

**Valor Agregado de un Sistema Fotovoltaico de Menor Escala para Autoconsumo de la  
Unidad Habitacional Casa 04 Condominio Campestre La Quinta Villavicencio Meta**

Juan Manuel Ramírez Tangarife

Universidad Santo Tomas

División de Ciencias Económicas y Administrativas

Especialización en Gerencia Empresarial,

Bogotá D.C.

Septiembre 20 de 2024

**Valor Agregado de una Sistema fotovoltaico de Menor Escala para Autoconsumo de la  
Unidad Habitacional Casa 04 Condominio Campestre La Quinta Villavicencio Meta**

Juan Manuel Ramírez Tangarife

Directora:

Dra. Norha Castillo Castro

Trabajo de grado para optar el título de Especialista en Gerencia Empresarial

Universidad Santo Tomas

División de Ciencias Económicas y Administrativas

Especialización en Gerencia Empresarial,

Bogotá D.C.

Septiembre 20 de 2024

## Tabla de Contenido

	Pág.
<b>Palabras Clave</b> .....	1
<b>Resumen</b> .....	1
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	3
<b>Objetivo General</b> .....	4
<b>Objetivos Específicos</b> .....	4
<b>PROBLEMA</b> .....	5
Metodología .....	8
Desarrollo del Tema. ....	10
Marco Normativo y Regulatorio .....	10
<b>Transición Energética en Colombia</b> .....	10
<b>Marco Normativo</b> .....	10
<i>Ministerio de Minas y Energía</i> .....	10
<i>Unidad de Planeación Minero Energética UPME</i> .....	11
<i>Comisión de regulación de Energía y Gas CREG</i> .....	11
<i>Resolución 174 de 2021 de la CREG</i> .....	11
<i>Ley 1715 de 2014</i> .....	12
<i>Sistema Interconectado Nacional SIN</i> .....	12
<b>Demanda de Energía Eléctrica en Colombia enero 2022- abril 2024</b> .....	16
<b>Análisis de Demanda de Energía Eléctrica Durante el Evento del Niño</b> .....	16

<b>Oferta de Energía Eléctrica de 2019-2023</b> .....	18
<b>Fuentes alternativas de energía</b> .....	20
<b>Potencial de Irradiancia en Colombia</b> .....	20
<b>Oferta</b> .....	20
<b>Energía Solar</b> .....	21
<b>Atlas de Irradiación Solar del IDEAM</b> .....	21
<b>Cálculo preliminar de un sistema solar fotovoltaico interconectado a la red</b> .....	23
<b>Semiconductores y las Celdas Solares</b> .....	28
<b>Módulo Solar</b> .....	29
<b>Módulo Solar Seleccionado</b> .....	31
<b>Cálculo de la Temperatura de la Celda Solar</b> .....	34
<b>Cálculo de Pérdidas de Potencia, Voltaje, Corriente e Inversor</b> .....	35
<b>Tensiones Mínimas y Máximas</b> .....	37
<b>Dimensionado de la Potencia de la Fuente Fotovoltaica (pgfv)</b> .....	39
<b>Cálculo y Características del Inversor</b> .....	40
<b>Simulación con software PVSYSTY</b> .....	41
<b>Validación Técnica con Software PVSYSTY</b> .....	42
<b>Validación de la Selección de Módulos Solares</b> .....	44
<b>Validación de la Selección del Inversor</b> .....	44
<b>Validación de Compatibilidad entre Módulos Solares e Inversor</b> .....	44
<b>Presupuesto de Instalación Solar Fotovoltaica</b> .....	44

<b>Análisis de Energía y (Cu) en la Sistema fotovoltaico</b> .....	48
<b>Valor Agregado</b> .....	49
<b>Marco Normativo Incentivos Tributarios</b> .....	50
<b>Incentivos</b> .....	50
<b>Autoridad Nacional de Licencias Ambientales</b> .....	52
<b>Economía Circular en Sistemas Solares Fotovoltaicos</b> .....	52
Investigaciones Experimentales para el Reciclaje del Silicio y Vidrio de Módulos Solares .....	54
<b>Ciclo de Vida</b> .....	54
<b>Tiempo de Retorno Energético</b> .....	55
Impactos Ambientales .....	55
Marco Normativo Ambiental en Colombia .....	56
<b>Impuesto al Carbono Ley 1819 de 2016</b> .....	57
<b>Discusión</b> .....	59
Conclusiones .....	60
Referencias .....	62

## Lista de Tablas

	Pág.
<b>Tabla 1</b> Conductores de transmisión Eléctricas de 110 kV del SIN .....	12
<b>Tabla 2</b> Conductores de transmisión eléctrica de 500 kV del SIN.....	13
<b>Tabla 3</b> Conductores de transmisión Eléctrica de 220 Kv. del SIN .....	13
<b>Tabla 4</b> Conductores de transmisión Eléctrica a 115 kV. del SIN .....	14
<b>Tabla 5</b> Conductores de transmisión Eléctrica a 138 kV. del SIN .....	16
<b>Tabla 6</b> Producción de energía eléctrica SIN GWh 2019-2023 .....	18
<b>Tabla 7</b> Oferta de Energía de Proyectos de energías renovables alternativas Conectados al SIN .....	20
<b>Tabla 8</b> Potencial de energía solar por regiones en el país .....	23
<b>Tabla 9</b> Descripción del usuario de la unidad habitacional.....	23
<b>Tabla 10</b> Oferta Energética .....	25
<b>Tabla 11</b> Demanda de Energía del Usuario de la Unidad Habitacional.....	26
<b>Tabla 12</b> Especificaciones mecánicas del módulo JAM66S30-500/MR .....	32
<b>Tabla 13</b> .....	32
<b>Tabla 14</b> Parámetros eléctricos del módulo solar seleccionado a condiciones *(NOTC) .....	33
<b>Tabla 15</b> $\Delta T$ Diferencia de Temperatura de la Celda y Diferencia respecto a la Temperatura a Condiciones Estándar *(STC) .....	34
<b>Tabla 16</b> Pérdidas de Potencia, Voltaje, Corriente e Inversor.....	35
<b>Tabla 17</b> Promedios Anuales de Perdidas Potencia, Voltaje e Inversor.....	37
<b>Tabla 18</b> Voltaje Mínima .....	37
<b>Tabla 19</b> Voltaje Máxima .....	38
<b>Tabla 20</b> Información para el dimensionamiento de la Potencia del Generador Fotovoltaico	

PGFV.....	39
<b>Tabla 21</b> .....	40
<b>Tabla 22</b> Datos de Irradiación solar y Temperatura en el sitio de la unidad habitacional.....	42
<b>Tabla 23</b> Presupuesto de Instalación Solar Fotovoltaica Usuario Unidad Habitacional.....	44
<b>Tabla 24</b> Costo Unitario (CU) Tasas de energía eléctrica EMSA ESP para el mes de junio de 2023 al mes de mayo 2024 .....	47
<b>Tabla 25</b> Desarrollo de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero .....	56

## Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Demanda de Energía eléctrica Mensual en el SIN. ....	16
<b>Figura 2</b> Demanda de Carbón y Gas para las Plantas Térmicas del País 2023.....	17
<b>Figura 3</b> Producción de energía eléctrica del año 2019 al 2023 .....	18
<b>Figura 4</b> Participación en la Producción de energía eléctrica por Departamentos al SIN año 2022.....	19
<b>Figura 5</b> Disposición y variables que se recopilaron para el Atlas de Irradiación Solar .....	22
<b>Figura 6</b> Ubicación geográfica de la unidad habitacional .....	25
<b>Figura 7</b> Patrón de consumo de energía eléctrica en kW-h/mes en el año 2023 .....	27
<b>Figura 8</b> Configuración de la Sistema solar fotovoltaico interconectado a la red. ....	27
<b>Figura 9</b> Modulo Solar Fotovoltaiico.....	29
<b>Figura 10</b> Características Eléctricas del Módulo solar .....	30
<b>Figura 11</b> Diagrama Mecánico Módulo Solar JAM 66s30-500/MR .....	31
<b>Figura 12</b> Necesidades o Demanda de Energía del usuario.....	41
<b>Figura 13</b> Inclinación del módulo solar .....	43
<b>Figura 14</b> Potencia Fuente FV Generados FV GFV, Potencia del Inversor .....	43
<b>Figura 15</b> Diagrama de Perdida del PVSYST.....	46

## **Valor agregado de una Sistema fotovoltaico a menor escala para autoconsumo de la Unidad Habitacional Casa 04 Condominio Campestre La Quinta Villavicencio Meta**

### **Palabras Clave**

Transición energética, dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, cambio climático, valor agregado, instalaciones solares fotovoltaicas, autoconsumo, contador bidireccional inteligente, operador de red, CREG Comisión Reguladora de energía y Gas. UPME Minero energética.

### **Resumen**

En el contexto de la transición energética, se tuvo en cuenta el marco normativo de la Ley 1715 de 2014 por medio de la cual se reglamenta la incorporación de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional, la resolución 174 de 2021 de la CREG por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el SIN, se enunciaron los requisitos para obtener los certificados para poder acceder a los incentivos tributarios según estableció la UPME. Resolución 000319 de 2022 Por la cual se establecen las directrices para la evaluación de las solicitudes de evaluación y emisión de los certificados que permitan acceder a los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014, se tuvo en cuenta la oferta y la demanda energética del país, se analizó la dependencia de los combustibles fósiles y de los eventos climáticos del niño y la niña, se realizó el dimensionamiento de una instalación solar fotovoltaica de 3,0 kW situada en Villavicencio capital del departamento del Meta, la selección y disposición de dispositivos eléctricos, cálculos energéticos y eléctricos, las pérdidas por efecto de temperatura, se elaboró un presupuesto, posteriormente se efectuó la validación y evaluación de esta información mediante el uso de un software especializado para obtener con mayor precisión información para el análisis de tarifa y valor agregado según el

marco regulatorio de la resolución vigente de la CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas), resolución 119 de 2007 por la cual se aprueba la fórmula tarifaria general que permite a los comercializadores minoristas de electricidad establecer los costos de prestación del servicio a usuarios regulados en el SIN, resolución 174 de 2021 con énfasis en los auto generadores a pequeña escala, en este caso de menor escala. nivel de voltaje uno (1) entre 100 y 1000 Voltios de voltaje eléctrica y un potencial de producción de energía eléctrica inferior a 1MW un megavatio para autoconsumo. Resolución CREG 174 de 2021; se demostró con el dimensionamiento del caso, el valor agregado aportado al patrimonio de una persona natural que se denominó usuario de una unidad habitacional y como la política nacional de los beneficios tributarios promueven la toma de decisiones de forma positiva en el uso de las instalaciones solares fotovoltaicas, se demostró como este tipo de instalación aporta valor agregado al medio ambiente en su etapa de funcionamiento reduciendo la producción de CO2

## INTRODUCCIÓN

En el contexto de la transición energética, el aumento de la demanda de energía eléctrica que se satisface en la actualidad con fuentes no renovables como son los combustibles fósiles para alimentar las termoeléctricas, la emisión de CO<sub>2</sub>, la dependencia meteorológica de los eventos del niño y la niña para mantener el nivel de los embalses, el presente artículo da respuesta a la pregunta ¿cuál es el valor agregado de una instalación solar fotovoltaica a menor escala para autoconsumo de la Unidad Habitacional Casa 04 Condominio Campestre La Quinta Villavicencio Meta?, para efectos prácticos en adelante se llamará usuario de una unidad habitacional; mediante el desarrollo de un caso de dimensionamiento apoyado en la información y normatividad vigente de la Unidad de Planeación Minero Energética, en adelante UPME en el marco de los beneficios tributarios para este tipo de instalaciones e información pertinente en cuanto al consumo de electricidad, incorporación de fuentes de energía alternativas; el Instituto Colombiano de Normas Técnicas en adelante ICONTEC; el IDEAM: la International Electrotechnical Commission IEC; Oe el software Pvsyst especializado para obtener el diagrama de perdidas como fuente de información para demostrar junto con la resolución 174 de 2021 de la Comisión de Regulación de Energía y Gas en adelante CREG que la decisión gerencial respecto a invertir en las instalaciones solares fotovoltaicas de autoconsumo a menor escala contribuyen al valor agregado en el patrimonio de una persona natural en este caso o en su defecto a una persona jurídica. Desde la perspectiva medio ambiental con el apoyo de la información pertinente de la International Energy Agency PVPS que es un programa desarrollado por la Agencia Internacional de la Energía AIE, esta organización intergubernamental trabaja bajo el marco de la Organización para la Cooperación y el desarrollo Económico OCDE; cuyo objetivo principal es la investigación, desarrollo e implementación de energías solares fotovoltaicas como opción para reducir los gases de efecto invernadero en la generación de electricidad, en el ámbito

nacional con la resolución 1447 de 2018 Por la cual se reglamenta el sistema de monitoreo, reporte y verificación de las acciones de mitigación a nivel nacional de que trata el artículo 175 de la ley 1753 de 2015, se creó el RENARE el Registro Nacional de Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, se propone que la decisión gerencial de invertir en instalaciones solares fotovoltaicas a menor escala para autoconsumo aportan valor agregado al ambiente con la reducción de los gases de efecto invernadero.

