

**ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD TÉCNICO-FINANCIERA DE UN SISTEMA DE
ENERGÍA FOTOVOLTAÍCA EN UNA FINCA EN VILLA DE LEYVA, BOYACÁ,
COLOMBIA**

CARLOS EDUARDO CANDELA SUESCÚN

**MONOGRAFÍA PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
ESPECIALISTA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**ORIENTADOR
JUAN CAMILO CELY
INGENIERO QUÍMICO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C**

2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma Director(a) Especialización

Firma Calificador

Bogotá D.C Julio de 2021

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. María Claudia Aponte González

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. Jose Luis Macias Rodriguez

Decano de la Facultad de Ingenierías

Julio César Fuentes Arismendi

Directora de la Especialización en Gestión Ambiental

Nubia Liliana Becerra Ospina

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por mostrarme siempre los caminos correctos y mantenerme firme a lo largo de este proceso de mi vida. Por haberme dado la energía y fuerza espiritual para culminar esta etapa.

A mis padres Laura y Carlos Hernando por ser mi más grande orgullo y mi modelo a seguir; por guiar a la familia y siempre esforzarse por brindarnos lo mejor a mis hermanos y a mí. A mis padres gracias por jamás faltar en mi vida, les estaré eternamente agradecido.

A mi hermano Andrés por ser mi mejor amigo y apoyarme en cada decisión de mi vida. A mi hermano Mateo por llenar la casa de momentos de nobleza y motivarme a ser un ejemplo como hermano mayor.

A Adriana por ser un apoyo incondicional en esta última etapa, por acompañarme y por creer en mí cuando más se necesitaba.

A familiares y amigos que de alguna manera formaron parte de este proceso y a Falcao y a Cristiano Ronaldo por motivarme cada día. SIIIIIIIIU

Carlos Eduardo Candela Suescún

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	12
OBJETIVOS	14
1. DIAGNÓSTICO DEL USO DE ENERGÍA Y RECURSOS DISPONIBLES EN EL SITIO DE ESTUDIO	15
1.1. Descripción de la finca	15
1.1.1. <i>Ubicación de la finca</i>	15
1.1.2. <i>Mapa topográfico</i>	16
1.1.3. <i>Mapa de la finca</i>	17
1.1.4. <i>Superficie disponible para el proyecto</i>	18
1.1.5. <i>Propósito de la finca</i>	20
1.2. Análisis PEST Colombia	21
1.2.1. <i>Factores políticos en Colombia</i>	21
1.2.2. <i>Factores económicos en Colombia</i>	24
1.2.3. <i>Factores socioculturales en Colombia</i>	25
1.2.4. <i>Factores tecnológicos en Colombia</i>	26
1.3. Análisis PEST Boyacá	28
1.3.1. <i>Factores políticos en Boyacá</i>	28
1.3.2. <i>Factores económicos en Boyacá</i>	29
1.3.3. <i>Factores socioculturales en Boyacá</i>	31
1.3.4. <i>Factores tecnológicos en Boyacá</i>	32
1.4. Análisis de radiación	32
2. RECONOCIMIENTO DE LA TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAÍCA PARA PROYECTOS RURALES	39
2.1. Marco teórico y conceptual	39
2.1.1. <i>Energías renovables</i>	39
2.1.2. <i>Energía solar</i>	40
2.1.3. <i>Tecnologías solares</i>	41

2.1.4. <i>Energía fotovoltaica</i>	41
2.2. Estudio de impacto ambiental	50
2.2.1. <i>Matriz Leopold</i>	51
2.2.2. <i>Matriz Vicente Conesa</i>	55
2.3. Sistema de energía fotovoltaico propuesto	64
2.3.1. <i>Consumo energético requerido del proyecto</i>	64
2.3.2. <i>Ecuaciones para el diseño del sistema solar fotovoltaico</i>	67
2.3.3. <i>Esquema propuesto del sistema solar fotovoltaico</i>	77
3. VIABILIDAD FINANCIERA DEL PROYECTO	79
3.1. Costos fijos del proyecto	79
3.2. Costos variables	80
3.2.1. <i>Paneles solares</i>	80
3.2.2. <i>Inversores</i>	80
3.2.3. <i>Baterías</i>	81
3.2.4. <i>Selección de equipos</i>	82
3.3. Punto de equilibrio	83
3.4. Evaluación financiera	84
3.4.1. <i>Flujo de caja del proyecto</i>	84
3.4.2. <i>Valor presente neto (VPN)</i>	86
4. CONCLUSIONES	90
5. RECOMENDACIONES	92
BIBLIOGRAFÍA	96
ANEXOS	101

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ubicación de la finca	16
Figura 2. Mapa de levantamiento topográfico de la finca	17
Figura 3. Vista superior de la finca en Villa de Leyva, Boyacá	19
Figura 4. Superficies disponibles para el proyecto fotovoltaico	20
Figura 5. Índice de cobertura de energía eléctrica en el departamento de Boyacá	30
Figura 6. Índice de cobertura reportado	31
Figura 7. Recurso solar en Colombia comparado con el resto del mundo	34
Figura 8. Mapa y convenciones de Brillo Solar Medio Diario Anual (Horas de Sol al día), República de Colombia	35
Figura 9. Distancia de la finca con respecto a Tunja	36
Figura 10. Mapa y convenciones de Brillo Solar Medio Diario Anual (Horas de Sol al día), Tunja	37
Figura 11. Mapa y convenciones de Radiación Global Horizontal Medio Diario Anual, República de Colombia.	38
Figura 12. Efecto fotoeléctrico dentro de una celda fotovoltaica	43
Figura 13. Regulador de carga en un sistema fotovoltaico	44
Figura 14. Matriz interactiva de Leopold. M=Magnitud, I= Importancia	52
Figura 15. Esquema propuesto del sistema solar fotovoltaico	78

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Matriz Leopold del proyecto: Etapa de construcción	53
Tabla 2. Matriz Leopold del proyecto: Etapa de operación	54
Tabla 3. Valoración de los impactos en la Matriz Vicente Conesa	60
Tabla 4. Jerarquización de impactos negativos en Matriz Vicente Conesa	61
Tabla 5. Jerarquización de impactos negativos en Matriz Vicente Conesa	61
Tabla 6. Matriz Vicente Conesa	63
Tabla 7. Consumo histórico mensual de energía eléctrica – Caso Real	65
Tabla 8. Consumo histórico mensual de energía eléctrica – Caso de consumo alto	65
Tabla 9. Consumo histórico mensual de energía eléctrica – Caso de consumo medio	66
Tabla 10. Consumo histórico mensual de energía eléctrica – Caso de consumo bajo	66
Tabla 11. Porcentaje de eficiencia promedio de los elementos en el sistema	67
Tabla 12. Voltaje apropiado de las baterías	74
Tabla 13. Resultado compilado de cálculos	77
Tabla 14. Costos fijos del proyecto	79
Tabla 15. Listado de paneles solares	80
Tabla 16. Listado de inversores	81
Tabla 17. Listado de baterías	81
Tabla 18. Listado de selección de equipos	82
Tabla 19. Depreciación de equipos	85
Tabla 20. Flujo de caja del proyecto a 10 años	86
Tabla 21. VPN de cada periodo del proyecto	88

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Consumo diario máximo	68
Ecuación 2. Potencia mínima	68
Ecuación 3. Potencia real	69
Ecuación 4. Número de paneles mínimo	70
Ecuación 5. Potencia máxima generada	70
Ecuación 6. Energía generada mínima	71
Ecuación 7. Energía global	72
Ecuación 8. Número de inversores	72
Ecuación 9. Número de inversores/cargadores	73
Ecuación 10. Capacidad mínima de las baterías	74
Ecuación 11. Número de banco de baterías	75
Ecuación 12. Número de baterías	76
Ecuación 13. Ingresos anuales promedio	83
Ecuación 14. Retorno de la inversión	84
Ecuación 15. Valor presente neto por período	87
Ecuación 16. Valor presente neto proyecto	88

RESUMEN

En este trabajo se desarrolla el diseño de un sistema de energía solar fotovoltaico para abastecer energéticamente una finca residencial ubicada en el municipio de Villa de Leyva, Boyacá. Para ello, se presenta descripción de los aspectos más relevantes que permiten realizar un diagnóstico del sitio donde se tiene planteado realizar el proyecto. Inicialmente, se realiza una descripción de la finca a través del uso de un mapa de vista superior, un mapa de levantamiento topográfico, un mapa de ubicación de la finca y un mapa de superficies disponibles para implementar el sistema de energía fotovoltaica. Adicionalmente, se realiza un análisis de los factores políticos, económicos, socioculturales y tecnológicos que se ven involucrados a nivel Colombia y a nivel Boyacá. Para finalizar el diagnóstico se realiza un análisis de radiación y energético de la zona involucrada.

Una vez realizado el diagnóstico se realiza una descripción y un reconocimiento de la tecnología asociada al proyecto. Se hace una descripción de todas las generalidades teóricas, técnicas y conceptuales que dan entendimiento al sistema de energía solar fotovoltaico. Igualmente, se cuenta con un análisis del impacto ambiental que puede llegar a tener el proyecto mediante la implementación de la matriz Leopold y la matriz Vicente Conesa. Por último, se hace la debida propuesta del sistema de energía solar fotovoltaico que se puede llegar a efectuar en la finca de Villa de Leyva, Boyacá. En el desarrollo de este proyecto se realiza el análisis de la viabilidad financiera del mismo, mostrando el desglose de los costos fijos, costos variables, punto de equilibrio y la correspondiente evaluación financiera. Para determinar la viabilidad financiera de este proyecto se acude al indicador financiero del valor presente neto (VPN) y con ello, dar cumplimiento al proyecto.

Palabras clave: Sistema de energía solar fotovoltaico, Radiación solar, Paneles solares, energía, Villa de Leyva.

INTRODUCCIÓN

La energía es tan necesaria en la vida de un ser humano como también lo resulta siendo la comida y el agua y por ello, la gestión misma de este suministro llamado energía es un tema que concierne a cada individuo de este planeta. La energía es una confirmación del comienzo de la vida misma; no hay que olvidar el vínculo entre la obtención de luz y calor con la producción y consumo de energía, que en consecuencia son conceptos necesarios en la supervivencia de la tierra y a su vez de la vida animal, vegetal y humana.

La situación energética en la que se encuentra envuelta el mundo se puede considerar delicada: por un lado, existe cada vez mayor demanda de energía y por otra parte hay que examinar la limitación y el impacto ambiental negativo de las actuales fuentes energía. La creciente demanda de energía se ve relacionada con el crecimiento poblacional, demográfico y económico que atraviesa el mundo, trayendo consigo un mayor consumo de energía. Relacionando lo anterior con las formas convencionales en que generamos la energía se provocan efectos negativos sobre el bienestar del ser humano debido a que en su mayoría provienen de combustibles fósiles.

Depender de las energías fósiles representa una amenaza ambiental y económicamente mundial pero también una oportunidad de mejora en todo aspecto de la interacción humana, desde una escala industrial hasta una escala residencial. La generación de energía no depende – y no debe depender – enteramente del gobierno en turno, de grandes multinacionales o de las ONG y por ello se deben buscar alternativas para la generación de energía sea cual sea su destino final: si autoconsumo o venta a terceros.

El proyecto se lleva a cabo dada la problemática que se presenta a causa de los efectos de la dependencia de los combustibles fósiles en temas de generación energética a escala industrial y residencial. La descarbonización profunda del

sector de la energía eléctrica, combinada con la electrificación de la mayoría de los usos finales del gas natural y el petróleo, es indispensable para lograr la mitigación del cambio climático. Las tecnologías de energía renovable como la eólica y la solar pueden contribuir a la descarbonización de la electricidad. Sin embargo, sigue siendo muy poca la implementación en el país.

Las tecnologías de energía renovable como la fotovoltaica residencial tienen el potencial de reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero si se adoptan ampliamente. Estudios han demostrado que existe suficiente espacio adecuado en los techos de zonas residenciales y laborales para que la energía solar proporcione hasta una tercera parte de la demanda energética que puede requerir un país. Con la implementación de este proyecto se logrará dar un correcto análisis de la viabilidad técnica de la instalación de un sistema fotovoltaico

Con el desarrollo de este proyecto, se evaluará el rendimiento energético de la finca para poder determinar la viabilidad económica que representará la implementación de un sistema de energía fotovoltaico

OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar la viabilidad técnico-financiera de un sistema de energía fotovoltaica en una finca Villa de Leyva, Boyacá, Colombia.

Objetivos específicos

1. Diagnosticar el uso de energía y recursos disponibles en el sitio de estudio.
2. Reconocer la tecnología de producción de energía fotovoltaica para proyectos rurales.
3. Establecer la viabilidad financiera del proyecto mediante el indicador de valor presente neto (VPN).

1. DIAGNÓSTICO DEL USO DE ENERGÍA Y RECURSOS DISPONIBLES EN EL SITIO DE ESTUDIO

En este capítulo se presentará una descripción de los aspectos más relevantes que permiten realizar un diagnóstico del sitio donde se tiene planteado realizar el proyecto. Dentro de los aspectos a resaltar se va a contar inicialmente con una descripción de la finca a través del uso de un mapa de vista superior, un mapa de levantamiento topográfico, un mapa de ubicación de la finca y un mapa de superficies disponibles para implementar el sistema de energía fotovoltaica. Adicionalmente, se realizará un análisis de los factores políticos, económicos, socioculturales y tecnológicos que se ven involucrados a nivel Colombia y a nivel Boyacá. Para finalizar el diagnóstico se realizan un análisis de radiación y energético de la zona involucrada.

1.1. Descripción de la finca

La finca, ubicada en el municipio de Villa de Leyva, Boyacá, cuenta con área aproximada de 1 hectárea o lo que es similar a 10000 metros cuadrados. De esta área mencionada cerca del 9% pertenece a las zonas donde se cuenta con construcciones realizadas y espacios destinados para construcciones a futuro. Los espacios superiores de las edificaciones proyectadas y un espacio adicional de terreno serán las superficies que se considerarán disponibles para la implementación del sistema de energía fotovoltaica.

Para esta sección se muestran las imágenes y mapas que se consideran correspondientes para el entendimiento de la visualización de la finca y el proyecto en cuestión.

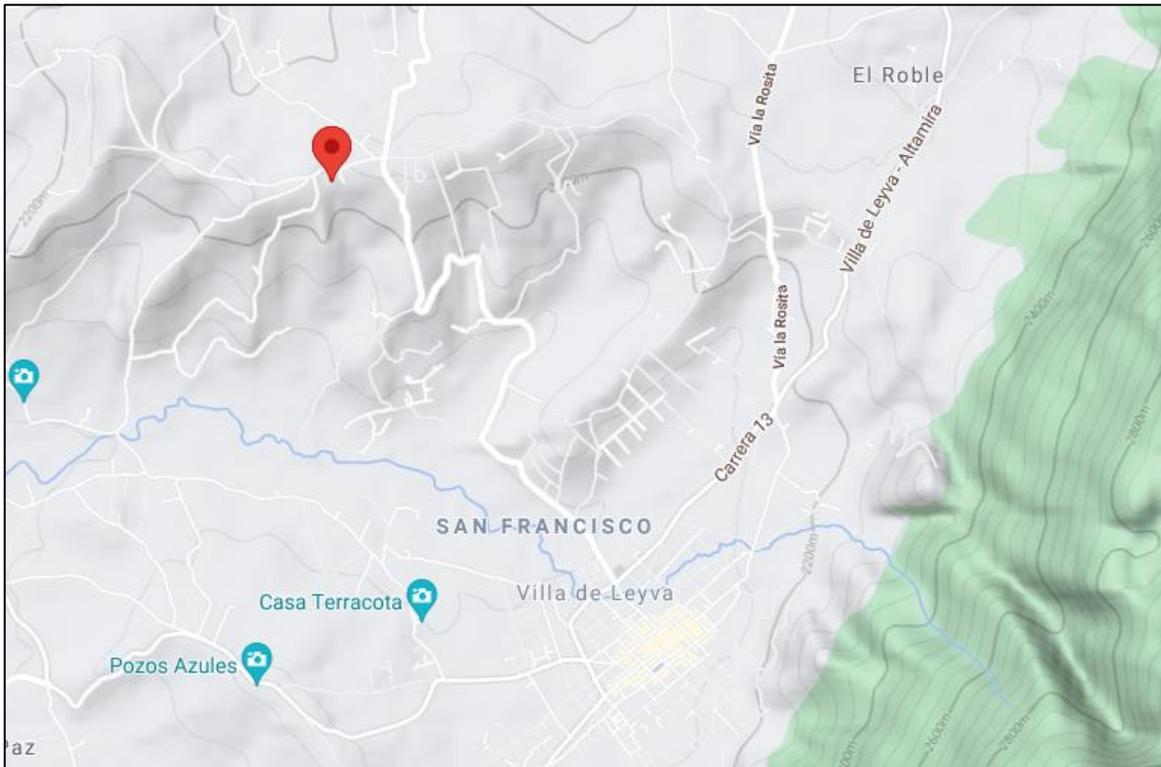
1.1.1. Ubicación de la finca

Inicialmente, la finca se encuentra ubicada en las cercanías del municipio de Villa de Leyva, Boyacá y por ello se puede aseverar que se encuentra dentro de su área

metropolitana. En concreto, la finca está a 5 km y aproximadamente a 15 minutos en automóvil del centro del pueblo lo que favorece las posibilidades de movilización. Esto se puede evidenciar a través de la **Figura 1**.

Figura 1.

Ubicación De La Finca



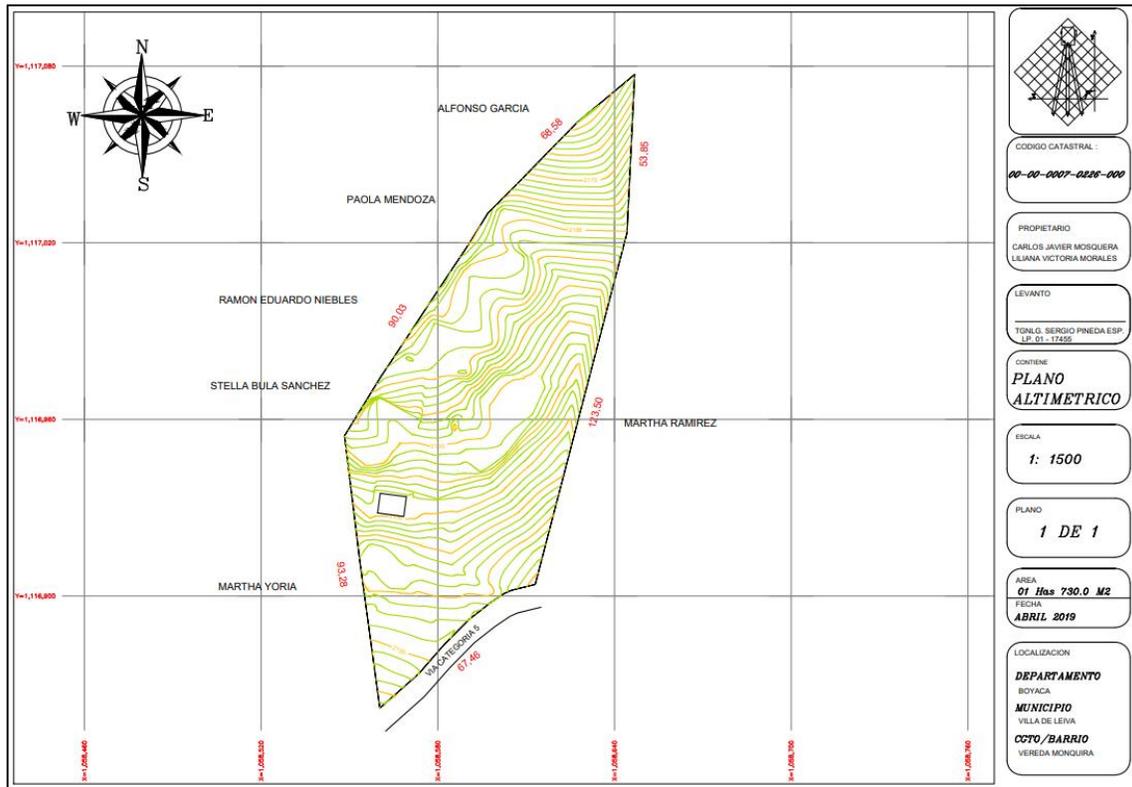
Nota: Google Maps

1.1.2. Mapa topográfico

Como se mencionó al inicio del subcapítulo el área de la finca es de 10000 m² dentro de los cuales los niveles topográficos no son consistentes a lo largo de todo el terreno. Mediante la **Figura 2** se puede ilustrar las altitudes de la finca.

Figura 2.

Mapa de levantamiento topográfico de la finca



Nota: TGNLG. PINEDA, Sergio. LP.01 -17455

A través de esta figura se puede evidenciar que el punto máximo de altura del terreno es de 2170 metros sobre el nivel del mar y el punto mínimo de altura es de 2147 metros sobre el nivel del mar, ambas alturas al noreste y suroeste de la finca, respectivamente. De acuerdo con ello se puede deducir que el terreno presenta una inclinación desde el nororiente hasta el suroccidente que puede facilitar instalaciones de todo tipo aprovechando gravedad.

1.1.3. Mapa de la finca

La vista superior del terreno se puede apreciar a través de la **Figura 3** con las limitaciones correspondientes demarcadas con una línea roja. Se puede apreciar

que, en efecto, las áreas destinadas para construcción son mucho menores que las áreas 'verdes' de la finca.

