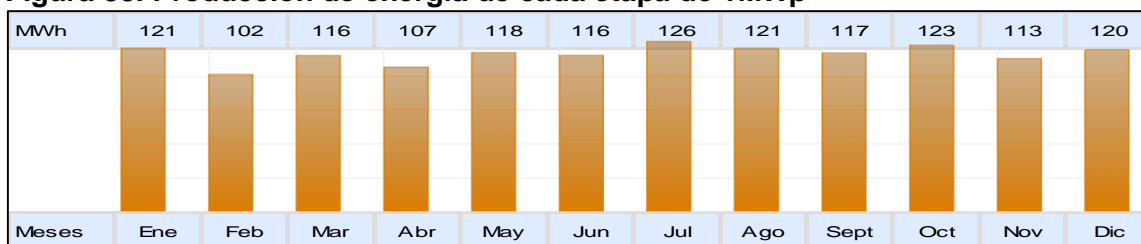
Tabla 21. Cálculo de producción de Energía

Potencia pico: 1.00 MWp		Pérdidas - Ganancias (%):	
Superficie de módulo: 5.017,4 m²		Perfil de obstáculos:	-0,89
		Perfil de obstáculos parcial:	0,00
Resultados del primer año:		IAM (reflexión):	-2,73
Producción anual (CC):	1.544 MWh	LID:	0,00
Producción anual (CA):	1.465 MWh	Ensuciamiento de los módulos:	-2,00
Producible específico CA (P50):	1.465 kWh/kWp	Temperatura:	-7,90
Producible específico CA (P90):	1.344 kWh/kWp	Factor de degradación:	-5,09
Coefficiente de rendimiento:	81,61 %	Tolerancia:	1,00
Valores medios:		Dispersión caract.:	-1,00
Producción anual (CC):	1.473 MWh	Cables de CC:	-0,56
Producción anual (CA):	1.398 MWh	Inversor:	-2,13
Producible específico CA (P50):	1.398 kWh/kWp	Clipping:	-0,04
Producible específico CA (P90):	1.283 kWh/kWp	Cables de CA:	-0,47
Coefficiente de rendimiento:	77,88 %	Indisponibilidad:	-2,00

Fuente: Elaboración propia “Archelios PRO (versión: 2020.2.06)”

Por otro parte, en la Figura 33, se muestra la producción de energía de cada etapa, para 1MWp. La estimación para 6 MWp, se debe multiplicar ese resultado por 6.

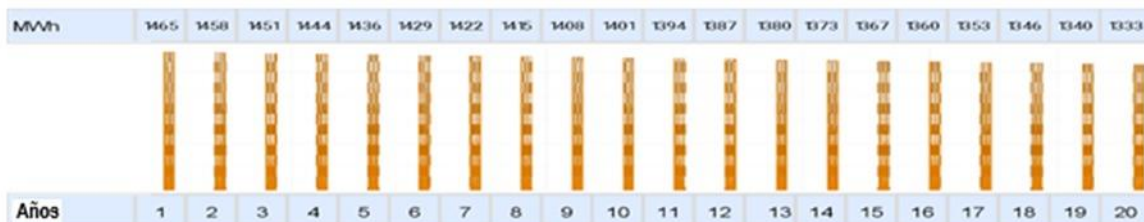
Figura 33. Producción de energía de cada etapa de 1MWp



Fuente: Elaboración propia

La producción de energía CA (corriente alterna) de cada etapa de 1MWp durante 20 años se representa en la Figura 34. La estimación considera un horizonte de 20 años, pero el cálculo y los equipos soportan fácilmente periodos superiores dependiendo del mantenimiento preventivo al que sea sometido regularmente.

Figura 34. Producción de energía CA. 20 años



Fuente: Elaboración propia

Tabla 22. Resumen radiación solar y producción de Energía

Demanda de energía actual del complejo [kWh/año]:	22.472.045 kWh
Estación usada para la radiación:	Aeropuerto Girardot / Santiago Villa
Irradiación global [kWh/m ² /año]:	1.806 kWh/m ² /año
Irradiación óptima en el sitio de instalación (con perfil de obstáculos)	1.783,3 kWh/m ² /año
Producción anual media (CC)	1.473.430 kWh/año x 6 = 8.840.580 kWh
Producción específica (CA) P50:	1.465 kWh/kWp
Producción 1er año de energía (CA) [kWh]:	1.465.174 kWh x 6 = 8.791.044 kWh
Producción anual media de energía (CA) al año [kWh]:	1.398.242 kWh x 6 = 8.389.452 kWh
Cobertura sobre la demanda actual [%]	40%
Producción media al mes [kWh]:	699.121 kWh

Fuente: Elaboración propia y simulador archelios PRO.

Particularmente, en la Tabla 22 se evidencia el resumen de radiación solar y producción de energía solar del proyecto. Donde el dato de la demanda de energía actual del complejo corresponde al consumo anual medio calculado a partir del promedio anual de facturación y curva de carga, según **Figura 24**. Así también se relacionan datos como irradiación global, óptima y otros datos de producción que fueron obtenidos del simulador “Archelios PRO (versión: 2020.2.06)”. Finalmente, en la Tabla 23 se evidencia el resumen del sistema solar fotovoltaico para el Fuerte Militar de Tolemaida. Los resultados se encuentran calculados durante el desarrollo del documento.

Tabla 23. Resumen y descripción del Sistema Proyectado

Número y tipo de módulos fotovoltaicos:	15.800 módulos x 400 Wp. Monocristalino PERC de células partidas
Potencia nominal del sistema en DC (Corriente continua):	6.000.000 Wp = 6 MWp

Área requerida para la instalación:	30.020 m ² [3 Ha]
Número y tipo de inversores a usar:	48 inversores de conexión a red (On Grid) x 110 kVA
Potencia del sistema en AC (Corriente alterna):	48 inversores de conexión a red (On Grid) x 110 kVA = 5,28 MVA

Fuente: Elaboración propia.

6.4 Viabilidad de la propuesta

Viabilidad técnica

Se propone para el complejo militar de Tolemaida en primera instancia, un sistema fotovoltaico tipo “On grid” o conectado a red. Este tipo de sistema, es ampliamente popular en Europa, Norte América y Australia. Esto se debe a las regulaciones favorables que incentivan los proyectos basados en energías renovables, la capacidad de ahorrar gastos a través del ahorro de energía y la oportunidad de vender los excedentes de red a los operadores. Para la propuesta del sistema solar fotovoltaico con conexión a la red, sin respaldo de baterías. En un sistema de conexión a red, la demanda propia es atendida con energía solar durante el día; cualquier excedente que se produzca es introducido a la red a la cual está conectada la demanda. Durante la noche, cuando el sistema de generación fotovoltaico no está produciendo electricidad, se toma energía de la red y se compra la energía al operador de la red de manera habitual. El beneficio de este tipo de instalaciones es que reducen la dependencia de las compañías eléctricas y aseguran que la electricidad que consumen ha sido producida de manera ambientalmente eficiente. Sin embargo, para este proyecto no se realizará venta de energía a la red, toda vez que el proyecto inicial contempla el suministro del 40% de energía solar y el 60% restante de la necesidad total del Fuerte Militar, seguirá siendo suministrado por las redes eléctricas convencionales. De lo anterior se puede mencionar que, el sistema solar a implementar en este proyecto no producirá excedentes de energía para la venta.

Uno de los objetivos del proyecto propuesto en esta base militar, es no sólo evidenciar las ventajas de implantar tecnologías limpias sino viabilizar su implementación en otras unidades militares en el territorio nacional. En tal sentido, la mayor rentabilidad de los proyectos ofrece un atractivo mayor en la toma de decisiones de inversión. Esto implica que, en estas primeras etapas, se recomiende la utilización de sistemas fotovoltaicos que

no requieran respaldo, ya que los sistemas de generación fotovoltaico con baterías, incrementan sustancialmente el precio de la inversión inicial. Se estima que, en proyectos con sistemas de almacenamiento, las baterías representan entre el 40% y el 50% de la inversión inicial.

Cabe resaltar que los sistemas fotovoltaicos con almacenamiento tienen muchos beneficios, cuando se requiere tener unos niveles de confiabilidad altos (bajo nivel de interrupciones en el servicio). El contar con baterías de respaldo en estas circunstancias, se convierte en una necesidad para la demanda. La energía no suministrada en estas interrupciones y los costos de producción en que incurren las fábricas o procesos productivos, constituyen un aliciente económico que mejora el flujo de caja cuando el proyecto es evaluado económicamente. No obstante, para el caso del complejo militar de Tolemaida, la demanda es atendida por redes de media tensión de dos operadores diferentes (Enel- Codensa y Enertolima), lo que significa un respaldo de red en caso de falla de alguno de los alimentadores. Adicionalmente, el complejo cuenta con unidades de generación a diésel, que se utilizan en caso de falla de la alimentación principal, para atender cargas críticas del complejo. Vale la pena mencionar que, cada una de las trece (13) unidades acantonadas en el Fuerte Militar de Tolemaida cuenta con una planta eléctrica, esto implica el aumento de costos, teniendo en cuenta que la partida fija para este servicio es de 30 Gls de combustible diésel mensuales por planta, correspondiente a un promedio de 4.600 Gls anuales.

Por lo tanto, la necesidad de mayor confiabilidad o respaldo no se identifica como una necesidad primordial.

En conclusión, para el complejo militar de Tolemaida se propone la instalación de un sistema conectado a la red, en lugar de un sistema con respaldo de baterías, centrado en las siguientes razones:

- ✓ Menor inversión inicial.
- ✓ Mejores indicadores financieros en la evaluación económica del proyecto. Como el menor tiempo de recuperación de la inversión (pay back).
- ✓ Menores costos de mantenimiento.
- ✓ Aceptables niveles de confiabilidad en el suministro.

- ✓ La producción de energía de la planta solar fotovoltaica para este proyecto no superará la demanda total requerida por el complejo militar, por lo que la energía producida será consumida en su totalidad, es decir, en el proyecto se ha concebido un sistema de autoconsumo sin venta de excedentes a la red.

Viabilidad económica

Para el proyecto fotovoltaico de Tolemaida, se consideró el modelo NREL para la estimación de los costos del proyecto, el cual incluye para proyectos similares una valoración de US\$/Wp de los principales componentes de un sistema fotovoltaico.