### **Objetivo General**

Proponer las instalaciones solares fotovoltaicas a menor escala para auto consumo como una alternativa de valor agregado, caso unidad habitacional Casa 04 Condominio Campestre La Quinta situada en la Villavicencio capital del departamento del Meta.

### **Objetivos Específicos**

1. Determinar los beneficios económicos del caso, puntualmente los tributarios como un estímulo del gobierno nacional en la toma de decisiones para la adopción de esta nueva tecnología, disminuyendo los costos en la compra de dispositivos.
2. Describir el beneficio ambiental que se obtiene en un año, con la disminución de la huella de carbono principalmente de CO<sub>2</sub> en la instalación solar fotovoltaica del caso y su contribución a la sostenibilidad.

## PROBLEMA

Tanto a nivel mundial como nacional la transición energética es el paso para dejar de usar las energías de fuentes no renovables como son los combustibles fósiles al uso de energías renovables, en estas últimas están las energías fotovoltaicas cuya fuente de energía es el sol, puntualmente la irradiación solar y la energía eólica cuya fuente es el viento; las energías no renovables presentan riesgos de confiabilidad al depender de fuentes energéticas de combustibles fósiles como el petróleo, su cantidad está definida o finita, la dependencia directa del negocio del petróleo en sus diferentes etapas como exploración, explotación, refinación, transporte de hidrocarburos, por otra parte el deterioro del medio ambiente tanto en estas etapas mencionadas anteriormente como en la etapa final de combustión y su transformación en dióxido de carbono el cual afecta el medio ambiente acelerando el calentamiento global y el cambio climático, por otra parte la producción de energía eléctrica de fuentes hidroeléctricas y su dependencia meteorológica del régimen de lluvias que pone en riesgo el nivel de agua de los embalses. Una de las alternativas es el paso a las energías renovables con las instalaciones solares fotovoltaicas; en Colombia debido a su ubicación geográfica y la ausencia de estaciones climatológicas tan marcadas en el tiempo como son el invierno, primavera, verano y otoño ofrecen la oportunidad de construir instalaciones solares fotovoltaicas, en este caso de “menor escala entre 100 y 1000 Voltios para autoconsumo y un potencial de producción de energía eléctrica inferior a 1MW” (Un megavatio para autoconsumo) (Resolución 174 , 2021). En el ámbito empresarial se retoman “Los planteamientos de Milton Friedman en 1970 abrieron la puerta a una amplia discusión ¿Deben las empresas dedicarse exclusivamente a generar valor económico, o tienen una responsabilidad social?” (Guzman Vasquez, Trujillo, & González, 2020), tomaremos este planteamiento enmarcándolo en el contexto del usuario de la unidad habitacional de nuestro caso de instalación solar fotovoltaica auto generador a pequeña escala para autoconsumo. El marco regulatorio la resolución vigente de la CREG 174 de 2021 con énfasis

en los auto generadores a pequeña escala que tienen potencial de producción de energía eléctrica inferior a 1MW, un auto generador es una persona jurídica o natural propietaria de un sistema de Producción de energía eléctrica a partir de una fuente renovable como es el sol, en este caso se denomina instalación solar fotovoltaica; si una persona natural o jurídica se declara auto generador sin producción de excedentes de energía a la red, el autoconsumo es la energía eléctrica generada para satisfacer la demanda del propietario sin utilizar los activos de uso que son propiedad de los operadores de red, quienes son empresas dedicadas a la distribución y comercialización de energía eléctrica; estos activos son elementos físicos donde se conecta la instalación del auto generador al Sistema Interconectado Nacional en adelante SIN para enviar los excedentes de energía, si hay excedentes de energía se utilizan los activos de uso que son de propiedad de los operadores de red, estos excedentes serán vendidos al sistema a través de las empresas de comercialización o generación, se podría dar el caso que estos excedentes de energía eléctrica sean superiores en porcentaje a la cantidad del consumo propio de la instalación de la persona natural o jurídica, es decir, del propietario en este caso se debe cumplir con el marco de la resolución CREG 174 de 2021 de acuerdo con los límites de nivel de voltaje (1) uno, es decir, la cantidad de voltios en este caso es de 100 a 1.000 o menores de un kilovoltio 1Kv y con una capacidad instalada menor a un Mega-Vatio 1Mw. La persona jurídica o natural debe declararse auto generador en cualquiera de las dos situaciones, tanto si decide no conectarse o si decide conectarse mediante los activos de uso. (Resolución 174 , 2021). Los costos de construcción de instalaciones solares fotovoltaicas se reducen todos los días debido a la oferta de fabricantes de nuevos elementos tecnológicos para su construcción; el costo unitario de prestación del servicio de energía eléctrica aumenta cuando se consumen cada vez más combustibles fósiles para la Producción de energía eléctrica con termoeléctricas como consecuencia del aumento de la demanda o por eventos meteorológicos cada vez más críticos como el del niño, donde se limita el funcionamiento de las hidroeléctricas por bajo nivel de los embalses con un alto costo económico y medio ambiental, en Colombia el 68% de la energía

eléctrica se produce con fuente hidroeléctrica, se espera que esta cifra disminuya con una participación cada vez mayor de las energías no convencionales y en especial de las instalaciones eléctricas fotovoltaicas. (Ramírez del Rio, 2022).

Existe una nueva estructura de negocio basada en el aumento de la construcción de instalaciones solares fotovoltaicas y la venta de los excedentes de energía a las compañías comercializadoras y operadoras de energía, mediante fuentes renovables como la energía fotovoltaica con instalaciones eléctricas descentralizadas. (Guzmán Valencia, 2020)

## Metodología

El método utilizado para el desarrollo de la presente investigación y elaboración del artículo es el método deductivo-inductivo, en el cual se parte de lo general a lo particular, se tomaron varios temas que tienen que ver con la transición energética, sin perder de vista el contexto de las decisiones empresariales dentro del marco normativo minero energético y ambiental en el contexto nacional para aunarlos al concepto de valor agregado, en primera instancia el marco normativo conformado por la UPME, la CREG, la Ley 1715 de 2014 que integra las energías renovables al Sistema Energético Nacional, el Sistema Interconectado Nacional SIN integrado por los conductores de transmisión de energía de todo el país, la demanda de energía a nivel nacional desde el mes de enero de 2022 hasta abril del año 2024, el consumo de combustibles fósiles para la producción de energía eléctrica en el período comprendido entre el año 2019 y 2023, la oferta de energía eléctrica desde el año 2019 hasta el año 2023, de otra parte se revisaron las fuentes de energía no convencionales el potencial de energía solar por regiones del país de acuerdo a la información del IDEAM, en este contexto se desarrolló el dimensionamiento de acuerdo a la normatividad vigente como las normas ICONTEC NTC 2050 Código Eléctrico Colombiano (2020) específicamente en el artículo 690 Sistemas Solares Fotovoltaicos, la norma ICONTEC NTC 6017-1(2013) que hace referencia a las pruebas de desempeño de módulos fotovoltaicos y análisis energético parte 1, evaluación del rendimiento en función de la temperatura e irradiancia y determinación de las especificaciones de potencia, la norma IEC 60891(2022) Procedimientos para la corrección de la Corriente y Voltaje en función de la Irradiancia y la Temperatura para módulos Fotovoltaicos de Silicio, además se tomó la información de demanda y costo unitario de prestación del servicio suministrada por la empresa electrificadora del Meta EMSA de una instalación solar fotovoltaica a menor escala para auto consumo de una unidad habitacional situada en Villavicencio capital del departamento del Meta, se validó la información de la ubicación y potencia de los módulos solares seleccionados, el

inversor, la ubicación geográfica, las variables meteorológicas del sitio, el patrón de consumo energética, el diagrama de perdidas con el software Pvsysyt, se realizó el presupuesto, posteriormente se añadió esta información teniendo en cuenta el marco normativo vigente de la CREG, los beneficios tributarios que deben ser avalados por la UPME, las equivalencias de producción de gases de efecto invernadero como el CO<sub>2</sub> en una instalación convencional comparada con la instalación solar fotovoltaica del caso, para demostrar que la decisión de invertir en dicha instalación aporta valor agregado al patrimonio del usuario y es una opción de valor agregado desde el punto de vista medio ambiental.

## **Desarrollo del Tema.**

### **Marco Normativo y Regulatorio**

#### **Transición Energética en Colombia**

En el marco del acuerdo de París de 2015, 196 países entre ellos Colombia asumieron el compromiso donde se plantea impedir que la temperatura a nivel global tenga un incremento de 2 grados Celsius y llegar como máximo a 1,5 grados Celsius por encima de los niveles preindustriales y el vehículo para lograrlo es la neutralidad del carbono para el 2050, una de las formas para alcanzarlo es incrementar el uso de las energías de fuente renovable dentro de ellas está la energía solar fotovoltaica, en la actualidad el 80% de energía que utiliza la economía mundial tiene como fuente los combustibles fósiles, particularmente en Colombia los ingresos que se perciben de la industria de petróleo y gas son un sustento importante no solo en el plano de inversión social si no en el plano de la transición energética. Colombia buscaba incrementar en 12% la participación de las energías de fuente renovable en la matriz para el año 2022, la reducción de los gases de efecto invernadero del 20% al 51 % para el 2023, en este contexto el país debía crear las condiciones mediante los beneficios tributarios y la flexibilización de los trámites para que se materializara de forma rápida la transición energética que es pasar a usar cada vez más energías renovables de manera sostenible. (Ministerio de Minas y Energía, 2021)

#### **Marco Normativo**

Hace referencia a cada una de las entidades e instrumentos gubernamentales que enmarcan el desarrollo del presente artículo.

#### ***Ministerio de Minas y Energía***

Es un departamento administrativo del gobierno que trabaja en armonía con la UPME y la CREG, en el desarrollo de los planes específicos del sector, alineado a los planes de desarrollo del gobierno nacional. (Ministerio de Minas y Energía, 2024)

### ***Unidad de Planeación Minero Energética UPME***

Es la entidad administrativa especial de orden nacional que está adscrita al Ministerio de Minas y Energía, su carácter es técnico y se rige por la Ley 143 de 1994 y el decreto número 1258 de junio 17 del año 2013.

Su misión es la planeación integral intersectorial del desarrollo energético, gestiona y lidera la información para la transición energética del país. Su visión en términos generales es ser reconocida como el centro de pensamiento energético del país para el año 2035 con efecto en el desarrollo social, económico y ambiental, esta entidad es de apoyo al Ministerio de Minas y Energía para el logro de sus objetivos y metas, mediante la elaboración y socialización de la información pertinente para la estructuración de las políticas públicas y trabaja en concordancia con la CREG. (Unidad de Planeación Minero Energética, 2024)

### ***Comisión de regulación de Energía y Gas CREG***

Es una unidad administrativa especial de orden nacional y está adscrita al Ministerio de Minas y Energía, esta entidad tiene autonomía administrativa, técnica y financiera, su objetivo es reglamentar los monopolios en la provisión de los servicios públicos de energía eléctrica y gas, para que la operación de los competidores en este mercado sea eficiente y no se presenten abusos y se mantengan servicios de calidad. Las funciones de la CREG están establecidas mediante los artículos 73 y 74 de la Ley 142 de 1994, en el artículo 23 de la Ley 143 de 1994, en el artículo 3 del decreto 4130 de 2011. Esta entidad definió el marco legal mediante el cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala en el SIN específicamente en la resolución número 174 del 7 de octubre del año 2021. (Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG, 1994)

### ***Resolución 174 de 2021 de la CREG***

Este documento establece la normativa para la generación distribuida y la autogeneración a menor escala, entendiendo por menor escala instalaciones con potencia menor a 1MW y que

estarán acopladas en el SIN. (Resolución 174 , 2021)

### **Ley 1715 de 2014**

Es la legislación que regula la incorporación de fuentes de energías renovables alternativas al Sistema Energético Nacional, tiene por objeto promover el uso de este tipo de energías y para ello define un amplio glosario de términos propios de este tipo de energías. (Ley 1715, 2014)

### **Sistema Interconectado Nacional SIN**

Son todos los conductores de transmisión de energía eléctrica que existen en el país y donde se deben conectar los generadores, subestaciones eléctricas. Esta infraestructura es operada y mantenida por los operadores de red. (Sistema Interconectado Nacional SIN, s.f.)

La información sobre el SIN reposa en PARATEC – XM que es el Sistema de Parámetros Técnicos que conforman el SIN. (Paratec- xm, 2024)

Las conductores de transmisión de energía eléctrica del país son el vehículo y uno de los activos más representativos para el suministro de energía, son fundamentales junto con las líneas de distribución eléctrica, un elemento fundamental en el costo unitario de prestación del servicio y el marco de referencia física de las instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la red, las conductores de transmisión en Colombia funcionan en diferentes niveles de voltaje y son mantenidas por diferentes empresas del sector como se muestra a continuación.