Por ende, al evidenciar ilustrativamente los espacios del terreno se puede determinar que cerca al 9% del área total de la finca está destinada para las construcciones finalizadas y las construcciones proyectadas a futuro. En ese sentido, los 9100 m² restantes de espacios seguirán destinados a áreas verdes, jardines, árboles frutales, césped y cultivos vegetales que hacen parte del paisaje del terreno.

1.1.4. Superficie disponible para el proyecto

Como se ha venido mencionando a lo largo del capítulo, se cuenta con cerca de 900 m² disponibles en donde se puede implementar el sistema de energía fotovoltaica sobre la cubierta de las construcciones realizadas y sobre las construcciones proyectadas.

Adicionalmente a ese espacio mencionado, se cuenta con una superficie en la esquina suroccidental del terreno que aportaría aproximadamente otros 900 m² para que, en total, se proyecten 1,8 hectáreas para el proyecto a realizar. Estas zonas se pueden identificar de color amarillo en la **Figura 4**.

Figura 3.

Vista superior de la finca en Villa de Leyva, Boyacá



Nota: Elaboración propia

Figura 4.

Superficies disponibles para el proyecto fotovoltaico



Nota: Elaboración propia

1.1.5. Propósito de la finca

La finca como superficie no tiene una función específica de producción agrícola. A diferencia de ello, la finca es un terreno destinado como una zona residencial familiar que cuenta con espacios construidos para habitar y de ocio y zonas verdes

en donde se pueden encontrar huertos y plantaciones vegetales. En ese sentido, el gasto energético de la finca depende enteramente de la cantidad de tiempo que se utilice la energía eléctrica dentro de las construcciones realizadas, no depende en ningún momento de la producción de algún producto o servicio o de generación para realizar alguna función agroindustrial.

1.2. Análisis PEST Colombia

Con el fin de determinar la implementación de un sistema de energía fotovoltaica se presenta necesario hacer un análisis PEST a nivel de Colombia que permitiría identificar aquellos factores externos del proyecto que pueden llegar a influir en el desarrollo de este de forma directa o indirecta. En este sentido, los factores externos a considerar serán las condiciones políticas, económicas, sociales y tecnológicas.

1.2.1. Factores políticos en Colombia

En esta sección se van a estudiar los factores políticos a nivel Colombia que intervienen en un proyecto que integre un sistema de energía fotovoltaica para una finca.

En Colombia existen numerosos factores políticos que son relevantes en la estructuración de un proyecto de energía solar fotovoltaica. En consecuencia, para temas de legislación y normatividad asociada a este tipo de proyectos, se cuenta con una variedad importante que incluye la Ley 1715 de 2014, el decreto 829 de 2020 y la resolución 030 de la Comisión de Regulación de Energía y Gas. Toda esta legislación se presenta a continuación.

1.2.1.a. Ley 1715 de 2014

Toda legislación con respecto a energía fotovoltaica en Colombia debe sus bases a la Ley 1715 de 2014. Esta Ley (Congreso Nacional de Colombia, 2014) dicta que se tiene como objeto “promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico”.

En efecto, desde esta ley se desprende todo lo relacionado a energías renovables en Colombia. Por ello, entender los beneficios e incentivos que se plantean en esta ley resulta necesario y clave para la formulación de proyectos que involucren el marco legal y los instrumentos para la promoción del aprovechamiento de fuentes no convencionales de energía, específicamente de carácter renovable. Dentro de los incentivos se cuenta con que:

- Los obligados a declarar renta que realicen inversiones en temas de fuentes no convencionales de energía tendrán derecho a una reducción del 50% de la inversión reflejada en la renta por los siguientes 5 años.
- Inversión excluida de IVA
- Exención de pago de derechos arancelarios

Con ello se puede evidenciar que desde 2014 en Colombia se está buscando promover el aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía, así fomentar la inversión, la investigación y el desarrollo de tecnologías limpias.

1.2.1.b. Decreto 829 de 2020

La energía que se produce a través de paneles solares crece día a día; es un hecho innegable y de igual forma cada vez más se va observando como la misma

tecnología ha ido mejorando drásticamente a lo largo del último lustro, con mejoras en sistemas de almacenamiento más eficiente, por ejemplo.

En ese sentido, los países al ver el crecimiento de esta tecnología han empezado a brindar más y mayores beneficios especiales a empresas y personas que incluyan en su matriz energética el uso de energía solar y, en consecuencia, de energía fotovoltaica.

El decreto 829 de 2020 (Ministerio de Hacienda y Crédito Público, 2020) en esencia busca crear un incentivo para que personas o pequeñas empresas utilicen o generen algún tipo de energía no convencional. Dentro de los incentivos se cuentan con los siguientes:

- Cero aranceles
- Deducción adicional de renta para un plazo de 15 años
- Deducción de hasta el 50% del valor de las inversiones que se realicen
- Depreciación a 20 años desacelerada y que no llega a superar el 20% anual
- Exclusión de IVA por adquisición de paneles solares, inversores de energía y controladores de carga para sistemas de energía solar

Adicionalmente, es de acotar que mediante la expedición del decreto 829 de 2020 se reglamente una deducción de renta que beneficia a que empresas y personas que accedan al beneficio observen el impacto gravable del proyecto al año siguiente de entrada en operación de este.

1.2.1.c. Resolución 030 de la CREG

La resolución 030 de la CREG, entró en vigor a partir del 1 de Mayo de 2018 y tiene como fin regular las actividades de autogeneración y generación eléctrica. (Comision de Regulacion de Energia y Gas, 2018)

Básicamente, esta resolución ayuda en la definición de las reglas que permiten y permitirán a los usuarios (empresas o personas) realizar una conexión con el operador de red (OR) como auto generadores o generadores de energía eléctrica. En efecto, debido a la implementación de esta resolución las empresas o personas podrán producir su propia energía con beneficios en:

- Reducir consumo y el valor a pagar en la factura del servicio
- Poder vender al sistema la energía excedente del sistema, llegando hasta un tope de 100 kW

Con esta legislación que da la CREG se sigue logrando, sin duda, un gran paso para la incorporación de energía renovable en Colombia y que brinda la oportunidad para que cualquier usuario pueda aprovechar su inversión en incorporar su sistema a la red y vender el excedente generado.

1.2.2. Factores económicos en Colombia

En esta sección se van a estudiar los factores económicos a nivel Colombia que intervienen en un proyecto que integre un sistema de energía fotovoltaica para una finca.

Inicialmente, es de acotar que el interés general y económico en energías de carácter renovable y específicamente en energía solar se puede revelar en cifras. Según estadísticas de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) se evidencia que “de las iniciativas radicadas, el 88,3% tienen que ver con energía solar, en donde 9 de cada 10 propuestas para generar energía, usarán paneles solares. Lo que representa un crecimiento del 32% desde Julio de 2017.” (Celsia, 2017). Lo anterior ayuda a fortalecer la idea de que los proyectos de energía solar serán los que mantendrán económicamente la transición hacia un sistema integrado energético donde se incluyan variantes de carácter renovable.

En efecto, según la UPME y el Ministerio de Minas y Energía, “para antes de 2030 cerca de 10% del consumo energético en Colombia va a provenir de proyectos fotovoltaicos o solares.” (Celsia, 2017)

Así mismo, otro factor económico a considerar para el país debe ser la inversión extranjera. Y es que, según la agencia estatal ProColombia, “en Colombia se multiplicó por ocho la inversión extranjera en renovables desde 2018, lo que ha propiciado que hasta el pasado mes de mayo llegasen 54 proyectos con un monto de 7.500 millones de dólares” (Agencia EFE, 2021). Por tanto, se tienen ejemplos de compañías como Greenwood Energy, con más de 15 proyectos energéticos, o Enel con sus proyectos de parques solares.

No solo se debe contemplar la economía como un número plano que relaciona una cantidad equivalente de dinero. Lo presentado anteriormente ayuda a diversificar el libre mercado en el que se encuentra Colombia: un mayor interés trae una mayor inversión y, en consecuencia, un aumento en las inversiones genera miles de empleos directa o indirectamente; se ayuda en el crecimiento económico de un país, departamento o municipio que incluso impacta en la academia.

1.2.3. Factores socioculturales en Colombia

En esta sección se van a estudiar los factores socioculturales a nivel Colombia que intervienen en un proyecto que integre un sistema de energía fotovoltaica para una finca.

Socialmente, se deben considerar aspectos que involucran a Colombia como parte de un sistema más general. En ese sentido, es necesario mencionar los objetivos de desarrollo sostenible planteados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU). El impacto de la implementación y el seguimiento de objetivos de desarrollo sostenible en un país no solo se puede ver reflejado en el ámbito económico, ya

que socialmente se genera un cambio de mentalidad en la población. La mayoría de los proyectos, políticas y desarrollos que se realizan en el país deben o ya están ligados con los objetivos de desarrollo sostenible.

Para el caso donde nos encontramos planteando el proyecto se puede enfatizar en el séptimo objetivo de desarrollo sostenible: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna. La mayoría de la población, de las empresas y estados ya involucran pensamientos ligados a este objetivo de desarrollo sostenible al concebir ideas para mejorar o implementar soluciones a necesidades básicas.

En ese sentido, la energía eléctrica socialmente se concibe y se debe seguir concibiendo como una necesidad básica para el ser humano y por ello se debe garantizar su disponibilidad para toda la población. Por ello, la implementación e inversión en sistemas solares fotovoltaicos aparte de poder ayudar con la disminución del déficit energético del país (que se encuentra alrededor del 32,0% de colombianos que no tienen acceso o no disfrutan de este servicio básico) puede favorecer en aumentar la capacidad instalada de energía y colaborar en tener una mayor eficiencia para suplir la demanda energética (Gómez Ramírez et al., 2017)

Por último, otro factor sociocultural importante a considerar es que los lugares donde más se podría llegar a utilizar energía solar fotovoltaica son precisamente aquellos lugares asociados a sectores rurales y zonas no interconectadas debido a que en las urbes son pocos los casos que implementen sistemas fotovoltaicos. De modo que esto resulta favorable en la medida que se puede llegar a prestar este servicio de eléctrica en zonas consideradas de difícil acceso. (Ladino, 2018)

1.2.4. Factores tecnológicos en Colombia

En esta sección se van a estudiar los factores tecnológicos a nivel Colombia que

intervienen en un proyecto que integre un sistema de energía fotovoltaica para una finca.

Dentro del sector de energía solar fotovoltaica se cuenta con distintas tecnologías que se van a explicar en el siguiente capítulo dentro del marco teórico y conceptual. Para las distintas tecnologías que se mencionaran ya se cuentan con ejemplos en territorio colombiano y por ello se puede hablar de los beneficios que se han obtenido.

En efecto, Colombia es un país donde ya se han realizado varios casos de implementación de sistemas de energía solar fotovoltaica para diferentes usos finales. Inicialmente, es de un proyecto de energía solar empresarial realizado en Puerto López para un Hotel; en este proyecto, se realizó la instalación de 558 paneles solares que comprendían un total de 180 kilovatios, reduciendo en hasta 83 toneladas la cantidad de dióxido de carbono (CO₂) emitidos al año (LA FM, 2020)

Un ejemplo de aplicación tecnológica en la ruralidad es el que se implementó en La Guajira colombiana, donde se desarrolló un sistema de bombeo automatizado que es alimentado energéticamente por un sistema de energía solar fotovoltaica donde los paneles solares. (Actualidad RT, 2021)

Por otro lado, desde la parte del desarrollo en sectores académicos se tienen varios proyectos donde se implementan paneles solares o soluciones fotovoltaicas dentro de 311 instituciones a lo largo del país, donde se destacan departamentos como Amazonas, La Guajira y Chocó. (Portafolio, 2018)

1.3. Análisis PEST Boyacá

Con el fin de determinar la implementación de un sistema de energía fotovoltaica se presenta necesario hacer un análisis PEST a nivel del Departamento de Boyacá que permitiría identificar aquellos factores externos del proyecto que pueden llegar a influir en el desarrollo de este de forma directa o indirecta. En este sentido, los factores externos a considerar serán las condiciones políticas, económicas, sociales y tecnológicas.

1.3.1. Factores políticos en Boyacá

En esta sección se van a estudiar los factores políticos a nivel Boyacá que intervienen en un proyecto que integre un sistema de energía fotovoltaica para una finca.

Hoy en día no se posee ninguna legislación asociada a proyectos de energías renovables en el departamento de Boyacá. Lo más cercano asociado a algún tipo norma explícita data de la ‘Cumbre de Alcaldes y Alcaldesas’ en donde los mandatarios de todas las poblaciones del departamento de Boyacá se comprometieron, “mediante sus planes de desarrollo y con recursos, con la inclusión de energías alternativas para ir sustituyendo las convencionales, aprovechando las inmejorables condiciones de radicación solar y eólicas de las que goza la región” (Gobernación de Boyacá, 2020). En este acuerdo se consideran varios términos:

- Adoptar proyectos de autogeneración energética
- Adoptar uso de luminarias y equipos eléctricos de bajo consumo energético
- Apoyar proyectos alternativos de carácter energético
- Inclusión de energías limpiar en viviendas de interés social y viviendas rurales
- Velar por una transición a energías renovables

Teniendo en cuenta lo anterior, los factores políticos del departamento de Boyacá serán considerados los mismos que se mencionaron en los factores políticos a nivel de Colombia y estipulados en el literal 1.2.1.

1.3.2. Factores económicos en Boyacá

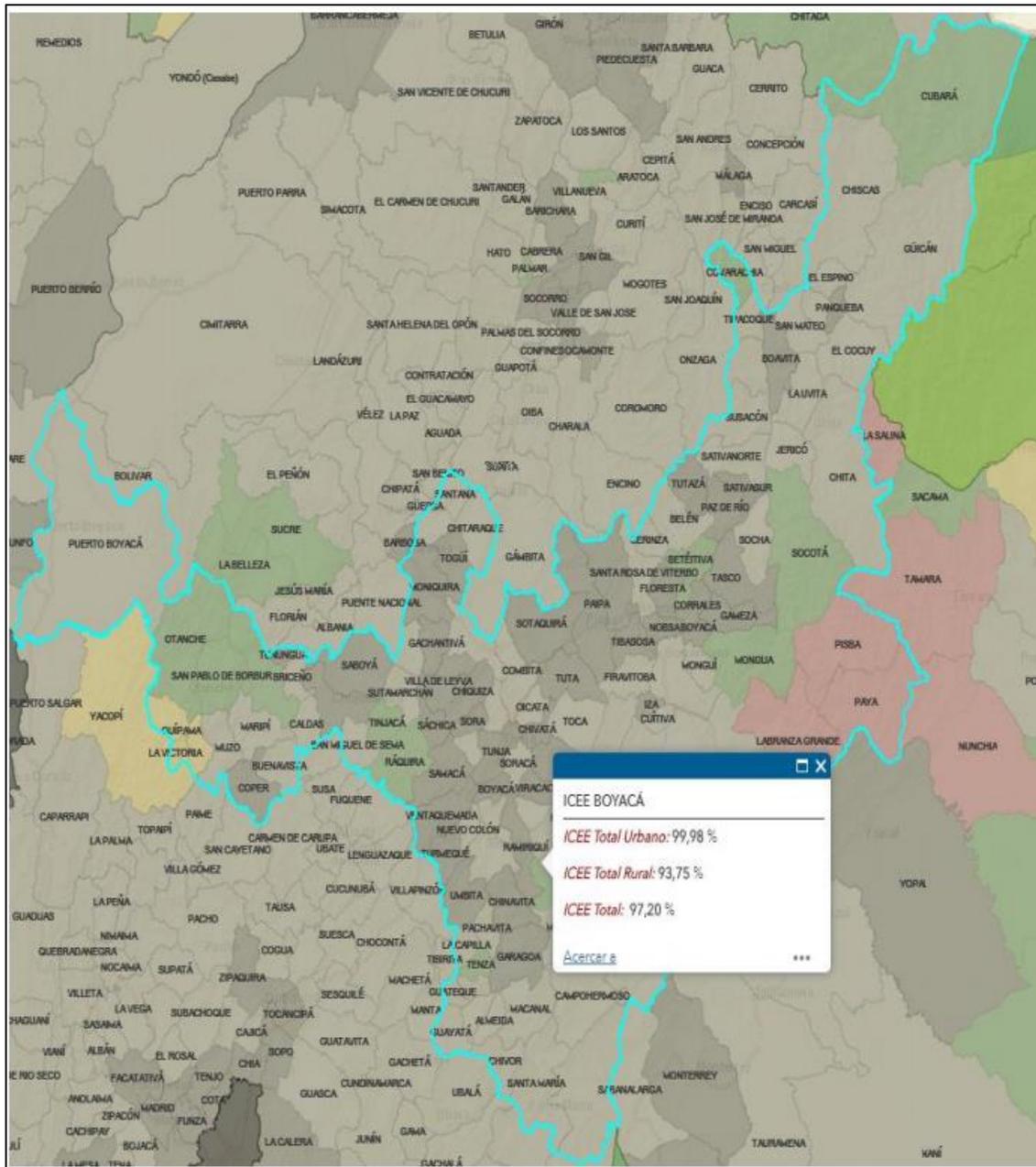
En esta sección se van a estudiar los factores económicos a nivel Boyacá que intervienen en un proyecto que integre un sistema de energía fotovoltaica para una finca.

De los 123 municipios que forman el Departamento de Boyacá, 122 son atendidos por la Empresa de Energía de Boyacá S.A. - E.S.P donde dentro de este volumen de prestación de servicios se cuenta con 351.004 clientes, 198.932 urbanos y 152.072 rurales. (Ministerio de Minas y Energía, 2017).

Adicionalmente, de acuerdo con los informes de sostenibilidad que publica la Empresa de Energía de Boyacá S.A. - E.S.P se ha cumplido tanto con la cobertura de las necesidades de usuarios residenciales, comerciales e industria pequeña como de aquellos clientes que tiene un consumo elevado de electricidad. Así pues, para el reporte que realizaron en 2018 se presentó un incremento en el índice de cobertura de energía eléctrica (ICEE) del 100% para las zonas urbanas y 94 % para las zonas rurales. (Empresa de Energía de Boyacá, 2019). Esto se puede relacionar en la **Figura 5** y la **Figura 6**.

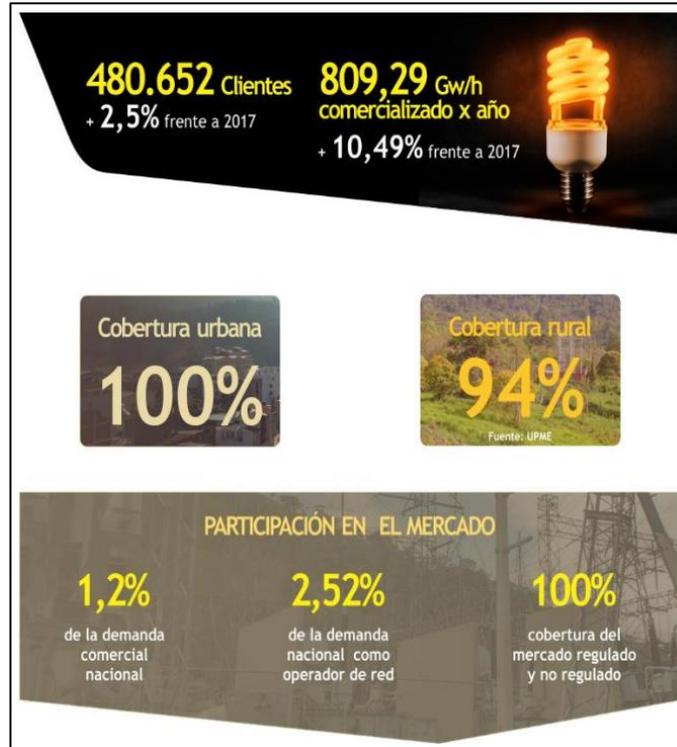
Figura 5.

Índice de cobertura de energía eléctrica en el departamento de Boyacá



Nota: Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME)

Figura 6.
Índice de cobertura reportado



Nota: Empresa de Energía de Boyacá, 2019

De igual forma, la misma empresa que es responsable de la red energética para el departamento considera que, como estrategia de sostenibilidad energética, se continúa trabajando en proyectos que ayuden en la ampliación de la conexión de la población a los sistemas de transmisión nacional y los sistemas de transmisión regional y local. (Empresa de Energía de Boyacá, 2019)

1.3.3. Factores socioculturales en Boyacá

En esta sección se van a estudiar los factores socioculturales a nivel Boyacá que intervienen en un proyecto que integre un sistema de energía fotovoltaica para una finca.

Boyacá como departamento cuenta con un plan de desarrollo para el periodo de tiempo que comprende el 2020 y el 2023. En ese periodo de tiempo se tiene planeado realizar programas que orienten el trabajo por la optimización de la energía mediante fuentes renovables como la eólica y la solar. Para ello, los subprogramas de *“Investigación para la toma de decisiones en materia energética”* y *“Boyacá avanza en transformación energética”* fomentan y fomentarían la generación y adquisición del conocimiento adecuado que estructure soluciones energéticas a corto, mediano y largo plazo en el departamento. (Gobernación de Boyacá, 2020)

1.3.4. Factores tecnológicos en Boyacá

En esta sección se van a estudiar los factores tecnológicos a nivel Boyacá que intervienen en un proyecto que integre un sistema de energía fotovoltaica para una finca.

En un trabajo de grado en Sogamoso, Boyacá se desarrolló e implementó una propuesta que implementó un piloto de energía autosostenible en las instalaciones del Consejo Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres. De acuerdo con los análisis técnicos, financieros, sociales y ambientales se concluyó que el proyecto arrojaba conclusiones positivas y que se podía extrapolar su diseño piloto a un sistema energético más robusto que beneficiaría en mayor medida el gasto energético. (Carrillo Tique, 2018)

1.4. Análisis de radiación

La radiación surge como la materia prima necesaria para el desarrollo del proyecto en cuestión y debido a carácter fundamental dentro del proceso es clave hacer un análisis de la radiación que influye en la zona.