La estimación detallada de costos basados en dicho modelo, se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 24. Análisis económico modelo NREL

Modelo de costos del proyecto	Valor del modelo NREL	Costos [US\$/W]	Cantidad	Costo unitario [US\$]	Costo total [US\$]
Tamaño del sistema: 6 MW					
Costo global proyecto [Referencia UPME 2017]		1,45			\$8.700.000,00
Costo global proyecto [Referencia NREL 2020]		0,94			\$5.640.000,00
Costos desagregados del proyecto					
Precio módulos fotovoltaicos	US\$0.47/Wdc	0,47	15.000	188,00	\$2.820.000,00
Precio inversores	US\$0.04/Wdc	0,04	54	5288,89	\$285.600,00
Componentes estructurales (racking)	US\$0.10–US\$0.21/Wdc para un sistema de 100-MW. Varía por localización y tamaño del sistema	0,10			\$714.000,00
Componentes eléctricos (cables, bandejas, protecciones, tableros de distribución)	US\$0.09/Wdc	0,09			\$642.600,00

Sistema de control: incluye sistema SCADA, climatológico, CCTV, equipos de reserva	US\$0.02/Wdc	0,020			\$142.800,00
				Subtotal	\$4.605.000,00
Obras civiles: adecuación de terreno, construcción de la subestación, cuarto de inversores, caminos para el personal	US\$0.45/Wdc	0,045			\$270.000,00
Gastos mano de obra, almacenamiento, envío y logística (% costo equipos)	23% –69% para costos laborales		23%		\$1.059.150,00
Permisos de construcción, licencias, interconexión, pruebas y puesta en servicio con el operador de red					\$5.000,00
Conexión línea AT o MT	US\$0.00–US\$0.02/Wdc	0,01			\$35.700,00
Gastos generales como nómina, instalaciones, viajes, honorarios legales, administrativos, desarrollo comercial, finanzas y otras funciones corporativas.	2%–12%, variable de acuerdo al tamaño del sistema (100 MW usa 2%; 5 MW usa 12%)		12%		\$552.600,00
Transformador de tensión tipo Seco Cu 500 KVA 480/208V			12	\$5.676,16	\$68.113,98
Imprevistos (Contingencia)			3%		\$197.866,92
Utilidad	5%–8% Varía de acuerdo al tamaño del sistema (100 MW usa 5%; 5 MW usa 8%)		8%		\$527.645,12

Impuestos sobre utilidad		19%	\$100.252,57
Interventoría		3%	\$203.802,93
Costo total proyecto (US)			\$7.625.131,51

Fuente: Elaboración propia

El costo total del proyecto es de US/\$ 7.625.131,51 que representa un costo de 1,20 US\$/W. El rango previsto por la UPME para este tipo de proyecto plantea una referencia cercana a los 1,45 US\$/W y la referencia internacional del Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL) establece un costo de 0,94 US\$/W (2020). Por lo tanto, se considera el valor estimado del proyecto, dentro de los rangos de mercado establecidos tanto para el mercado internacional, como para la realidad nacional.

Un buen proceso licitatorio sobre estos precios base, seguramente optimizará el presupuesto hacia la referencia internacional. No obstante, para este trabajo se considera este valor para la estimación de los beneficios económicos y principales indicadores.

El proyecto tiene un beneficio de retorno de cara al análisis económico financiero, la cual arroja una TIR del **9.81%**. Adicionalmente, se evalúa el proyecto con la estimación del Valor Presente Neto (VPN), lo cual indica que es positiva la decisión de migrar hacia la conversión, así sea parcial del 40%, del sistema de energía que abastece la base militar de Tolemaida. Adicionalmente de las consideraciones económicas, se obtendrá un respaldo mutuo entre las dos fuentes de energía que permitirá soportarse mutuamente en casos de interrupción.

Tabla 25. Resumen indicador financieros

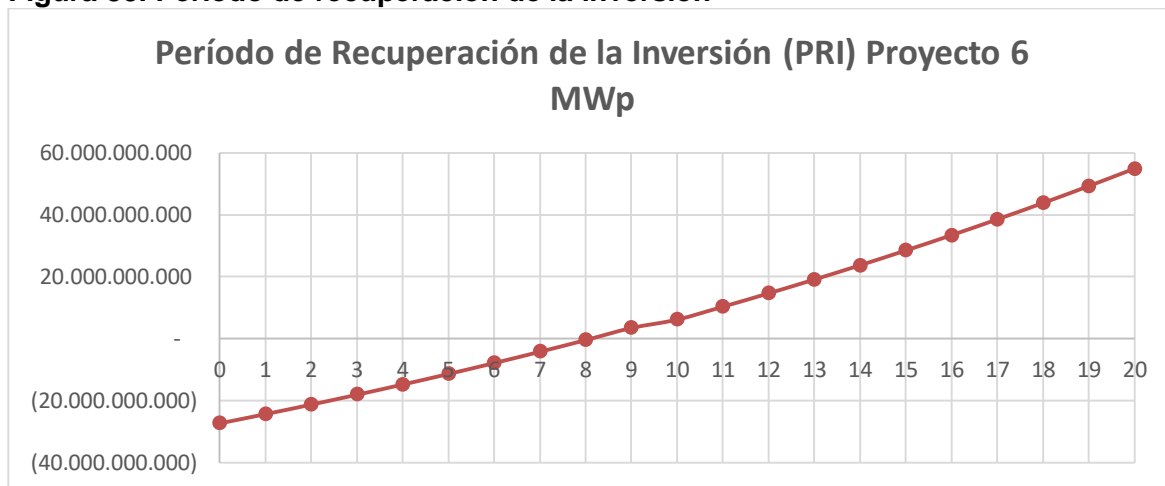
Valor total de la inversión [COP\$]:	\$ 33.550.578.662
Ahorro estimado primer año [COP\$]:	\$ 3.270.268.368
Ahorro estimado anual [COP\$ Promedio 20 años]:	\$ 4.616.597.574
Ahorro estimado mensual primer año [COP\$]:	\$ 272.522.364
Costo de operación y mantenimiento (O&M) anual:	\$ 335.505.787
Precio medio de la energía [COP\$ Promedio 20 años]:	\$ 554
Incremento anual del precio de la energía:	4%
Período de recuperación de la inversión (años):	10
Valor Presente Neto (VPN)	\$ 5.390.622.342
Tasa Interna de Retorno (TIR):	9,81%

Fuente: Elaboración propia

El valor total de la inversión en (COP\$) se estimó con una tasa de cambio (COP\$/USD) de (\$4.400).

En la Figura 35 se puede evidenciar que el periodo de recuperación de la inversión del proyecto se da a partir del décimo (10) año.

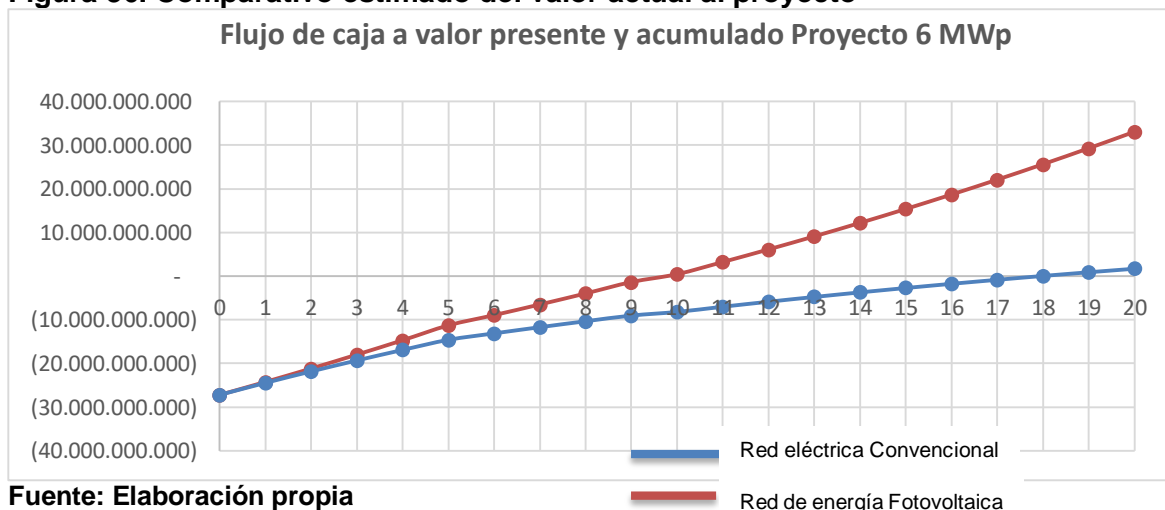
Figura 35. Periodo de recuperación de la inversión



Fuente: Elaboración propia

Así mismo, en la se observa el flujo de caja del sistema actual de red eléctrica convencional, que se refleja en la línea azul de la figura, y el comparativo de utilidad y ahorro a la implementación del proyecto como se puede notar en la línea roja de esta figura.

Figura 36. Comparativo estimado del valor actual al proyecto



Fuente: Elaboración propia

Viabilidad legal

Finalmente, con el ánimo de justificar el diseño de la capacidad del sistema propuesto del proyecto, se trae a relación la Ley 1715 de 2014, la cual le confirió a la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) la facultad de definir las normas, para la remuneración de los excedentes que generen autogeneradores de pequeña escala, que utilicen Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER), los cuales se reconocerán mediante un esquema bidireccional como créditos de energía. Caber mencionar que el límite de potencia máximo para que un autogenerador sea considerado como de pequeña escala, definido en la Resolución de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME, 2015, p. 1), es igual a 1 MW.

El Decreto 348 de 2017 expresa que el mecanismo de los excedentes de autogeneración a pequeña escala que utilicen fuentes no convencionales de energía renovable FNCER, los excedentes que entreguen a la red de distribución se reconocerán mediante un esquema de medición bidireccional, como créditos de energía (Ministerio de Minas y Energía, 2017, p. 3).

Dentro de este marco, la Resolución CREG030 de 2018 define mecanismos fáciles y sencillos para que los pequeños productores de energía eléctrica puedan vender sus excedentes al sistema. Esto aplica para los autogeneradores a pequeña escala y generadores distribuidos conectados al SIN (Sistema Interconectado Nacional), y a las conexiones de los autogeneradores a gran escala mayores a 1 MW y menores o iguales 5 MW.

Para el caso del proyecto en el Fuerte Militar de Tolemaida, dimensionado con una potencia de 6 MWp, está dentro del rango de un Autogenerador a gran escala, que corresponde a usuarios de grandes industrias y comercios con capacidad mayor a 1 MWp. Por lo tanto, no es aplicable en este caso la Resolución CREG 030 de 2018.

Mediante Resolución CREG 070 de 1998 y sus modificatorias se estableció el Reglamento de Distribución de Energía Eléctrica, como parte del Reglamento de Operación del Sistema Interconectado Nacional, y que complementa el Código de Redes.

Mediante Resolución CREG 060 de 2019 se realizaron modificaciones y adiciones transitorias al reglamento de operación para permitir la conexión y operación de plantas solares fotovoltaicas y eólicas conectadas al STN (Sistema de Transmisión Nacional) y STR (Sistema de Transmisión Regional) y se dictaron otras disposiciones. Por tanto, la Resolución CREG 060 de 2019 sería la aplicable a un proyecto con una dimensión superior a los 5 MWp como es el caso del Fuerte Militar de Tolemaida.

Dado que hay gran cantidad de agentes interesados en desarrollar y conectar al SDL (Sistema de Distribución Local) un conjunto importante de generación solar fotovoltaica y eólica de 5 MW o más, que a la fecha no cuentan con una regulación específica que les permita conocer las características técnicas que deben cumplir para conectarse de una manera segura y confiable a los sistemas de distribución, la CREG consideró que se debía ajustar el Reglamento de Distribución, de forma transitoria, en los temas relacionados con aspectos técnicos que deben cumplir las plantas solares fotovoltaicas y eólicas en el SDL. En tal sentido, actualmente (a la fecha de elaboración de esta tesis), está sometida a consideración el proyecto de resolución CREG 170 de 2020 que pretende regular los aspectos técnicos de plantas solares fotovoltaicas y eólicas en el SDL.

El objeto de dicha resolución sería adicionar transitoriamente un capítulo al Anexo General del Reglamento de Distribución, adoptado mediante la Resolución CREG 070 de 1998, en aspectos relacionados con la integración de plantas eólicas y solares fotovoltaicas (SFV) en los Sistemas de Distribución Locales (SDL) y con capacidad efectiva neta o potencia máxima declarada igual o mayor a 5 MW. Estos ajustes estarían vigentes hasta cuando la CREG expida las resoluciones definitivas que correspondan.