### **Tabla 1**

#### *Conductores de transmisión Eléctricas de 110 kV del SIN*

EMPRESA	(Km)
AIR-E S.A.S. E.S.P	414.32
CARIBE MAR DE LA COSTA S.A.S. E.S.P.	1.064,68
SOLUCIONES EN EFICIENCIA ENERGETICA PARA EMPRESAS Y CONSTRUCTORAS S.A. E.S.P.	19.90

CEN ENERGY S.A	45.53
DISPAC S.A.	98.07
EPM <sup>a</sup>	1.698,06
ENEL COLOMBIA S.A .E.S.P.	6.50
GEB	195.05
INTERNATIONAL COLOMBIA RESOURCES CORPORATION	295.20
TRANSELCA S.A. E.S.P.	26.54
<b>TOTAL CONDUCTORES DE TRANSMISIÓN 110kV SIN</b>	<b>2762,74</b>

*Nota.* Datos tomados de <https://paratec.xm.com.co> a julio de 2024

- a. Empresas Públicas de Medellín cuenta con la participación más grande en los conductores de transmisión de energía eléctrica de 110 kV

## Tabla 2

*Conductores de transmisión eléctrica de 500 kV del SIN*

EMPRESA	(Km)
EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN	45.90
GEB	178.50
ISA INTERCOLOMBIA S.A E.S.P. <sup>a</sup>	3.608,70
<b>TOTAL CONDUCTORES DE TRANSMISIÓN 500 kV SIN</b>	<b>3.833,09</b>

*Nota.* Datos tomados de <https://paratec.xm.com.co> a julio de 2024

- a. ISA INTERCOLOMBIA S.A.E.S.P. cuenta con la participación más grande en los conductores de transmisión de energía eléctrica de 500 kV

## Tabla 3

*Conductores de transmisión Eléctrica de 220 Kv. del SIN*

EMPRESA	(Km)
EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN	814.52

GEB	20.0
ISA INTERCOLOMBIA S.A E.S.P.	177.64
TRANSELCA S.A. E.S.P.	1.586,00
SOLUCIONES EN EFICIENCIA ENERGETICA PARA EMPRESAS Y CONSTRUCTORAS S.A. E.S.P.	314.92
CENTRALES ELECRRICAS DEL NORTE DE SANTANDER S.A. E.S.P	18.40
DESARROLLO ELECTRICO SURIA SAS. E.S.P.	42.79
DISTASA S.A. E.S.P	18.75
ESSA E.S.P.	123.07
EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN	181.57
ENEL COLOMBIA S.A. E.S.P	6.46
GEB	2.141,45
ISA INTERCOLOMBIA S.A E.S.P. <sup>a</sup>	8.152,15
<b>TOTAL CONDUCTORES DE TRANSMISIÓN 220kV SIN</b>	<b>13.570.57</b>

*Nota.* Datos tomados de <https://paratec.xm.com.co> a julio de 2024

- a. ISA INTERCOLOMBIA S.A.E.S.P. cuenta con la participación más grande en los conductores de transmisión de energía eléctrica de 220 kV

La unidad de medida de voltaje es kV. Kilovoltios, un kilovoltio son 1000 Voltios, los valores de voltaje varían porque depende de las distancias de recorrido de los conductores, los cuales son fundamentales porque permiten que la electricidad se pueda interconectar en el territorio nacional y de ellas se conectan las líneas de distribución para finalmente llegar a los usuarios finales.

#### **Tabla 4**

*Conductores de transmisión Eléctrica a 115 kV. del SIN*

EMPRESA	(Km)
ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P.	1.04

SOLUCIONES EN EFICIENCIA ENERGETICA PARA EMPRESAS Y	
CONSTRUCTORAS S.A. E.S.P. <sup>a</sup>	1.604,71
CENTRAL HIDROELECTRICA DE CALDAS S.A. E.S.P.	483.58
CENTRALES ELECTRICAS DE NARIÑO S.A. E.S.P.	715.91
CENTRALES ELECRRICAS DEL NORTE DE SANTANDER S.A. E.S.P	379.20
COMPAÑÍA ENERGETICA DE OCCIDENTE SAS. E.S.P.	339.44
ESSA E.S.P.	751.28
ELECTRIFICADORA DEL CAQUETA S.A. E.S.P.	111.50
ELECTRIFICADORA DEL HUILA S.A E.S.P.	371.59
ELECTRIFICADORA DEL META S.A. E.S.P	486.41
EMPRESA DE ENERGIA DE ARAUCA E.S.P.	60.0
EMPRESA DE ENERGÍA DE BOYACA. E.S.P.	908.17
EMPRESA E ENERGÍA DE CASANAFRE	583.0
EMPRESA DE ENERGÍA DE PEREIRA. E.S.P	7.80
EMPRESA DE ENERGÍA ELECTRICA DEL BAJO PUTUMAYO S.A. E.S.P	92.0
EMPRESA DE ENERGÍA DEL QUINDIO S.A. E.S.P.	17.0
EMPRESA DE ENERGÍA ELECTRICA DEL DEPARTAMENTO DEL GUAVIARE S.A. E.S.P	187.0
DISPAC S.A.	206.79
EMPRESAS MUNICIPALES DE CALI E.I.C.E E.S.P	27.94
ENEL COLOMBIA S.A. E.S.P	1.167,03
ISA INTERCOLOMBIA S.A. E.S.P.	3.40
<hr/> TOTAL CONDUCTORES DE TRANSMISIÓN 115kV SIN	<hr/> 8.504,78

*Nota.* Datos tomados de <https://paratec.xm.com.co> a julio de 2024

a. La mayor participación en los conductores de transmisión de energía eléctrica de 115 kV. la tiene SOLUCIONES EN EFICIENCIA ENERGETICA PARA EMPRESAS Y CONSTRUCTORAS S.A. E.S.P.

**Tabla 5**

*Conductores de transmisión Eléctrica a 138 kV. del SIN*

EMPRESA	(Km)
ISA INTERCOLOMBIA S.A.E.S.P.	15.49

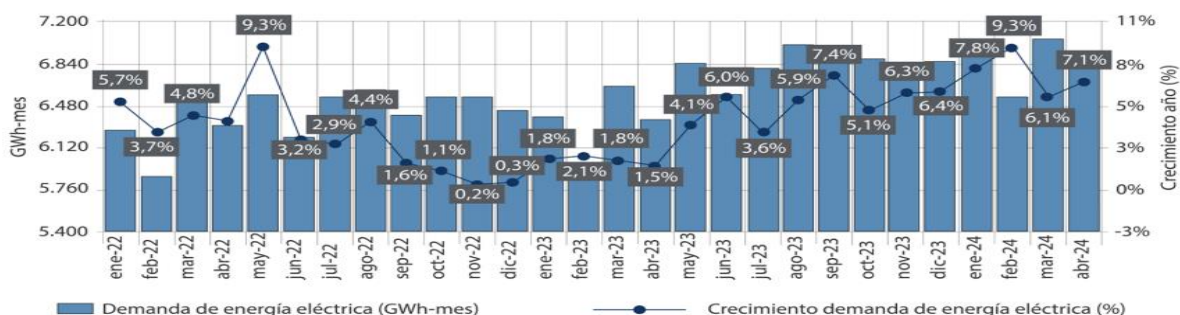
Nota. Datos tomados de <https://paratec.xm.com.co> a julio de 2024, esta es la única línea de transmisión con voltaje de 138Kv en Colombia.

### **Demanda de Energía Eléctrica en Colombia enero 2022- abril 2024**

La demanda hace referencia a la energía eléctrica que se consume en nuestro país, su unidad de medida es el Gigavatio hora mes GWh-mes, un GW es un millón de kilovatios.

**Figura 1**

*Demanda de Energía eléctrica Mensual en el SIN.*



Nota. Adaptado de Análisis de Demanda de energía eléctrica durante el evento del niño (p.4), por UPME, 2024.

### **Análisis de Demanda de Energía Eléctrica Durante el Evento del Niño**

En la figura 1, se muestra el resultado del manejo estadístico realizado por la UPME, donde relacionan variables demográficas, económicas y el consumo histórico del país, en este orden de ideas se puede apreciar el comportamiento de la demanda de energía eléctrica mensual

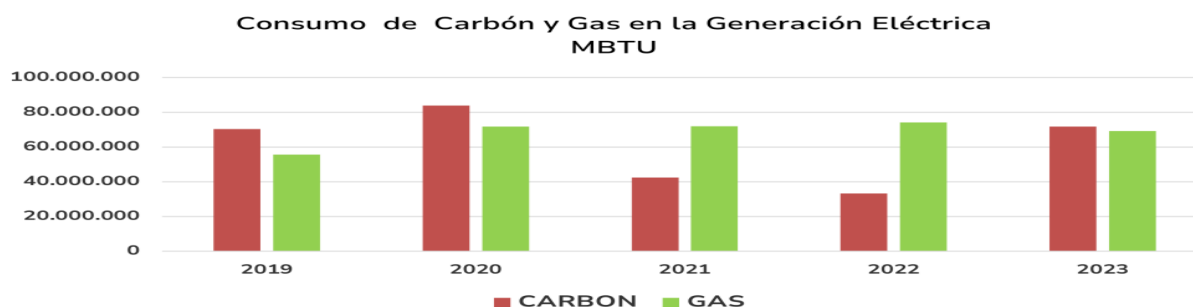
desde enero de 2022 hasta abril de 2024.

En el año 2023 se presentó el evento del niño que se caracteriza por un periodo de altas temperaturas y un régimen de lluvias muy bajo o nulo, esto hace que el consumo de energía se incremente principalmente por el uso de los sistemas de aire acondicionados, en este mismo año la demanda promedio de energía eléctrica mensual fue de 6.665 GWh-mes (Gigavatios hora mes) esto es un crecimiento promedio mes de 4,3% respecto al año 2022, en el año 2024 en los meses de enero a abril se presentó el evento del niño la demanda promedio mensual de energía fue de 6.832 GWh-mes (Gigavatios hora mes) con un incremento del promedio mensual de 7,6% con respecto al mismo periodo del año 2023, en este mismo periodo tuvo un crecimiento de 1,8% respecto al mismo lapso del año inmediatamente anterior el 2022. (Unidad de Planeación Minero Energética, 2024)

Para la Producción de energía eléctrica procedente de plantas térmicas se requieren combustibles fósiles como el carbón y el gas, a continuación, se muestra la demanda de estos combustibles.

## Figura 2

### *Demanda de Carbón y Gas para las Plantas Térmicas del País 2023*



Nota: Adaptado de Boletín Estadístico 2018 – 2023S1 (p.87) por la UPME, 2024.

En la figura 2 se puede apreciar de forma clara que en el año 2023 debido al evento del niño se incrementó el consumo de carbón en aproximadamente 70.000.000 MBTU de carbón y

68.000.000 MBTU de gas.

### Oferta de Energía Eléctrica de 2019-2023

La oferta de energía eléctrica en Colombia se genera por diferentes fuentes como se puede apreciar a continuación.

**Tabla 6**

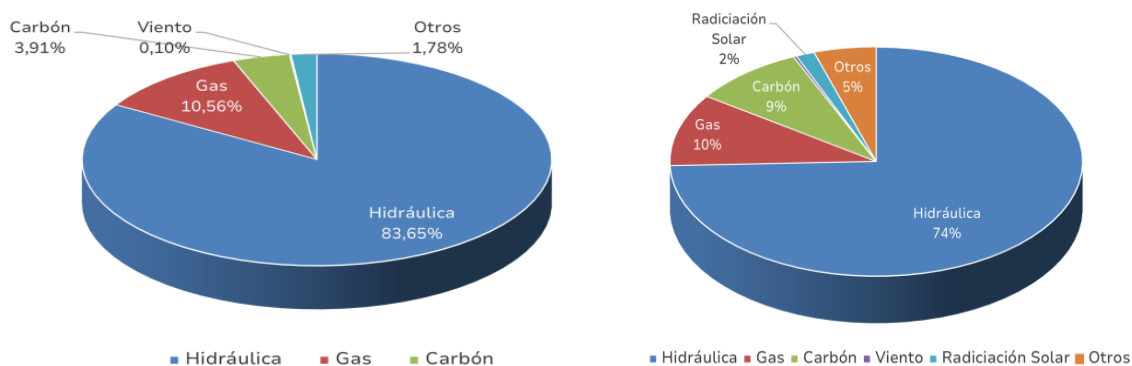
*Producción de energía eléctrica SIN GWh 2019-2023*

Año	ACPM	ENERGÍA HIDRÁULICA	BAGAZO	BIOGAS	CARBÓN	COMBUSTOLEO	CRUDO	GAS	GAS. N.L	RADIACIÓN SOLAR	VIENTO	TOTAL
2019	14,77	54.437,00	699,4	2,36	7.252,23	35,5		7.088,52	399,48	132,061	63,32	70.124,64
2020	13,47	49.837,35	724,44	1,348	8.565,51	17,588		8.602,74	1.360,19	190,8	10,12	69.323,56
2021	11,83	60.495,98	792,61	4,535	4.019,65	15,324		8.092,52	117,62	323,017	60,46	73.933,55
2022	7,47	64.337,30	771,36	4,719	3.008,80	35,48		8.120,49	45,93	502,604	74,3	76.908,45
2023	399,44	57.776,72	783,9	6,347	6.820,94	77,264	46,537	7.937,94	2.469,81	1.124,49	197,23	77.640,62
TOTAL	446,98	286.884,35	3.771,70	19,309	29.667,13	181,156	46,537	39.842,21	4.393,03	2.272,97	405,43	367.930,82

*Nota.* Datos tomados de Boletín Estadístico 2018 – 2023S1 (p.84), por la UPME

**Figura 3**

*Producción de energía eléctrica del año 2019 al 2023*



*Nota:* Adaptado de Boletín Estadístico 2018 – 2023S1 (p.84) por la UPME, 2024.