La radiación solar, a menudo llamada recurso solar o simplemente luz solar, es un término general para la radiación electromagnética emitida por el sol. La radiación solar se puede capturar y convertir en formas útiles de energía, como calor y electricidad, utilizando una variedad de tecnologías. (Mezei et al., 2019)

Todos los lugares de la Tierra reciben luz solar al menos parte del año. La cantidad de radiación solar que llega a cualquier punto de la superficie de la Tierra varía según el clima local, la estación del año, la hora del día, el paisaje local y la ubicación geográfica del punto donde se esté midiendo la radiación solar.

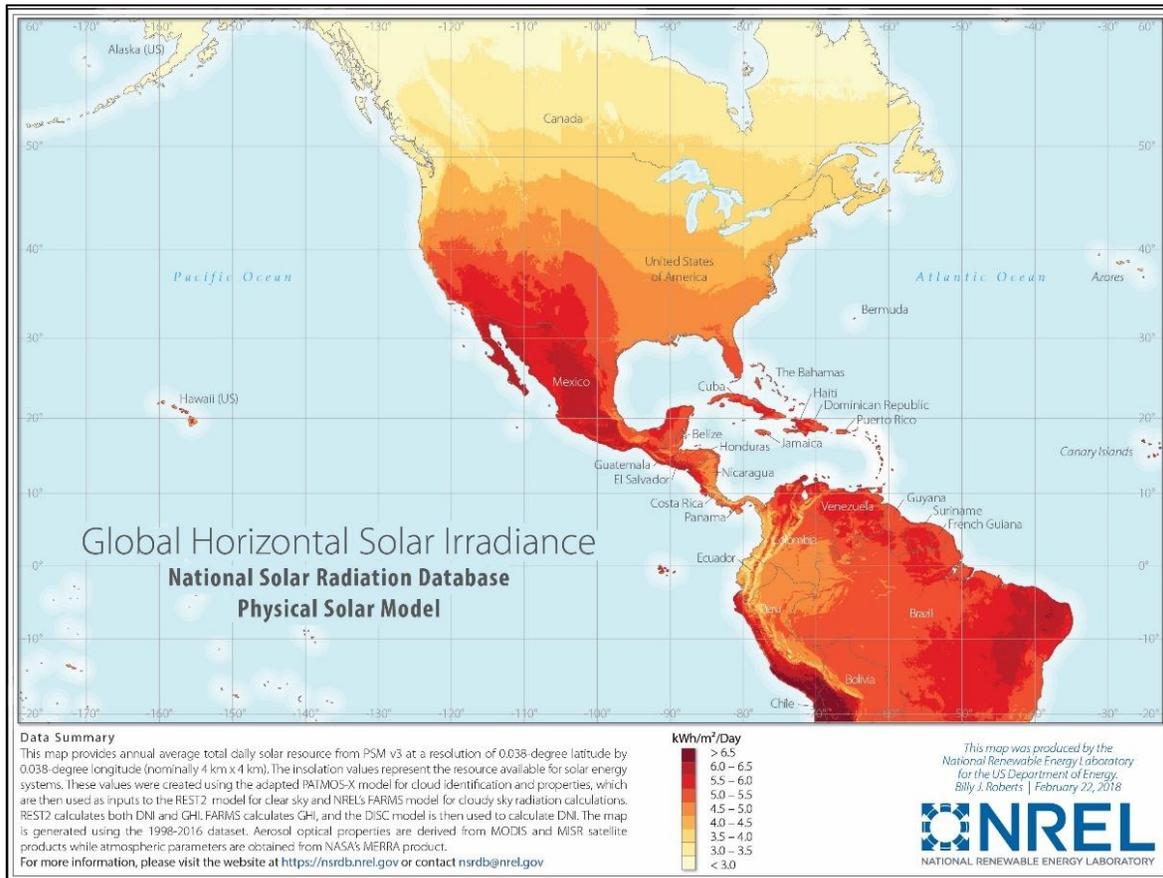
Colombia cuenta con una ubicación geográfica favorable debido a que en su mayoría la radiación solar recibida a lo largo del país es alta y mantiene una constancia a lo largo de varias horas en el día. Por ello, Colombia dispone de, lo que los expertos consideran, un potencial positivo de energía solar y aprovechable sobre varias zonas del territorio nacional.

La UPME recomienda que incluso “para futuros proyectos es importante trabajar las Regiones Insular, Caribe, Andina y Orinoquia, pues estas cuentan con el mayor potencial en el país y pueden resultar técnica y económicamente más viables que las Regiones Amazónica y Pacífica”.

Mediante la **Figura 7** nos podemos ilustrar sobre la irradiación solar de Colombia a comparación de otros países de Latinoamérica, de la región e incluso del continente.

Figura 7.

Recurso solar en Colombia comparado con el resto del mundo

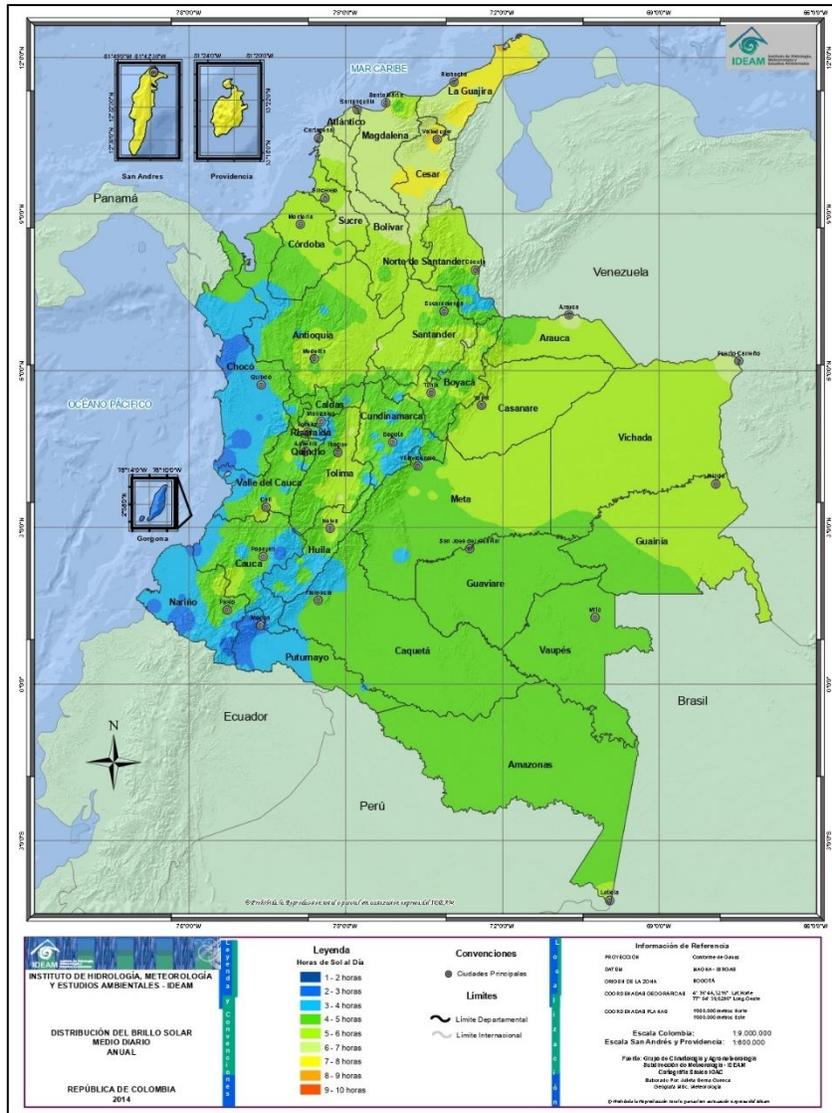


Nota: National Renewable Energy Laboratory

En la **Figura 8**, se puede observar que la mayor parte del territorio nacional cuenta con buena obtención de radiación solar, en donde con valores que oscilan entre las 4, 8 y 12 horas de Sol al día en promedio diario anual se tiene mayor cantidad de recurso de luz solar que en países como Alemania en donde su pico promedio es de 3 horas de radiación al día.

Figura 8.

Mapa y convenciones de Brillo Solar Medio Diario Anual (Horas de Sol al día), República de Colombia



Nota: IDEAM 2014

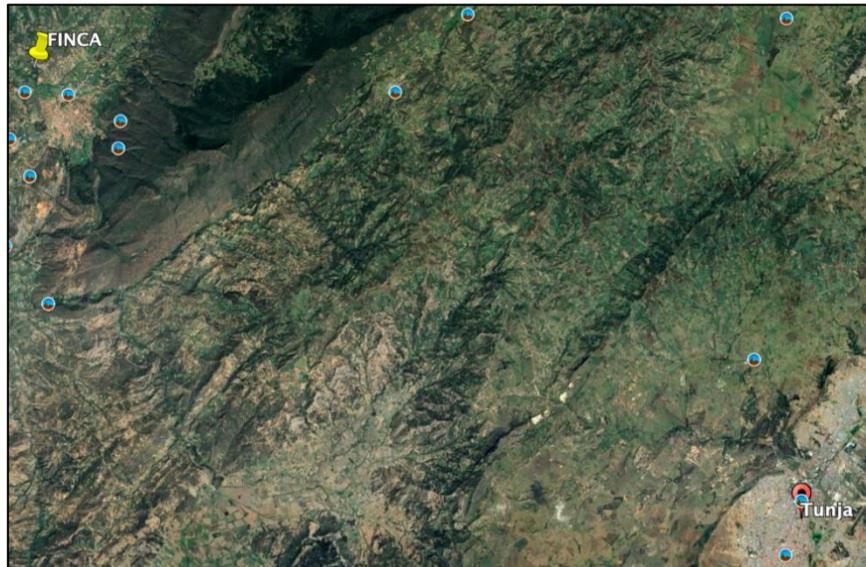
Lo anterior resulta significativo debido a que uno de los principales temas al considerar una inversión en sistemas fotovoltaicos (y el aprovechamiento de estos) es la cantidad – en horas – con la que se cuenta del recurso de radiación solar que impactarán en los paneles fotovoltaicos teniendo en cuenta que entre mayor sea el tiempo, mayor va a ser la capacidad que tendrán los sistemas para generar la

energía necesaria. Más aún, se debe acotar que Colombia se encuentra dentro de la zona ecuatorial, garantizando que en promedio se tenga un buen recurso de radiación solar en todo el año debido a la no presencia de estaciones dentro del territorio nacional. (UPME, 2015).

Específicamente, hablando de la ubicación del proyecto, se puede relacionar la cercanía que esta con la ciudad de Tunja y por ello se utilizará a la capital del departamento de Boyacá como fuente de referencia para medir la cantidad de horas que se tiene radiación solar. Mediante la **Figura 9** se puede apreciar, visualmente, la cercanía que se mencionaba, en donde existe una separación aproximada de 20 km.

Figura 9.

Distancia de la finca con respecto a Tunja



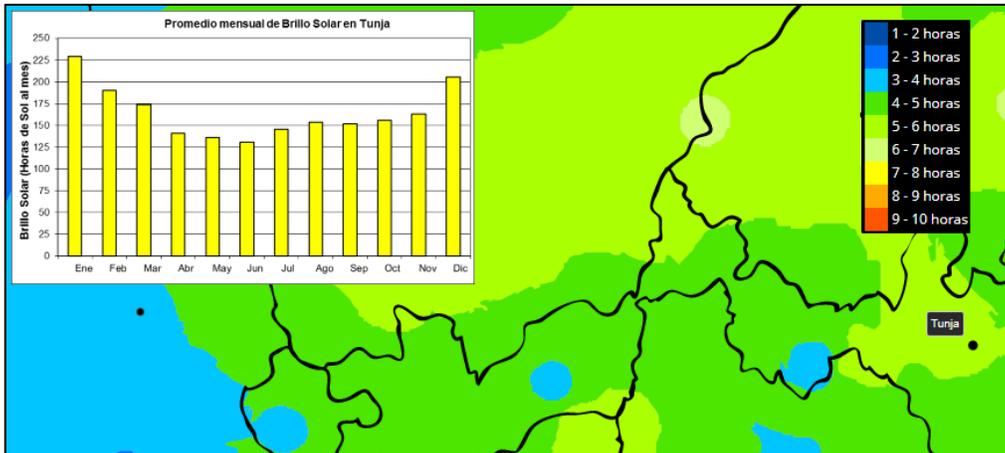
Nota: Google Earth

En relación con lo anterior y haciendo uso de la **Figura 10** se puede concluir que la finca y el municipio de Villa de Leyva, al estar presentes dentro del departamento de Boyacá y cerca de la ciudad de Tunja cuentan en promedio con un impacto solar

que permanece entre 5 y 6 horas al día. Este dato resulta alentador debido a que, por ejemplo, a comparación de Bogotá existen una mayor cantidad de radiación solar en donde para la capital del país se tiene un impacto que dura entre 3 y 4 solamente.

Figura 10.

Mapa y convenciones de Brillo Solar Medio Diario Anual (Horas de Sol al día), Tunja



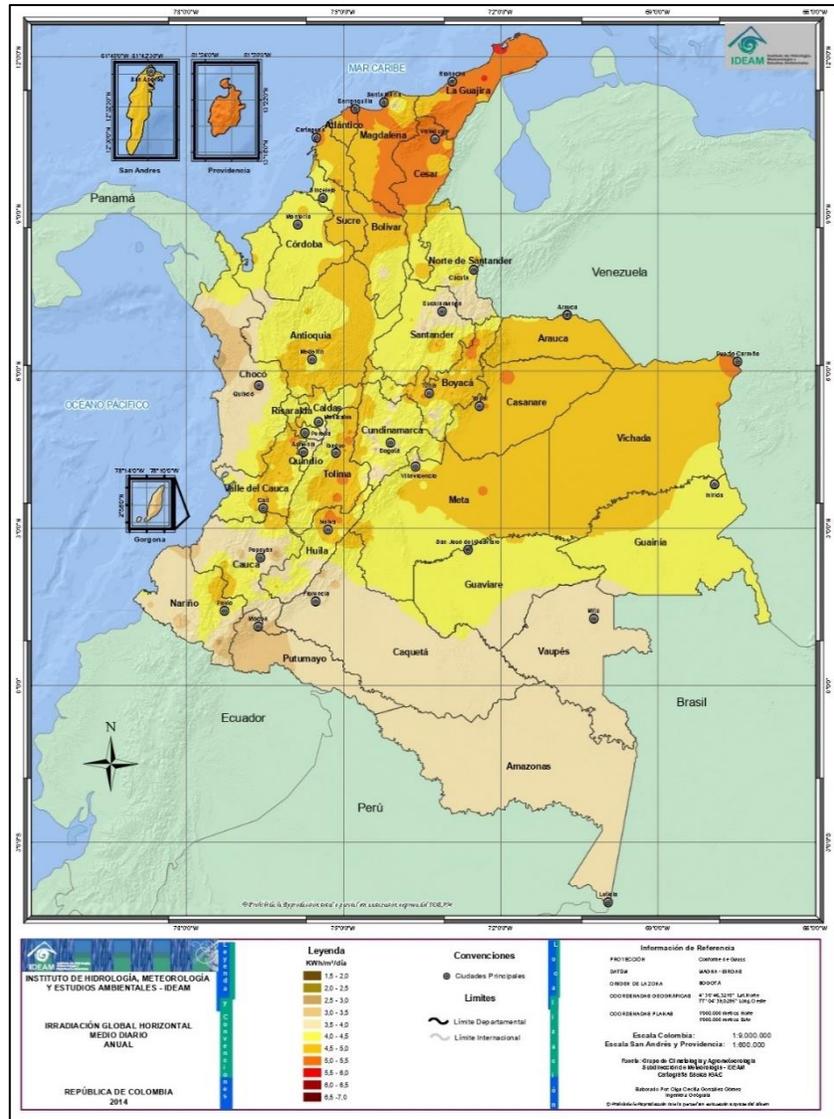
Nota: IDEAM 2014

Adicionalmente, la **Figura 11** se detalla la cantidad de radiación solar promedio que recibe Colombia. Mediante ese gráfico se puede evidenciar que la mayor parte de las zonas no interconectadas cuentan con un recurso de radiación solar promedio de 4,5 kWh/m²/día que supera el valor promedio del planeta que es de 3,9 kWh/m²/día.

Para el caso específico de Villa de Leyva, el municipio recibe un recurso de radiación solar anual promedio de 4,5 kWh/m, lo que facilitaría la consecución de proyectos de energía solar fotovoltaica en el territorio. (Consejo Municipal de Villa de Leyva, 2020)

Figura 11.

Mapa y convenciones de Radiación Global Horizontal Medio Diario Anual, República de Colombia.



Nota: IDEAM 2014

2. RECONOCIMIENTO DE LA TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA FOTVOLTAÍCA PARA PROYECTOS RURALES

El desarrollo de este capítulo se basa en la descripción y el reconocimiento de la tecnología asociada al proyecto. Se hace una descripción de todas las generalidades teóricas, técnicas y conceptuales que dan entendimiento al sistema de energía solar fotovoltaico. Seguido a ello, se hace un análisis del impacto ambiental que puede llegar a tener el proyecto mediante la implementación de la matriz Leopold y la matriz Vicente Conesa. Por último, se hace la debida propuesta del sistema de energía fotovoltaico que se puede llegar a efectuar en la finca de Villa de Leyva, Boyacá.

2.1. Marco teórico y conceptual

A continuación, se relacionan los conceptos teóricos y conceptuales más relevantes para el entendimiento del proyecto en cuestión.

2.1.1. Energías renovables

Los recursos renovables incluyen la energía solar, el viento, la caída de agua, el calor de la tierra (geotermia), los materiales vegetales (biomasa), las olas, las corrientes oceánicas, las diferencias de temperatura en los océanos y la energía de las mareas.

Las tecnologías de energía renovable producen energía, calor o energía mecánica al convertir esos recursos en electricidad o en fuerza motriz. El responsable de la formulación de políticas preocupado por el desarrollo del sistema de red nacional se centrará en aquellos recursos que se han establecido comercialmente y son rentables para las aplicaciones en la red. Estas tecnologías comerciales incluyen la

energía hidroeléctrica, la energía solar, los combustibles derivados de la biomasa, la energía eólica y la energía geotérmica. (Owusu & Asumadu-Sarkodie, 2016)

Las tecnologías de las olas, las corrientes oceánicas, las térmicas oceánicas y otras que se encuentran en la etapa de investigación o comercial inicial, así como las tecnologías de energía renovable no eléctrica, como los calentadores de agua solares y las bombas de calor geotérmicas, también se basan en recursos renovables.

2.1.2. Energía solar

La energía solar es energía del sol que se convierte en energía térmica o eléctrica. La energía solar es la fuente de energía renovable más limpia y abundante disponible. Esta energía varía de acuerdo con la posición geográfica, topografía y exposición diaria al sol. Las tecnologías solares pueden aprovechar esta energía para una variedad de usos, incluida la generación de electricidad, proporcionar luz o un ambiente interior confortable y calentar agua para uso doméstico, comercial o industrial.

La energía solar es una tecnología energética muy flexible: se puede construir como generación distribuida (ubicada en o cerca del punto de uso) o como una estación central asociada a una planta de energía solar a escala de servicios públicos (similar a las plantas de energía tradicionales). Ambos métodos también pueden almacenar la energía que producen para su distribución después de la puesta del sol, utilizando tecnologías de almacenamiento solar + de vanguardia. La energía solar existe dentro de un sistema eléctrico complejo e interrelacionado en gran cantidad de los países hoy en día y se puede considerar una energía que, trabajando junto con otras tecnologías como la energía eólica, logran una transición hacia una economía de energía limpia. (Owusu & Asumadu-Sarkodie, 2016)

Todas estas aplicaciones dependen de marcos de políticas de apoyo a nivel local, estatal y federal para garantizar que los consumidores y las empresas tengan un acceso justo a tecnologías de energía limpia como la solar. (Aldegheri et al., 2014)

2.1.3. Tecnologías solares

Hay tres formas principales de aprovechar la energía solar: calefacción y refrigeración solar, energía fotovoltaica, y energía solar de concentración. La energía fotovoltaica genera electricidad directamente de la luz solar a través de un proceso electrónico y se puede utilizar para alimentar cualquier cosa, desde pequeños dispositivos electrónicos como calculadoras y señales de tráfico hasta hogares y grandes empresas comerciales. Las aplicaciones de calefacción y refrigeración solar (SHC, por sus siglas en inglés) y de energía solar de concentración (CSP, por sus siglas en inglés) utilizan el calor generado por el sol para calentar el espacio o el agua en el caso de los sistemas SHC, o para hacer funcionar turbinas tradicionales de generación de electricidad en el caso de la energía CSP.

2.1.4. Energía fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica o energía solar fotovoltaica convierte directamente la luz solar en electricidad, utilizando una tecnología basada en el efecto fotovoltaico. Cuando la radiación del sol incide en una de las caras de una celda fotoeléctrica (muchas de las cuales forman un panel solar), produce un diferencial de voltaje eléctrico entre ambas caras que hace que los electrones fluyan entre una a la otra generando una corriente eléctrica.