7 Plan de intervención

El plan de intervención corresponde a todo el despliegue de actividades previas, durante la ejecución de las obras y posteriores a las mismas. Actividades que garantizan el normal desarrollo del proyecto. Más allá de prever las actividades para que no se presente problema alguno, cualquier problema que ocurra deberá estar previsto en el despliegue de los planes actuación dependiendo de la incidencia. En ese orden de ideas, también debe contarse con la facultad que tendrán los directivos para hacer uso de su experiencia, buen juicio y consultas necesarias para conducir el desarrollo del proyecto de la mejor manera, en beneficio del proyecto.

7.1 Modelo Estratégico para la implementación

En esta sección se define la manera como deberá enfrentarse el despliegue administrativo, operativo y logístico para que los objetivos propuestos se materialicen de la mejor manera posible. En este sentido, el grupo directivo deberá analizar los entornos interno y externo para dictar y ejecutar las estrategias que permitan lograr esos objetivos, todo ello en camino de satisfacer las exigencias de todos los grupos de interés (*Stakeholders*).

Existen herramientas muy concretas para lograr la planeación estratégica y su ejecución, algunas de ellas a resaltar son:

- i) Cuadros de mando integral (Balance scorecard)
- ii) Mapas estratégicos
- iii) Análisis PEST.

La idea es utilizar no solamente una herramienta de definición y planeación estratégica, si se puede contar con las bondades que cada una de ellas puede ofrecer en el desarrollo exitoso de este proyecto.

Para el despliegue de las medidas que conducirán al logro de los objetivos, deberá transitarse por un camino o conjunto de procedimientos que aprovechen las fortalezas de los grupos de trabajo, deberá definirse una metodología que consiga sacar el mejor

provecho de los recursos disponibles, deberá ser flexible además, de manera que pueda sortear todas las contingencias e imprevistos que se presenten y especialmente, deberá poder contar con las herramientas de medición y control a partir de indicadores que sean suficientemente exigentes, alcanzables y medibles (Raffino, 2020).

7.1.1 Grupos de interés

Es preciso identificar cuáles son esos grupos a los cuales el proyecto afectará de alguna manera u otra, durante las fases de desarrollo del proyecto, o que de alguna manera participarán en el desarrollo del mismo. Los principales grupos de interés y las variables relevantes que les rodean para lograr entender sus intereses y especialmente, tener la capacidad de satisfacer sus expectativas, quedan explícitos en la Tabla 26.

Tabla 26. Matriz de involucrados- Grupos de interés - Stakeholders.

Identificación de grupo de interés	Intereses	Probables e inconvenientes	Recursos
Equipo primario de trabajo	Garantizar el cumplimiento del trabajo en tiempo, modo y calidad. Asegurar el cumplimiento del presupuesto económico	Recursos escasos. Contratiempos presentados. Asegurar el cumplimiento de la seguridad en el trabajo.	Personal con experiencia y conocimiento técnico. Formación a todos los grupos de interés. Capacidad y conocimiento técnico y financiero.
Ejército Nacional	Lograr un proyecto de gran impacto. Conseguir seguridad y estabilidad del sistema, abanderar un objetivo nacional y corporativo.	Contratiempos técnicos y climáticos. Directivos del proyecto con experiencia. Preservar la seguridad e la base en medio de una obra de gran magnitud.	Presupuesto asegurado. Informes de gestión de parte del equipo de trabajo. Flexibilidad y maniobrabilidad de cara a las contingencias.
Proveedores / contratistas	Cumplimiento de los términos del contrato. Pagos cumplidos de los entregables. Personal de confianza. Evitar sobrecostos no contemplados.	Insumos, mano de obra. Incumplimiento de sus propios proveedores. Estación lluviosa intensa. Accidentes de trabajo.	Acuerdos robustos con el estado. Recurso humano suficiente y capacitado. Inducción en temas técnicos, administrativos y de seguridad.
Residentes del fuerte militar y visitantes diversos.	Continuidad del servicio. Energético limpio de emisiones. Obra con el menor impacto posible.	Incomodidad en las operaciones. Afectación de la seguridad del fuerte militar.	Energía limpia de emisiones. Una institución muy sólida de respaldo.
Autoridades ambientales y nacionales	Proyecto exitoso para replicar. Reducción en las emisiones de CO ₂ . Compromisos ambientales.	Acceso limitado a la información.	Normativa ambiental y de ejecución de obras de este nivel. Comités de seguimiento.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez identificados los grupos de interés y sus expectativas, se debe planear todas las actividades que darán buen término el proyecto.

7.1.2 Estructura de desglose del trabajo

La estructura de desglose del trabajo (EDT) o *Work Breakdown Structure* (en inglés) es una herramienta ideal para desglosar un proyecto en piezas y manejarlo de forma estructurada y sencilla. EDT se construye de forma jerárquica para gestionarse en módulos más pequeños. La herramienta permite enfocarse en productos entregables. Sirve de guía en la gerencia del proyecto, en todas las fases de planeación, ejecución, control y mantenimiento del mismo. Figura 37, se presenta el modelo guía EDT ajustado al proyecto. Es importante señalar que el primer nivel trata del ciclo de vida del proyecto (Bautista Sanchez, 2013).

Figura 37. Estructura de desglose de trabajo

Análisis de viabilidad para la Implementación de un sistema de Generación Eléctrica usando la Energía Solar en el fuerte Militar de Tolemaida del Ejército Nacional de Colombia					
EDT nivel 1					
EDT nivel 2	1.1. Puesta en marcha	1.2. Construcción	1.3. Adquisiciones	1.4. Estudios preliminares	1.6. Gerencia de proyectos
EDT nivel 3	<ul style="list-style-type: none"> • Pruebas técnicas • Liberación de calidad • Capacitación y entrega de producto. 	1.2.1 Construc de estructuras. <ul style="list-style-type: none"> •Corte de perfilería •Soldadura y uniones •Anclaje de estructura 	1.3.1 Búsqueda de proveedores <ul style="list-style-type: none"> • Proceso licitación 	Planificación de costos <ul style="list-style-type: none"> • Estudio entorno • Estudio de campo • diseños preliminares 	1.6.1. Integración general <ul style="list-style-type: none"> • Formalización del proyecto • Identificación grupos de interés
EDT nivel 4		1.2.2 Montaje de paneles solares <ul style="list-style-type: none"> •Ensamble de paneles •Direccionamiento de paneles 	1.3.2 Contrataciones Selección de proveedor		1.6.2 Planeación del proyecto <ul style="list-style-type: none"> • Diseño EDT • Cronogramas - Actividades • Definir recursos • Aseguramiento de calidad • plan de RR.HH • Plan de riesgos • Plan de comunicaciones • Gestión de las adquisiciones
EDT nivel 5, 6, y más		1.2.3 Construcción de red. <ul style="list-style-type: none"> •tuberías y canaletas. •Cableado eléctrico •Tablero eléctrico 	1.3.3 Emisión de órdenes de compra <ul style="list-style-type: none"> • Elaboración orden de compra • Aprobación de orden de compra • notificación orden de compra 		1.6.3. Ejecución <ul style="list-style-type: none"> • Gestión de la integración • Planificar la respuesta a riesgos. • Planificar las adquisiciones. • Realizar control de cambios • Monitoreo y control • Cierre de proyecto o fase.

Fuente: Elaboración propia

Una vez identificados esas tareas, es preciso abordarlas con el cuidado que supone la diversa complejidad de cada una de ellas, si bien, demandarán más recursos, o más esfuerzos o evidenciarán más riesgos de todo orden durante el ciclo de vida del proyecto. Durante la ejecución del proyecto se debe verificar que se cumpla con los parámetros técnicos establecidos en el capítulo anterior de acuerdo al tipo de solución escogida, esta labor deberá ser adelantada por las personas que sean asignadas para tal fin por los directores del proyecto. En todo caso, no hace parte de los procesos de interventoría que paralelamente deberán operar, más bien, deberán hacer parte de las actividades materia

El cuadro de mandos deberá contener no solo una serie de indicadores estratégicos sino operativos.

Tabla 27. Cuadro de mandos: Indicadores

Alcance	Aspecto	indicador	Definición	Cálculo	Objetivo	Etapas de aplicación
Estratégico	Económico	Cumplimiento Presupuestal	Desviación del gasto VS presupuesto	$Cum_{ppto} = \frac{gasto}{Ppto} \%$	< 1%	2
Operativo	Social	Reclamos de la comunidad	Reclamos de la comunidad causados por la obra.	$N^{\circ} Recla_mes$	< 3 mensual	2
Operativo	Técnico	Caídas del sistema eléctrico	Cantidad de cortes del fluido eléctrico	$N^{\circ} cortes_mes$	> 1 ,mensual	3
Operativo	Técnico	Cumplimiento mantenimientos	Cumplir con todos los mantenimientos programados	$Cum_{mto} = \frac{eject}{Ppto} \%$	100%	3
Operativo	Técnico	Reclamos garantía por de baterías	Reclamación por defecto en baterías	$N^{\circ} Bat_reclam_año$	< 2_ año	3
Estratégico	SGSST	Accidentes leves en el personal de obra	Accidentes leves en obra, durante la ejecución del proyecto	$N^{\circ} AccidLeves_obra$	< 3 durante el proyecto	2
Estratégico	SGSST	Accidentes graves en el personal de obra	Accidentes graves en obra, durante la ejecución del proyecto	$N^{\circ} AccidGraves_obra$	0	2
Operativo	Administrativo	Cumplimiento de comités	Cumplimiento con los comités de seguimiento de obra	$Cum_{comites} = \frac{eject}{Previs} \%$	100%	2
Operativo	Técnico	Cumplimiento con obras del cronograma	Cantidad de actividades que se han afectado por retrasos	$Cum_{obra} = \frac{incumpl}{Ppto} \%$	< 2%	2
Estratégico	Técnico	Cumplimiento con el cronograma de obras	Cantidad de actividades suspendidas temporalmente	$N^{\circ} act._susp_obra$	=0	2
Estratégico	Administrativo	Cumplimiento formalización de contratos	Cumplimiento de las fechas programadas para formalizar contratos	$Cumpl.requis_contrat$	100%	1
Estratégico	Administrativo	Cumplimiento vinculación personal	Cumplimiento de las fechas programadas para formalizar contratación	$Cumpl.vincul_personal$	SI	1

Fuente: Elaboración propia

Además de los objetivos propios del proyecto, de manera directa se verán promocionados efectos de carácter social y medioambiental que pueden resumirse de la siguiente manera:

- **Salud.** El proyecto está concebido y debe alcanzar bienestar y armonía en la salud de

las personas y los ecosistemas aledaños en virtud de sus métodos de generación de energía limpia.

- **Desarrollo de proyecto innovador.** El proyecto aborda áreas de economía en expansión, que en Colombia muestran crecimiento. Este proyecto aportará en ese crecimiento innovador.
- **Energía limpia.** Está disponible en cantidades ilimitadas para ser utilizadas con el menor impacto posible, energía generosa con el medio ambiente.
- **Generación de empleos.** El desarrollo del proyecto hará que muchas familias se beneficien de trabajo adecuado y hará que las personas aprendan sobre campos de desarrollo nuevos para ellos.
- **Apuesta por el clima.** La puesta en marcha de este proyecto sostenible hará que las emisiones de gases de efecto invernadero se reduzcan, y sumará en ese esfuerzo nacional y mundial.