En la Tabla 6 se destaca el aumento progresivo de Producción de energía eléctrica en GWh de la fuente de irradiación solar, esto es un dato relevante donde año a año se está dando

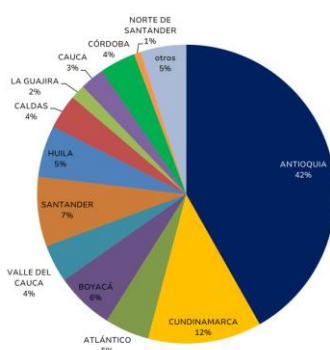
la transición energética con los sistemas fotovoltaicos.

En la figura 3 se observa que para el periodo entre los años 2019 al 2023 se generaron en total 367.930,82 GWh de energía eléctrica incluyendo todas las fuentes de generación, la participación más alta la tiene la fuente hidráulica que corresponde a las centrales hidroeléctricas con un total para este mismo periodo de 286.884,35 GWh. La irradiación solar se refiere a los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica del SIN que aportaron una generación de 2.272,97 GWh, esto corresponde a un promedio de 454,594 GWh en este mismo periodo, el crecimiento de generación con fuente de irradiación solar creció aproximadamente un 124% del año 2022 al 2023, durante el periodo del evento del niño en el año 2023 el consumo de carbón para la producción de energía eléctrica se incrementó respecto al año 2022 en 127%.

Una información relevante es saber en qué departamento del país está concentrada la producción de energía eléctrica, para poder decidir a futuro como equilibrar la oferta de energía. En la figura 4 se puede apreciar la participación por departamentos.

#### Figura 4

*Participación en la Producción de energía eléctrica por Departamentos al SIN año 2022*



Nota: Adaptado de Boletín Estadístico 2018 – 2023S1 (p.86) por la UPME, 2024.

En la figura 4 se puede deducir que el mayor porcentaje de la energía eléctrica producida en el país está ubicado en el departamento de Antioquia con el 42% con las centrales hidroeléctricas de Hidroituango, San Carlos, Jaguas, Peñol Guatapé, Calderas, Playas, Tasajera,

esto también se correlaciona con la mayor participación de conductores de transmisión de energía que salen del departamento de Antioquia y que son administradas por EPM e Interconexión ISA.E.S.P, estas dos empresas tienen sus operaciones en el departamento de Antioquia. (Empresas Publicas de Medellín EPM, 2022)

### **Fuentes alternativas de energía**

Son recursos accesibles a nivel global que son ambientalmente sostenibles en este grupo de recursos están la energía solar, estas fuentes de energía se pueden conectar a la red eléctrica. (Ley 1715, 2014)

### **Potencial de Irradiancia en Colombia**

En el mundo el promedio de irradiancia solar es de 3,0 kWh/m<sup>2</sup>/d Kilovatios metro cuadrado día, en Colombia hay regiones como la Guajira, los Llanos Orientales, Costa Atlántica donde se puede llegar a 6,0 kWh/m<sup>2</sup>/d Kilovatios hora metro cuadrado día, el promedio a nivel nacional es de 4,5 kWh/m<sup>2</sup>/d. Kilovatios hora metro cuadrado día, esto quiere decir que nuestro país tiene una ubicación geográfica que beneficia la transición energética mediante energía solar fotovoltaica. (Unidad de Planeación Minero Energética, 2015)

### **Oferta**

Son los proyectos de fuentes no convencionales de energía, energías renovables que están conectados al SIN a diciembre de 2023.

### **Tabla 7**

*Oferta de Energía de Proyectos de energías renovables alternativas Conectados al SIN*

DEPARTAMENTO	CANTIDAD DE PROYECTOS	POTENCIA (MW)
Antioquia	4	2,82
Atlántico	1	1
Bolívar	4	22,96
Córdoba	4	39,6

Cundinamarca	1	9,9
La Guajira	1	18,42
Magdalena	2	18,9
Meta	6	113,5
Norte de Santander	2	13,5
Risaralda	1	5,06
Sucre	3	58,3
Tolima	9	106,7
Valle del Cauca	13	94,03

---

*Nota.* Datos tomados de <https://paratec.xm.com.co> a diciembre de 2023

De la Tabla 7 se concluye que hay un total 51 proyectos conectados a la red del SIN aportando 504,69 MW, estos son proyectos generadores a gran escala.

Los generadores a pequeña escala, es decir, los que están por debajo de una potencia de un 1MW en (2023) hay 366 conectados al SIN. (Paratec- xm, 2024)

### **Energía Solar**

Este tipo de energía tiene como fuente renovable e inagotable el sol, específicamente se habla de irradiación que es la transferencia de energía en forma de fotones, la irradiación solar es la que es generada y emitida por el sol. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC, 2005)

### **Atlas de Irradiación Solar del IDEAM**

En Colombia la UPME e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales en adelante IDEAM crearon como soporte técnico-científico al planeamiento energético y meteorológico el Atlas de Irradiación Solar, a continuación, se muestra cómo se efectuó la recopilación de información para este. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2023)

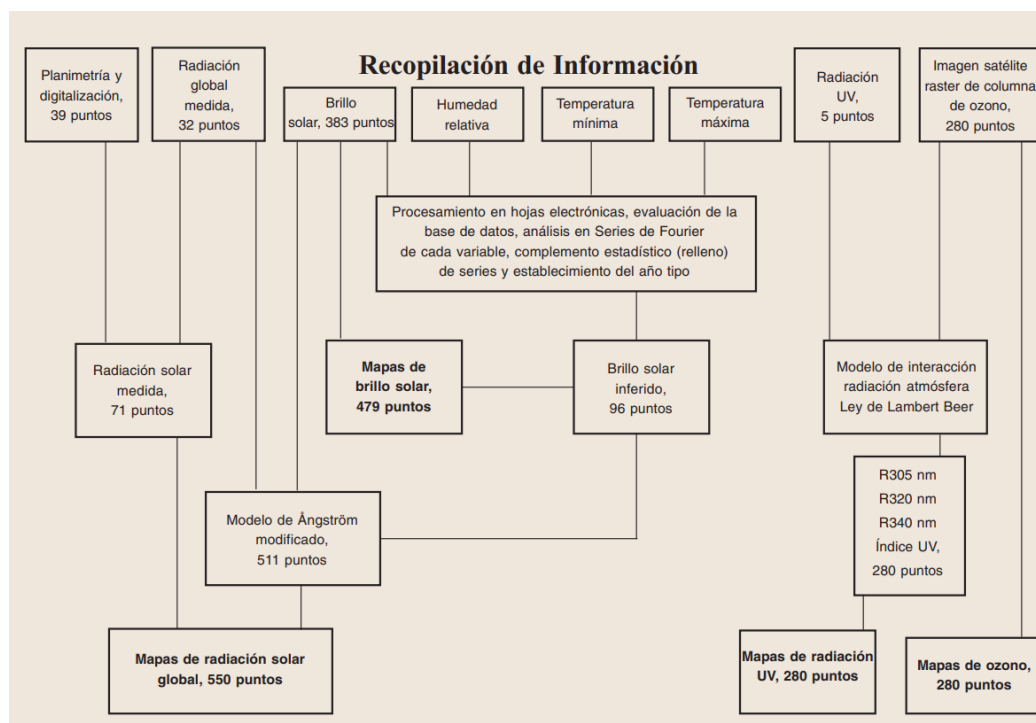
En la figura 5 se aprecia el esfuerzo y la metodología aplicada desde el 2004 por la UPME

junto con el IDEAM en la recopilación de información que sirve como base para dimensionar los sistemas solares fotovoltaicos.

En el Atlas de Irradiación Solar se divide el mapa de Colombia en las regiones de la Guajira, Costa Atlántica, Orinoquia, Amazonia, Región Andina, Costa Pacífica, se instalaron 550 estaciones meteorológicas para la medición de la irradiación solar y 479 para la medición de las horas de brillo solar que son las horas del día donde la irradiación es de  $1000 \text{ W/m}^2$ , mediante métodos matemáticos y estadísticos se obtuvieron 13 mapas que conforman el Atlas, esta herramienta es fundamental para el aprovechamiento de la irradiación solar, las temperaturas para el diseño de las sistemas fotovoltaicos de cualquier tamaño en Colombia, además aporta información interesante como el potencial de energía solar en cada una de las regiones del país. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2023)

### Figura 5

*Disposición y variables que se recopilaron para el Atlas de Irradiación Solar*



Nota: Adaptado de Atlas de Irradiación Solar de Colombia (p.18), por la UPME, 2024.

**Tabla 8**

*Potencial de energía solar por regiones en el país*

REGION	kW/m2/Año
Guajira	2.190
Costa Atlántica	1.825
Orinoquia	1.643
Amazonia	1.551
Andina	1.643
Costa Pacifica	1.278

Nota: Datos tomados de Atlas de Irradiación Solar de Colombia (p.20), por UPME, 2024

En la Tabla 8 se puede apreciar que la región con más potencial de energía solar es la Guajira, Seguida de la Costa Atlántica, Orinoquia, Región Andina, la Amazonia y la de menor potencial la Costa Pacífica. Es relevante tener en cuenta que es la irradiación solar el parámetro fundamental para la Producción de energía solar y no la temperatura.

### **Cálculo preliminar de un sistema solar fotovoltaico interconectado a la red**

A continuación, el autor desarrolla un cálculo preliminar de una instalación solar fotovoltaica a pequeña escala para auto consumo como aporte para el cumplimiento de los objetivos trazados.

**Tabla 9**

*Descripción del usuario de la unidad habitacional*

	Colombia. Departamento del Meta. Ciudad Villavicencio.
Localización(Coordenadas y Ciudad)	Coordenadas 4°10'12.5" latitud norte y 73°34'52.6" longitud

---

oeste. Altitud. 398 m.s.n.m. Temperatura. promedio 27° C

Descripción del Entorno	Zona rural, área del predio 1.195 m <sup>2</sup> , área construida 395 m <sup>2</sup>
Tipo de unidad habitacional.	Casa 04 Condominio Campestre La Quinta , estrato 4
Irrradiación kW/m <sup>2</sup> mes (Atlas Irradiación Solar IDEAM)	Máxima: 5,13 Media: 4,59 Mínima: 4,18
Potencia Estimada	4.000 Wp (Del generador Fotovoltaico)
Propósito del Proyecto	Residencial
Propuesta	Privada
Beneficios	Ahorro Económico
Tipo de Instalación	Conectada a la red
Empresa Distribuidora de Energía	EMSA
Potencia del Transformador del Distribuidor	30 kVA
Capacidad disponible para Inyección de Energía	50% de la capacidad del transformador
Fuente de Recursos Económicos para la Instalación	Recursos Propios
Energía Inyectada por otras Sistemas fotovoltaicos al Transformador	0%

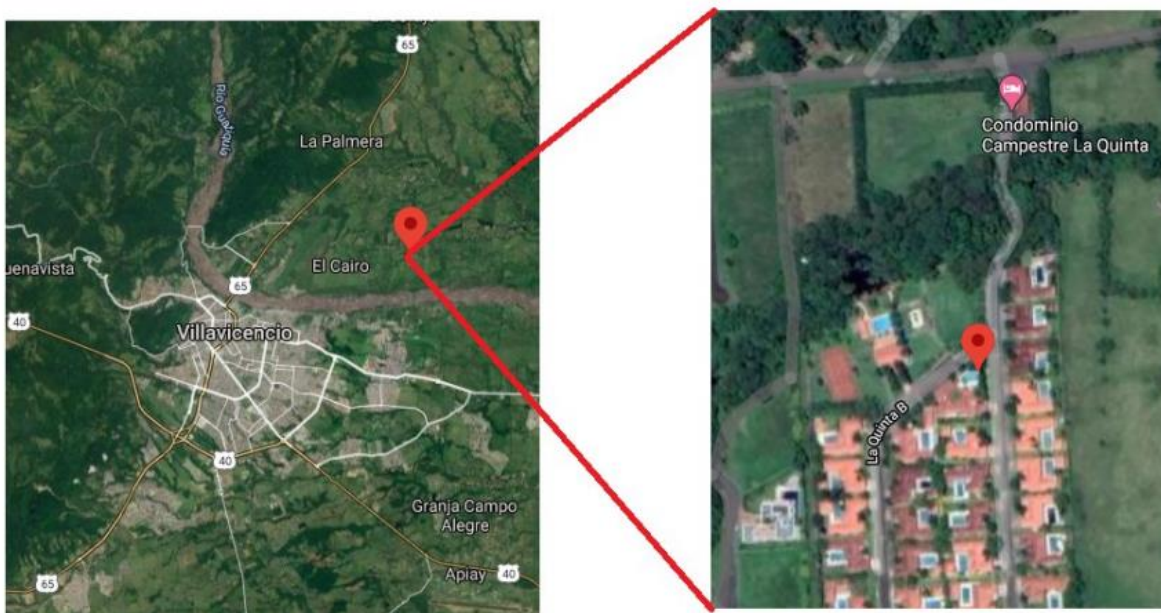
---

Nota: Datos tomados de Electrificadora del Meta S.A.E.S.P, IDEAM [www.ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co)

La Tabla 9 describe las características generales de georreferenciación, parámetros sociales y técnicos de la unidad habitacional del usuario.