2.1.4.1. Celda fotovoltaica

La celda fotovoltaica es la herramienta necesaria para la obtención de energía eléctrica a través de la radiación solar. Esta celda está compuesta de material semiconductor y, en consecuencia, puede conducir la electricidad mejor que un aislante, pero no tan bien como un buen conductor como un metal. Hay varios materiales semiconductores diferentes que se utilizan en las células fotovoltaicas. Cuando el semiconductor se expone a la luz, absorbe la energía de la luz y la transfiere a partículas cargadas negativamente en el material llamadas electrones. Esta energía adicional permite que los electrones fluyan a través del material como una corriente eléctrica. Esta corriente se extrae a través de contactos metálicos conductores, las líneas en forma de rejilla en las células solares, y luego se puede utilizar para alimentar el destino final que se requiera. (Aidoud et al., 2019)

Una propiedad importante de los semiconductores fotovoltaicos es la brecha energética, que indica qué longitudes de onda de luz puede absorber el material y convertir en energía eléctrica. Si la brecha energética del semiconductor coincide con las longitudes de onda de la luz que brilla en la celda fotovoltaica, esa celda puede hacer uso eficiente de toda la energía disponible.

Adicionalmente, es de resaltar que las celdas solares no son 100% eficientes, en parte porque solo se puede absorber cierta luz dentro del espectro: parte del espectro de luz se refleja, parte es demasiado débil para generar electricidad (infrarrojos) y parte (ultravioleta) crea energía térmica en lugar de electricidad. (Xue, 2010)

2.1.4.1.a. Principio de funcionamiento

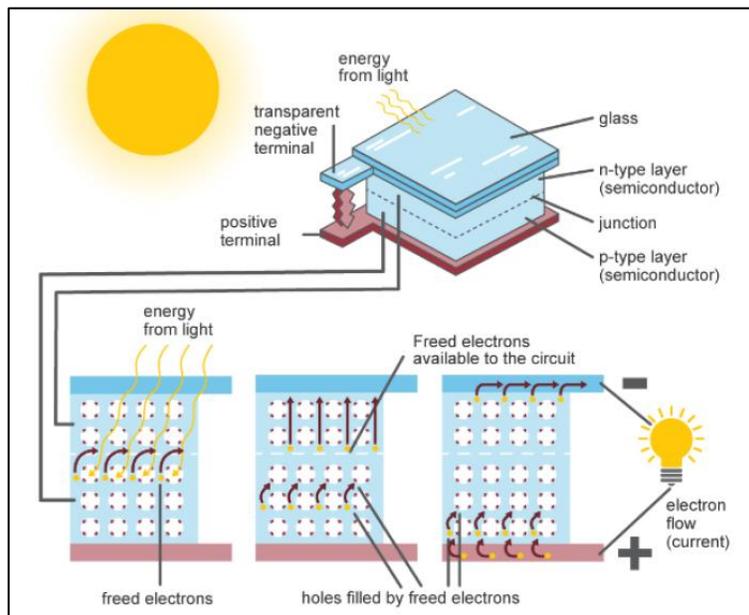
El principio de funcionamiento de la energía fotovoltaica se basa en el efecto fotoeléctrico y se describe en la **Figura 12**. En una celda fotovoltaica, la luz solar desprende electrones de los átomos de silicio que los albergan. Pequeños paquetes

de energía luminosa que se conocen como fotones son capturados por electrones e imparten suficiente energía para liberar al electrón de su átomo anfitrión.

Cerca de la superficie superior de la celda hay una "membrana unidireccional" llamada unión pn (que debe su nombre a la parte positiva y negativa de la celda). La unión pn se forma mediante la difusión de pequeñas cantidades de fósforo a una profundidad de aproximadamente un micrómetro en una fina capa del material en el que se construyó la celda (silicio en el caso de la figura). (Garnett et al., 2021)

Figura 12.

Efecto fotoeléctrico dentro de una celda fotovoltaica



Nota: U.S Energy Information Administration

Cuando un electrón libre cruza la unión pn, no puede regresar fácilmente, lo que hace que aparezca un voltaje negativo en la superficie que mira hacia el sol (y un voltaje positivo en la superficie trasera). Las superficies delantera y trasera se conectan a través de un circuito externo que al final extrae corriente, voltaje y energía de la celda solar.

2.1.4.II. Reguladores de carga

El propósito del regulador suele ser garantizar que las baterías estén correctamente alimentadas y, por lo tanto, seguras para un uso prolongado. En su forma más básica, un controlador es simple. Bloquea la corriente inversa y evita que las baterías se sobrecarguen.

Un controlador fotovoltaico también puede evitar la sobrecarga. Una vez que una batería está completamente cargada, no puede almacenar energía solar entrante. Si esa energía continúa aplicándose, el voltaje de la batería se vuelve demasiado alto. Un controlador de carga fotovoltaica evita la sobrecarga al reducir el flujo de energía a su batería una vez que alcanza un cierto voltaje. Una vez que el voltaje cae cuando la intensidad del sol es menor o hay un aumento en el uso eléctrico, el controlador permitirá la máxima carga posible.

Figura 13.

Regulador de carga en un sistema fotovoltaico



Nota: Victron Energy Blue Power

2.1.4.III. Baterías

Las baterías almacenan y producen energía según sea necesario. En los sistemas fotovoltaicos, capturan el excedente de energía generada por su sistema fotovoltaico para permitirle almacenar energía para usar más tarde en el día. Al igual que las tecnologías como las pilas de combustible, una batería convierte la energía química en energía eléctrica. Las baterías recargables también convierten la energía eléctrica en energía química.

Las baterías pueden proporcionar energía cuando las cargas eléctricas requieren más energía que la que generan los paneles fotovoltaicos. Esto puede deberse a la generación de menos electricidad debido a condiciones climáticas adversas, un uso de energía mayor al normal u otras anomalías con la recolección de energía fotovoltaica.

2.1.4.IV. Inversores

El propósito principal del inversor solar es traducir o “invertir” la energía solar, generada por sus paneles solares, de corriente continua a corriente alterna para que su hogar y la red de servicios públicos puedan usarla. Así que ese es el primer y más importante servicio que brinda. Pero, además de invertir la energía de una forma a otra, el inversor tiene otro propósito importante: la comunicación en línea. Hay varios fabricantes de inversores diferentes, pero la mayoría de las empresas se centran en uno de los tipos de inversores que se describen a continuación (Palm & Eriksson, 2018):

- Inversor de cadena recta: Los paneles solares están conectados en serie, y si uno de los paneles de esa serie está sombreado o se ensucia, afecta el rendimiento del resto de la cadena porque la cadena solo puede funcionar al nivel de su panel menos productivo.

- Inversor de cadena optimizado: El inversor de cadena optimizado es similar al inversor de cadena estándar, excepto que tiene optimizadores de energía montados debajo de cada panel solar en el techo. El optimizador de energía convierte el panel solar en un "panel inteligente" y maximiza el rendimiento al monitorear y luego comunicar el rendimiento de cada panel solar individualmente.
- Microinversor: En lugar de tener un inversor más grande en el costado de la casa, se monta un microinversor debajo de cada panel solar en el techo (similar a la forma en que se instalan los optimizadores de energía).
- Inversor híbrido: Un inversor híbrido es una combinación de un inversor fotovoltaico (fotovoltaico) y un inversor de batería y está disponible en opciones de cadena recta y cadena optimizada.

2.1.4.V. Aplicaciones

La energía solar fotovoltaica tiene mucho potencial en muchos rubros. A medida que se buscan materiales avanzados y tecnologías de próxima generación, se está habilitando la energía fotovoltaica en una variedad de aplicaciones y ubicaciones. (Shin et al., 2018)

- Granjas solares: Muchas hectáreas de paneles fotovoltaicos pueden proporcionar energía a gran escala, desde decenas de megavatios hasta más de un gigavatio de electricidad. Estos grandes sistemas, que utilizan paneles fijos o de seguimiento solar, pueden o ya están en capacidad de suministrar energía a las redes municipales o regionales.
- Lugares remotos: No siempre es rentable, conveniente o incluso posible extender las líneas eléctricas a lugares donde se necesita electricidad. La

energía fotovoltaica puede ser la solución: para hogares rurales, aldeas de países en desarrollo, faros, plataformas petrolíferas en alta mar, plantas desalinizadoras y clínicas de salud remotas.

- **Energía autónoma:** En áreas urbanas o remotas, la energía fotovoltaica puede alimentar dispositivos, herramientas y medidores independientes. La energía fotovoltaica puede satisfacer la necesidad de electricidad para parquímetros, señales de tráfico temporales, teléfonos de emergencia, transmisores de radio, bombas de riego de agua, medidores de flujo de corriente, puestos de guardia remotos, iluminación para carreteras y más.
- **Poder en el espacio:** Desde el principio, la energía fotovoltaica ha sido una fuente de energía primaria para los satélites en órbita terrestre. La energía fotovoltaica de alta eficiencia ha suministrado energía a empresas como la Estación Espacial Internacional y los rovers de superficie en la Luna y Marte, y seguirá siendo una parte integral de la exploración espacial y planetaria.
- **Necesidades relacionadas con la construcción:** En los edificios, los paneles fotovoltaicos montados en techos o en el suelo pueden suministrar electricidad. El material fotovoltaico también se puede integrar en la estructura de un edificio como ventanas, tejas o revestimientos para cumplir un doble propósito. Además, los toldos y las estructuras de estacionamiento se pueden cubrir con PV para proporcionar sombra y energía.
- **Usos militares:** La energía solar fotovoltaica de película delgada, liviana y flexible puede servir para aplicaciones en las que la portabilidad o la robustez son críticas. Los soldados pueden llevar PV liviano para cargar equipos electrónicos en el campo o en bases remotas.
- **Transporte:** La energía fotovoltaica puede proporcionar energía auxiliar para vehículos como automóviles y barcos. Los techos solares de los automóviles

pueden incluir fotovoltaica para las necesidades de energía a bordo o baterías de carga lenta. La energía fotovoltaica liviana también puede adaptarse a la forma de las alas de un avión para ayudar a impulsar aviones de gran altitud.

2.1.4.VI. Retos y dificultades de implementar el proyecto

Enunciar los retos tecnológicos y las posibles dificultades se hace necesario para completar el conocimiento teórico y conceptual del sistema de energía solar fotovoltaico. Dentro de los retos al implementar un proyecto como el que se plantea se encuentran los siguientes:

- Las eficiencias todavía están significativamente por debajo de las permitidas por la termodinámica. Los dispositivos fotovoltaicos tienen un límite de conversión de energía teórico alto: por encima del 33% para uniones simples y, en última instancia, cerca del 90% si se pueden encontrar materiales adecuados. Las eficiencias dependen en gran medida de la calidad de los materiales y se ven influenciadas por defectos químicos y estructurales. (Almosni et al., 2018)
- Disponibilidad de materiales para lograr un bajo costo. Se podría lograr un costo extremadamente bajo si se pudieran utilizar procesos escalables y de bajo costo para producir materiales de alta calidad. Es de acotar también la disponibilidad de materiales que entra dentro de la ecuación debido a que el crecimiento de la producción genera preocupaciones en temas de sostenibilidad. (Gangopadhyay et al., 2013)
- La durabilidad y el envejecimiento del material a nivel de células y módulos solares también son un problema, ya que esto afecta la confiabilidad de la tecnología y, en última instancia, también el costo. Esto se refiere a una gran cantidad de materiales de estructura, pero a menudo se descubrió que la estabilidad intrínseca de los materiales activos era un problema que debía

resolverse primero y causaba el fracaso de algunas tecnologías en el pasado, como por ejemplo el sulfuro de cobre o el clorito de sodio. (Lotsch et al., 2009)

- Problemas con el ciclo de vida del proyecto (toxicidad, reciclabilidad, incluidos los materiales de la estructura) puede volverse frecuente a medida que los sistemas crecen en volúmenes (escala de teravatios) donde las preocupaciones sobre la cadena de suministro, incluidas las ambientales, pasan a primer plano. (Koppelaar, 2017)
- La integración al sistema energético global (sistema, almacenamiento) y al entorno construido (almacenamiento, aspecto) se están convirtiendo en temas candentes a medida que la producción de energía se acerca al punto en el que la gestión de la energía es crítica, y se consideran las sinergias con la electrónica de potencia y el almacenamiento electroquímico. Nuevamente, con un mayor rendimiento y una mejor asequibilidad, aparece una mayor cantidad de aplicaciones. A menudo requieren (por ejemplo, integración arquitectónica) que se consideren otras propiedades como, por ejemplo, la estética. (Park, 2013)

Adicional a lo mencionado anteriormente, se deben considerar algunos problemas comunes que se podrían presentar al implementar este tipo de sistemas de energía solar y deben ser tenidos en cuenta al desarrollar proyectos fotovoltaicos.

- Delaminación y corrosión interna: Si la humedad entra en el panel, puede causar corrosión interna. Para evitar este problema, asegúrese de que sus paneles mantengan fuera el aire y el agua y que todos los componentes del panel solar estén laminados bajo presión de vacío.
- Problemas eléctricos: El cableado defectuoso evita que los paneles solares funcionen bien. Las conexiones sueltas, la corrosión y la oxidación pueden interferir con la producción de electricidad.

- **Microgrietas:** Se hace referencia a pequeñas grietas en el panel que son difíciles de notar a simple vista. Pero con el tiempo y los cambios climáticos significativos, las grietas pueden crecer. Las grietas se producen principalmente debido a la producción de módulos fotovoltaicos y las condiciones térmicas y estacionales.
- **Aves:** Estos animales pueden causar estragos en los sistemas solares. Pueden formar un nido debajo de los paneles y evitar que el sistema haga su trabajo correctamente.
- **Problemas en el techo:** El sistema solar no debería afectar la integridad de los techos. Por el contrario, puede servir como una buena capa de protección para los materiales del techo debajo. Sin embargo, en algunos casos, la instalación puede dañar los techos de alguna manera.
- **Problemas con el inversor:** La mayoría de los paneles solares pueden durar hasta 20 años, pero los inversores no son tan duraderos. Los usuarios de energía solar informan que tienen que cambiar sus inversores una media de cada 10 a 15 años.

2.2. Estudio de impacto ambiental

Con el fin de realizar el proyecto y demostrar una gestión adecuada del mismo se realizan varios estudios que demuestran la viabilidad – o no – de la propuesta. Según la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) el estudio de impacto ambiental es el instrumento básico para la toma de decisiones sobre los proyectos, obras o actividades que tienen o llegan a tener un impacto ambiental. Este estudio debe corresponder en su contenido y profundidad a las características y entorno del proyecto, obra o actividad.

Dentro de los posibles métodos empleados para la identificación impactos se cuenta con matrices, diagramas de redes, listas de control y diagramas de vínculos. Dentro de ellos se encuentran la matriz de Leopold y la matriz Vicente Conesa. Ambas matrices proporcionan una visión final a considerar teniendo en cuenta los impactos ambientales que traería consigo el proyecto que se evalúe.

2.2.1. Matriz Leopold

La matriz de Leopold es un método que evalúa el impacto ambiental de un proyecto. La novedad de este método se refiere a la evaluación de las actividades planificadas del proyecto en relación con un grupo de criterios relacionados con: significancia (dispersión espacial), probabilidad y duración del impacto. (Josimovic et al., 2014)

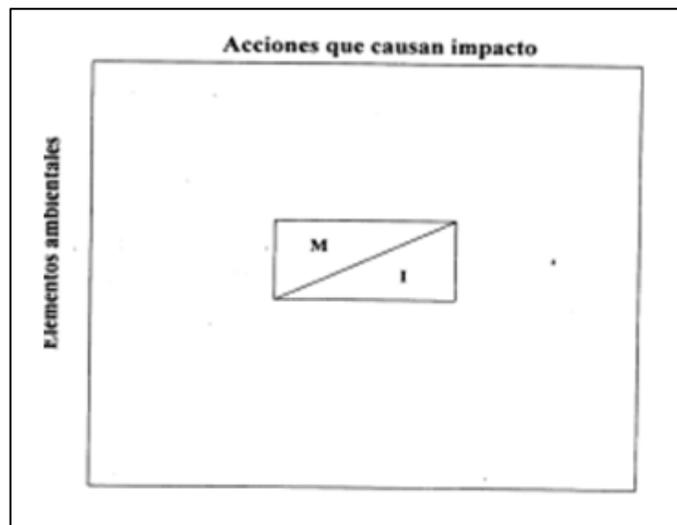
Esta matriz proporciona un sistema para el análisis y ponderación numérica de impactos probables. El análisis no produce una calificación cuantitativa general; en cambio, contrasta muchos juicios de valor y tiene como propósito principal asegurar que el impacto de las acciones alternativas sea evaluado y considerado en la planificación del proyecto.

La matriz Leopold cuenta en el eje horizontal con las acciones que causan un impacto ambiental en el proceso y en el eje vertical los impactos ambientales que se consideran tiene mayor relevancia y se puedan ver afectados por las acciones del eje horizontal. En consecuencia, como pueden existir un sin número de acciones y factores ambientales que se pueden llegar a considerar dentro del desarrollo de cualquier proyecto, lo más recomendable es y eficaz es realizar la matriz una vez se hayan identificado las acciones más significativas. (Leopold et al., 1971)

Leopold menciona que después de ser identificadas las acciones más significativas “se procede a evaluar las mismas en términos de la magnitud del efecto sobre las características y condiciones medioambientales que figuran en el eje vertical”. Lo siguiente es evaluar cada casilla marcada de acuerdo con la magnitud y la importancia de los efectos, en donde para la magnitud se le agrega un valor en la esquina superior izquierda entre 1 y 10, siendo 10 el de mayor magnitud. De la misma forma se otorga un valor entre 1 y 10 para la importancia, pero esta vez en la esquina inferior derecha. Mediante la **Figura 14** se puede ejemplificar lo explicado anteriormente. Hay que recordar que, adicionalmente, cada calificación debe tener en cuenta el carácter beneficioso o perjudicial del impacto, agregando un signo negativo si es perjudicial y dejándolo sin signo si tiene un impacto positivo.

Figura 14.

Matriz interactiva de Leopold. M=Magnitud, I= Importancia



Nota: Leopold, L. B., Clarke, F. E., Hanshaw, B. B., & Balsley, J. R. (1971). Procedure for evaluating environmental impact.

Al asignar todos los valores correspondientes en cada casilla disponible se presenta una manera simple de resumir y jerarquizar los impactos ambientales que llega a generar un proyecto, lo que permite concentrarse en aquellos impactos que obtengan valores más elevados con respecto a los otros.

2.2.1.I. Matrices Leopold del proyecto

Tabla 1.

Matriz Leopold del proyecto: Etapa de construcción

2. CARACTERÍSTICAS O CONDICIONES DEL MEDIO SUSCEPTIBLES DE ALTERARSE		MATRIZ DE LEOPOLD PARA LA EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES																											
		1. ACCIONES QUE PUEDEN CAUSAR EFECTOS AMBIENTALES																											
		Carlos Eduardo Candela Suescún CONSTRUCCIÓN																											
		Transporte de maquinaria, equipos y materiales	Construcción de vías de acceso rernas y canaléas de cableado	Cercado del terreno	Limpieza y adecuación de terreno	Excavación de cimientos	Almacenamiento de materiales	Construcción de instalación de control	Fabricación de los paneles y del módulo	Fabricación estructura de soporte	Fabricación de baterías	Montaje de soportes y paneles	Pruebas y puesta en marcha	Manejo y disposición de residuos	EVALUACIONES														
ACCIONES PROPUESTAS																													
ABIÓTICOS	A. AGUA	-3	3						-3	3					-2	3	-8	9											
	B. AIRE	-5	2	-3	5	-3	5	-2	6	-2	3	-1	5	-2	4	-3	3	-2	5	-2	3	-25	41						
	C. PRESIÓN SONORA	-3	3	-2	6	-2	6	-2	6	-2	4	-1	5	-2	6	-2	3							-16	39				
	D. SUELO	-5	4	-5	6	-1	4	-2	7	-2	7	-1	5	-2	6	-2	7	-2	3	-2	6	-2	6	-27	66				
	E. RESIDUOS SÓLIDOS			-2	6		4	-2	7	-2	6	-3	6	-3	6	-3	5	-2	6					-2	8	-19	50		
BIÓTICOS	A. ECOSISTEMAS			-4	6		4	-4	4	-2	5													-3	5	-13	20		
	B. VEGETACIÓN	-2	3	-5	5		4	-5	4	-4	6															-16	18		
	C. FAUNA	-4	3	-3	5	-1	3	-2	4	-3	3															-13	18		
SOCIO ECONÓMICOS	A. SITUACIÓN ECONÓMICA LOCAL																										23	22	
	B. EDUCACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA																										14	15	
	C. ASPECTOS SOCIALES																										7	8	
	D. ASPECTOS CULTURALES	-2	3	-3	3	-3	3																				-11	14	
EVALUACIONES		-24	21	-20	45	-5	10	-14	41	-12	46	-4	11	-7	30	8	36	-8	23	-7	9	-7	16	7	7	-11	25	-104	320

Nota: Elaboración propia

Tabla 2.