7.1.4 Plan de ejecución de actividades

El cronograma de actividades, debe ser elemento vital de cumplimiento de los objetivos. En ese sentido deberá hacer parte integral del cuadro de mandos, al mismo nivel de los indicadores o el control de actividades y responsabilidades. De hecho, varios de los indicadores tienen el componente de cumplimiento temporal de las actividades, explícito en la formulación de los mismos. Las actividades generales que se indican, luego deberán tener un nivel de detalle muy superior para que los grupos de trabajo lo sigan con total apego. El mismo cuadro de seguimiento de actividades, de la Figura 40, contiene la base sobre la cual las actividades deben cumplirse en fechas específicas.

De igual manera, debe planearse cómo disponer de los recursos para el reemplazo de cada una de las partes obsoletas o cumplida su vida útil, durante la vigencia del proyecto y que el mismo, no se convierta en un problema, por lo cual, el propio recurso humano de mantenimiento puede ocuparse de cierto nivel de mantenimiento que no tenga elevados niveles de complejidad en la operación. Adicionalmente, se sabe que los temas de seguridad militar ocupan un lugar importante en este tipo de intervenciones, por la cantidad de personas involucradas.

7.2 Obras para tener en cuenta

Para materializar el proyecto, debe teneres en cuenta actividades que no son de carácter técnico pero que complementan el desarrollo del proyecto. Dentro de las obras previas a la ejecución misma, debe asegurarse: localización y/o replanteo del mismo y dependiendo de su tamaño será necesario otras actividades tales como: adecuación del terreno, limpieza, descapote y nivelación del terreno. En la siguiente tabla, se detallan estas actividades mencionadas.

Tabla 28. Obras preliminares

Actividad	Descripción / Consideraciones
Localización y Replanteo.	Seleccionar la ubicación más conveniente para el proyecto, los usuarios y la comunidad. El panel solar se debe ubicar, de manera que no produzca sombras.
Adecuación del terreno.	Consiste en limpiar y despejar toda el área de rastrojo, maleza, bosque o pastos, considerar el impacto en otras actividades productivas o agrícolas.
Instalación del sistema de celdas solares.	Serán las actividades necesarias para ubicar los paneles solares fotovoltaicos en la estructura soporte y se dará la orientación e inclinación necesarias para un buen funcionamiento. La instalación eléctrica deberá cumplir con el RETIE- Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas, del Ministerio de Minas y Energía.
Excavación para soporte y ubicación	La base soporte podrá ser tipo celosía o tipo poste y tendrá las dimensiones adecuadas según el peso de paneles y los esfuerzos dinámicos del viento que va a soportar. Esta estructura podrá ser de aluminio, acero galvanizado o con tratamiento ante agentes corrosivos, su diámetro aproximado es de 4 pulgadas, según carga a soportar y una altura de 2 a 2,5 m, el suelo y profundidad de excavación debe considerarse en consecuencia.
Instalación celdas solares	El caso de estudio se encuentra en el hemisferio NORTE según coordenadas de la tabla 12 Promedio hora pico. El grado de inclinación de los paneles será la misma que la latitud, en caso de que la latitud sea inferior a diez grados se mantendrá mínimo 10 grados de inclinación para cualquiera de éstas latitudes. Por ejemplo, si la instalación está en Barrancas – La Guajira, se instalarán los paneles a una inclinación de 12° con respecto a la horizontal o si la instalación está en Armenia, la instalación se hará a 10° de inclinación y orientados hacia el sur.
Instalar cables y dispositivos de energía	Dentro de estas actividades se encuentran aquellas necesarias para conectar las celdas solares con los dispositivos que se encargaran de hacer el almacenamiento, control y entrega de la energía en la vivienda
Excavación zanja	Se hará una zanja para conectar los paneles solares con el regulador de carga. La zanja tendrá de ancho 20 cm y de profundo 25 cm. Se utilizará el mismo material excavado para acondicionar el lugar. La instalación se hará con tubos galvanizados y el diámetro será de acuerdo al RETIE, capacidad máxima de conductores por tubo. Todas las instalaciones deben cumplir con el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE y el Código Eléctrico Colombiano NTC

Actividad	Descripción / Consideraciones
para cables	2050.
Sistema de puesta a tierra	El sistema de puesta a tierra deberá instalarse de acuerdo a las especificaciones técnicas del RETIE. La estructura del generador y los marcos metálicos de los módulos estarán conectados a una toma de tierra, misma que la del resto de la instalación: el rack o gabinete de las baterías, del gabinete de protecciones, del inversor y de la estructura soporte del generador fotovoltaico, unidos a una misma pica a tierra para guardar la equipotencialidad de la instalación.

Fuente: (Departamento Nacional de Planeación, 2016).

Interventoría y supervisión del proyecto

Se debe asegurar el seguimiento técnico que sobre el cumplimiento del contrato realice una persona natural o jurídica contratada para tal fin. Además de los conceptos técnicos, deberá asegurar los aspectos en general, que enmarcan el desarrollo adecuado del proyecto: seguridad en el trabajo, tiempos de actuación, condiciones ambientales y de impacto social, para lo cual deberá asegurar la socialización que corresponda a los grupos de interés que lo requieran. De otra parte, deberá constatar que se cumpla con los estándares que los fabricantes indican sobre cada uno de los elementos del sistema:

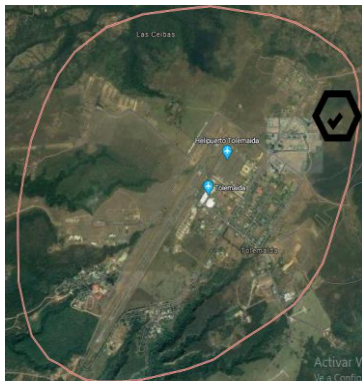
- Tensión en circuito abierto de paneles
- Tensión en circuito cerrado de paneles
- Tensión en arreglo de baterías al inicio.

En la misma línea, la correcta actuación deberá ajustarse en materia de presupuestos, supervisión, seguimiento administrativo y contable; lo cual estará en cabeza de la Dirección del proyecto. La supervisión consistirá en el seguimiento técnico, administrativo, financiero, contable, jurídico y del cumplimiento del objeto del contrato, recomendación hechas también por (Departamento Nacional de Planeación, 2016, p. 37).

Es así, como la viabilidad del proyecto en términos técnicos se puede desarrollar satisfactoriamente. De otra parte, el desarrollo económico y la identificación de los elementos que hacen posible el proyecto, se detallan en los siguientes numerales. La ubicación para adelantar la instalación del proyecto está sugerida en la Figura 39, ocupando cerca de 30.020 m² (3 Ha), en la zona nororiental para evitar elementos como:

i) las pistas de aterrizaje; ii) zona de abundantes árboles para evitar deforestarlos; iii) los campos de tiro y iv) zonas cercanas a los cerros.

Figura 39. Ubicación georreferenciada del proyecto



Coordenadas geográficas	Latitud: 4,258465 Longitud: -74,628479
Altitud:	480 m
Temperatura ambiente:	27,7 °C
Dirección:	Base militar Tolemaida
Ciudad / Departamento:	Nilo / Cundinamarca
País	Colombia

Fuente: Elaboración propia

8 Recomendaciones y conclusiones.

8.1 Recomendaciones

Es preciso que este proyecto no sea concebido como un esfuerzo aislado para disminuir la afectación ambiental, de manera que deberá armonizar con otras actividades en el entorno militar y social que irradian una nueva cultura de conservación de los recursos naturales, sin sacrificar el crecimiento económico y social. Cabe mencionar que el estado colombiano a través de la Dirección de Planeación Nacional está impulsando proyectos con energías limpias a lo largo y ancho del país, con incentivos tarifarios, facilidades de crédito, asesoría y acompañamiento.

El Ejército Nacional de Colombia, a partir de esta experiencia podrá beneficiar otras instalaciones militares con soluciones energéticas renovables, con la ventaja de que, aún en territorios con menos acceso a redes de distribución local, es viable su implementación. El resto es extrapolar el éxito del proyecto a nuevas instalaciones militares: Apropiar las buenas prácticas; producir energía eléctrica para el autoabastecimiento o inclusive, devolver al sistema interconectado sus excedentes, lo cual beneficiaría a las comunidades circundantes, ese modelo está contemplado en la regulación nacional.

En ausencia de recursos, tecnología o seguridad, el ejército Nacional de Colombia ha desarrollado en algunas zonas del país, proyectos para la comunidad relacionados con infraestructura. A partir de las experiencias obtenidas del proyecto “Sistema de generación eléctrica usando la energía solar en el fuerte militar de Tolemaida” pueden ser llevadas a comunidades alejadas y no solamente a instalaciones militares, sino comunidades alejadas y de escasos recursos.

La vida útil de los principales componentes de la solución propuesta en este proyecto, tienen prevista una vigencia dependiendo del componente y del fabricante, algunos de ellos se extienden hasta los veinte años inclusive. No obstante, se puede programar revisiones a la instalación de manera periódica que permita evidenciar el deterioro propio del sistema, al margen de las recomendaciones de los fabricantes. Algunos sistemas de combustión, suministro de energías fósiles y otros sistemas, prevén por norma revisiones

anuales o quinquenales, en todo caso con una frecuencia que permite prolongar la vida en buenas condiciones del sistema.

En virtud del nivel de tecnología y baja complejidad, en general del sistema, todo el programa de control y revisión posterior a la puesta en marcha lo pueden hacer los propios técnicos que hoy hacen reparaciones al sistema interno eléctrico. Instituciones como la Universidad Militar o el SENA pueden ser los canales de capacitación técnica para la formación de estos grupos de apoyo técnico.

Deberá contarse con un comité técnico y evaluador de los avances en tiempo, modo y calidad de la ejecución de la obra, que asegure las labores no solo del contratista asignado, sino de la misma firma interventora. Esa supervisión estará en cabeza de un comité multidisciplinario que las propias FF.MM. designe.

De acuerdo al presupuesto con el que cuente en el momento de la implementación del Proyecto, se recomienda contar con un sistema de adquisición de datos y control supervisado de planta (SCADA), responsable de la comunicación, adquisición de datos y monitoreo.

8.2 Conclusiones

Se ha planteado un proyecto “on grid” que permite ver una propuesta técnica, sin venta de energía a la red y sin baterías, sin embargo, se puede reducir en un 40% la dependencia de las compañías eléctricas (Enel- Codensa y Enertolima), dado que, en estas primeras etapas, se recomienda la utilización de sistemas fotovoltaicos que no requieran respaldo, ya que los sistemas de generación fotovoltaico con baterías, incrementan sustancialmente el precio de la inversión inicial. No obstante, estos dos operadores generan seguridad energética al Fuerte Militar, lo que significa un respaldo de red en caso de falla de alguno de los alimentadores. Adicionalmente, el complejo cuenta con unidades de generación a diésel, que se utilizan en caso de falla de la alimentación principal, para atender cargas críticas del complejo. Por lo tanto, la necesidad de mayor confiabilidad o respaldo no se identifica como una necesidad primordial.

El proyecto propuesto tiene como finalidad hacer la migración estratégica de la solución energética actual a un sistema de generación solar fotovoltaica en la base militar de Tolemaida. No obstante, las dimensiones necesarias para el despliegue de todos los paneles solares, requiere un área superior a la que hay disponible en la base militar actualmente, en especial, al considerar que en la base militar hay una población flotante y continua de más de 15,000 personas. De manera que el 60% de la energía deberá seguirse abasteciendo del operador de energía eléctrica actual.