**Figura 6**

*Ubicación geográfica de la unidad habitacional*



Nota: Adapto de Google Maps

La figura 6, nos muestra con precisión la ubicación de la unidad habitacional en la ciudad de Villavicencio de acuerdo a las coordenadas.

**Tabla 10**

*Oferta Energética*

Mes	Irradiación kw-h/m2-mes	Horas de brillo Solar		Temperatura (°C)		
		HBS (h)	Máxima	Media	Mínima	
Enero	5,064	5,5	31	27	19	
Febrero	4,593	4,7	31	27	21	
Marzo	4,263	3,6	31	27	21	
Abril	4,282	3,7	29	25	17	
Mayo	4,185	3,9	29	23	17	

Junio	4,239	3,7	29	23	19
Julio	4,238	3,7	26	23	21
Agosto	4,458	4,4	29	25	21
Septiembre	5,133	5,1	29	25	19
Octubre	5,081	5,2	31	25	17
Noviembre	4,807	4,9	31	25	19
Diciembre	4,836	5,3	31	25	21

Nota: Datos tomados de IDEAM [www.ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co)

En la Tabla 10 se aprecia la Irradiación Solar kw-h/m<sup>2</sup>-mes, HBS (h) son las horas del día donde la irradiación solar es de 1000 W/m<sup>2</sup>, la temperatura máxima, media y mínima en (°C) en la Ciudad de Villavicencio. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2024)

### Tabla 11

#### *Demanda de Energía del Usuario de la Unidad Habitacional*

Meses (2023)	kW-h/mes
Enero	650
Febrero	520
Marzo	500
Abril	520
Mayo	490
Junio	600
Julio	540
Agosto	548
Septiembre	523
Octubre	550
Noviembre	548

Diciembre	610
PROMEDIO <sup>a</sup>	549,9

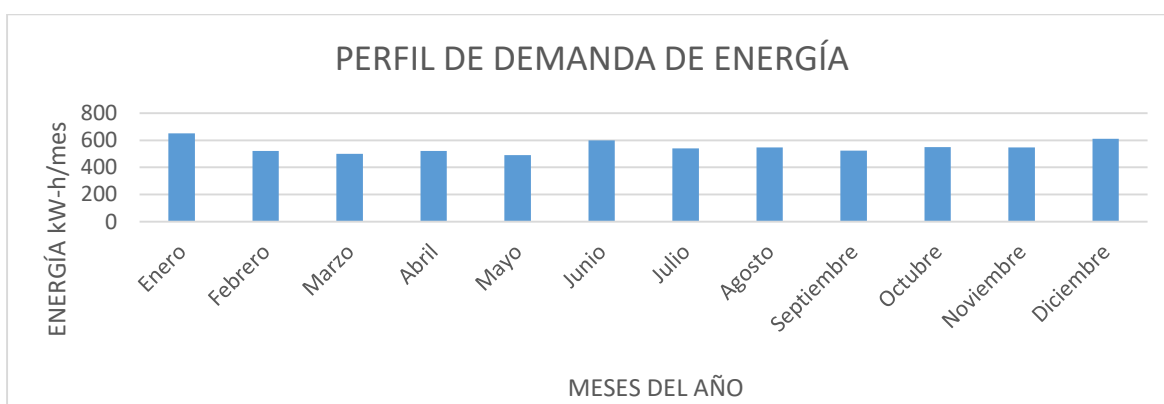
Nota: Datos tomados EMSAESP Electrificadora del Meta

<sup>a</sup> Se realizó el cálculo para obtener el promedio de kW-h/mes

En la figura 7 se puede apreciar que la demanda máxima es en el mes de enero con 650 kW-h/mes, en el mes de junio la demanda es de 600 kW-h/mes y en el mes de diciembre 610 kW-h/mes.

### Figura 7

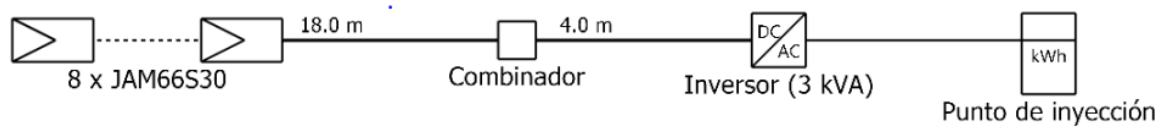
*Patrón de consumo de energía eléctrica en kW-h/mes en el año 2023*



Nota: Adaptado de EMSA Electrificadora del Meta ESP

### Figura 8

*Configuración de la Sistema solar fotovoltaico interconectado a la red.*



Nota: Adaptado de Diagrama Unifilar PVsyst V7.4.7

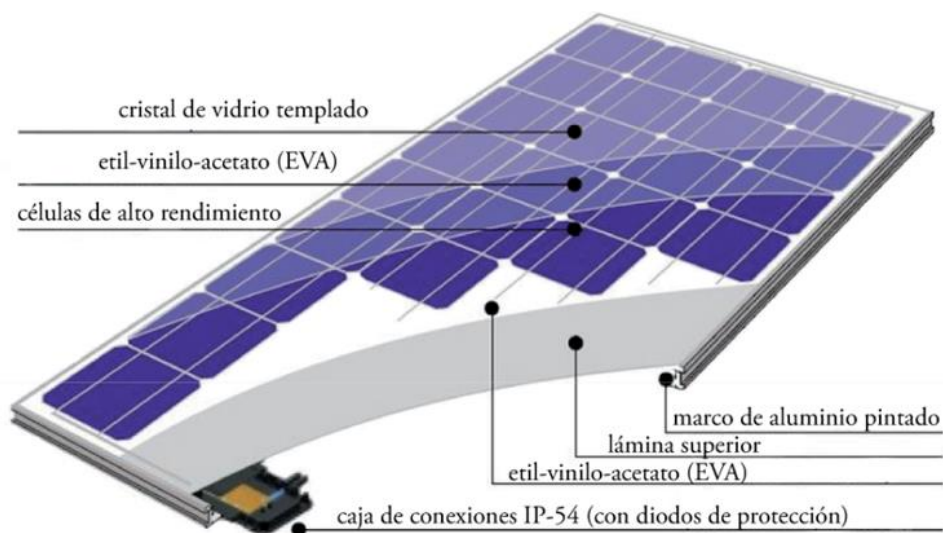
La figura 8 denominada diagrama unifilar se caracteriza por ser trazado en una sola línea donde se aprecia de manera simplificada la configuración de un sistema fotovoltaico conectado a la red, de izquierda a derecha los dispositivos eléctricos son: 8 módulos fotovoltaicos que conforman el generador fotovoltaico, caja de combinaciones o conexiones, hasta ahí se tiene el lado de corriente directa DC, inversor y el punto de inyección es el lado de corriente alterna que se conecta a la red eléctrica del operador de red; todos los dispositivos están conectados por una línea que representa los conductores o cables eléctricos. (Mermoud, 2023)

### **Semiconductores y las Celdas Solares**

Para aprovechar y convertir la irradiación solar se requiere fabricar materiales semiconductores en laboratorio para su posterior industrialización, el material más usado es el silicio, las celdas solares se dividen en dos tipos, unas de silicio cristalino y otras de silicio amorfo, dentro de las primeras están las mono cristalinas y poli cristalinas, estas son las más eficientes y por lo tanto son costosas; las celdas más económicas son las de silicio amorfo debido a que se pueden fabricar de espesores delgados y flexibles, el tamaño promedio de una celda solar de silicio es de 15 cm x 15 cm; un átomo de silicio tiene cuatro electrones de valencia en la última orbita, un átomo de boro solo tiene tres electrones de valencia, cuando se le inyecta a un átomo de silicio un átomo de boro, al de boro le falta un electrón para ser igual al de silicio, este tipo de material se denomina un material tipo P, la otra capa de la celda se construye con un átomo de silicio al cual se le inyecta un átomo de fósforo, este es un material que tiene cinco electrones de valencia, esta última capa se denomina material tipo N, estos dos procedimientos se denominan dopaje del material semiconductor, es decir, que una celda solar está compuesta por una capa de material tipo P y otra capa de materia tipo N; dependiendo del material con el que se construyan las celdas se puede utilizar una parte del espectro de irradiación solar y esto tiene que ver con la eficiencia de la celda que actualmente va desde 5% y un poco menos del 30% y su capacidad de conversión de irradiación solar en electricidad que corresponde al flujo de electrones. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC, 2009)

## Figura 9

### Modulo Solar Fotovoltaico



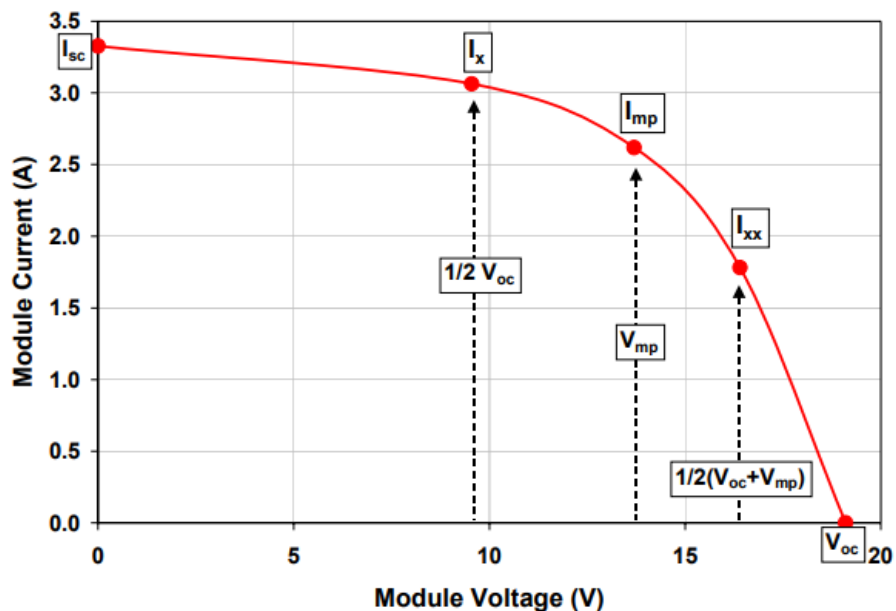
Nota: Adaptado de [www.atersa.com](http://www.atersa.com)

### Módulo Solar

Como se aprecia en la figura 9, un módulo solar en términos generales es una estructura conformada por un marco de material de aluminio dispuesto en forma rectangular que de fuera hacia adentro tiene un vidrio templado resistente a la intemperie, posteriormente una lámina de acetato, las celdas solares construidas en su mayoría de silicio están conectadas eléctricamente en serie, es decir, de la misma forma como se acoplan las pilas en una linterna, el lado positivo con el lado negativo, una lámina de fondo de material aislante, una caja de conexiones. (ATERSA, s.f.)

Figura 10

Características Eléctricas del Módulo solar



Nota: Adaptado de Sandia National Laboratories

En la figura 10 se pueden apreciar los parámetros eléctricos de un módulo fotovoltaico cuando lo sometemos a irradiación solar, esta grafica es la curva I-V o grafica de potencia, en el eje vertical tenemos la Corriente eléctrica medida en (A) Amperios, en el eje horizontal la diferencia de voltaje medida en (V) Voltios.