Matriz Leopold del proyecto: Etapa de operación

		MATRIZ DE LEOPOLD PARA LA EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES									
		1. ACCIONES QUE PUEDEN CAUSAR EFECTOS AMBIENTALES									
		Carlos Eduardo Candela Suescún									
2. CARACTERÍSTICAS O CONDICIONES DEL MEDIO SUSCEPTIBLES DE ALTERARSE	ABIÓTICOS	OPERACIÓN									
		Generación de energía	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento correctivo	Manejo y disposición de residuos	EVALUACIONES					
		ACCIONES PROPUESTAS									
		A. AGUA		-3	4		-3	5	9	-19	
		B. AIRE					-2	4	-2		4
	C. PRESIÓN SONORA							0	0		
	D. SUELO		-2	4	-2	4	-4	6	-8		14
	E. RESIDUOS SÓLIDOS					-3	6	-3	6		
	BIÓTICOS	A. ECOSISTEMAS					-3	5	5	-3	
		B. VEGETACIÓN							0		0
C. FAUNA								0	0		
SOCIO ECONÓMICOS	A. SITUACIÓN ECONÓMICA LOCAL	8						8	10	40	
	B. EDUCACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA	8	10		8			16	17		
	C. ASPECTOS SOCIALES	8	9		8	8		8	8		
	D. ASPECTOS CULTURALES	8	8					8	8		
EVALUACIONES		32	35	-5	8	6	12	-15	26	18	81

Nota: Elaboración propia

Como se puede detallar a través de la **Tabla 1** y de la **Tabla 2** en las etapas de construcción y operación los impactos más relevantes se ven asociados a las etapas de transporte de materiales y construcción de los espacios necesarios para desarrollar el proyecto de energía fotovoltaica donde pueden llegar a tener influencia dentro de espacios de fauna y flora del terreno en el cual se realizan los

procesos. De igual forma, pero no menos importante, se debe hacer hincapié en los impactos negativos que conllevan la fabricación de los paneles fotovoltaicos puesto que se hace necesario la utilización de ciertos metales que pueden llegar a ser tóxicos.

Por otro lado, hay que destacar los impactos positivos asociados, en donde la generación de empleo puede tenerse en cuenta dentro de aspectos como la economía local, la educación, la ciencia y tecnología y los aspectos sociales. Sumado a lo anterior, es imprescindible destacar el impacto positivo que lleva la puesta en marcha del proyecto debido a la generación de energía.

2.2.2. Matriz Vicente Conesa

Se le conoce como Matriz Vicente Conesa a la matriz de impacto ambiental desarrollada por el autor Vicente Conesa Fernández Vitori en 1997. Este método asigna la importancia (I) a cada impacto ambiental posible en la ejecución de un proyecto en todas y cada una de sus etapas. Se rige por la siguiente ecuación:

$$I = \pm (i + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + RC)$$

Donde:

- \pm *Naturaleza del impacto*
- I *Importancia del impacto*
- i *Intensidad o grado probable de destrucción*
- EX *Extensión o área de influencia del impacto*
- MO *Momento o tiempo entre la acción y la aparición del impacto*
- PE *Persistencia o permanencia del efecto provocado por el impacto*
- RV *Reversibilidad*
- SI *Sinergia o reforzamiento de dos o más efectos simples*
- AC *Acumulación o efecto de incremento progresivo*
- EF *Efecto (tipo directo o indirecto)*

PR *Periodicidad*

RC *Recuperabilidad o grado posible de reconstrucción por medios humanos*

A continuación, se describen, de acuerdo a lo mencionado por el autor, cada uno de los significados de los mencionados símbolos que conforman todos los elementos necesarios para realizar la matriz de valoración cualitativa (Conesa, 1997):

2.2.2.I. Naturaleza

Este aspecto se refiere a si el orden del impacto que se genera tiene un carácter beneficioso (+) o perjudicial (-).

2.2.2.II. Intensidad

Este aspecto se refiere al grado de incidencia que tiene la acción sobre el factor que impacta, teniendo en cuenta el ámbito específico donde surge la acción. Su escala de valoración va de 1 a 12, en donde 12 hace referencia a una destrucción total y el 1 a una afectación mínima.

2.2.2.III. Extensión

Hace referencia al área de influencia que tiene el impacto en relación con todo el entorno que envuelve al proyecto. Este aspecto se puede evaluar de 1 a 8, en donde el 1 indica una extensión puntual y el 8 una extensión total.

2.2.2.IV. Momento

Hace referencia según Vicente Conesa a “el plazo de manifestación del impacto se refiere al tiempo que transcurre entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sobre el medio considerado” (Conesa, 1997). Cuando el tiempo transcurrido se pueda considerar nulo, el momento pasa a ser considerado como inmediato y se le otorga una valoración de 4, al igual que cuando el momento sea de corto plazo o menor a un año. En contraste, cuando el momento sucede después de 5 años, se considera de largo plazo y tiene una valoración de 1.

2.2.2.V. Persistencia

Hace referencia al tiempo que permanece o permanecería el efecto desde el primer momento que aparece. Así mismo se incluye en esa consideración el tiempo que tomaría volver a las condiciones iniciales antes del efecto. En su valoración se tiene valores entre 1 y 4 donde 1 hace referencia a una persistencia fugaz y 4 una persistencia mayor a los 10 años.

2.2.2.VI. Reversibilidad

Vicente Conesa menciona que la reversibilidad “se refiere a la posibilidad de construcción del factor afectado por el proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales, una vez aquella deja de actuar sobre el medio” (Conesa, 1997). Cuando la reversibilidad se logra en corto plazo (menos de un año) se agrega un valor de 1. En cambio, cuando se considera que es irreversible se agrega un valor de 4.

2.2.2.VII. Sinergia

Básicamente al hablar de sinergismo se hace mención que el atributo contempla una intensificación de dos o incluso más efectos simples. En consecuencia, la acción de dos o más efectos simples que actúan en simultaneo siempre va a tener una magnitud mayor que si esos efectos actuaran de forma independiente. Cuando el efecto se considera que tiene alto sinergismo se le valora con un 4 y cuando solo influye sobre un factor se considera que tiene un valor de 1.

2.2.2.VIII. Acumulación

Hace referencia a una idea de incremento progresivo en la manifestación que tiene el efecto. En efecto, cuando existen efectos acumulativos este factor tiene una valoración alta (4) y cuando no existen efectos acumulativos se le da una valoración baja (1).

2.2.2.IX. Efecto

En este atributo se especifica la consecuencia de una acción, la relación causa-efecto y específicamente como se manifiesta el efecto sobre un factor. El efecto puede tener dos interpretaciones:

- Directo o primario, en donde el efecto está directamente relacionado con la acción y en ese caso se le otorga una puntuación de 4
- Indirecto o secundario, en donde el efecto tiene lugar después de un efecto primario y tiene una valoración de 1

2.2.2.X. Periodicidad

Hace referencia a la regularidad con la que se manifiesta el efecto en donde se pueden tener tres caracterizaciones:

- Cíclica o recurrente: Es de carácter periódico y cuenta con una puntuación de 2
- Esporádica en el tiempo: Es de carácter discontinua y se le valora con un 1
- Constante en el tiempo: Es de carácter continuo y se le cataloga con un 4 en su valoración.

2.2.2.XI. Recuperabilidad

Se refiere básicamente, y como menciona Vicente Conesa a “la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado como consecuencia del proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la actuación”. Esta recuperabilidad se puede tener en 4 formas: total e inmediata, total a mediano plazo, parcial e irrecuperable, con puntuaciones de 1, 2, 4 y 8, respectivamente. Todos los aspectos y sus respectivas valoraciones se pueden resumir en la siguiente **Tabla 3**.

Tabla 3.

Valoración de los impactos en la Matriz Vicente Conesa

CARACTERISITICA DEL IMPACTO		VALORACIÓN
Efecto	Secundario	1
	Primario	4
Magnitud/Intensidad	Baja	1
	Media Baja	2
	Media Alta	3
	Alta	4
	Muy Alta	8
	Total	12
Extensión	Puntual	1
	Parcial	2
	Extenso	4
	Total	8
Momento	Inmediato	4
	Corto Plazo: < 1 año	4
	Mediano plazo: 1-5 años	2
	Largo plazo: > 5 años	1
Persistencia	Fugaz	1
	Temporal: 1 y 10 años	2
	Permanente: > 10 años	4
Reversibilidad	Corto Plazo: <menos de 1 año	1
	Mediano plazo: 1-5 años	2
	Irreversible: > más de 10 años	4
Recuperabilidad	Total e inmediata	1
	Total a mediano plazo	2
	Parcial (Mitigación)	4
	Irrecuperable	8
Sinergia	Sobre un factor	1
	Sinergismo Moderado	2
	Altamente sinérgico	4
Acumulación	No existen efectos acumulativos	1
	Existen efectos acumulativos	4
Periodicidad	Continuos	4
	Periódicos	2
	Discontinuos	1

Nota: Conesa, V. (1997). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental.*

La jerarquización tanto para los impactos positivos como los negativos se presenta a continuación en la **Tabla 4** y la **Tabla 5**. Estas jerarquizaciones serán de utilidad para realizar el respectivo análisis de la matriz.

Tabla 4.

Jerarquización de impactos negativos en Matriz Vicente Conesa

JERARQUIZACIÓN DE IMPACTOS (NEGATIVOS)			
IRRELEVANTE	MODERADO	SEVERO	CRÍTICO
> -20	-21 a -31	-32 a -42	-43 a -52

Nota: Elaboración propia

Tabla 5. Jerarquización de impactos negativos en Matriz Vicente Conesa

JERARQUIZACIÓN DE IMPACTOS (POSITIVOS)			
POCO SIGNIFICATIVO	MODERADO	SIGNIFICATIVO	MUY SIGNIFICATIVO
< 20	21 a 31	32 a 42	43 a 52

Nota: Elaboración propia

2.2.2.XII. Determinación de impactos potenciales y matriz Vicente Conesa del proyecto

Un proyecto de generación de energía privado y rural a través de un sistema fotovoltaico causa impactos mínimos a comparación con proyectos de generación a mayor escala y mediante otras fuentes de energía. Los impactos que se relacionarán a continuación son específicos al sitio de estudio, están sujetos a la instalación de la tecnología y se relacionan directamente con los siguientes factores:

- Paisajismo
- Aire
- Suelo
- Flora
- Fauna
- Sociocultural

Al identificar los factores generales que se verían afectados en la realización del proyecto se procede a realizar la matriz identificando los impactos que se ven en la siguiente **Tabla 6**.

2.2.2.XIII. Matriz Vicente Conesa del proyecto

Tabla 6.

Matriz Vicente Conesa

IMPACTO	NATURALEZA	INTENSIDAD	EXTENSION	MOMENTO	PER SISTENCIA	REVERISIBILIDAD	SINERGIA	ACUMULACION	EFEECTO	PERIODICIDAD	RECUPERABILIDAD	IMPOR TANCIA	TIPO
Cambio de paisaje	-1	2	1	4	2	2	4	1	4	4	2	-27	MODERADO
Generación de polvo por las actividades de instalación de paneles	-1	2	1	4	2	2	2	1	4	4	2	-25	MODERADO
Cambio de uso de suelo	-1	3	1	4	2	1	4	1	4	4	2	-27	MODERADO
Perdida de vegetación existente en el área del proyecto	-1	3	2	4	2	2	4	4	4	4	2	-33	SEVERO
Corte de arboles	-1	2	2	4	2	2	4	4	4	2	4	-32	SEVERO
Desplazamiento de fauna presente en el área del proyecto	-1	2	2	4	2	2	2	4	4	2	4	-30	MODERADO
Daño al habitat de la fauna presente en el área afectada	-1	3	2	2	2	4	2	4	4	2	4	-31	MODERADO
Apoyo a comunidades aledañas	1	4	4	2	4	4	4	4	4	2	4	40	SIGNIFICATIVO
Generación de empleos	1	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	42	SIGNIFICATIVO

Nota: Elaboración propia

Como se puede determinar a través de la **Tabla 6** el proyecto contaría con variadas acciones que tiene un impacto negativo y de la misma forma, un par de acciones con carácter positivo. Inicialmente, en relación con las acciones de carácter negativo, se puede ver como la pérdida de vegetación existente en el área del proyecto y el corte de árboles terminan teniendo el mayor impacto en importancia, Por el contrario, se aprecian dos impactos positivos en la matriz: Apoyo a comunidades aledañas y generación de empleos. En conclusión, se obtiene que los impactos negativos moderados componen un 56% del total, los impactos negativos severos un 22% y el restante 22% está asociado a los impactos positivos significativos.

2.3. Sistema de energía fotovoltaico propuesto

A continuación, se va a presentar el sistema de energía solar fotovoltaico propuesto para la finca en Villa de Leyva, Boyacá.

2.3.1. Consumo energético requerido del proyecto

El consumo histórico del terreno va a ser calculado mediante la obtención de los consumos trimestrales que se pueden evidenciar en el **ANEXO A** donde se presenta la factura de energía para los periodos comprendidos entre Abril y Junio del 2021. En consecuencia, se presenta un resumen de consumos promedios mensuales con su respectivo costo en pesos colombianos y mediante la **Tabla 7**, **Tabla 8**, **Tabla 9** y **Tabla 10** se presentan el caso de consumo de energía real, el caso de consumo alto, el caso de consumo medio y el caso de consumo bajo, respectivamente.

Tabla 7.

Consumo histórico mensual de energía eléctrica – Caso Real

MES	Consumo promedio real [kWh/día]	Costo energético [COP]
Enero	16.43	\$ 64,899
Febrero	14.84	\$ 58,618
Marzo	16.43	\$ 64,899
Abril	15.9	\$ 62,805
Mayo	16.43	\$ 64,899
Junio	15.9	\$ 62,805
Julio	16.43	\$ 64,899
Agosto	16.43	\$ 64,899
Septiembre	15.9	\$ 62,805
Octubre	16.43	\$ 64,899
Noviembre	15.9	\$ 62,805
Diciembre	16.43	\$ 64,899
TOTAL	193.45	\$ 764,128

Nota: Elaboración propia**Tabla 8.** Consumo histórico mensual de energía eléctrica – Caso de consumo alto

MES	Consumo promedio caso alto [kWh/día]	Costo energético [COP]
Enero	24.645	\$ 97,348
Febrero	22.26	\$ 87,927
Marzo	24.645	\$ 97,348
Abril	23.85	\$ 94,208
Mayo	24.645	\$ 97,348
Junio	23.85	\$ 94,208
Julio	24.645	\$ 97,348
Agosto	24.645	\$ 97,348
Septiembre	23.85	\$ 94,208
Octubre	24.645	\$ 97,348
Noviembre	23.85	\$ 94,208
Diciembre	24.645	\$ 97,348
TOTAL	290.175	\$ 1,146,191

Nota: Elaboración propia

Tabla 9.

Consumo histórico mensual de energía eléctrica – Caso de consumo medio

MES	Consumo promedio caso medio [kWh/día]	Costo energético [COP]
Enero	20.5375	\$ 81,123
Febrero	18.55	\$ 73,273
Marzo	20.5375	\$ 81,123
Abril	19.875	\$ 78,506
Mayo	20.5375	\$ 81,123
Junio	19.875	\$ 78,506
Julio	20.5375	\$ 81,123
Agosto	20.5375	\$ 81,123
Septiembre	19.875	\$ 78,506
Octubre	20.5375	\$ 81,123
Noviembre	19.875	\$ 78,506
Diciembre	20.5375	\$ 81,123
TOTAL	241.8125	\$ 955,159

Nota: Elaboración propia**Tabla 10.**

Consumo histórico mensual de energía eléctrica – Caso de consumo bajo

MES	Consumo promedio caso bajo [kWh/día]	Costo energético [COP]
Enero	12.3225	\$ 48,674
Febrero	11.13	\$ 43,964
Marzo	12.3225	\$ 48,674
Abril	11.925	\$ 47,104
Mayo	12.3225	\$ 48,674
Junio	11.925	\$ 47,104
Julio	12.3225	\$ 48,674
Agosto	12.3225	\$ 48,674
Septiembre	11.925	\$ 47,104
Octubre	12.3225	\$ 48,674
Noviembre	11.925	\$ 47,104
Diciembre	12.3225	\$ 48,674
TOTAL	145.0875	\$ 573,096

Nota: Elaboración propia

2.3.2. Ecuaciones para el diseño del sistema solar fotovoltaico

Las ecuaciones que se relacionaran a continuación sirven de base para el diseño de un sistema solar fotovoltaico y por ello se hacen necesarias de mostrar. Estas ecuaciones están basadas en un estudio realizado por Duffie, Beckman y Blair en 2020. (Duffie et al., 2020)

Antes de realizar todos los cálculos, para el diseño de un sistema de energía solar fotovoltaico, es preciso señalar que pueden llegar a existir ciertas pérdidas en el proceso y estas se calculan de acuerdo con la eficiencia promedio de cada elemento presente. Estas pérdidas pueden estar asociadas al calor emitido por los equipos y se pueden encontrar en la **Tabla 11**.

Tabla 11.

Porcentaje de eficiencia promedio de los elementos en el sistema

Elemento del sistema	Eficiencia promedio
Carga y descarga de baterías	85%
Inversor	90%
Cableado	99%

Nota: Aldegheri, F., et al. (2014). Building integrated low concentration solar system for a self-sustainable Mediterranean villa: The Astonysshine house..

2.3.2.1. Consumo diario máximo

En relación con lo mencionado anteriormente y utilizando la **Ecuación 1** se procede a calcular el consumo diario máximo que se tiene, teniendo en cuenta que se utilizara el valor más elevado del consumo diario objetivo que se presenta en la **Tabla 8** que pertenece al caso de consumo alto en donde existe un aumento del 50% del consumo energético con respecto al consumo real de la finca

Ecuación 1. Consumo diario máximo

$$E_{\text{día-máx}} = \frac{\text{Consumo diario objetivo}}{\eta_{\text{batería}} \times \eta_{\text{inversor}} \times \eta_{\text{cableado}}}$$

Donde:

$E_{\text{día-máx}}$ Consumo diario máximo

$\eta_{\text{batería}}$ Eficiencia promedio batería

η_{inversor} Eficiencia promedio inversor

η_{cableado} Eficiencia promedio cableado

Obteniendo como resultado que:

$$E_{\text{día-máx}} = \frac{24,645 \text{ kWh/día}}{0,85 * 0,9 * 0,99} = 32.541 \text{ kWh/día}$$

2.3.2.II. Potencia máxima

La **Ecuación 2** permite calcular la potencia máxima generada por los paneles fotovoltaicos en donde se relaciona el consumo diario máximo calculado anteriormente junto con la irradiancia estándar. La irradiancia local que depende de la longitud y latitud de Villa de Leyva y definida en el numeral 1.4 también entra a consideración dentro de la ecuación al lado de un rendimiento energético PR que varía dependiendo si el sistema cuenta con inversor y batería o solo cuenta con inversor.

Ecuación 2. Potencia mínima

$$P_{\text{mín}} = \frac{E_{\text{día-máx}} * G_{\text{cem}}}{G_{\text{dm}}(\alpha, \beta) * PR}$$

Donde:

$P_{mín}$	Potencia mínima
$E_{día-máx}$	Consumo diario máximo
G_{cem}	Irradiancia estándar
$G_{dm}(\alpha, \beta)$	Irradiancia local
PR	Rendimiento energético

Teniendo en cuenta que se plantea un sistema con inversor y batería, se obtiene como resultado que:

$$P_{mín} = \frac{32,541 \text{ kWh/día} * 1 \text{ kW/m}^2}{4,5 \text{ kWh/m}^2/\text{día} * 0.6} = 12,052 \text{ kWp}$$

2.3.2.III. Potencia real

La **Ecuación 3** permite calcular la potencia real del sistema que relaciona la potencia mínima obtenida anteriormente y un 20% adicional. Cabe resaltar que en la mayoría de los casos existen pérdidas asociadas a factores climáticos.

Ecuación 3. Potencia real

$$P_{real} = 1,2P_{mín}$$

Donde:

P_{real}	Potencia real
$P_{mín}$	Potencia mínima

Obteniendo como resultado que:

$$P_{real} = 1,2 * 12,052kWp = 14,463kWp$$

2.3.2.IV. Número de paneles mínimo

El cálculo de número de paneles mínimo se realiza de acuerdo con la **Ecuación 4** y relaciona la potencia mínima del sistema con la potencia máxima que genera cada panel. Al conocer ese número de paneles mínimo se redondea al siguiente valor entero para obtener suficiencia en el sistema. Este valor entero obtenido se utiliza para conocer el valor de potencia máxima

Ecuación 4. Número de paneles mínimo

$$N_{paneles\ mín} = \frac{P_{mín}}{P_{pico\ panel}}$$

Donde:

$N_{paneles\ mín}$ Número de paneles mínimo

$P_{mín}$ Potencia mínima

$P_{pico\ panel}$ Potencia máxima generada por panel

Obteniendo como resultado que:

$$N_{paneles\ mín} = \frac{12,052\ kWp}{0,33\ kWp} = 36,52\ paneles = 37\ paneles$$

Ecuación 5. Potencia máxima generada

$$P_{máx\ sistema} = P_{pico\ panel} * N_{paneles}$$

Donde:

$P_{m\acute{a}x\ sistema}$ Potencia máxima del sistema

$P_{pico\ panel}$ Potencia máxima generada por panel

$N_{paneles}$ Número de paneles

Obteniendo como resultado que:

$$P_{m\acute{a}x\ sistema} = 0,33\ kWp * 37\ paneles = 12,210\ kW$$

2.3.2.V. Energía generada mínima

Mediante la **Ecuación 6** se realiza la medición de la energía generada por el sistema solar dimensionado. Esta medición de energía relaciona la potencia máxima calculada y las horas de radiación solar que se tienen en el punto del proyecto. Estas horas de radiación solar fueron expuestas en el análisis de radiación en el numeral 1.4 y se determinó que tenía un valor entre 5 y 6 horas por lo cual se utilizará un promedio de estas.

Ecuación 6. Energía generada mínima

$$E_{generada} = P_{m\acute{a}x\ sistema} * hrs\ sol$$

Donde:

$E_{generada}$ Energía generada en el sistema

$P_{m\acute{a}x\ sistema}$ Potencia máxima del sistema

Obteniendo como resultado que:

$$E_{generada} = 12,210\ kW * 5,5\ hrs = 67,155$$

2.3.2.VI. Energía global

Para la energía global del sistema se utiliza la **Ecuación 7** y ejemplifica la diferencia entre la energía generada y el consumo de energía máximo.