El proceso de generación de energía fotovoltaica podrá coexistir con el suministro a través de los operadores locales de energía eléctrica. Por lo cual, en el desarrollo de la solución no se contempla la utilización de baterías de reserva, si bien, el sistema eléctrico servirá de respaldo a la solución planteada. Lo anterior, hace que aumente significativamente, la confiabilidad del sistema. Además, dejaría de utilizarse las plantas de respaldo diésel que hoy tienen en la base militar.

El esfuerzo por desarrollar proyectos como el planteado en este documento, impulsa la modernización de las redes eléctricas, de modo que se promueva la generación de energías limpias en el Ejército Nacional, resaltando la importancia de diversificar la canasta energética nacional para dar flexibilidad al sistema de suministro de energía, necesario frente a un futuro lleno de incertidumbres. Por otra parte, juega un papel importante en el

suministro de energía en zonas remotas y aisladas, donde las tropas carecen de un servicio confiable de energía eléctrica.

A partir de los resultados del análisis económico se concluye que es posible implementar un sistema de generación eléctrica usando energía solar fotovoltaico en el Fuerte Militar de Tolemaida. por concepto de disminuir el pago de facturas de energía, que representa un ahorro estimado anual de \$4.616.597.574 en promedio a 20 años, lo cual permitiría amortizar la inversión inicial al noveno (9) año de su instalación. Por su parte, realizar el 100% de la inversión requiere un presupuesto total de \$33.550.578.662.15. Es una cifra considerablemente alta pero que da acceso a beneficios económicos y ambientales de gran relevancia, ya que aportaría en la reducción de emisiones de CO2 cercanas a las 69.195,42 toneladas.

El desarrollo de soluciones como la que trata este estudio hace que, la institución pueda presentarse como uno más de los que contribuyen con soluciones para los problemas ambientales. Mejora su competitividad y anima otras entidades gubernamentales y no gubernamentales a desarrollar proyectos en la misma línea. También se logra aligerar la presión que tienen las distribuidoras en razón de la demanda.

En definitiva, es interesante y rentable aprovechar todo el potencial de beneficios políticos, económicos, sociales y medioambientales de la generación distribuida con energías renovables. Para ello se debe desarrollar tres pilares fundamentales simultáneamente para transitar hacia un nuevo círculo virtuoso en los sistemas energéticos aplicado en las operaciones: la implantación progresiva de las energías renovables como parte del mix energético, el desarrollo de tecnologías en esta línea, y el diseño de sistemas inteligentes de gestión de redes de energía. Un reto que está ya al alcance de la mano y que con un pequeño esfuerzo de colaboración civil y militar puede situar a Colombia a la vanguardia de los países que diseñan nuevas y audaces soluciones.

Po último, se ha de pensar en un proceso largo, de ensayos y comprobaciones, de resultados positivos y fallas eventuales, para concebir al espacio militar como un lugar de concentración solamente de energías renovables, y quizá podamos pensar en energías complementarias a las tradicionales.

Referencias

- ABB. (2019). *Plantas fotovoltaicas. Tecnología de vanguardia. Del sol a la toma corriente.* Obtenido de <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107992A2341&LanguageCode=es&DocumentPartId=&Action=Launch>
- Abogacía Española. (26 de Julio de 2016). Obtenido de <https://www.abogacia.es/actualidad/noticias/transicion-de-europa-hacia-una-economia-hipocarbonica/>
- Acosta, A. (2011). *La Crisis energética y las energías alternativas.* Bogotá: Academia Colombiana de Ciencias Económicas.
- Agencia Nacional de Hidrocarburos. (septiembre de 2020). ANH. Obtenido de <https://www.anh.gov.co/portalregionalizacion/Paginas/Historia-del-petroleo-en-Colombia.aspx>
- Aldana, L. (2015). *ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LA LEY 1715 DE 2014 EN LA VIABILIDAD DE PROYECTOS DE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA RENOVABLE EN COLOMBIA.* Bogotá: universidad de los Andes.
- Alonso, A. (2012). *La Energía como elemento esencial de desarrollo.* Madrid: Asociación de Ingenieros industriales de Madrid.
- Alonso, E. A. (2012). *Uso de energías renovables en el teatro de operaciones.* Buenos Aires. Obtenido de <http://www.cefadigital.edu.ar/bitstream/1847939/245/1/TFI%2023-2012%20ALONSO.pdf>
- Alvarez, E. (5 de Diciembre de 2017). *Computer Hoy.* Obtenido de <https://computerhoy.com/noticias/life/consumo-combustibles-fosiles-lleva-40-anos-subiendo-parar-72425>
- Ambientum. (15 de Noviembre de 2019). *ambientum.com.* Obtenido de <https://www.ambientum.com/ambientum/energia/la-energia-solar-fotovoltaica-crece-a-pasos-agigantados.asp>
- Ambientum. (19 de Abril de 2020). Obtenido de El petróleo: https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/energia/el_petroleo.asp
- Anderson, T., Hawkins, E., & Jones, P. (2016). *CO₂, the greenhouse effect and globalwarming: from the pioneering work ofArrhenius and Callendar to today'sEarth System ModelsThomas R. Andersona,* , Ed Hawkinsband Philip D. Jonesc,daNational Oceanography Centre, European Way, Southampton SO14 3ZH, UKbNCA.* Southampton: Elsevier Ltd.
- ANLA. (octubre de 2018). *Resolución 01947 de octubre de 2018.* Obtenido de http://portal.anla.gov.co/sites/default/files/res_1947_29102018_ct_5873.pdf
- Arancibia, C., Best, R., & Brown. (2010). Energía del Sol. *Revista Ciencia*, 10-17.
- Arando, M. (2019). *Grupo Bancolombia.* Obtenido de

- energia-2019/panomara-energetico-colombia
- Arango, M. C. (5 de Marzo de 2019). *Grupo Bancolombia*. Obtenido de Panorama energético de Colombia: <https://www.grupobancolombia.com/wps/portal/empresas/capital-inteligente/especiales/especial-energia-2019/panomara-energetico-colombia>
- Ariel Yepez, J. U. (20 de Abril de 2023). *América Latina y el Caribe pueden mitigar el cambio climático aprovechando su eficiencia energética*. Obtenido de Energía para el futuro: <https://blogs.iadb.org/energia/es/america-latina-y-el-caribe-pueden-mitigar-el-cambio-climatico-aprovechando-su-eficiencia-energetica/#:~:text=La%20eficiencia%20energ%C3%A9tica%20es%20especialmente,mitiga%20el%20cambio%20clim%C3%A1tico%20global>.
- Atersa. (2020). *atersa_grupo elecnor*. Obtenido de Aplicaciones de la Energía Solar Fotovoltaica: <http://www.atersa.es/es/conocenos/aplicaciones-energia-solar-fotovoltaica/>
- Autosolar. (9 de junio de 2017). *Autosolar*. Obtenido de <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/diferencias-entre-silicio-monocristalino-y-multicristalino-o-policristalino>
- Ayala, L. (27 de Noviembre de 2014). *Cambio Climático. Org*. Obtenido de <http://www.cambioclimatico.org/contenido/investigando-los-efectos-antropogenicos-del-calentamiento-global>
- Banco Mundial. (1 de Diciembre de 2017). *Banco Mundial-Energía Geotérmica*. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/results/2017/12/01/geothermal>
- Banco Mundial. (23 de noviembre de 2017). *La energía que necesita la América Latina del futuro*. Obtenido de Banco Mundial: <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2017/11/23/energias-renovables-america-latina-futuro>
- Barrero, A. F. (14 de Noviembre de 2019). *Energías renovables*. Obtenido de <https://www.energias-renovables.com/panorama/el-ultimo-informe-de-la-agencia-internacional-20191114>
- Bautista Sanchez, S. C. (15 de Abril de 2013). *Escuela de Organización Industrial*. Obtenido de Estructura de Desglose del Trabajo - EDT: <https://www.eoi.es/blogs/madeon/2013/04/15/estructura-del-desglose-de-trabajo-edt/>
- Bloomberg. (12 de Febrero de 2020). *El Espectador*. Obtenido de El Espectador Economía: <https://www.elespectador.com/economia/bp-presenta-plan-de-eliminar-co2-y-desafia-grandes-petroleras-articulo-904325>
- Cambio energético. (2022). *Cambio energético*. Obtenido de <https://www.cambioenergetico.com/blog/demanda-pico/#:~:text=Tanto%20en%20un%20escenario%20como,de%20almacenamiento%20o%20bater%C3%ADas%20solares>.
- Canseco, M. (2010). *Energías Renovables en América Latina*. Madrid: Fundación Ciudadanía y Valores.

- Cassassolares. (2020). Obtenido de <https://casassolares.org/sistema-fotovoltaico/#:~:text=tipo%20de%20sistema.-,Bloque%20de%20cableado,sistema%20es%20de%20bajo%20voltaje.>
- CEPAL. (2017). *Sistema de políticas públicas sobre cambio climático*. Santiago: Naciones Unidas.
- Clean Air Institute. (2013). *La Calidad del aire en América Latina: Una Visión Panorámica*. Washington.
- Climate Action tracker. (septiembre de 2020). *Climate action tracker*. Obtenido de <https://climateactiontracker.org/>
- Climate.Data.Org. (Abril de 2020). *es.climate_data*. Obtenido de <https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/tolima/melgar-50394/>
- CO2 - Earth. (6 de Abril de 2020). *Diariamente CO2*. Obtenido de <https://es.co2.earth/daily-co2>
- Colegio Oficial Ingenieros de Telecomunicaciones. (2002). *Energía Solar Fotovoltaica*. Madrid: Colegio Oficial Ingenieros de Telecomunicaciones.
- Concepto.de. (2020). *Concepto de Energía Nuclear*. Obtenido de <https://concepto.de/energia-nuclear/>
- Coneo, M., & Amaya, A. (2002). *Plan parcial de ordenamiento territorial del fuerte Militar de Tolemaida*. Obtenido de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2234&context=ing_ambiental_sanitaria
- Congreso de la República de Colombia. (1993). *Ley 99 de 1993*. Bogotá.
- Constitución Política de Colombia de 1.991 [Const]. (1991). *Artículo 217 [Capítulo VII]*. ARGIS.
- Contraloría Delegada para el Medio Ambiente. (junio de 2016). *UPME*. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/Seguimiento/Entes_de_control/InformesEntesControl/Informe_de_auditoria_pasivos_ambientales_2016.pdf
- Coviello , M., & Ruchansky, B. (2017). *Avances en materia de energías sostenibles en América Latina y el Caribe*. Santiago: Cepal_Naciones Unidas.
- CREG. (2018). *Apolo CREG*. Obtenido de <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/83b41035c2c4474f05258243005a1191>
- Crespo, A. (2019). *la construcción naval y el comercio de la madera del siglo XVI al XVIII*. Andalucía: Revista PH.
- Cumbre Pueblos. (25 de Mayo de 2019). *Energía Solar Térmica*. Obtenido de <https://cumbrepuebloscop20.org/energias/solar/termica/>
- Departamento Nacional de Planeación. (2016). *Instalación de sistemas solares fotovoltaicos individuales en zonas no interconectadas*. Bogotá: UPME.
- Diaz, T., & Carmona, G. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. España: McGraw Hill. Recuperado el 2021, de Componentes de una instalación solar Fotovoltaica: <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>
- Drummond Company Inc. (2020). *Drummond Company Inc. Power Excellence*. Obtenido de