Los puntos más importantes de la curva corriente- voltaje son: la intensidad de corto circuito  $I_{sc}$  que es la máxima corriente que puede entregar un módulo solar cuando se interconectan los dos extremos, el positivo y el negativo, en ese momento el valor del voltaje es cero; las celdas solares limitan la corriente que aportan en el instante que se presenta la corriente de  $I_{sc}$ , el  $V_{oc}$ . Este voltaje es la que se da cuando no se interconectan los dos extremos y corresponde al máximo voltaje que se tiene disponible en el módulo, la  $I_{mp}$ . Que es la corriente eléctrica a la máxima potencia es la máxima corriente en (A) Amperios que da el módulo cuando están conectados los extremos a una carga, la carga puede ser un regulador de carga que se

utiliza para cargar eléctricamente baterías o inversor de corriente, el  $V_{mp}$ , es el voltaje (V) en Voltios a la máxima potencia que se da cuando se interconectan los extremos a una carga, la carga puede ser un regulador de carga que se utiliza para cargar eléctricamente baterías o inversor de corriente,  $I_x$  y  $I_{xx}$  son corrientes en amperios (A) que se toman para elaborar la curva. (Universidad Politécnica de Valencia, 2014)

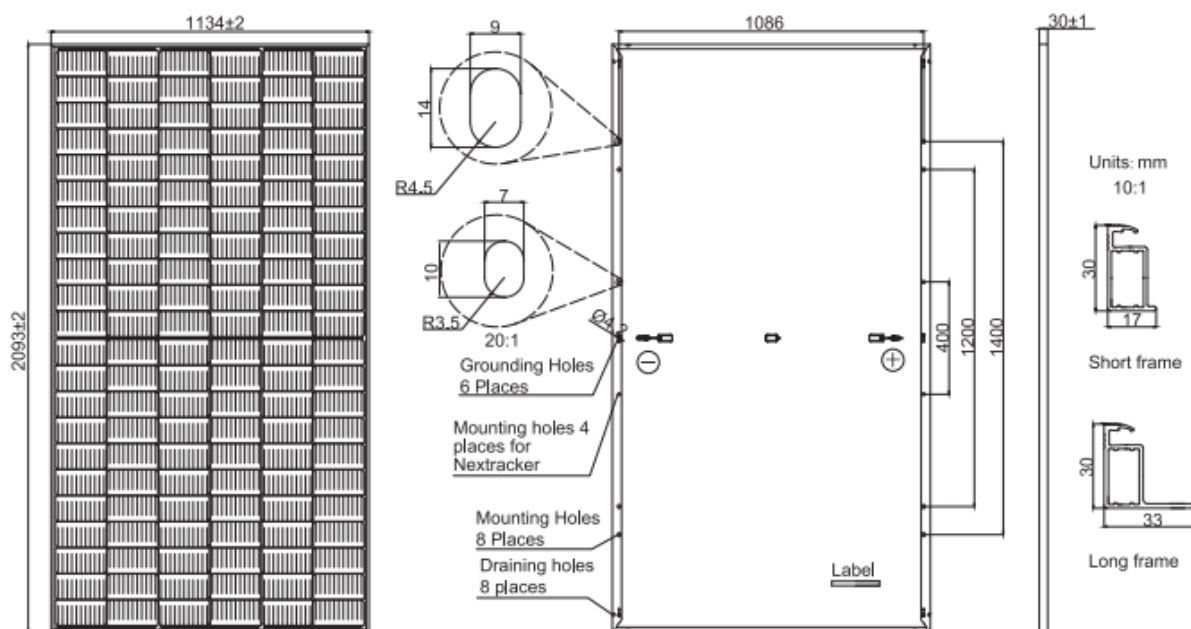
### Módulo Solar Seleccionado

Se seleccionó el modulo solar marca y referencia JAM 66s30-500/MR. De la página [www.jasolar.com](http://www.jasolar.com)

A continuación, se muestran las especificaciones mecánicas y eléctricas del módulo solar para el desarrollo del caso

### Figura 11

*Diagrama Mecánico Módulo Solar JAM 66s30-500/MR*



Nota: Adaptado de [www.jasolar.com](http://www.jasolar.com)

En la figura 11 se observan las siguientes características de peso y dimensiones del módulo solar seleccionado, esto junto con los parámetros eléctricos son información relevante para el dimensionamiento y su posterior validación de la instalación solar fotovoltaica de la unidad habitacional

**Tabla 12**

*Especificaciones mecánicas del módulo JAM66S30-500/MR*

Tipo de Celda	Mono
Peso	26.3 kg
Dimensiones	2000 mm x 1134 mm x 30 mm
No de Celdas	132(6x22)

Nota: Datos tomados de [www.jasolar.com](http://www.jasolar.com), aquí se aprecian las especificaciones mecánicas del módulo solar seleccionado

**Tabla 13**

*Parámetros eléctricos del módulo solar seleccionado a condiciones \*(STC)*

<b>*PARAMETROS ELECTRICOS DEL MODULO FV A STC</b>	
Referencia	JAM66S30-550/MR
Potencia Máxima (Pmax) (W)	500
Voltaje de Circuito Abierto. (Voc) (V)	45,59
Voltaje a Potencia Máxima. (Vmp) (V)	38,35
Intensidad de corto circuito (Isc) (A)	13,93
Corriente a la Máxima Potencia (Imp)(A)	13,04
Eficiencia del Módulo (%)	21,1
Tolerancia de Potencia (W)	0 + 5W

Coeficiente de Temperatura de Isc	0.045%/°C
Coeficiente de Temperatura a Voc	-0.275%/°C
Coeficiente de Temperatura a Pmax (Pmp)	- 0.350%/°C

\*(STC) Irradiancia 1000W/m2, Temperatura de la Celda 25.0 °C

---

Nota: Datos tomados de [www.jasolar.com](http://www.jasolar.com)

En la Tabla 13 se pueden apreciar los parámetros eléctricos relevantes que cumplen con la disposición del diagrama unifilar. Los parámetros eléctricos se determinan en condiciones estándar STC de 1000 W/m<sup>2</sup> y temperatura de la celda de 25 °C (Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC, 2021)

#### Tabla 14

*Parámetros eléctricos del módulo solar seleccionado a condiciones \*(NOTC)*

---

#### PARAMETROS ELECTRICOS DEL MODULO FV A ( NOCT)

Tipo	JAM66S30-550/MR
NOTC (°C)	45
Potencia Máxima (Pmax) (W)	378
Voltaje de Circuito Abierto. (Voc) (V)	42.72
Voltaje a Potencia Máxima. (Vmp) (V)	35.93
Intensidad de corto circuito (Isc) (A)	11.27
Corriente a la Máxima Potencia (Imp)(A)	10.52

\*(NOTC) Irradiancia 800W/m2, Temperatura de la Celda 20.0 °C

---

Nota: Datos tomados de [www.jasolar.com](http://www.jasolar.com)

En la Tabla 14 se pueden apreciar los parámetros eléctricos relevantes que cumplen con la tipología del diagrama unifilar. Los parámetros eléctricos se logran bajo condiciones estándar NOTC de 800 w/m<sup>2</sup> y temperatura de la celda de 20 C°. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC, 2021)

### Cálculo de la Temperatura de la Celda Solar

En la práctica para calcular la temperatura de la celda en este tipo de módulo o panel solar de silicio se recomienda utilizar la temperatura NOCT que es la temperatura nominal de operación de la celda solar. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC, 2013)

La información de NOCT está en las hojas técnicas del módulo seleccionado utilizando la ecuación 1. tomando el valor de  $G = 1000 \text{ W/m}^2$ . (Comisión Electrotécnica Internacional, 2022)

$$T_c = T_A + [NOCT - 20/800] \times G$$

Ecuación. 1 Fuente IEC 60891(2022)

Donde se toma la  $T_A$  la temperatura media en ( $^{\circ}\text{C}$ ) está en la Tabla 10, NOCT es de 45 ( $^{\circ}\text{C}$ ) está en la Tabla 14. El  $\Delta T$  es la variación de la temperatura de la celda y la temperatura acondicionadas estándar de 25 ( $^{\circ}\text{C}$ ).

**Tabla 15**

*$\Delta T$  Diferencia de Temperatura de la Celda y Diferencia respecto a la Temperatura a Condiciones Estándar \*(STC)*

Mes	T $^{\circ}$		Temperatura	
	Media ( $^{\circ}\text{C}$ )	(NOCT-20/800)x1000*( STC)	de la Celda ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\Delta T^{\circ} = T^{\circ}\text{celda} - T^{\circ}\text{cxSTC}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
Enero	27	31,25	58,25	33,25
Febrero	27	31,25	58,25	33,25
Marzo	27	31,25	58,25	33,25
Abril	25	31,25	56,25	31,25
Mayo	23	31,25	54,25	29,25
Junio	23	31,25	54,25	29,25

Julio	23	31,25	54,25	29,25
Agosto	25	31,25	56,25	31,25
Septiembre	25	31,25	56,25	31,25
Octubre	25	31,25	56,25	31,25
Noviembre	25	31,25	56,25	31,25
Diciembre	25	31,25	56,25	31,25

Nota: cálculos realizados a partir de la aplicación de la ecuación 1.

En la Tabla 15 se puede apreciar que la temperatura máxima de la celda es de 58,25 (°C), esto corresponde al intervalo de 58-78 (°C) para una irradiación de 1000 w/m<sup>2</sup> que es el rango aceptable de temperatura de la celda en función de la irradiancia. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC, 2013)

### Cálculo de Pérdidas de Potencia, Voltaje, Corriente e Inversor

Se toma el  $\Delta T$  ° y se efectúan los respectivos productos con los coeficientes de potencia, voltaje y corriente de la Tabla de los parámetros eléctricos en condiciones estándar del módulo seleccionado. (Comisión Electrotécnica Internacional, 2021)

**Tabla 16**

*Pérdidas de Potencia, Voltaje, Corriente e Inversor*

Mes	$\Delta P = \Delta T \text{ } ^\circ \times$					
	$\Delta T$ °=T°celda- T°cxSTC (°C)	Coeficiente de Temperatura de Pmax.	$\Delta Voc$ = $\Delta T$ °xCoef T°Voc	$\Delta Isc$ = $\Delta T$ °xCoef T°Isc	Per. Inversor	Factor de Seguridad. FS
Enero	33,25	-0,116	-0,091	0,0150	-0,015	0,22
Febrero	33,25	-0,116	-0,091	0,0150	-0,015	0,22
Marzo	33,25	-0,116	-0,091	0,0150	-0,015	0,22

Abril	31,25	-0,109	-0,086	0,0141	-0,015	0,21
Mayo	29,25	-0,102	-0,080	0,0132	-0,015	0,20
Junio	29,25	-0,102	-0,080	0,0132	-0,015	0,20
Julio	29,25	-0,102	-0,080	0,0132	-0,015	0,20
Agosto	31,25	-0,109	-0,086	0,0141	-0,015	0,21
Septiembre	31,25	-0,109	-0,086	0,0141	-0,015	0,21
Octubre	31,25	-0,109	-0,086	0,0141	-0,015	0,21
Noviembre	31,25	-0,109	-0,086	0,0141	-0,015	0,21
Diciembre	31,25	-0,109	-0,086	0,0141	-0,015	0,21

---

Nota: Datos obtenidos de [www. Jasolar.com](http://www.Jasolar.com) JAM66S30-550/MR

En la Tabla. 16 se aprecia que la mayor pérdida de potencia se presenta en el primer trimestre del año, donde el diferencial de temperatura  $\Delta T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) es más alto y por el contrario la menor pérdida por potencia se presenta en el periodo de mayo a julio, se comprueba que la temperatura es un factor determinante; se puede apreciar que la mayor pérdida de voltaje se presenta en el primer trimestre del año donde el diferencial de temperatura  $\Delta T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) es más alto y por el contrario la menor pérdida de voltaje se presenta en los meses de mayo a julio. Es importante observar que los valores de las pérdidas por potencia, voltaje e inversor son negativos debido a que son pérdidas, en cuanto a la corriente los valores son positivos por que se tiene una pequeña ganancia comparado con las pérdidas por potencia y voltaje; la temperatura es un factor determinante. “El factor de seguridad es la suma de todos los valores negativos que son las pérdidas es decir no entran las de corriente; el valor promedio anual del factor de seguridad es  $FS = 0,21$ ”. (Comisión Electrotécnica Internacional, 2022)

**Tabla 17**

*Promedios Anuales de Perdidas Potencia, Voltaje e Inversor*

$\Delta P = \Delta T \text{ }^\circ\text{x Coeficiente de}$ Temperatura de Pmax	$\Delta Voc = \Delta T \text{ }^\circ\text{x Coef T}^\circ\text{Voc}$	Per. Inversor
-0,109	-0,086	-0,015

Nota: Cálculos realizados a partir de la información de la Tabla 15, aquí se aprecia que la pérdida más representativa es la de potencia  $\Delta P$