Ecuación 7. Energía global

$$E_{global} = E_{generada} - E_{día-máx}$$

Donde:

E_{global} Energía global

$E_{generada}$ Energía generada

$E_{día-máx}$ Energía

Obteniendo como resultado que:

$$E_{global} = 67,155 \text{ kWh} - 32,541 \text{ kWh} = 34,614 \text{ kWh}$$

2.3.2.VII. Número de inversores

Como se van a utilizar inversores dentro del sistema de se hace necesario el cálculo de número de inversores óptimos. La **Ecuación 8** relaciona este número de inversores al incluir un cálculo con la potencia máxima del sistema y la potencia máxima del inversor cuando la carga es corriente directa.

Ecuación 8. Número de inversores

$$N_{inversores} = \frac{P_{máx \text{ sistema}}}{P_{máx DC}}$$

Donde:

$N_{inversores}$ Número de inversores
 $P_{m\acute{a}x\ sistema}$ Potencia máxima sistema
 $E_{d\acute{a}a-m\acute{a}x}$ Consumo diario máximo

Obteniendo como resultado que:

$$N_{inversores} = \frac{12,210\ kW}{3\ kW} = 4,07 = 5$$

2.3.2.VIII. Número de inversores/cargadores

Los inversores/cargadores permanecen conectados a las baterías que se utilizan en el sistema y cumplen una funcionalidad particular en las noches y una vez que las condiciones climáticas no son las más correctas para permitir la recepción de energía solar. La **Ecuación 9** relaciona lo hablado anteriormente haciendo uso de la potencia máxima instantánea y la potencia nominal del inversor.

Ecuación 9. Número de inversores/cargadores

$$N_{inversores/cargadores} = \frac{P_{m\acute{a}x\ inst}}{P_{nom\ inversor}}$$

Donde:

$N_{inversores/cargadores}$ Número de inversores
 $P_{m\acute{a}x\ inst}$ Potencia máxima instantánea
 $P_{nom\ inversor}$ Consumo diario máximo

Obteniendo como resultado que:

$$N_{inversores/cargadores} = \frac{7 \text{ kWh}}{3 \text{ kWh}} = 2,333 = 3 \text{ inversores/cargadores}$$

2.3.2.IX. Capacidad mínima de las baterías

La **Ecuación 10** nos posibilita calcular la capacidad mínima requerida de las baterías en el día promedio donde el consumo es mayor. Esta capacidad mínima depende la energía usada en el día máxima, los días de autonomía (DOA, por sus siglas en inglés), la profundidad de descarga (DOD, por sus siglas en inglés) y del voltaje de operación de carga. En referencia al voltaje mencionado se tiene como referencia los valores mostrados en la siguiente **Tabla 12**.

Tabla 12.

Voltaje apropiado de las baterías

REFERENCIA	POTENCIA
< 800 Wp	12v
800 - 1600 Wp	24v
1600 - 3200 Wp	48v
3200 - 6400 Wp	> 48v

Nota: Duffie, J. A., Beckman, W. A., & Blair, N. (2020). Design of Photovoltaic Systems.

Ecuación 10. Capacidad mínima de las baterías

$$C_{mín \text{ batería}} = \frac{E_{día-máx} * DOA}{DOD * V_{carga}}$$

Donde:

$C_{mín \text{ batería}}$ Capacidad mínima de las baterías

$E_{\text{día-máx}}$	Potencia máxima
DOA	Días de autonomía
DOD	Profundidad de descarga
V_{carga}	Voltaje de la operación de carga

Obteniendo como resultado que:

$$C_{\text{mín batería}} = \frac{32,541 \text{ kWh} * 1 \text{ día}}{0,8 * 48\text{v}} = 847,4 \text{ Ah}$$

2.3.2.X. Número mínimo de baterías

El número de baterías es calculado mediante dos momentos:

- i) Al calcular el número de bancos haciendo uso de la capacidad mínima calculada y la capacidad de la batería.
- ii) Al calcular el número de baterías utilizando el valor del número de banco de baterías junto con una relación entre el voltaje de carga y el voltaje de la batería

Lo explicado anteriormente se ejemplifica de mejor forma utilizando la **Ecuación 11** y la **Ecuación 12**.

Ecuación 11. Número de banco de baterías

$$N_{\text{banco de baterías}} = \frac{C_{\text{mín batería}}}{C_{\text{batería}}}$$

Donde:

$N_{\text{banco de baterías}}$ Número de banco de baterías

$C_{mín\ batería}$ *Capacidad mínima de las baterías*

$C_{batería}$ *Capacidad de la batería*

Obteniendo como resultado que:

$$N_{banco\ de\ baterías} = \frac{847,4\ Ah}{250\ Ah} = 3,39 = 4\ bancos\ de\ baterías$$

Ecuación 12. Número de baterías

$$N_{baterías} = N_{Banco\ de\ baterías} * \frac{V_{carga}}{V_{Batería}}$$

Donde:

$N_{baterías}$ *Número baterías*

$N_{banco\ de\ baterías}$ *Número de banco de baterías*

V_{carga} *Voltaje de carga*

$V_{batería}$ *Voltaje de la batería*

Obteniendo como resultado que:

$$N_{baterías} = 4 * \frac{48v}{12v} = 16\ baterías$$

El compilado de resultados para el diseño del sistema de energía solar fotovoltaico se puede apreciar como resumen en la siguiente **Tabla 13**.

Tabla 13.

Resultado compilado de cálculos

VARIABLE	ALTO
Consumo diario máximo	24.65
E _{día-max}	32.54
P _{mín}	12.05
P _{real}	14.46
N _{panelesmín}	37.00
P _{max sistema}	12.21
E _{generada}	67.16
E _{global}	34.61
N _{inversores}	5.00
N _{inversores/cargadores}	3.00
C _{mínbateria}	847.42
N _{banco de baterías}	4.00
N _{baterías}	16.00

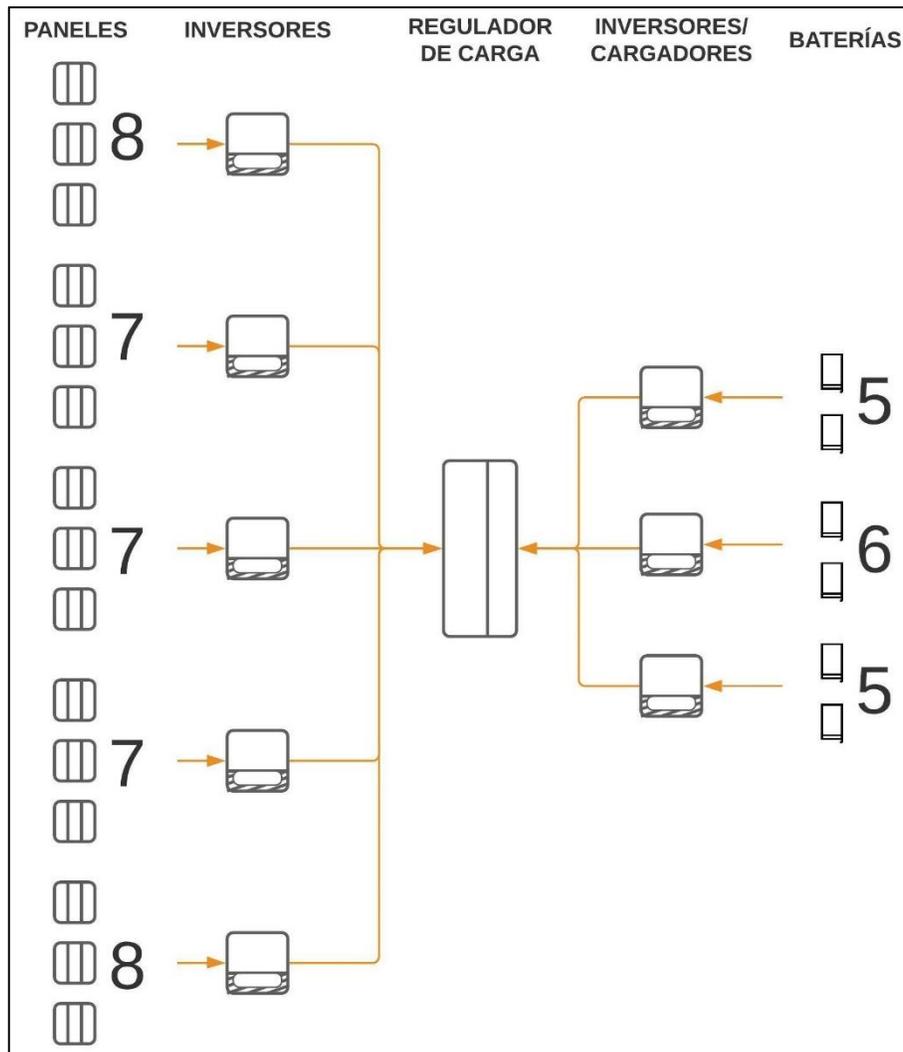
Nota: Elaboración propia

2.3.3. Esquema propuesto del sistema solar fotovoltaico

Según los cálculos realizados a lo largo del literal y teniendo en cuenta lo explicado en todo el documento se realiza la propuesta respectiva del esquema de sistema solar fotovoltaico para la finca en Villa de Leyva. La **Figura 15** muestra el esquema propuesto.

Figura 15.

Esquema propuesto del sistema solar fotovoltaico



Nota: Elaboración propia

3. VIABILIDAD FINANCIERA DEL PROYECTO

En este capítulo se realiza el análisis de la viabilidad financiera del proyecto, mostrando el desglose de los costos fijos, costos variables, punto de equilibrio y la correspondiente evaluación financiera. Para determinar la viabilidad financiera de este proyecto se acudirá al indicador financiero del valor presente neto (VPN) y con ello, dar cumplimiento al objetivo específico número tres.

3.1. Costos fijos del proyecto

La evaluación financiera del proyecto debe determinar económicamente el impacto del proyecto. Por ello para hacer la identificación de cada uno de los componentes que afectan económicamente al proyecto se debe partir de conocer los costos fijos y variables de este. Inicialmente, en esta sección, se determina todos los costos fijos del proyecto. La **Tabla 14** muestra un resumen de los costos fijos proyectados para la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaica.

Tabla 14.

Costos fijos del proyecto

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR [COP]
Salarios	Ingeniero de proyectos	1	\$ 1.700.000
	Ingeniero de diseño	1	\$ 1.700.000
	Técnico mecánico	1	\$ 1.400.000
	Técnico eléctrico	1	\$ 1.400.000
	Técnico para corte, ensamble e instalación de anclajes y soportes	2	\$ 1.450.000
Transporte	Personal de instalación	1	\$ 300.000
	Insumos y componentes	1	\$ 500.000
Alimentación	Alimentación	6	\$ 80.000
TOTAL			\$ 10.380.000

Nota: Elaboración propia

3.2. Costos variables

En esta sección se muestran los costos variables asociados al proyecto. En ese sentido, se muestran los distintos precios evaluados para conocer la selección más apropiada económica y técnicamente hablando. Se debe resaltar que los precios que se presentan están en pesos colombianos y se hizo teniendo en cuenta el valor de cambio de esta moneda con respecto al dólar estadounidense que se registraba el 25 de Julio de 2021 y que tenía un valor de \$3889 pesos.

3.2.1. Paneles solares

La **Tabla 15** muestra el listado de los precios de paneles solares para el proyecto de energía solar fotovoltaico. Evaluando las opciones que se ven en la tabla, se puede determinar que se escogería la opción del fabricante EINNOVA SOLARLINE por un precio total de \$11'674.778,0 pesos colombianos y teniendo en cuenta que se necesitan 37 paneles, pero el proveedor vende 38 unidades.

Tabla 15.

Listado de paneles solares

PANELES SOLARES						
FABRICANTE	MODELO	POTENCIA [W]	PAÍS	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO [COP]	PRECIO [COP]
COEXITO	MAXPOWER (1500 V)	330	Canadá	38	\$ 560.016	\$ 21.280.608
EINNOVA SOLARLINE	POLYCRYSTALLINE SOLAR MODULE ESP	330	China	38	\$ 307.231	\$ 11.674.778
GREENCOL JINKO	EAGLE MONO 72	340	China	37	\$ 703.909	\$ 26.044.633
NICOMAR POWEST	PANEL POLICRISTALINO 320	320	Panamá	39	\$ 820.579	\$ 32.002.581
R&M POWEST	PANEL POLICRISTALINO 320	320	Panamá	39	\$ 805.023	\$ 31.395.897

Nota: Elaboración propia

3.2.2. Inversores

La **Tabla 16** muestra el listado de los precios de inversores para el proyecto de energía solar fotovoltaico. Evaluando las opciones que se ven en la tabla, se puede

determinar que se escoge la opción del fabricante SOFAR SOLAR por un precio total de \$11'667.000,0 pesos colombianos. En este caso el proveedor vende la misma cantidad de unidades que necesita el proyecto.

Tabla 16.

Listado de inversores

INVERSORES						
FABRICANTE	MODELO	POTENCIA [kW]/ VOLTAJE [v]	PAÍS	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO [COP]	PRECIO [COP]
COEXITO	XTENDER XTM3500	3,5 / 24	Suiza	4	\$ 8.489.687	\$ 33.958.748
INTI PHOTOVOLTAICS	INVERSOR DC-AC TITAN	3 / 48	España	5	\$ 2.644.520	\$ 13.222.600
POWEST	HIBRIDA MONOFASI CA	2,4 / 24	Panamá	6	\$ 2.772.857	\$ 16.637.142
SOFAR SOLAR	ME3000	3 / 48	China	5	\$ 2.333.400	\$ 11.667.000

Nota: Elaboración propia

3.2.3. Baterías

La **Tabla 17** muestra el listado de los costos de baterías para el proyecto de energía solar fotovoltaico. Evaluando las opciones que se ven en la tabla, se puede determinar que se escoge la opción del fabricante FUTURE SCIENCE AND TECHNOLOGY por un precio total de \$29'167.000,0 pesos colombianos. En este caso el proveedor vende 20 unidades, pero el proyecto necesitaría el uso de tan solo 16 de estas unidades.

Tabla 17.

Listado de baterías

BATERIAS						
FABRICANTE	MODELO	VOLTAJE [v] / Carga [Ah]	PAÍS	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO [COP]	PRECIO [COP]
COEXITO	SAGM121	12 / 135	Estados Unidos	32	\$ 1.186.145	\$ 37.956.640
FULLI BATTERY	FL 122000 GS	12 / 200	China	20	\$ 1.746.161	\$ 34.923.220
FUTURE SCIENCE AND TECHNOLOGY	FS200	12 / 200	China	20	\$ 1.458.375	\$ 29.167.500
TB PLUS	GEL 12VDC	12 / 250	Colombia	16	\$ 1.060.000	\$ 16.960.000

Nota: Elaboración propia

3.2.4. Selección de equipos

La selección de equipos está ligada a lo presentado en los costos variables anteriormente. Como ya mencionó se seleccionó el(los) equipo(s) tanto de paneles solares, inversores y baterías. En la **Tabla 18** se muestran adicionalmente otros equipos como los inversores/cargadores y el regulador de carga que no presentaron una tabla específica de opciones debido a que se decidió escoger modelos del mismo fabricante en aras de proteger el sistema y facilitar una adaptación más simple y confiable. Finalmente, el totalizado de los equipos se le agrega un 5% adicional que se relaciona con contingencias y subidas de precios que se puedan presentar.

Tabla 18. Listado de selección de equipos

EQUIPO	FABRICANTE	MODELO	CANTIDAD	PRECIO [COP]
Baterías	FUTURE SCIENCE AND TECHNOLOGY	FS200	20	\$ 29.167.500
Estanterías	HOME CENTER	ESTANTERIA EN METAL Y MADERA	2	\$ 555.000
Inversor	SOFAR SOLAR	ME3000	5	\$ 11.667.000
Inversor / cargador	VICTRON ENERGY	MULTIPLUS 2000W/24VDC	3	\$ 15.668.781
Paneles solares	EINNOVA SOLARLINE	POLYCRYSTALLI NE SOLAR MODULE ESP	38	\$ 11.674.778
Regulador de carga	VICTRON ENERGY	CONTROLADO MPPT	1	\$ 886.692
Soporte y anclaje de paneles	-	Ángulos de acero	35	\$ 1.200.000
		Fijadores de anclaje de paneles	43	\$ 480.000
		Uniones y varios	-	\$ 180.000
		Sistemas de anclaje de cemento	17	190000
Cables y acoples	R&M	MC4-8800	37	\$ 196.000
	-	Conexiones de cable	-	\$ 285.000
TOTAL				\$ 75.758.289

Nota: Elaboración propia

Al terminar este análisis de selección de equipos se puede determinar el costo de inversión total para el proyecto. En ese sentido se hace la suma de los totales que se obtuvieron en la **Tabla 14** y **Tabla 18** dando un valor total de inversión de **\$86'138.289 pesos colombianos**.

3.3. Punto de equilibrio

Para realizar todo el análisis financiero se hace necesario el cálculo del punto de equilibrio que nos llevará a la obtención del retorno de la inversión. Inicialmente, los ingresos anuales promedio estarán ligados al costo energético promedio de \$ 3950 pesos colombiano por cada 1 kWh/día y el consumo anual objetivo. Con relación a lo último, el consumo anual objetivo se plantea que sea el 50% del total de consumo anual.

Por ello y recordando lo presentado en la **Tabla 8** se obtiene que el consumo anual total es de unos **8833,245 kWh/día** y, en consecuencia, el consumo anual objetivo sería de unos **4416,6225 kWh/día**.

Por tanto, y teniendo en cuenta la **Ecuación 13**, se obtiene que los ingresos anuales promedio serían de:

Ecuación 13. Ingresos anuales promedio

$$IAP = CAO * CEP$$

$$IAP = 4416,6225 \frac{kWh}{día} * 3950 \frac{\$}{kWh} = \$17'445.659,875 \text{ pesos colombianos}$$

Con ello ya se puede calcular el retorno de la inversión siguiendo la **Ecuación 14** y teniendo en cuenta que la inversión total se obtuvo mediante la suma de los totales que se evidenciaron en la **Tabla 14** y **Tabla 18**.

Ecuación 14. Retorno de la inversión

$$\text{Retorno de inversión} = \frac{\text{Inversión total}}{\text{Ingresos anuales promedio}}$$

Obteniendo como resultado que:

$$\text{Retorno de inversión} = \frac{\$86'138.288,55 \text{ pesos colombianos}}{\$17'445.659,88 \text{ pesos colombianos/año}}$$

$$\text{Retorno de inversión} = 4,9375 \text{ años} \approx 5 \text{ años}$$

3.4. Evaluación financiera

3.4.1. Flujo de caja del proyecto

El cálculo del flujo de caja del proyecto se alimenta en un punto de la depreciación que puedan llegar a tener los equipos que están involucrados dentro del sistema de energía solar fotovoltaico. De acuerdo con lo mencionado en el Decreto 829 de 2020 se considera que la depreciación de equipos se puede hacer a 20 años, de forma desacelerada y que no llegue a superar el 20% anual. Por ello, se presenta la **Tabla 19** que muestra la depreciación de los equipos involucrados a 20 años que supone un 5% anual.

Tabla 19.

Depreciación de equipos

TIPO	VALOR por unidad	DEPRECIACIÓN	CANTIDAD
Baterías	\$ 1.458.375	\$ 72.919	20
Inversor	\$ 2.333.400	\$ 116.670	5
Inversor/cargador	\$ 5.222.927	\$ 261.146	3
Paneles solares	\$ 307.231	\$ 15.362	37
Regulador de carga	\$ 886.692	\$ 44.335	1
TOTAL	\$ 68.757.520	\$ 3.437.876	66

Nota: Elaboración propia

A continuación, en la **Tabla 20**, se presenta el flujo de caja del proyecto, con un horizonte de 10 años y en donde para el año 0 se consideran los costos fijos y variables que se vieron al inicio del capítulo, en los ítems de *COSTOS* y *FLUJO DE CAJA DE INVERSIÓN*, respectivamente.

Adicionalmente a partir del año 1 se agrega el valor de ingresos que se mencionó en el retorno de inversión y unos costos fijos asociados a mantenimiento de equipos y adicionales que puedan llegar a surgir a lo largo del año. Tanto los ingresos como costos se les estima un incremento anual del 5%. Por último, en referencia a los impuestos ya se mencionó que legislativamente este tipo de proyectos se ven beneficiados al no pagar la misma cantidad que un proyecto de energía que considere alimentación de fuentes renovables y por ello se considera que el pago de impuestos es solo del 10%.

Tabla 20.