- Po qué Carbón: <http://www.drummondco.com/por-que-carbon/?lang=es>
- Ecoinventos. (8 de Abril de 2020). *Ecoinventos-Green technology*. Obtenido de <https://ecoinventos.com/energias-renovables/energia-eolica/>
- Ecopetrol. (22 de Septiembre de 2014). *Ecopetrol - Información General*. Obtenido de https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/productos-y-servicios/productos/gas-natural/Informaci%C3%B3n%20General/que-es-el-gas-natural/!ut/p/z0/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfljo8ziLQIMHd09DQy9DZwt3QwcjTwsQxw9g4I8nlz0C7IdFQEONbdQ/
- Eficiency for Energy. (Febrero de 2022). <https://www.e4e-soluciones.com>. Obtenido de <https://www.e4e-soluciones.com/blog-eficiencia-energetica/mejores-marcas-paneles-solares-2022>
- Ejército Nacional de Colombia. (13 de Octubre de 2015). *Ejercito Nacional de Colombia*. Obtenido de https://www.ejercito.mil.co/fuerte_militar_tolemaida/conozcanos/historia_tolemaida
- Ejército Nacional de Colombia. (2023). *Ejercito.mil.co*. Obtenido de Misión y visión: <https://www.ejercito.mil.co/mision-y-vision/>
- Enciclopedia Económica. (2017). *Enciclopedia Económica*. Obtenido de https://enciclopediaeconomica.com/sectores-economicos/#Sector_primario
- Encolombia. (2020). *Encolombia-Energía Mareomotriz*. Obtenido de <https://encolombia.com/medio-ambiente/interes-a/energia-mareomotriz/>
- Enel. (2020). *Enel- que es la energía Eólica y cómo funciona*. Obtenido de <https://www.enel.pe/es/sostenibilidad/que-es-la-energia-eolica-y-como-funciona.html>
- Enerdata. (2022). *Consumo energético total*. Obtenido de <https://datos.enerdata.net/energia-total/datos-consumo-internacional.html>
- Energía Solar. (4 de Septiembre de 2018). *Historia de la Energía Solar*. Obtenido de <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/historia>
- Energía Solar. (5 de Octubre de 2018). *Ventajas y desventajas de la Energía Solar*. Obtenido de <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/ventajas-desventajas>
- Energíasolartermica. (2020). *Energía Solar Térmica*. Obtenido de <http://www.energiasolartermica.biz/>
- Enerrenovable. (2019). *site_enerrenovable*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/enerrenovab/home/fuentes-de-energia>
- Erenovable. (5 de Febrero de 2020). *Erenovable.com*. Obtenido de <https://erenovable.com/energia-geotermica/>
- Es Renovable. (1 de Noviembre de 2011). *Es renovable_características de la energía solar*. Obtenido de <http://www.esrenovable.com/2011/11/solar-fotovoltaica-vivienda.html>
- Estrada Gasca, C. (2013). Transición energética, energías renovables y energía solar de potencia. *Revista mexicana de física*, 80-84.
- FAO. (9 de Enero de 2014). *Agronoticias: Actualidad agropecuaria de América Latina y el*

- Caribe. Obtenido de <http://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/es/c/513301/>
- FAO. (2018). *Estudio de las causas de la deforestación y degradación forestal en Guinea Ecuatorial*. Malabo: FAO.
- FENOGE. (2022). *Más de dos mil millones serán invertidos por FENOGE en la transición a energías limpias de 39 sedes del Ministerio de Defensa*. Obtenido de <https://fenoge.gov.co/mas-de-dos-mil-millones-seran-invertidos-por-fenoge-en-la-transicion-de-energias-limpias-de-39-sedes-del-ministerio-de-defensa/>
- Fermin, C. (21 de Julio de 2015). *América latina en Movimiento*. Obtenido de <https://www.alainet.org/es/articulo/171253>
- Fernandez, R., & Gonzalez, L. (2018). *Historia de la humanidad desde el papel de la energía VOL I*. Madrid: Libros en acción.
- Figueredo Medina, M. A., & Cardona Ortegón, A. F. (2021). *EVALUACIÓN PARA PROYECTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS EN LA INFRAESTRUCTURA GUBERNAMENTAL DE SABANA CENTRO*. Bogotá. Recuperado el Septiembre de 2023
- Foro histórico de las telecomunicaciones. (2019). *Foro histórico*. Obtenido de <http://forohistorico.coit.es/index.php/personajes/personajes-internacionales/item/edison-thomas-alva>
- Foro Nuclear. (2020). *Foro de la Industria Nuclear Española*. Obtenido de Roncón Educativo Energía y Medio Ambiente: <http://www.rinconeducativo.org/es/recursos-educativos/las-reservas-de-petroleo-en-el-mundo>
- Foro Nuclear. (2020). *Rincón Educativo Energético y Medio Ambiente*. Obtenido de <http://www.rinconeducativo.org/es/recursos-educativos/energia-y-fuentes-de-energia>
- France24. (9 de Marzo de 2020). *France 24 Noticias*. Obtenido de La caída del precio del petróleo sacude la economía mundial en tensión por el coronavirus: <https://www.france24.com/es/20200309-la-ca%C3%ADda-del-precio-del-petr%C3%B3leo-sacude-la-econom%C3%ADa-mundial-en-tensi%C3%B3n-por-el-coronavirus>
- Fuerzas Militares de Colombia. (9 de Abril de 2020). *Comando General*. Obtenido de El medio ambiente, una prioridad de las Fuerzas militares: <http://fuerzasmilco.blogspot.com/2016/11/el-medio-ambiente-una-prioridad-de-las.html>
- Fundación Endesa. (2020). *Centrales de Biomasa y sus tipos*. Obtenido de <https://www.fundacionendesa.org/es/centrales-renovables/a201908-central-de-biomasa>
- Fundación Endesa. (2020). *Fundación Endesa*. Obtenido de La Energía: <https://www.fundacionendesa.org/es/recursos/a201908-que-es-la-energia>
- Fundación General CSIC. (2020). *Fundación GCSIC-lychnos*. Obtenido de http://www.fgcsic.es/lychnos/es_es/articulos/hidrogeno_metodologias_de_produccion

- Gerard, J. (2009). *El cambio climático como problema y el diálogo social como solución*. Alicante: universidad de Alicante.
- Gobierno de México. (22 de Marzo de 2017). *Servicio Geológico Mexicano*. Obtenido de https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Origen-y-formacion.html
- Gomez Ruiz, J. A., & Villamizar, J. L. (2011). Evaluación de costos de una Interventoría en el área Metropolitana de Bucaramanga. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Google Maps. (2020). *Mapa de Cundinamarca*. Obtenido de https://www.google.com/search?q=mapa+de+cundinamarca&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=Hbbl9qce82OtPM%253A%252CmAAKxC4tGO6lBM%252C_&vet=1&usg=AI4_-kSLHAYPXA6qngCUaOMq52gEpp2GrQ&sa=X&ved=2ahUKEwiCu7qw0JHpAhUEmuAKHf9_CGUQ9QEWA3oECAoQlg#imgrc=KzRuHKoBrttA8M
- Greenpeace. (2020). *Greenpeace*. Obtenido de Carbón: <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/cambio-climatico/carbon/>
- Hilcu, M. (2021). *Otovo*. Obtenido de <https://www.otovo.es/blog/energia/que-es-la-energia-solar/#:~:text=Esta%20transformaci%C3%B3n%20en%20energ%C3%ADa%20el%C3%A9ctrica,mayor%C3%ADa%20para%20su%20posible%20transformaci%C3%B3n>
- Hormaeche, J. I., Pérez, A., & Txetxu, F. (2008). *El petróleo y la energía en la economía*. Vitoria_Gasteiz: Eusko Jaurlaritzaren.
- Horna Blanco, A. (2015). *Estudio Comparativo entre un sistema híbrido aislado con aerotermia y un sistema conectado a red*. Leganés: Universidad Carlos III, Madrid.
- Iberdrola. (2020). *Iberdrola- Medio ambiente*. Obtenido de <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/como-funciona-la-energia-eolica-marina>
- IDEAM. (2014). *Atlas de Radiación Solar*. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>.
- IDEAM. (2015). *Atlas IDEAM*. Obtenido de <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/clima-text.pdf>
- IDEAM. (15 de Noviembre de 2019). *Problema de la lluvia ácida*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/el-problema-de-la-lluvia-acida>
- IDEAM. (Septiembre de 2020). *Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia*. Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/019813/Capitulo4.pdf>
- IDEAM. (septiembre de 2020). *IDEAM*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/atlas-de-colombia>
- Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía. (2020). *Energías Renovables_Gobierno de España*. Obtenido de <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables>

- International Energy Agency. (2019). *Key world Energy Statistics*. Paris: IEA Publications.
- International Energy Agency. (noviembre de 2019). *World Energy Outlook 2019*. Obtenido de <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>
- International Energy Agency. (2020). *The challenge of reaching zero emissions in heavy industry*. París: IEA.
- IPCC. (2014). *Cambio Climático 2014*. Ginebra: IPCC. Obtenido de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar5_syr_headlines_es.pdf
- Jos, O & Greet, J. (2012). *Trends in global CO2*. La Haya: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.
- La Guía Solar. (2020). *La Guía Solar*. Obtenido de <http://www.laguiasolar.com/radiacion-solar-en-colombia/>
- Ladino Peralta, R. E. (2011). *La Energía Solar fotovoltaica como factor de Desarrollo en zonas Rurales de Colombia*. Bogotá: Universidad Javeriana.
- Latin Clima. (14 de 8 de 2014). *Red de Comunicación en cambio climático*. Obtenido de Breve historia de la relación entre el ser humano y la energía: <https://latinclima.org/energia-verde-e-inclusiva/breve-historia-de-la-relacion-entre-ser-humano-y-energia>
- Lopez A. (12 de Noviembre de 2019). *Portafolio*. Obtenido de Al 2050, Colombia seguirá atada a los combustibles fósiles: <https://www.portafolio.co/economia/al-2050-colombia-seguira-atada-a-los-combustibles-fosiles-535482>
- López Cózar, J. (2006). *Energía Solar Térmica*. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía.
- McGraw Hill. (2022). *Instalación fotovoltaica*. Obtenido de <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/84448171691.pdf>
- Meteonorm. (septiembre de 2022). *Meteonorm software - Worldwide irradiation data*. Obtenido de <https://meteonorm.com/en/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (6 de Abril de 2020). *Impacto del Cambio Climático en Colombia*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/457-plantilla-cambio-climatico-13>
- Ministerio de Defensa de Colombia. (2016). *Plan Estratégico Institucional del Ministerio de Defensa 2016 - 2020*. Bogotá: Mindefensa.
- Ministerio de Defensa de Colombia. (2016). *Política Ambiental del Sector Defensa*. Bogotá: Mindefensa.
- Ministerio de Defensa Nacional. (2016). *Visión de futuro de las fuerzas armadas*. Bogotá: imprenta Nacional de Colombia.
- Ministerio de Defensa Nacional. (2018). *Política Ambiental del sector Defensa*. Bogotá: Mindefensa.
- Ministerio de Defensa Nacional. (2021). *Analisis historico del gasto en Defensa y Seguridad 1990-2020*. Obtenido de https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Publicaciones/28072022-Analisis-historico-GDS_Fuentes-y-usos_Final.pdf