### Tensiones Mínimas y Máximas

Voltaje Mínimo, se inicia con la determinación de la temperatura de la celda  $T_c$  se utiliza la ecuación (1), tomando las temperaturas ambiente máximas mes a mes de la Tabla 10 como la temperatura  $T_A$  más  $[NOCT-20/800]$  que aparece en la Tabla 14  $G = 1000 \text{ W/m}^2$  esta es la irradiación solar en condiciones estándar STC a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ; para la temperatura máxima se realiza el mismo procedimiento, pero tomando como temperatura ambiente las temperaturas mínimas de la Tabla 10 mes a mes como la temperatura  $T_A$ . (Comisión Electrotécnica Internacional, 2022)

**Tabla 18**

*Voltaje Mínima*

Mes	T°Máxima (°C)	Temperatura de la Celda (°C)	$\Delta T$		Vocmin = Voc- $\Delta Voc$ (V)	TotalVoc min=Vocmin*#M en serie
			=T°celda- T°cxSTC (°C)	$\Delta Voc = \Delta T * Coef$ T°de Voc		
Enero	31	62,25	37,25	-0,1024375	45,68	365,408
Febrero	31	62,25	37,25	-0,1024375	45,59	364,720
Marzo	31	62,25	37,25	-0,1024375	45,59	364,720
Abril	29	60,25	35,25	-0,0969375	45,59	364,720
Mayo	29	60,25	35,25	-0,0969375	45,59	364,720

Junio	29	60,25	35,25	-0,0969375	45,59	364,720
Julio	26	57,25	32,25	-0,0886875	45,59	364,720
Agosto	29	60,25	35,25	-0,0969375	45,59	364,720
Septiembre	29	60,25	35,25	-0,0969375	45,59	364,720
Octubre	31	62,25	37,25	-0,1024375	45,59	364,720
Noviembre	31	62,25	37,25	-0,1024375	45,59	364,720
Diciembre	31	62,25	37,25	-0,1024375	45,59	364,720

Nota: Cálculos realizados a partir de la metodología de la NTC 2050 sección 690.7

**Tabla 19**

*Voltaje Máxima*

Mes	T°Minima (°C)	$\Delta T$		$\Delta Voc = \Delta T * Coef$ T°de Voc	Vocmax =- Voc- $\Delta Voc$ (V)	TotalVoc min=Vocmin*#M en serie
		Temperatura de la Celda (°C)	=T°celda- T°cxSTC (°C)			
Enero	19	50,25	25,25	-0,0694375	45,66	365,2755
Febrero	21	52,25	27,25	-0,0749375	45,66	365,3195
Marzo	21	52,25	27,25	-0,0749375	45,66	365,3195
Abril	17	48,25	23,25	-0,0639375	45,65	365,2315
Mayo	17	48,25	23,25	-0,0639375	45,65	365,2315
Junio	19	50,25	25,25	-0,0694375	45,66	365,2755
Julio	21	52,25	27,25	-0,0749375	45,66	365,3195
Agosto	21	52,25	27,25	-0,0749375	45,66	365,3195
Septiembre	19	50,25	25,25	-0,0694375	45,66	365,2755
Octubre	17	48,25	23,25	-0,0639375	45,65	365,2315
Noviembre	19	50,25	25,25	-0,0694375	45,66	365,2755
Diciembre	21	52,25	27,25	-0,0749375	45,66	365,3195

Nota: Cálculos realizados a partir de la metodología de la NTC 2050 sección 690.7

En las Tablas 18 y 19, el voltaje máximo determina la entrada al inversor; para este tipo de aplicación el voltaje máximo debe ser menor igual a 600 Voltios de corriente continua proveniente de los módulos solares. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC, 2020)

### Dimensionado de la Potencia de la Fuente Fotovoltaica (pgfv)

Es la fuente fotovoltaica de alimentación que corresponde al agrupamiento de arreglos de módulos fotovoltaicos que generan el voltaje (V) de corriente continua requerida.

(Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC, 2020)

**Tabla 20**

*Información para el dimensionamiento de la Potencia del Generador Fotovoltaico PGFV*

Meses	Demanda(			NÚMERO DE DIAS	Pr=(1-FS)	PGFV (Wp)
	kW- h/mes)	R(W- h/m2-mes)	Y=R/R (STC)(h)			
Enero	650	5.064	5,064	31	0,79	5,24
Febrero	520	4.593	4,593	28	0,79	5,12
Marzo	500	4.263	4,263	31	0,79	4,79
Abril	520	4.282	4,282	30	0,79	5,12
Mayo	490	4.185	4,185	31	0,79	4,78
Junio	600	4.239	4,239	30	0,79	5,97
Julio	540	4.238	4,238	31	0,79	5,20
Agosto	548	4.458	4,458	31	0,79	5,02
Septiembre	523	5.133	5,133	30	0,79	4,30
Octubre	550	5.081	5,081	31	0,79	4,42
Noviembre	548	4.807	4,807	30	0,79	4,81
Diciembre	610	4.836	4,836	31	0,79	5,15

Nota: Cálculos realizados a partir de la metodología de la GTC-ISO 50006

En la Tabla 20 se muestra en la primera columna los meses del año, en la segunda columna la demanda de energía en kW-h/mes, la tercera la irradiación solar incidente en W-h/mes en el sitio de la instalación mes a mes, en la cuarta columna la irradiación solar incidente relacionada con la irradiación en condiciones estándar que es 1000 w/m<sup>2</sup> en horas, mes a mes en el sitio de la instalación, en la quinta columna el número de días de cada mes, en la sexta columna un factor de rendimiento que incluye las pérdidas de potencia y voltaje por efecto de la temperatura más la del inversor, en la séptima columna el promedio ponderado que incluye la demanda de energía sobre la irradiación solar incidente relacionada con la irradiación en condiciones estándar que es 1000 w/m<sup>2</sup> en horas por el número de días de cada mes por el factor de rendimiento. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC, 2017)

Se obtiene un promedio de 4,9 kWp que es la potencia de generador fotovoltaico PGFV conformado por un arreglo en este caso de ocho módulos solares. La marca y referencia de estos módulos solares seleccionados es JAM66S30-500/MR.

### **Cálculo y Características del Inversor**

Un inversor es un dispositivo eléctrico que toma el voltaje del Generador Fotovoltaico que es la fuente fotovoltaica de alimentación de corriente continua CC y la convierte en una voltaje y corriente alterna CA. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC, 2020)

### **Inversor Seleccionado**

**Tabla 21**

*Características eléctricas del inversor marca GROWAT MIN 3000-TLX*

	CORRIENTE		CORRIENTE ALTERNA.	
ENTRADA INVERSOR	CONTINUA CC	SALIDA INVERSOR	AC	
Voc max	500 (V)	Voltaje Nominal	208 (V)	
Ventana MPPT	80-500 (V)	Frecuencia	45-65 (Hz)	
Isc Max	16 (A)	Potencia Nominal	3000 (W)	

Max Input por MPPT 12,5 (A)

Nota: Información obtenida del fabricante Growatt. [www.growatt.com](http://www.growatt.com)

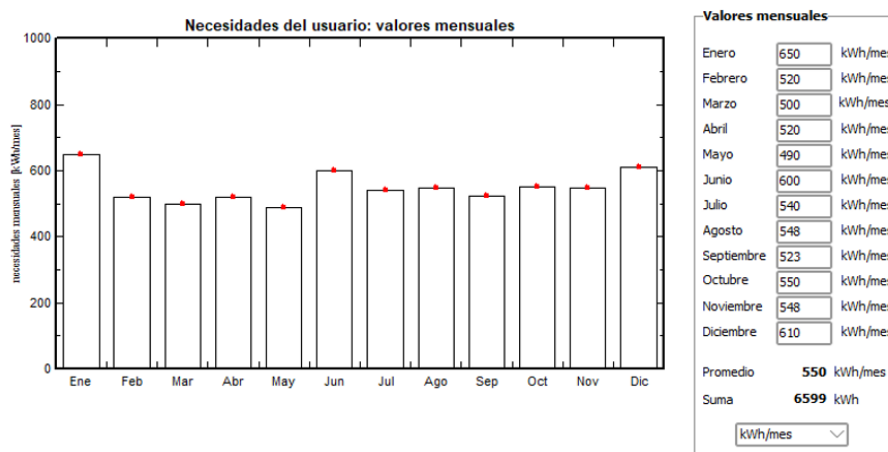
Se tiene un voltaje máximo de la fuente fotovoltaica de alimentación hacia la entrada del inversor de 365,32 (V) en corriente continua CC según Tabla 19, el inversor tiene una entrada de 500 (V) en corriente continua CC según Tabla 20, cumple el valor de entrada del inversor está por encima del voltaje máximo. La corriente máxima a la entrada del inversor es el valor de la intensidad de corto circuito del módulo solar seleccionado  $I_{sc}$ . 13,93 (A) que parece en la Tabla 13 la entrada del inversor recibe hasta 16(A) corriente continua CC según Tabla 21.

### Simulación con software PVSYSTY

PVSYSTY es un software especializado para sistemas fotovoltaicos, se usa para la verificación o validación de la información y resultados obtenidos hasta ahora, como el dimensionado de la fuente fotovoltaica y el inversor. Se aporta la información de entrada de georreferenciación, la demanda de energía de la unidad habitacional o necesidades del usuario para contextualizarlo con los mensajes y resultados del software.

### Figura 12

*Necesidades o Demanda de Energía del usuario*



Nota: Adaptado de Software PVSYSTY. <https://www.pvsyst.com/>

En la figura 12 se pueden apreciar las necesidades de energía mes a mes, el total anual de 6.599

kWh. y el promedio de 550 kWh/mes.

### Validación Técnica con Software PVSYSTY

Para realizar la validación se parte de la georreferenciación, con esa información el software usa la base de datos de Meteonorm (2024) Software de Meteorología\_(Meteotest, 2024) para obtener la irradiación y la temperatura mes a mes del sitio de la unidad habitacional.

**Tabla 22**

*Datos de Irradiación solar y Temperatura en el sitio de la unidad habitacional*

MES	Kwh/m2/día	T° (°C)
Enero	4,35	24,4
Febrero	4,32	24,7
Marzo	4,02	24,4
Abril	4,67	23,9
Mayo	4,89	24,2
Junio	4,75	24
Julio	4,43	24,6
Agosto	4,37	24,8
Septiembre	4,45	24,3
Octubre	4,12	24
Noviembre	4,15	23,5
Diciembre	4,67	24,1

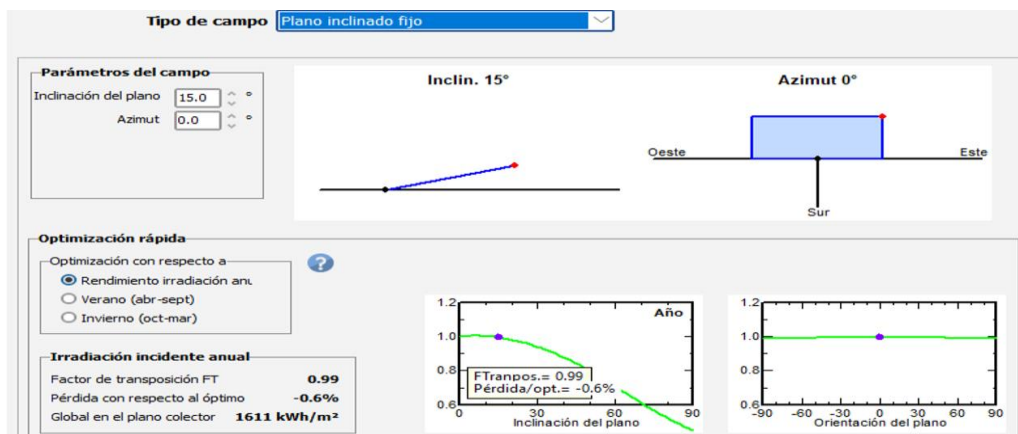
Nota: Datos obtenidos de la basa de datos Meteonorm 8.1 usada por PVSYSTY.

En la Tabla 22 se puede apreciar que a partir de la georreferenciación se obtiene información de irradiación y temperatura tomados por el satélite que usa Meteonorm para crear la base de datos meteorológica que usa PVSYSTY, el promedio de irradiación de 4,43 Kwh/m2/día, en temperatura el promedio es de 24,24 (°C).

A continuación, se debe asignar la orientación de los módulos solares.

Figura 13

*Inclinación del módulo solar*



Nota: Adaptado de <https://www.pvsyst.com/>

En la figura 13 se puede apreciar la inclinación determinada de 15° para los módulos solares, estos módulos solares están conectados eléctricamente y conforman la fuente fotovoltaica.

Figura 14

*Potencia Fuente FV Generados FV GFV, Potencia del Inversor*



Nota: Adaptado de <https://www.pvsyst.com/>

### **Validación de la Selección de Módulos Solares**

En la figura 14 se asigna la marca del módulo solar que es JAM66S30-500/MR, el número de módulos que en este caso son (8) , el software lo busca en la base de datos correlacionando la información meteorológica del sitio donde está ubicada la unidad habitacional con los datos eléctricos del módulo solar para efectuar los cálculos de forma precisa de pérdidas por potencia, voltaje, corriente, como resultado se puede apreciar en la parte inferior derecha el valor de la potencia que corresponde a 4,0 kWp.