Flujo de caja del proyecto a 10 años

ITEM	AÑO					
	0	1	2	3	4	5
INGRESOS	\$ -	\$ 17.445.658,88	\$ 18.317.941,82	\$ 19.233.838,91	\$ 20.195.530,86	\$ 21.205.307,40
COSTOS	-\$ 10.380.000,00	-\$ 500.000,00	-\$ 525.000,00	-\$ 551.250,00	-\$ 578.812,50	-\$ 607.753,13
Depreciación		\$ 3.437.876	\$ 3.437.876	\$ 3.437.876	\$ 3.437.876	\$ 3.437.876
Intereses						
UTILIDAD GRAVABLE	-\$ 10.380.000,00	\$ 20.383.534,88	\$ 21.230.817,82	\$ 22.120.464,91	\$ 23.054.594,36	\$ 24.035.430,27
Impuestos	\$ -	-\$ 2.038.353,49	-\$ 2.123.081,78	-\$ 2.212.046,49	-\$ 2.305.459,44	-\$ 2.403.543,03
UTILIDAD NETA	-\$ 10.380.000,00	\$ 18.345.181,39	\$ 19.107.736,04	\$ 19.908.418,42	\$ 20.749.134,92	\$ 21.631.887,25
Depreciación		-\$ 3.437.876,00	-\$ 3.437.876,00	-\$ 3.437.876,00	-\$ 3.437.876,00	-\$ 3.437.876,00
FLUJO CAJA OPERATIVO	-\$ 10.380.000,00	\$ 14.907.305,39	\$ 15.669.860,04	\$ 16.470.542,42	\$ 17.311.258,92	\$ 18.194.011,25
FLUJO CAJA INVERSION	-\$ 75.758.288,55					
FLUJO CAJA LIBRE	-\$ 86.138.288,55	\$ 14.907.305,39	\$ 15.669.860,04	\$ 16.470.542,42	\$ 17.311.258,92	\$ 18.194.011,25

ITEM	AÑO				
	6	7	8	9	10
INGRESOS	\$ 22.265.572,77	\$ 23.378.851,41	\$ 24.547.793,98	\$ 25.775.183,68	\$ 27.063.942,86
COSTOS	-\$ 638.140,78	-\$ 670.047,82	-\$ 703.550,21	-\$ 738.727,72	-\$ 775.664,11
Depreciación	\$ 3.437.876	\$ 3.437.876	\$ 3.437.876	\$ 3.437.876	\$ 3.437.876
Intereses					
UTILIDAD GRAVABLE	\$ 25.065.307,99	\$ 26.146.679,59	\$ 27.282.119,77	\$ 28.474.331,95	\$ 29.726.154,75
Impuestos	-\$ 2.506.530,80	-\$ 2.614.667,96	-\$ 2.728.211,98	-\$ 2.847.433,20	-\$ 2.972.615,48
UTILIDAD NETA	\$ 22.558.777,19	\$ 23.532.011,63	\$ 24.553.907,79	\$ 25.626.898,76	\$ 26.753.539,28
Depreciación	-\$ 3.437.876,00	-\$ 3.437.876,00	-\$ 3.437.876,00	-\$ 3.437.876,00	-\$ 3.437.876,00
FLUJO CAJA OPERATIVO	\$ 19.120.901,19	\$ 20.094.135,63	\$ 21.116.031,79	\$ 22.189.022,76	\$ 23.315.663,28
FLUJO CAJA INVERSION					
FLUJO CAJA LIBRE	\$ 19.120.901,19	\$ 20.094.135,63	\$ 21.116.031,79	\$ 22.189.022,76	\$ 23.315.663,28

Nota: Elaboración propia

3.4.2. Valor presente neto (VPN)

El valor presente neto es una herramienta que sirve como indicador para medir y determinar la viabilidad de una inversión y que “pone en pesos de hoy tanto los ingresos como los egresos futuros, lo cual facilita la decisión desde el punto de vista financiero, de realizar o no un proyecto” (Baca, 2000)

Ecuación 15. Valor presente neto por período

$$VPN_{(i)} = \sum_{t=1}^n Vt(1+i)^{-t}$$

Nota: Baca, G. (2000). Ingeniería Económica. Fondo Educativo Panamericano.

Donde:

i Tasa de interés de oportunidad

t Período de tiempo

Vt Valor en el período

3.4.2.1. Tasa de interés de oportunidad (TiO)

De igual forma, Bacca (2000) menciona que la tasa de interés de oportunidad hace referencia a la tasa de interés más alta que un inversionista sacrifica con el objeto de realizar un proyecto. Para este proyecto la TiO que se determina teniendo en cuenta las regulaciones legislativas que se mencionaron a lo largo del documento y tiene un valor del 15% efectivo anual.

El valor conocido en la **Ecuación 15** como valor del período será el valor obtenido al final de cada año en el flujo de caja que se presentó en la **Tabla 20**. Con esos datos, la tasa de interés de oportunidad y la ecuación dada se calcula el valor presente neto del proyecto. Los valores de VPN de cada periodo se presentan en la siguiente **Tabla 21**.

Tabla 21.

VPN de cada periodo del proyecto

PERIODO	VPN
1	\$ 12.962.874
2	\$ 11.848.665
3	\$ 10.829.649
4	\$ 9.897.768
5	\$ 9.045.639
6	\$ 8.266.493
7	\$ 7.554.130
8	\$ 6.902.868
9	\$ 6.307.505
10	\$ 5.763.275
SUMATORIA	\$ 89.378.868

Nota: Elaboración propia

El valor presente neto del proyecto resulta siendo la sumatoria de todos los valores presente netos de los periodos evaluados restándole el valor de la inversión inicial realizada (I_0), como se ve en la siguiente **Ecuación 15**.

Ecuación 16. Valor presente neto proyecto

$$VPN = \sum_{t=1}^n VPN_{(t)} - I_0$$

Fuente. Baca, G. (2000). Ingeniería Económica. Fondo Educativo Panamericano.

Con lo anterior en mente se tiene que, para el proyecto, el valor presente neto resulta siendo:

$$VPN = \$ 89'378.868,13 - \$ 86'138.288,55 = \$ 3'240.579,58 \text{ pesos colombianos}$$

Al obtenerse un valor presente neto positivo después de 10 años se puede concluir que, para el horizonte planteado, el proyecto es beneficioso económicamente, aún así la inversión inicial sea elevada, el sistema de energía solar fotovoltaico empieza a pagarse por sí solo después la primera década. En consecuencia, a partir del año 11 se empieza a contar con más ganancias que pueden aprovecharse junto con los beneficios que brinda la ley y vender la energía restante al sistema.

4. CONCLUSIONES

- La finca al estar ubicada en Villa de Leyva cuenta en promedio con un impacto de radiación solar que permanece entre 5 y 6 horas al día y que beneficia cualquier tipo de proyecto de energía solar fotovoltaico que se plantee.
- Para el caso específico de Villa de Leyva, el municipio recibe un recurso de radiación solar anual promedio de 4,5 kWh/m, lo que facilita la consecución de proyectos de energía solar fotovoltaica en el territorio.
- La matriz Leopold determinó que los impactos negativos más relevantes se ven asociados a las etapas de transporte de materiales y construcción de los espacios necesarios para desarrollar el proyecto de energía fotovoltaica.
- La matriz Leopold determinó que dentro de los impactos positivos del proyecto se puede asociar aspectos como economía local, la educación, la ciencia y tecnología y la generación de energía para una zona rural.
- La matriz Vicente Conesa determinó que la pérdida de vegetación existente en el área del proyecto y el corte de árboles terminan teniendo el mayor impacto negativo en importancia.
- La matriz Vicente Conesa determinó que del total de impactos un 56% son impactos negativos moderados, un 22% impactos negativos severos y 22% impactos positivos significativos.
- Se diseño un sistema de energía solar fotovoltaico de 12,052 kWp de potencia instalada que incluye sistemas de almacenamiento de energía para condiciones de poca o nula iluminación.

- El sistema propuesto posee un total de 37 paneles que se distribuyen en 5 filas de 8, 7, 7, 7 y 8 paneles, respectivamente, y en donde cada fila cuenta con su propio inversor, facilitando que no se sobrepasen los límites de voltaje y potencia.
- El proyecto cuenta con un valor presente neto (VPN) positivo para un horizonte de diez años. A partir de estos diez años se logrará recuperar la inversión realizada en el proyecto y se verán beneficios adicionales al poder vender la energía restante a la red eléctrica del departamento.

5. RECOMENDACIONES

- Buscar financiación de entidades gubernamentales y regionales que faciliten la implementación de más sistemas de energía solar fotovoltaico en la región y aprovechar la abundante materia prima de radiación solar de Boyacá que beneficie en traer energía eléctrica a zonas no interconectadas.
- Revisar la extrapolación de este proyecto en otros sistemas cotidianos como empresas, colegios, universidades o construcciones públicas que encaminen la transición energética y beneficien en tener una mayor variedad de fuentes energéticas en el país.
- Revisar futuras obras a realizar en la finca para así diseñar e implementar un sistema de energía solar más robusto que beneficie tanto a los residentes de la finca como a los vecinos del área e incluso al municipio de Villa de Leyva.

GLOSARIO

Amperio hora (Ah): la cantidad de energía eléctrica equivalente al flujo de corriente de un amperio durante una hora.

Análisis PEST: PEST debe su nombre por los caracteres Político, Económico, Social y Tecnológico. Este análisis se utiliza para evaluar estos cuatro factores externos en relación con la situación de su negocio. Básicamente, un análisis PEST lo ayuda a determinar cómo estos factores afectarán el desempeño y las actividades de su negocio a largo plazo.

Batería: dispositivo que convierte la energía química directamente en energía eléctrica mediante una reacción electroquímica.

Capacidad de la Batería: cantidad total de amperios-hora que se pueden extraer de una batería completamente cargada a una velocidad y temperatura de descarga específicas.

Carga: cantidad de energía eléctrica utilizada por cualquier aparato eléctrico en un momento dado.

Convertidor: dispositivo eléctrico que convierte un voltaje CC o CA en otro voltaje CC o CA. Para la conversión CC/CA, consulte el inversor, para la conversión CC/CC, consulte el convertidor CC/CC.

Corriente Alterna: corriente eléctrica que debe su nombre a que la dirección del flujo se invierte en intervalos frecuentes.

Corriente Continua: corriente eléctrica que debe su nombre a que existe un flujo de energía en una sola dirección.

Corriente Eléctrica: un flujo de electrones; electricidad.

Corriente: el flujo de carga eléctrica en un conductor entre dos puntos que tienen una diferencia de potencial (voltaje).

Electrolito: medio que proporciona el mecanismo de transporte de iones entre los electrodos positivo y negativo de una celda electroquímica (batería).

Fotón: una partícula de luz que actúa como una unidad individual de energía. Su energía varía y es dependiente de la longitud de onda.

Inversor: también denominado Unidad de acondicionamiento de energía (PCU) o Sistema de acondicionamiento de energía (PCS). Un inversor convierte la energía de CC de la matriz (batería) en energía de CA compatible con la red (cargas).

Kiovatio (kW): Unidad de potencia basada en vatios. Los vatios miden la velocidad a la que fluye la energía a través de un sistema eléctrico.

Kilovatio Hora (kWh): unidad de energía. El poder multiplicado por el tiempo es igual a la energía.

Panel Solar: aquellos dispositivos que se utilizan para absorber los rayos del sol y convertirlos en electricidad o calor.

Recurso Natural: aquellos componentes del medio ambiente que son creados inherentemente por el medio ambiente para sustentar la vida. Estos recursos son muy esenciales para mantener la vida en la tierra.

Red: término utilizado para describir una red de distribución de servicios eléctricos.

Silicio: elemento químico, número atómico 14, de naturaleza semimetálica. Un componente común de arena y cuarzo (como óxido). Se considera el material semiconductor más utilizado en la fabricación de dispositivos fotovoltaicos.

Sistema Fotovoltaico: instalación de módulos fotovoltaicos y otros componentes diseñados para producir energía a partir de la luz solar.

Sistema Híbrido: un sistema fotovoltaico que incluye otras fuentes de generación de electricidad, como generadores eólicos, de pila de combustible o diesel.

Sostenibilidad Ambiental: responsabilidad de conservar los recursos naturales y proteger los ecosistemas globales para apoyar la salud y el bienestar, ahora y en el futuro.

Sostenibilidad: grupo de acciones que no lleven a la devastación del ámbito ni de los recursos.

Voltio: unidad de voltaje eléctrico fuerza una corriente de un amperio a través de una resistencia de un ohmio.

Watt Hora (Wh): unidad de energía equivalente a un vatio de potencia conectada durante una hora.

Watt: unidad de energía eléctrica. La potencia se desarrolla cuando una corriente de un amperio fluye a través de una diferencia de potencial de un voltio.

BIBLIOGRAFÍA

- Actualidad RT. (2021). Sistema de bombeo solar automatizado: la premiada iniciativa que provee agua potable a los wayúu en una región con problemas de escasez históricos. [Consultado el 12 de Julio de 2021]. Disponible en: <https://actualidad.rt.com/actualidad/385058-colombia-instalacion-bombas-agua-guajira-wayuu>
- Aidoud, M., Feraga, C. E., Bechouat, M., Sedraoui, M., & Kahla, S. (2019). Development of photovoltaic cell models using fundamental modeling approaches. *Energy Procedia*, 162, 263–274. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.04.028>
- Aldegheri, F., Baricordi, S., Bernardoni, P., Brocato, M., Calabrese, G., Guidi, V., Mondardini, L., Pozzetti, L., Tonezzer, M., & Vincenzi, D. (2014). Building integrated low concentration solar system for a self-sustainable Mediterranean villa: The Astonysine house. *Energy and Buildings*, 77, 355–363. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.058>
- Almosni, S., Delamarre, A., Jehl, Z., Suchet, D., Cojocar, L., Giteau, M., Behaghel, B., Julian, A., Ibrahim, C., Tetry, L., Wang, H., Kubo, T., Uchida, S., Segawa, H., Miyashita, N., Tamaki, R., Shoji, Y., Yoshida, K., Ahsan, N., ... Guillemoles, J. F. (2018). Material challenges for solar cells in the twenty-first century: directions in emerging technologies. *Science and Technology of Advanced Materials*, 19(1), 336–369. <https://doi.org/10.1080/14686996.2018.1433439>
- Baca, G. (2000). *Ingeniería Económica*. Fondo Educativo Panamericano.
- Carrillo Tique, S. M. (2018). *Implementación de un proyecto piloto de energía solar sostenible en las oficinas de Gestión del Riesgo de la Gobernación de Boyacá*. 1, 118.

Celsia. (2017). Todo lo que debes saber sobre energía solar en Colombia. [Consultado el 11 de Mayo de 2021] Disponible en: <https://eficienciaenergetica.celsia.com/todo-lo-que-debes-saber-sobre-energia-solar-en-colombia/>

Comision de Regulacion de Energia y Gas. (2018). Resolución No. 30 de 2018. In *Ministerio de Minas y Energía* (p. 27). [http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/83b41035c2c4474f05258243005a1191/\\$FILE/Creg030-2018.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/83b41035c2c4474f05258243005a1191/$FILE/Creg030-2018.pdf)

Conesa, V. (1997). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. No 3*(Ediciones Mundi-Prensa), NA. <http://www.sinab.unal.edu.co/?q=node/46>

Congreso Nacional de Colombia. (2014). *Ley 1715 de 2014: Integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional* (p. 25).

Consejo Municipal de Villa de Leyva. (2020). Acuerdo N° 003 de 2020. *Plan de Desarrollo Municipal, 2020*(13), 281.

Duffie, J. A., Beckman, W. A., & Blair, N. (2020). Design of Photovoltaic Systems. *Solar Engineering of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind*, 760–788. <https://doi.org/10.1002/9781119540328.ch23>

Empresa de Energía de Boyacá. (2019). *Informe de Sostenibilidad EBSA*. <https://www.ebsa.com.co/ebsaresponsable/informes-de-sostenibilidad>

Gangopadhyay, U., Jana, S., & Das, S. (2013). State of Art of Solar Photovoltaic Technology. *Conference Papers in Energy, 2013*, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2013/764132>

Garnett, E. C., Ehrler, B., Polman, A., & Alarcon-Llado, E. (2021). Photonics for

Photovoltaics: Advances and Opportunities. *ACS Photonics*, 8(1), 61–70.
<https://doi.org/10.1021/acsp Photonics.0c01045>

Gobernación de Boyacá. (2020). Mandatarios regionales y municipales firman acuerdo: 'Boyacá, energía para la vida, energía para avanzar'. [Consultado el 12 de Mayo de 2021]. Disponible en: <https://www.boyaca.gov.co/mandatarios-regional-y-municipales-firman-acuerdo-boyaca-energia-para-la-vida-energia-para-avanzar/>

Gobernación de Boyacá. (2020). Plan de desarrollo 2020-2023: Tierra que sigue avanzando. *Gobernación Del Depto. de Boyacá*, 1(0), 407.

Gómez Ramírez, J., Murcia Murcia, J. D., & Cabeza Rojas, I. (2017). La Energía Solar Fotovoltaica en Colombia: Potenciales, Antecedentes y Perspectivas. *Universidad Santo Tomás*, 1–19.
<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/10312#.Xpdvj3oYcAl.mendeley>

Josimovic, B., Petric, J., & Milijic, S. (2014). The Use of the Leopold Matrix in Carrying Out the EIA for Wind Farms in Serbia. *Energy and Environment Research*, 4(1). <https://doi.org/10.5539/eer.v4n1p43>

Koppelaar, R. H. E. M. (2017). Solar-PV energy payback and net energy: Meta-assessment of study quality, reproducibility, and results harmonization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72(August), 1241–1255.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.077>

Ladino, R. (2018). *La energía solar fotovoltaica como factor de desarrollo en zonas rurales de Colombia*. 136.
<http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/1085/1/LadinoPeraltaRafaeIEduardo2010.pdf>

- La FM. (2020). Colombia recibe reconocimiento por uso de tecnologías de energía solar. [Consultado el 14 de Julio de 2021]. Disponible en: <https://www.lafm.com.co/tecnologia/colombia-recibe-reconocimiento-por-uso-de-tecnologias-de-energia-solar>
- Leopold, L. B., Clarke, F. E., Hanshaw, B. B., & Balsley, J. R. (1971). Procedure for evaluating environmental impact. *US Geological Survey Circular*, 2.
- Lotsch, H. K. V, Rhodes, W. T., Adibi, E. B. A., Asakura, T., Hänsch, T. W., Kamiya, T., Krausz, F., Monemar, B., Venghaus, H., Weber, H., Weinfurter, H., & Rhodes, W. T. (2009). *High-Efficient Low-Cost Photovoltaics*.
- Mezei, P., Potterf, M., Škvarenina, J., Rasmussen, J. G., & Jakuš, R. (2019). Potential solar radiation as a driver for bark beetle infestation on a landscape scale. *Forests*, 10(7), 1–12. <https://doi.org/10.3390/f10070604>
- Ministerio de Hacienda y Crédito Público. (2020). *Decreto 829 de 2020* (p. 12).
- Ministerio de Minas y Energía. (2017). *Informe Boyacá*.
- Owusu, P. A., & Asumadu-Sarkodie, S. (2016). A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation. *Cogent Engineering*, 3(1), 1–14. <https://doi.org/10.1080/23311916.2016.1167990>
- Palm, J., & Eriksson, E. (2018). Residential solar electricity adoption: how households in Sweden search for and use information. *Energy, Sustainability and Society*, 8(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s13705-018-0156-1>
- Park, N. G. (2013). Organometal perovskite light absorbers toward a 20% efficiency low-cost solid-state mesoscopic solar cell. *Journal of Physical Chemistry Letters*, 4(15), 2423–2429. <https://doi.org/10.1021/jz400892a>

Portafolio. (2018). Escuelas públicas usan tecnología con energía solar. Consultado el 13 de Julio de 2021. Disponible en: <https://www.portafolio.co/negocios/escuelas-publicas-usan-tecnologia-con-energia-solar-518990>

Shin, S. S., Correa Baena, J. P., Kurchin, R. C., Polizzotti, A., Yoo, J. J., Wieghold, S., Bawendi, M. G., & Buonassisi, T. (2018). Solvent-Engineering Method to Deposit Compact Bismuth-Based Thin Films: Mechanism and Application to Photovoltaics. *Chemistry of Materials*, 30(2), 336–343. <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.7b03227>

Xue, J. (2010). Perspectives on organic photovoltaics. *Polymer Reviews*, 50(4), 411–419. <https://doi.org/10.1080/15583724.2010.515766>

ANEXOS

ANEXO A.