- Ministerio de Industria Minería y Energía de Uruguay. (2014). *Energía Solar*. Obtenido de <http://www.energiasolar.gub.uy/index.php/aula-didactica/que-es-la-energia/fuentes-de-energia-no-renovables>
- Ministerio de Minas y Energía. (2017). *Decreto 348 de 2017*. Obtenido de https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/decreto_0348_2017.htm
- Ministerio de Minas y Energía. (2023). *Minenergía*. Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co/energias-renovables-no-convencionales>
- Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (6 de Abril de 2020). *El ambiente es d todos_Minambiente*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/457-plantilla-cambio-climatico-13>
- Ministerio de Defensa Nacional. (2000). *Decreto 1512*. Nogotá: Ministerio de Defensa Nacional.
- Montoya, J. D. (14 de Mayo de 2013). Sector quinario. Obtenido de <https://actividadeseconomicas.org/sector-quinario/#:~:text=Similar%20al%20cuaternario%2C%20el%20sector,nuevas%20tecnolog%C3%ADas%20para%20tomar%20decisiones>.
- Montoya, J. D. (14 de Mayo de 2023). Sector quinario. Obtenido de <https://actividadeseconomicas.org/sector-quinario/#:~:text=Similar%20al%20cuaternario%2C%20el%20sector,nuevas%20tecnolog%C3%ADas%20para%20tomar%20decisiones>.
- NASA. (15 de enero de 2020). *NASA Ciencia*. Obtenido de <https://ciencia.nasa.gov/an%C3%A1lisis-de-nasa-y-noaa-revelan-que-2019-fue-el-segundo-a%C3%B1o-m%C3%A1s-c%C3%A1lido-registrado>
- National Geographic. (22 de Noviembre de 2018). *National Geographic Ciencia*. Obtenido de https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/actualidad/trump-vuelve-anegar-cambio-climatico-y-cientificos-le-responden_13534
- National Geographic. (8 de Diciembre de 2019). *National Geographic-España*. Obtenido de https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/ventajas-e-inconvenientes-hidrogeno-como-combustible-alternativo_14897
- Navarra.es. (Abril de 2020). *Meteorología y Climatología de Navarra*. Obtenido de <http://meteo.navarra.es/definiciones/koppen.cfm>
- Nrel Transforming energy. (Noviembre de 2020). *Best Research-Cell Efficiency Chart*. Obtenido de <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>
- Organización de las Naciones Unidas. (2020). *Naciones Unidas*. Obtenido de <https://www.un.org/es/climatechange/raising-ambition/renewable-energy#:~:text=La%20Agencia%20Internacional%20de%20Energ%C3%ADas,renovables%20para%20el%20a%C3%B1o%202050>.
- Organización Mundial de la Salud. (Noviembre de 2014). *Organización Mundial de la Salud*.

- Obtenido de <https://www.who.int/features/qa/indoor-air-pollution/es/>
- Ortiz D; Sabogal J & Hurtado E. (2012). Una Revisión a la Reglamentación e Incentivos de las Energías Reconvales en Colombia. *Rev Fac Ciencias Económicas*, 63,64.
- Oviedo, S., Badii, G., & Lugo, S. (2015). *Historia y uso de Energías Renovables*. San Nicolás de los Garza: International Journal of Good Conscience.
- Pabón Juan Carlos. (2020). PROPUESTA TÉCNICA PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EN LA PLANTA DE ECOPETROL EN EL MUNICIPIO DE VILLETÁ. Bogotá.
- Pacheco, J. (20 de Abril de 2020). *Web y Empresas_Sectores Económicos (Clasificación, Características E Importancia)*. Obtenido de <https://www.webyempresas.com/sectores-economicos/>
- Parra, C. (21 de Agosto de 2019). *Rockcontent*. Obtenido de <https://rockcontent.com/es/blog/que-es-un-stakeholder/>
- Pascualino, J., Cabrera, C., & Vanegas, M. (2014). Los impactos ambientales de la implementación de las energías eólica y solar en el Caribe Colombiano. Bogotá: Prospect.
- Pinzón Acevedo, L. A. (2006). *ESTRATEGIAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y OPERACIÓN DEL PROGRAMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN, EN EL FUERTE MILITAR DE TOLEMAIDA APLICANDO NTC-ISO 14001 / 2004*. Bogotá.
- Planelles, M. (30 de octubre de 2017). *El País*. Obtenido de https://elpais.com/elpais/2017/10/30/ciencia/1509359304_347557.html
- Portafolio. (02 de Noviembre de 2019). Al 2050, Colombia seguirá atada a los combustibles fósiles. Obtenido de <https://www.portafolio.co/economia/al-2050-colombia-seguira-atada-a-los-combustibles-fosiles-535482>
- Post carbon Institute. (6 de Noviembre de 2018). *Energy is at the heart of the human predicament in the 21st Century*. Obtenido de <https://www.postcarbon.org/program/energy/>
- Presidencia de la República. (1974). *Decreto 2811 del 18 de diciembre de 1974*. Bogotá.
- Presidencia de la República. (2020). *Decreto 318 de 2020*. Bogotá.
- Presidencia de la República de Colombia. (1991). *Constitución Política de Colombia*. Bogotá.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente - PNUMA. (2016). Manual del Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la Capa de Ozono . En PNUMA. Nairobi: ONUM.
- Pura, R. (2004). Breve historia de la electricidad. *Panomara, Técnica industrial especial: Electricidad y Electrónica*, 6, 8.
- Pv Magazine. (20 de Marzo de 2019). *pv-magazine-latam*. Obtenido de <https://www.pv-magazine-latam.com/2019/03/20/el-mercado-de-energia-fotovoltaica-en-america-latina-crecera-20-en-2019-con-mexico-como-el-principal-impulsor/>
- Raffino, R. A. (13 de Febrero de 2020). *Conceptode*. Obtenido de <https://conceptode.de/planeacion-estrategica/>

- Ramirez V & Antero J. (2014). Evolución de las Teorías de Explotación de Recursos Naturales: Hacia la creación de una nueva Ética Mundial. Manizales: Luna Azul.
- Región Central. (2020). *Biomasa en la Región Central*. Bogotá: Rape.
- Robberechts, E. (2 de Mayo de 2017). *BID Invest*. Obtenido de <https://blogs.iadb.org/bidinvest/es/cuatro-paises-lideran-tendencias-de-energia-solar-en-alc/>
- Rocha, A. (2022). Obtenido de MPVSolar: <https://www.mpvsolarreference.com/post/qu%C3%A9-tipos-de-inversor-fotovoltaico-existen#:~:text=El%20inversor%20fotovoltaico%20es%20un,producida%20pudi%C3%A9ramos%20usarla%20en%20casa.>
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2013). *Diligenciamiento de la matriz de Identificación de aspectos y valoración de impactos ambientales*. Bogotá: Secretaría Distrital de Ambiente.
- Semana Sostenible. (10 de Mayo de 2017). *Semana Sostenible*. Obtenido de Medio Ambiente: <https://sostenibilidad.semmana.com/medio-ambiente/articulo/energias-alternativas-se-toman-colombia/37756>
- Servicio Geológico Colombiano. (2019). *Geotermina en Colombia*. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
- solarpowerworldonline. (2019). *New energy*. Obtenido de <https://www.dsisolar.com/info/crank-it-up-high-voltage-1500v-solar-systems-41936601.html>
- Sostenibilidad para todos. (2020). *Acciona*. Obtenido de La biomasa; cómo es y cómo funciona: <https://www.sostenibilidad.com/energias-renovables/que-es-y-como-funciona-la-biomasa/>
- Suncore. (27 de Noviembre de 2018). *Suncore-Energía Solar*. Obtenido de <https://suncore.com.mx/historia-de-los-paneles-solares/>
- Sunfields. (2020). *Sunfields Europe*. Obtenido de Manual de cálculo de instalación fotovoltaica aislada: <https://www.sfe-solar.com/baterias-solares/manual-calculo/>
- The Institution of engineering and Technology. (2015). Multi-domain analysis of photovoltaic impacts via integrated spatial and probabilistic modelling. En R. P, L. P, P. D. P, & C. Ch. London: IET Renewable Power Generation.
- Tovar, A. (2014). *Evaluación de impacto ambiental de las energías en Colombia*. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/12054/Proyecto%20Final%20-%20Ambiental.pdf;jsessionid=63434B5A3B1BC1ABD44790B973ECBF0D?sequence=1>
- twenergy. (22 de Agosto de 2019). *twenergy-energía hidráulica*. Obtenido de <https://twenergy.com/energia/energia-hidraulica/que-es-la-energia-hidraulica-426/>
- twenergy. (18 de Octubre de 2019). *Twenergy-Qué es la energía geotérmica*. Obtenido de

- <https://twenergy.com/energia/energia-geotermica/que-es-la-energia-geotermica-que-aplicaciones-tiene-108/>
- Unidad de Planeación Minero- Energetica [UPME]. (2015). *Resolucion 281 de 2015*. Obtenido de <https://faolex.fao.org/docs/pdf/col146970.pdf>
- Unidad de Planeación Minero Energética- UPME. (11 de Noviembre de 2023). Obtenido de https://www1.upme.gov.co/Normatividad/762_2023.pdf
- Unidad de Planeación Minero Energética- UPME. (Junio de 2023). Actualización Plan Energético Nacional (PEN) 2022- 2052. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2020_2050/Actualizacion_PEN_2022-2052_VF.pdf
- United climate Nations Change. (29 de Sep de 2014). *United climate Nations Change*. Obtenido de <https://unfccc.int/es/news/la-energia-solar-podria-ser-la-principal-fuente-de-energia-para-2050>
- Universidad de Jaén [Ujaen]. (2020). Obtenido de https://web.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/05_tipos/02_conec_red/01_basico/2_conec_red.htm#:~:text=La%20diferencia%20fundamental%20entre%20un,y%20la%20regulaci%C3%B3n%20de%20carga.
- Universidad Distrital Francisco José de Cladas. (2020). *Biomasa en la region central*. Obtenido de <https://regioncentralrape.gov.co/wp-content/uploads/2020/05/CptI06-BIOMASA-EN-LA-REGIO%CC%81N-CENTRAL.pdf>
- Universidad Nacional de Colombia. (12 de diciembre de 2014). *Línea de Historia Ambiental*. Obtenido de <http://www.humanas.unal.edu.co/historiambiental/historia-ambiental-en-america-latina-y-colombia/>
- UPME. (2013). *Cadena de Petróleo*. Bogotá: legis.
- UPME. (2014). *Potencial Hidroenergético de Colombia*.
- UPME. (Enero de 2014). www.upme.gov.co. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/InformacionCifras/Documents/Termicas_Marzo_2014.pdf
- UPME. (2015). *Atlas de Radiación Solar de Colombia*. Bogotá: UPME. Obtenido de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- UPME. (2015). *Integración de las Energías Renovables no convencionales en Colombia*. Bogotá: Unidad de Planeación Minero energética. Obtenido de http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf
- UPME. (2015). *Plan Energético Nacional Colombia: Ideario Energéticos 2050*. Bogotá: Unidad de Planeación Minero Energética.
- UPME. (2016). *Seguridad Energética para Colombia*. Bogotá: UPME.
- UPME. (2018). Energía Eléctrica. *Hidroenergía*, pág. 36. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Atlas/Atlas_p25-36.pdf
- UPME. (6 de Abril de 2020). *Normatividad Ambiental y Sanitaria*. Obtenido de http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/politica/normativ/normativ.htm#NORMATIVIDAD_AMBIENTAL_Y_SANITARIA