FACTURA DE ENERGÍA ABRIL A JUNIO 2021

 Empresa de Energía de Boyacá S.A. E.S.P. Pura Energía. Siempre contigo. NIT. 891.800.219-1 www.ebsa.com.co O.R. EBSA E.S.P. Cra 10 No.15-87 Tunja Tel 7405000	18499 NÚMERO DE CUENTA 1167493431 DOCUMENTO EQUIVALENTE N° 000140313062 PERIODO DEL SERVICIO 16/03/2021 - 15/06/2021 PERIODO FACTURADO ABR-2021 A JUN-2021 FECHA DE EMISIÓN 05/JUL/2021 TIPO DE FACTURA: FACTURACIÓN: Rural		
<h2 style="margin: 0;">CONSEJOS PARA QUE GARANTICES TU SEGURIDAD ELÉCTRICA</h2>			
<p>Apaga de inmediato todo electrodoméstico que haga chispas y llévalo a reparación.</p>	<p>No tires de los cables, desenchufa adecuadamente todo aparato que estés usando.</p>	<p>Nunca uses herramientas o aparatos eléctricos con las manos mojadas.</p>	<p>Evita sobrecargar los enchufes.</p>
<p>Tu seguridad eléctrica también es nuestra prioridad, únete a nuestro compromiso de CERO INCIDENTES.</p>			
INFORMACIÓN CLIENTE		EVOLUCIÓN DE SU CONSUMO	
Cliente: MOSQUERA SUAREZ CARLOS JAVIER Nit. C.C. 79296179 Nit. A. Dirección: Rural VR MONQUIRA PROVISIONAL OBRA Ciudad: Villa De Leyva Contacto AP		Tipo: Código: MAR DIC SEP JUN MAR DIC Promedio 16	
INFORMACIÓN TÉCNICA		DETERMINACIÓN DE SU CONSUMO	
CUENTA: 1167493431 Ruta Entrega: 000-00002857710 Estrato: Clase Servicio: Comercial Carga (kw): 3.0 Nivel Tensión: Secundaria Medidor No.: PAFAL 61566101 Medidor No.: Tipo Medidor: medidor activa Tipo Medidor: Circuito: 14625 Nodo Conexión: 19833		Tipo: Código Interno: Lectura Anterior: 0 Lectura Actual: 48 Factor Mult.: 1 Consumo en (KWh): 48 Observ. Lectura: 0	
CALIDAD DEL SERVICIO		DETALLE DE SU CUENTA	
DTT: 0.00 CRO: 1,480.00 CMp: 0.00		Descripción: Cantidad: Periodo: Subsidio / Contribución: VALOR TOTAL 1-Activa-Sencilla 16 2020/06 % 20 \$ 10,985 1-Activa-Sencilla 16 2020/06 \$ 10,985 1-Activa-Sencilla 16 2020/05 \$ 10,985	
COSTO DE PRESTACIÓN DEL SERVICIO		VALOR TOTAL CONSUMO	
G: 216.83 T: 43.93 D: 184.62 R: 6.82 P: 41.80 Cv: 90.50 Cf: 0.00 CU: 572.13 G+T+D+P+R+Cv+Cf		VALOR TOTAL CONSUMO \$ 27,462 VALOR (SUBSIDIO/CONTRIBUCIÓN) % 20 \$ 5,493 VALOR CONSUMO FACTURADO \$ 32,955	
INFORMACIÓN DE PAGOS		DETALLE DE LA FACTURA	
Valor Último Pago \$ 0 Fecha Saldo esta Factura \$ 0 Remanente Recaudado \$ 0		Valor factura periodo: 32,955 Conexión: 156,453 Sobretasa Art.313 L1955/19: 192	
INFORMACIÓN SUBSIDIO FOES		INFORMACIÓN DE INTERES	
Consumo (kwh): V/Total FOES (\$) Valor Unitario (\$/kWh): No. Factura		En EBSA pensamos en el medio ambiente, por eso te invitamos a hacer uso racional de energía, apagando las luces de tu casa antes de salir, para conocer más tips ingresa a nuestra página www.ebsa.com.co	
VIGILADA SUPERSERVICIOS Esta factura de cobro presenta mérito ejecutivo de conformidad con el artículo de la ley 142 de 1994		VALOR TOTAL A PAGAR \$189,600 PAGO OPORTUNO ANTES DE 03/AGO/2021 SOMOS AUTORRETENEDORES RES. DIAN 0547 DE 2002	
Valor a Pagar Comparto mi Energía (10%) \$192,350	 (415)770999800483(8020)1167493431(3900)0000192350	DOCUMENTO EQUIVALENTE N° 000140313062 NÚMERO DE CUENTA 1167493431 PERIODO FACTURADO ABR-2021 A JUN-2021	
Total a Pagar Hasta el 03/AGO/2021 \$189,600	 (415)770999800483(8020)1167493431(3900)0000189600	PAGO OPORTUNO ANTES DE: 03/AGO/2021 VALOR A PAGAR \$189,600	

ANEXO B. REGULADOR DE CARGA

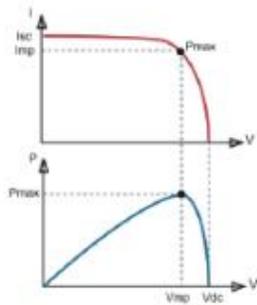


Controladores de carga BlueSolar MPPT 100/30 & 100/50

www.victronenergy.com



**Controlador de carga solar
MPPT 100/50**



Seguimiento del punto de potencia máxima

Curva superior:
Corriente de salida (I) de un panel solar como función de tensión de salida (V).
El punto de máxima potencia (MPP) es el punto P_{max} de la curva en el que el producto de I x V alcanza su pico.

Curva inferior:
Potencia de salida P=I x V como función de tensión de salida.
Si se utiliza un controlador PWM (no MPPT) la tensión de salida del panel solar será casi igual a la tensión de la batería, e inferior a V_{mp}.

Seguimiento ultrarrápido del punto de máxima potencia (MPPT, por sus siglas en inglés)

Especialmente con días nubosos, cuando la intensidad de la luz cambia continuamente, un controlador MPPT ultrarrápido mejorará la recogida de energía hasta en un 30%, en comparación con los controladores de carga PWM, y hasta en un 10% en comparación con controladores MPPT más lentos.

Detección Avanzada del Punto de Máxima Potencia en caso de nubosidad parcial

En casos de nubosidad parcial, pueden darse dos o más puntos de máxima potencia (MPP) en la curva de tensión de carga.

Los MPPT convencionales tienden a seleccionar un MPP local, que pudiera no ser el MPP óptimo.

El innovador algoritmo de BlueSolar maximizará siempre la recogida de energía seleccionando el MPP óptimo.

Excepcional eficiencia de conversión

Sin ventilador. La eficiencia máxima excede el 98%. Corriente de salida completa hasta los 40°C (104°F).

Algoritmo de carga flexible

Algoritmo de carga totalmente programable (consulte la sección Asistencia y Descargas > Software en nuestra página web), y ocho algoritmos preprogramados, seleccionables mediante interruptor giratorio (ver manual para más información).

Amplia protección electrónica

Protección de sobretemperatura y reducción de potencia en caso de alta temperatura.

Protección de cortocircuito y polaridad inversa en los paneles FV.

Protección de corriente inversa FV.

Sensor de temperatura interna
Compensa la tensión de carga de absorción y flotación, en función de la temperatura.

Opciones de datos en pantalla en tiempo real

- Smartphones, tablets y otros dispositivos Apple y Android
- consulte "VE.Direct y la mochila Bluetooth Smart"
- Panel ColorControl



Controlador de carga BlueSolar	MPPT 100/30	MPPT 100/50
Tensión de la batería	Selección automática: 12/24V	
Corriente de carga nominal	30A	50A
Potencia FV nominal, 12V 1s,b	440W	700W
Potencia FV nominal, 24V 1s,b	880W	1400W
Tensión máxima del circuito abierto FV	100V	100V
Max. corriente de corto circuito (PV 2)	35A	60A
Eficiencia máxima	98%	98%
Autoconsumo	12V: 30 mA / 24V: 20 mA	
Tensión de carga de "absorción"	Valores predeterminados: 14,4 V / 28,8 V (ajustable)	
Tensión de carga de "flotación"	Valores predeterminados: 13,8 V / 27,6 V (ajustable)	
Algoritmo de carga	variable multietapas	
Compensación de temperatura	-16 mV / °C, -32 mV / °C resp.	
Protección	Polaridad inversa de la batería (fusible, no accesible por el usuario) Polaridad inversa FV Cortocircuito de salida Sobretemperatura	
Temperatura de trabajo	-30a +60°C (potencia nominal completa hasta los 40°C)	
Humedad	95 % v/s condensación	
Puerto de comunicación de datos	VE.Direct Consulte el libro blanco sobre comunicación de datos en nuestro sitio web	
CARCASA		
Color	Azul (RAL 5012)	
Terminales de conexión	13mm ² / AWG6	
Tipo de protección	IP43 (componentes electrónicos), IP22 (área de conexión)	
Peso	1,3kg	1,3 kg
Dimensiones (al x an x p)	130 x 186 x 70mm	130 x 186 x 70mm
ESTÁNDARES		
Seguridad	EN/IEC 62109-1, UL 1741, CSA C22.2	
1a) Si fusible más potencia FV conectada, el controlador limitará la potencia de entrada. 1b) La tensión FV debe exceder en 5% la Vbat (tensión de la batería para que arranque el controlador). Una vez arrancado, la tensión FV mínima será de 5bat + 1V. 2) Un generador fotovoltaico con una corriente de cortocircuito más alta puede dañar el controlador.		

Victron Energy B.V. | De Paal 35 | 1351 JG Almere | The Netherlands
General phone: +31 (0)36535 97 00 | E-mail: sales@victronenergy.com
www.victronenergy.com



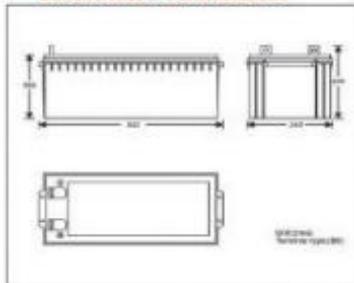
ANEXO C. BATERÍA

Referencia

TB12-200 (12V200AH) GEL LONG LIFE



Dimensiones v Características



Tensión nominal	12V
Capacidad nominal (20 tasa de horas)	200AH
Peso aproximado	60,8 kg
Terminal	Estándar T3 Insert Opcional
Largo mm	522
Ancho mm	240
Alto sin terminal mm	220

Temperatura de funcionamiento

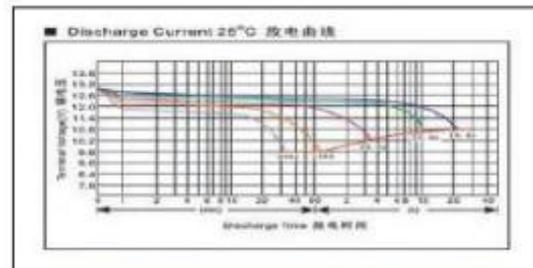
Carga	0 C (32 F) - 40 C (104 F)
Descarga	-20 C (-4 F) - 30 C (122 F)
Almacenamiento	-20 C (-4 F) - 40 C (104 F)



Especificación

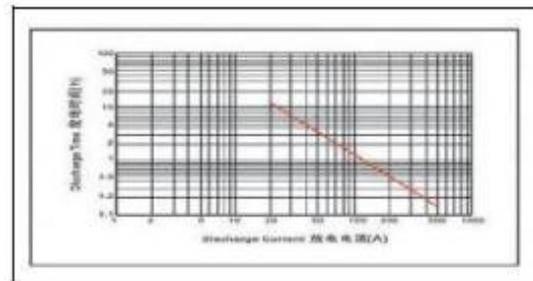
Capacidad 25 C (77 F)	10 Tasa de horas (15.0A, 10.8V)	200AH
	3 Tasa de horas (24.5A, 10.5V)	155 AH
	1 Tasa de horas (103A, 9.6V)	120AH
Capacidad afectada por la temperatura	40 C (104 F)	103%
	25 C (77 F)	100%
	0 C (32 F)	86%
	-15 C (5 F)	65%
Auto-descarga en 25 C (77 F) (Antes de recargar)	Cap. después de 3 meses	91%
	Cap. después de 6 meses	82%
	Cap. después de 12 meses	64%
Carga de tensión constante	Ciclo	Corriente de carga inicial <40A 14.4V - 15V at 25 C (77 F)
Vida útil		6 años

Características de descarga



Nota : Descarga será de corte de 10.5V si la descarga en <1 C y en 9.6V si en >1 C

Se recomienda recargar la batería a voltaje constante cargar inmediatamente después de su uso



ANEXO D. INVERSOR



Inversor/cargador MultiPlus

100VA – SWA

Compatible con baterías de Litio-Ion

www.victronenergy.com



MultiPlus
24/3000/70



MultiPlus Compact
12/2000/80

MultiPlus funcional, con gestión de potencia inteligente

El MultiPlus reúne, en una sola carcasa compacta, un potente inversor sinusoidal, un sofisticado cargador de baterías con tecnología adaptable y un conmutador de transferencia de CA de alta velocidad. Además de estas funciones principales, el MultiPlus dispone de varias características avanzadas, tal y como se describe más abajo.

Dos salidas CA

La salida principal dispone de la función "no-break" (sin interrupción). El MultiPlus se encarga del suministro a las cargas conectadas en caso de apagón o de desconexión de la red eléctrica/generador. Esto ocurre tan rápido (menos de 20 milisegundos) que los ordenadores y demás equipos electrónicos continúan funcionando sin interrupción.

La segunda salida sólo está activa cuando a una de las entradas del MultiPlus le llega alimentación CA. A esta salida se pueden conectar aparatos que no deberían descargar la batería, como un calentador de agua, por ejemplo (segunda salida disponible sólo en los modelos con conmutador de transferencia de 50A).

Potencia prácticamente ilimitada gracias al funcionamiento en paralelo

Hasta 6 MultiPlus pueden funcionar en paralelo para alcanzar una mayor potencia de salida. Seis unidades de 24V/3000/120, por ejemplo, darán una potencia de salida de 25 kW/30 kVA y una capacidad de carga de 720 amperios.

Capacidad de funcionamiento trifásico

Además de la conexión en paralelo, se pueden configurar tres unidades del mismo modelo para una salida trifásica. Pero eso no es todo: se pueden conectar en paralelo hasta 6 juegos de tres unidades que proporcionarán una potencia de salida de 75 kW/90 kVA y más de 2000 amperios de capacidad de carga.

PowerControl – Potencia limitada del generador, del pantalán o de la red

El Multi es un cargador de baterías muy potente. Por lo tanto, usará mucha corriente del generador o de la red del pantalán (casi 10 A por cada Multi de 5kVA a 230 VCA). En el Panel Multi Control puede establecerse una corriente máxima proveniente del generador o del pantalán. El MultiPlus tendrá en cuenta las demás cargas CA y utilizará la corriente sobrante para la carga, evitando así sobrecargar el generador o la red del pantalán.

PowerAssist – Aumento de la capacidad eléctrica del pantalán o del generador

Esta función lleva el principio de PowerControl a otra dimensión. Permite que el MultiPlus complemente la capacidad de la fuente alternativa. Cuando se requiera un pico de potencia durante un cort o espacio de tiempo, como pasa a menudo, MultiPlus compensará inmediatamente la posible falta de potencia de la corriente del pantalán o del generador con potencia de la batería. Cuando se reduce la carga, la potencia sobrante se utiliza para recargar la batería.

Cargador variable de cuatro etapas y carga de bancadas de baterías dobles

La salida principal proporciona una potente carga al sistema de baterías por medio de un avanzado software de "carga variable". El software ajusta con precisión el proceso automático de tres etapas adaptándose a las condiciones de la batería y añade una cuarta etapa para prolongados periodos de carga lenta. El proceso de carga variable se describe con más detalle en la hoja de datos del Phoenix Charger y en nuestro sitio web, en el apartado "Información Técnica". Además de lo anterior, el MultiPlus puede cargar una segunda batería utilizando una salida de carga limitada independiente, pensada para cargar una batería de arranque del motor principal o del generador (dicha salida disponible únicamente en los modelos de 12V y 24V).

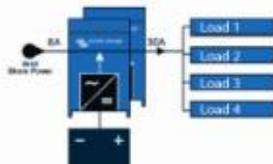
La configuración del sistema no puede ser más sencilla

Una vez instalado, el MultiPlus está listo para funcionar.

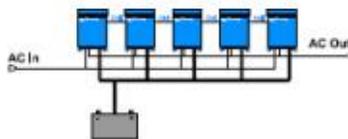
Si ha de cambiarse la configuración, se puede hacer en cuestión de minutos mediante un nuevo procedimiento de configuración del conmutador DIP. Con los conmutadores DIP se puede incluso programar el funcionamiento en paralelo y el trifásico: sin necesidad de ordenador!

También se puede utilizar un VE.Net en vez de los conmutadores DIP. Y hay disponible un sofisticado software (VE.Bus Quick Configure y VE.Bus System Configurator) para configurar varias nuevas y avanzadas características.

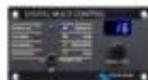
PowerAssist con 2 MultiPlus en paralelo



Cinco unidades en paralelo: potencia de salida 25 kVA



	12 voltios 24 voltios 48 voltios	C 12/900/35 C 24/900/16	C 12/1200/8 0 C 24/1200/25	C 12/1600/70 C 24/1600/40	C 12/2000/90 C 24/2000/30	12/3000/120 24/3000/70 48/3000/15	24/5000/120 48/5000/20
PowerControl		SI	SI	SI	SI	SI	SI
PowerAssist		SI	SI	SI	SI	SI	SI
Controlador de transferencia (A)		14	14	16	30	16 ó 50	50
Funcionamiento en paralelo y en trifásico		SI	SI	SI	SI	SI	SI
INVERSOR							
Rango de tensión de entrada (V CC)		9,5 - 17 V		19 - 33 V	38 - 66 V		
Salida		Tensión de salida: 230 VAC ± 2%		Frecuencia: 50 Hz ± 0,1% (1)			
Potencia cont. de salida a 25 °C (VA) (2)		800	1200	1600	2000	3000	5000
Potencia cont. de salida a 25 °C (W)		700	1000	1300	1600	2500	4500
Potencia cont. de salida a 40 °C (W)		650	900	1200	1450	2200	4000
Pico de potencia (W)		1600	2400	3000	4000	6000	10.000
Eficiencia máxima (%)		92/94	93/94	93/94	93/94	93/94/95	94/95
Consumo en vacío (W)		8/10	8/10	8/10	9/11	15/15/16	25/25
Consumo en vacío en modo de ahorro (W)		5/8	5/8	5/8	7/9	10/10/12	20/20
Consumo en vacío en modo de búsqueda (W)		2/3	2/3	2/3	3/4	4/5/5	5/6
CARGADOR							
Entrada CA		Rango de tensión de entrada: 187-265 VCA		Frecuencia de entrada: 45 - 65 Hz		Factor de potencia: 1	
Tensión de carga de absorción (V CC)		14,4 / 28,8 / 57,6					
Tensión de carga de flotación (V CC)		13,8 / 27,6 / 55,2					
Modo de almacenamiento (V CC)		13,2 / 26,4 / 52,8					
Corriente de carga batería casa (A) (3)		35 / 36	50 / 25	70 / 40	80 / 50	120 / 70 / 35	130 / 70
Corriente de carga batería de arranque (A)		4 (solo modelos de 12 y 24V)					
Sensor de temperatura de la batería		SI					
GENERAL							
Salida auxiliar (A) (4)		n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	SI (5A)	SI (25A)
Relé programable (5)		SI					
Protección (6)		A-g					
Puerto de comunicación VE.Bus		Para funcionamiento paralelo y trifásico, supervisión remota e integración del sistema					
Puerto com. de serie general (5)		n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	SI (RS)	SI
Remote on-off		SI					
Características comunes		Temperatura de funcionamiento: -20 a +50°C (refrigerado por aire); Humedad (sin condensación): máx. 95%					
CARCASA							
Características comunes		Material y color: aluminio (anodizadoRAL 5012)			Categoría de protección: IP 21		
Conexiones de la batería		cables de batería de 1,5 metros			Pernos M8	Cuatro pernos M8 D con aislación positiva y 2 negativos	
Conexión 230 V CA		Conector GST181			Abrazaderas de resorte	Bornes de tornillo de 13 mm ² (6 AWG)	
Peso (kg)		10	10	10	12	18	30
Dimensiones (l x a x p en mm.)		375x214x110			520x255x125	362x258x218	446x326x240
NORMATIVAS							
Seguridad		EN 60325-1, EN 60335-2-29					
Emissiones / Inmunitad		EN 55014-1, EN 55014-2, EN 61000-3-3					
Directiva de automoción		2004/104/EC					
<p>1) Pureza armónica a 60 Hz, IEC 61000-RE-1 se solicita</p> <p>2) Clases de protección: a) cortocircuito de salida b) sobrecarga c) tensión de la batería descargada alta d) tensión de la batería descargada baja e) temperatura descargada alta</p> <p>3) 138 V (tensión salida de línea en el modo de funcionamiento de tensión de entrada descargada alta)</p> <p>4) Carga no lineal, factor de cresta 3:1</p> <p>5) a 25 °C de temperatura ambiente</p> <p>6) Si se desconecta é no hay fuente CA, sistema é ilimitado</p> <p>7) Relé é programable por caso de configuración, entre otros, como aislamiento, subvoltage CC, control de arranque para el generador</p> <p>Capacidad nominal CA: 200V/6A</p> <p>Capacidad nominal CC: 4A hasta 25 VDC, 1A hasta 48 VDC</p> <p>↑ Entre otras funciones, para comunicarse con una batería BMV de Udo-ba</p>							



Multi Control Digital

Una solución práctica y de bajo coste para el seguimiento remoto, con un selector rotatorio con el que se pueden configurar los rñeles de Power Control y Power Assist.



PanelBus Power

Se conecta a un Multi o a un Quattro ya todos los dispositivos VE.Net, en particular al controlador de baterías VE.Net. Representación gráfica de corrientes y tensiones, display of currents and voltages.



Funcionamiento y supervisión controlados por ordenador

Hay varias interfaces disponibles:

- **Convertidor MK2.2 VE.Bus a RS232**
Se conecta al puerto RS232 de un ordenador (ver "Guía para el VEConfigure")
- **Convertidor MK2-USB VE.Bus a USB**
Se conecta a un puerto USB (ver Guía para el VEConfigure")
- **Convertidor VE.Net a VE.Bus**
Interfaz del VE.Net (ver la documentación VE.Net)
- **Convertidor VE.Bus a NMEA2000**
- **Victron Global Remote**
El Global Remote es un módem que envía alarmas, avisos e informes sobre el estado del sistema a teléfonos móviles mediante mensajes de texto (SMS). También puede registrar datos de rñiciones de batería. Victron, Multi, Quattro e inversores a una web mediante una conexión GPRS. El acceso a esta web es gratuito.
- **Victron Ethernet Remote**
Para conectar a Ethernet.



Monitor de baterías BMV

El monitor de baterías BMV dispone de un avanzado sistema de control por microprocesador combinado con un sistema de medición de alta resolución de la tensión de la batería y de la carga/descarga de corriente. Aparte de esto, el software incluye unos complejos algoritmos de cálculo, como la fórmula Peukert, para determinar exactamente el estado de la carga de la batería. El BMV muestra de manera selectiva la tensión, corriente, Ah consumidos o tiempo restante de carga de la batería. El monitor también almacena una multitud de datos relacionados con el rendimiento y uso de la batería. Hay varios modelos disponibles (ver la documentación del monitor de baterías).