- UPME. (2022). *Balance energetico colombiano*. Obtenido de <https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/BECO.aspx>
- Useros, J. L. (2013). *El cambio climatico: Sus causas y efectos medioambientales*. Valladolid: Real Academia de Medicina y cirugía de Valladolid.
- World Energy Trade. (9 de Septiembre de 2019). *World Energy Trade*. Obtenido de <https://www.worldenergytrade.com/index.php/m-news-alternative-energy/96-news-energia-solar/4437-la-energia-solar-lidera-el-crecimiento-de-las-energias-renovables>
- World Energy Trade. (14 de Abril de 2020). *World Energy Trade*. Obtenido de <https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/energia-solar/colombia-la-fotovoltaica-posee-el-68-47-de-los-proyectos-de-generacion-de-energia>

A. Anexo. Aplicaciones de la energía solar

<p>Telecomunic.</p>	<p>Telefonía móvil Repetidores de radio y televisión Postes S.O.S. de carreteras Telemando Telecontrol para redes de riego Telemetría Radares Radiotelefonía en general Telefonía rural vía satélite Teleondas Cabinas telefónicas de uso publico Centrales de conmutación Radioenlaces Sistemas TRUNKING Cobertura de radio y comunicaciones en túneles del Ferrocarril</p>	<p>Electrificación rural</p>	<p>Viviendas de uso temporal Viviendas de uso permanente Electrificación centralizada con control individual de consumos por vivienda, en núcleos rurales Electrificación de refugios y albergues de montaña Postas sanitarias. (iluminación, conservación de medicamentos y vacunas con frigoríficos) Escuelas y centros comunales Puestos de policía y fronteras Instalaciones religiosas (ermitas, misiones, etc.)</p>
<p>Aplicaciones agrícolas</p>	<p>Bombeos de agua, tanto en c/c como en c/a, (con batería) Bombeos de agua de accionamiento directo (sin batería) Electrificación de naves Controles de riego Invernaderos (automatización de ventanas e iluminación)</p>	<p>Aplicaciones ganaderas</p>	<p>Bombeos de agua para proporcionar agua al ganado Electrificación de granjas. (iluminación, motores, esquiladoras, etc.) Sistemas de ordeño y refrigeración de leche Electrificación de cercas</p>
<p>Señalización</p>	<p>Faros y boyas de uso marítimo Radiofaros y radiobalizas de uso aéreo Señalización variada para señalización de curvas, obstáculos, rotondas, etc. en ciudades y carreteras mediante led's Indicadores de hora y temperatura en vías publicas Pasos a nivel de Ferrocarriles Plataformas petrolíferas</p>	<p>Iluminación Pública</p>	<p>Carteles publicitarios Farolas de alumbrado público Paradas de autobuses Iluminación de túneles, cuevas, etc.</p>
<p>Control</p>	<p>Caudalímetros y anemómetros Accionamiento de válvulas (electroválvulas) Controles y estaciones meteorológicas y sísmicas Cámaras de TV para control y medida de tráfico Motorización y automatización de puertas Repetidores de señal con fibra óptica Estaciones de medida medioambiental Control en gasoductos y oleoductos Toma de datos Control y operación remota de presas Protección catódica</p>	<p>Otras aplicaciones</p>	<p>Cloración mediante bombas dosificadoras Depuración por lagunaje alimentando los motores limpia-rejas y caudalímetros Oxigenadores para el agua mediante compresores Desalinización de agua salobre. (osmosis inversa) Básculas para el pesaje de camiones. (vertederos, centros industriales, etc.) Sistemas para detección de incendios mediante cámaras de infrarrojos Sistemas de seguridad perimetral con infrarrojos Vigilancia y control de accesos (videoportero, apertura y cierre de puertas, mando a distancia) Ionización para Pararrayos Suministro para uso didáctico en Universidades, Colegios Profesionales, etc. Barcos veleros y autocaravanas Equipamiento de áreas recreativas</p>

Fuente: (Atersa, 2020).

B. Anexo. Distribución de módulos, cadenas y MMPT.



































Inversor	Mpnt	Wp	mod/string	string/mpnt	Wp total	Inclinación Grados
Ref. inv. 1	#1	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 1	#2	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 1	#3	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 1	#4	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 1	#5	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 1	#6	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 1	#7	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 1	#8	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 1	#9	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 1	#10	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 2	#1	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 2	#2	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 2	#3	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 2	#4	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 2	#5	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 2	#6	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 2	#7	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 2	#8	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 2	#9	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 2	#10	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 3	#1	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 3	#2	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 3	#3	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 3	#4	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 3	#5	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 3	#6	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 3	#7	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 3	#8	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 3	#9	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 3	#10	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 4	#1	400	16	2	12.800	7








































Inversor	Mppt	Wp	mod/string	string/mppt	Wp total	Inclinación Grados
Ref. inv. 4	#2	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 4	#3	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 4	#4	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 4	#5	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 4	#6	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 4	#7	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 4	#8	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 4	#9	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 4	#10	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 5	#1	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 5	#2	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 5	#3	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 5	#4	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 5	#5	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 5	#6	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 5	#7	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 5	#8	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 5	#9	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 5	#10	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 6	#1	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 6	#2	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 6	#3	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 6	#4	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 6	#5	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 6	#6	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 6	#7	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 6	#8	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 6	#9	400	16	2	12.800	7
Ref. inv. 6	#10	400	12	2	9600	7
Ref. inv. 7	#1	400	15	2	12.000	7
Ref. inv. 7	#2	400	15	2	12.000	7
Ref. inv. 7	#3	400	15	2	12.000	7
Ref. inv. 7	#4	400	15	2	12.000	7
Ref. inv. 7	#5	400	15	2	12.000	7
Ref. inv. 7	#6	400	15	2	12.000	7
Ref. inv. 7	#7	400	15	2	12.000	7
Ref. inv. 7	#8	400	15	2	12.000	7

Inversor	Mppt	Wp	mod/string	string/mppt	Wp total	Inclinación Grados
Ref. inv. 7	#9	400	15	2	12.000	7
Ref. inv. 7	#10	400	12	2	9600	7
Ref. inv. 8	#1	400	15	2	12.000	7
Ref. inv. 8	#2	400	15	2	12.000	7
Ref. inv. 8	#3	400	15	2	12.000	7
Ref. inv. 8	#4	400	15	2	12.000	7
Ref. inv. 8	#5	400	15	2	12.000	7
Ref. inv. 8	#6	400	15	2	12.000	7
Ref. inv. 8	#7	400	15	2	12.000	7
Ref. inv. 8	#8	400	15	2	12.000	7
Ref. inv. 8	#9	400	15	2	12.000	7
Ref. inv. 8	#10	400	12	2	9600	7
Ref. inv. 7	#6	400	15	2	12.000	7
Ref. inv. 7	#7	400	15	2	12.000	7
Ref. inv. 7	#8	400	15	2	12.000	7
Ref. inv. 7	#9	400	15	2	12.000	7
Ref. inv. 7	#10	400	12	2	9600	7
Ref. inv. 8	#1	400	15	2	12.000	7
Ref. inv. 8	#2	400	15	2	12.000	7
Ref. inv. 8	#3	400	15	2	12.000	7
Ref. inv. 8	#4	400	15	2	12.000	7
Ref. inv. 8	#5	400	15	2	12.000	7
Ref. inv. 8	#6	400	15	2	12.000	7
Ref. inv. 8	#7	400	15	2	12.000	7
Ref. inv. 8	#8	400	15	2	12.000	7
Ref. inv. 8	#9	400	15	2	12.000	7
Ref. inv. 8	#10	400	12	2	9600	7

Fuente: Elaboración propia

C. Anexo. Informe de validación contra el Software de control

Inversor	MPPT	Validez	Cociente P _{inv} / P _{pico} (%)
Ref. inv. 1	#1		78.13
Ref. inv. 1	#2		78.13
Ref. inv. 1	#3		78.13
Ref. inv. 1	#4		78.13
Ref. inv. 1	#5		78.13
Ref. inv. 1	#6		78.13
Ref. inv. 1	#7		78.13
Ref. inv. 1	#8		78.13
Ref. inv. 1	#9		78.13
Ref. inv. 1	#10		78.13
Ref. inv. 2	#1		78.13
Ref. inv. 2	#2		78.13
Ref. inv. 2	#3		78.13
Ref. inv. 2	#4		78.13
Ref. inv. 2	#5		78.13
Ref. inv. 2	#6		78.13
Ref. inv. 2	#7		78.13
Ref. inv. 2	#8		78.13
Ref. inv. 2	#9		78.13
Ref. inv. 2	#10		78.13
Ref. inv. 3	#1		78.13
Ref. inv. 3	#2		78.13
Ref. inv. 3	#3		78.13
Ref. inv. 3	#4		78.13
Ref. inv. 3	#5		78.13
Ref. inv. 3	#6		78.13
Ref. inv. 3	#7		78.13
Ref. inv. 3	#8		78.13
Ref. inv. 3	#9		78.13
Ref. inv. 3	#10		78.13
Ref. inv. 4	#1		78.13
Ref. inv. 4	#2		78.13
Ref. inv. 4	#3		78.13
Ref. inv. 4	#4		78.13

Inversor	MPPT	Validez	Cociente Pinv / Ppico (%)
Ref. inv. 4	#5		78.13
Ref. inv. 4	#6		78.13
Ref. inv. 4	#7		78.13
Ref. inv. 4	#8		78.13
Ref. inv. 4	#9		78.13
Ref. inv. 4	#10		78.13
Ref. inv. 5	#1		78.13
Ref. inv. 5	#2		78.13
Ref. inv. 5	#3		78.13
Ref. inv. 5	#4		78.13
Ref. inv. 5	#5		78.13
Ref. inv. 5	#6		78.13
Ref. inv. 5	#7		78.13
Ref. inv. 5	#8		78.13
Ref. inv. 5	#9		78.13
Ref. inv. 5	#10		78.13
Ref. inv. 6	#1		78.13
Ref. inv. 6	#2		78.13
Ref. inv. 6	#3		78.13
Ref. inv. 6	#4		78.13
Ref. inv. 6	#5		78.13
Ref. inv. 6	#6		78.13
Ref. inv. 6	#7		78.13
Ref. inv. 6	#8		78.13
Ref. inv. 6	#9		78.13
Ref. inv. 6	#10		104.17
Ref. inv. 7	#1		83.33
Ref. inv. 7	#2		83.33
Ref. inv. 7	#3		83.33
Ref. inv. 7	#4		83.33
Ref. inv. 7	#5		83.33
Ref. inv. 7	#6		83.33
Ref. inv. 7	#7		83.33
Ref. inv. 7	#8		83.33
Ref. inv. 7	#9		83.33
Ref. inv. 7	#10		104.17
Ref. inv. 8	#1		83.33
Ref. inv. 8	#2		83.33
Ref. inv. 8	#3		83.33

Inversor	MPPT	Validez	Cociente P _{inv} / P _{pico} (%)
Ref. inv. 8	#4	<input checked="" type="checkbox"/>	83.33
Ref. inv. 8	#5	<input checked="" type="checkbox"/>	83.33
Ref. inv. 8	#6	<input checked="" type="checkbox"/>	83.33
Ref. inv. 8	#7	<input checked="" type="checkbox"/>	83.33
Ref. inv. 8	#8	<input checked="" type="checkbox"/>	83.33
Ref. inv. 8	#9	<input checked="" type="checkbox"/>	83.33
Ref. inv. 8	#10	<input checked="" type="checkbox"/>	104.17

Fuente: Elaboración propia.