### **Validación de la Selección del Inversor**

Para la validación del inversor se indica la marca del inversor Growatt New Energy, el software internamente toma de su base de datos los parámetros o características del inversor, correlaciona los cálculos de tensiones eléctricas máximas y mínimas, correlacionando la información de los módulos solares con el inversor en la figura 14 se puede apreciar la potencia de inversor que corresponde a 3,0 Kw corriente alterna.

### **Validación de Compatibilidad entre Módulos Solares e Inversor**

Se puede apreciar en la figura 14 que no hay ningún mensaje que indique que no se puede usar la selección de modulo solar con la selección del inversor.

Con todas las validaciones efectuadas hasta el momento se puede confirmar que las selecciones y cálculos realizados con anterioridad con argumentación conceptual de tipo técnica son correctos, con el software PVSyst se logra una mayor precisión en la potencia de la fuente fotovoltaica, un dimensionado más preciso que es consecuente con las necesidades y condiciones de la unidad habitacional.

### **Presupuesto de Instalación Solar Fotovoltaica**

#### **Tabla 23**

*Presupuesto de Instalación Solar Fotovoltaica Usuario Unidad Habitacional*

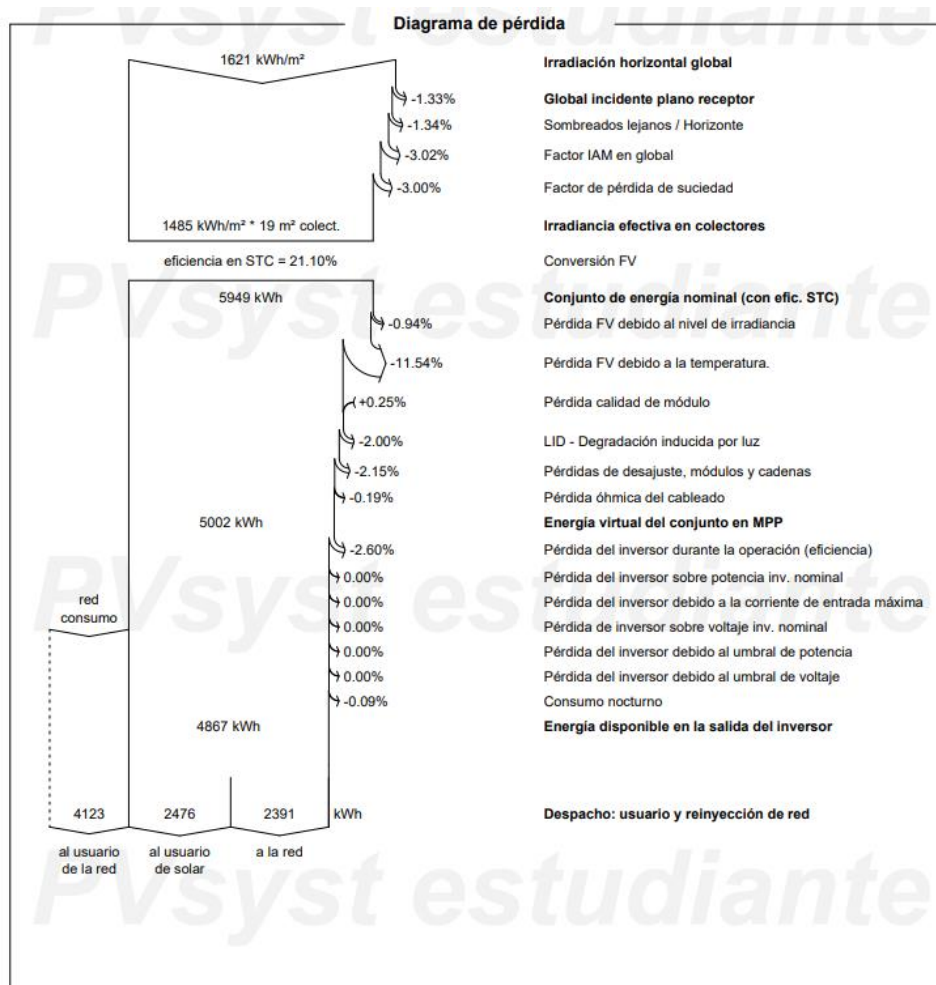
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	PRECIO TOTAL (\$)
Soportes para			
Modulo	4	290.120	1.160.480
Módulos Solares	8	516.000	4.128.000
Inversores	1	2.670.400	2.670.400
Accesorios,			
sujetadores	1	1.000.000	1.000.000
Cableado	66	7.800	514.800
Caja de Conexiones	1	165.960	165.960
Sistema de			
monitoreo	1	1.000.000	1.000.000
Sistema de Medición	1	852.000	852.000
Pararrayos	1	1.000.000	1.000.000
Ingeniería	1	2.000.000	2.000.000
Costos de Instalación			
por Modulo Solar	8	200.000	1.600.000
Costos de instalación			
Global Inversor	1	1.000.000	1.000.000
Transporte	1	400.000	400.000
Seguro de			
Construcción	1	200.000	200.000
Seguro de			
Responsabilidad	1	200.000	200.000
<b>TOTAL</b>			<b>17.891.640</b>

Nota: Datos obtenidos de Autosolar. <https://www.autosolar>

En la Tabla 23 se pueden apreciar los elementos fundamentales para efectuar el sistema fotovoltaico, estos precios pueden variar de acuerdo a la tasa representativa del mercado con la cual el proveedor compro los elementos importados, la instalación de los módulos solares y el inversor puede variar de acuerdo al mercado, el total del presupuesto es de \$17.891.640. Presupuesto de la Instalación (2024) (Autosolar, 2024)

## Figura 15

Diagrama de Pérdida del PVSYST



Nota: Adaptado de <https://www.pvsyst.com/>

La figura 15 muestra los consumos de energía de la red y del sistema de instalación solar

fotovoltaica calculados por el software PVsyst de acuerdo a los parámetros meteorológicos de la base de datos Meteonorm, la selección y validación de los módulos solares e inversor asignados al inicio menos las pérdidas del sistema.

Se puede concluir que la instalación solar fotovoltaica entrega durante el año 2.476 kWh al usuario de la unidad habitacional y le inyecta a la red 2.391 kWh. De la red eléctrica en un año el usuario de la unidad habitacional consumió 4.123 kWh. La energía que paga el usuario de la unidad habitacional al comercializador, es la energía que consumió menos la energía que inyectó a la red la instalación solar fotovoltaica:

$$4.123\text{kWh} - 2.391 \text{ kWh} = 1.732 \text{ kWh.}$$

#### Tabla 24

*Costo Unitario (CU) Tasas de energía eléctrica EMSA ESP para el mes de junio de 2023 al mes de mayo 2024*

Mes	G (\$/kWh)	T (\$/kWh)	D (\$/kWh)	C (\$/kWh)	PR (\$/kWh)	R (\$/kWh)	CU (\$/kWh)
Junio	349,92	50,7	242,6	90,1	65,62	16,36	815,3
Julio	321,6	40,87	243,35	94,02	61,05	24,19	785,08
Agosto	332,73	46,96	241,36	92,76	62,36	13,14	789,31
Septiembre	378,33	47,02	236,11	93,43	68,22	19,5	842,61
Octubre	381,74	48,6	238,79	97,6	68,96	-2,58	833,11
Noviembre	380,27	46,25	265,02	96,06	67,74	2,88	858,22
Diciembre	375,31	51,24	259,32	131,19	69,27	20,8	907,13
Enero	373,7	54,32	246,35	126,99	67,86	12,3	881,52
Febrero	383,13	49,2	247,73	132,86	68,66	12,11	893,69
Marzo	385,94	57,43	258,23	129,67	69,47	7,68	908,42
Abril	396,01	54,27	252,51	129,36	71,47	7,51	911,13
Mayo	398,53	47,96	243,94	125,85	70,02	42	928,3

Nota: Datos obtenidos de Electrificadora del Meta EMSA,

<https://www.electrificadoradelmeta.com.co/newweb/tarifas-energia-2-2/>

En la Tabla 24 se puede apreciar el CU que es el costo unitario de prestación del servicio que es la suma de G, T, D, C, PR, R (Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG, 2007) donde cada letra hace referencia a:

G: Producción de energía eléctrica en (\$/kWh)

T: Transmisión de energía eléctrica en (\$/kWh)

D: Distribución de energía eléctrica en (\$/kWh)

C: Comercialización de energía eléctrica en (\$/kWh)

PR: Pérdidas de energía eléctrica reconocidas en (\$/kWh)

R: Restricciones en (\$/kWh)

### **Análisis de Energía y (Cu) en la Sistema fotovoltaico**

La empresa prestadora de servicios públicos u operador de red o comercializador para esta unidad habitacional situada en Villavicencio capital del Departamento del Meta es la Electrificadora del Meta EMSA S.A.E.S.P. del sitio web de esta entidad se tomaron como referencia las tarifas comprendidas entre junio de 2023 a mayo de 2024.

En la Tabla 24 se calculó un CU promedio:

$$\text{CU prom} = 862,82 \text{ (\$/kWh)},$$

se caculo un C promedio:

$$\text{C prom} = 111,66 \text{ (\$/kWh)}$$

De acuerdo con la información del diagrama de pérdidas de la figura 15 en la parte inferior izquierda, se tienen varios escenarios: el primero “al usuario de la red” 4.123 kWh esta energía es la que consume el usuario de la unidad habitacional en un año de la red eléctrica, su costo es el CU prom (\$/kWh) que en el periodo de junio de 2023 a mayo de 2024 es \$ 862,82; esto da \$ 3.557.407; el segundo “al usuario de solar” 2.476 kWh, es la energía que auto consume el usuario de la unidad habitacional durante el año de la instalación solar fotovoltaica y no pasa por el contador bidireccional “Contador que acumula la diferencia entre los pulsos recibidos por sus

entradas de cuenta ascendente y cuenta descendente” (Ley 1715 artículo 5, 2014), para saber cuál es su valor en (\$), se multiplica por el CU prom que corresponde a 862,82 (\$/kWh) por 2.476 Kw, esto da \$ 2.136.342; tercer escenario “a la red” En el diagrama de perdida aparece la cifra 2.391 kWh esta es la energía que sale de la instalación solar fotovoltaica pasa por el contador bidireccional y de ahí a la red; se toma este valor y se multiplica por C prom = 111,66 (\$/kWh) esto da \$265.862, esto se denomina crédito de energía que es el excedente de energía suministrado a la red que se permuta con la energía consumida por el usuario de la unidad habitacional en un periodo de facturación. (Resolución 174 , 2021)

### **Valor Agregado**

¿Cuánto paga el usuario de la unidad habitacional sin instalación solar fotovoltaica?

La energía que consume el usuario en el escenario uno de 4.123 kWh que está registrada en el contador bidireccional, más la energía que consume el usuario de la unidad habitacional directamente de la instalación solar fotovoltaica y que no pasa por el contador bidireccional que corresponde a 2.476 kWh (autoconsumo) es la energía del escenario dos, multiplicado por el CU prom = 862,82 (\$/kWh), que es el correspondiente al periodo de junio de 2023 al mes mayo de 2024, esto da \$5.693.749

¿Cuánto pagaría el usuario de la unidad habitacional con la instalación solar fotovoltaica?

La energía que toma el usuario de la unidad habitacional de la red eléctrica pasando por el contador bidireccional 4.123 kWh, menos la energía que inyecta la instalación solar fotovoltaica a la red eléctrica pasando por el contador bidireccional que corresponde a 2.391 kWh, esto da 1.732 kWh, este valor se multiplica por el CU prom = 862,82 (\$/kWh), que es el correspondiente al periodo de junio de 2023 al mes mayo de 2024, esto da \$1.494.404. a este valor se le suma el costo de comercialización de la energía inyectada que es el tercer escenario 2.391kWh por C prom = 111,66 (\$/kWh) esto da \$265.862, finalmente se debería pagar en un año \$1.760.266.

El ahorro de energía es  $\$5.693.749 - \$1.760.266 = \$3.933.483$ .

El presupuesto de la instalación está en un total de \$17.891.640, el 21,95% de este valor

corresponde a \$3.927.215.

Cuando se efectúa una inversión en la instalación solar fotovoltaica para este usuario de la unidad habitacional se está decidiendo a no tomar otras alternativas de uso del dinero es decir se pierde la oportunidad de realizar otro tipo de inversión y esta decisión debe ser recompensada con unos beneficios mayores que los del mercado financiero. (Muñoz Santiago & Gómez Bravo, 2021)

Ahora si la decisión fuera depositar el total del presupuesto de la Tabla 23 que corresponde a \$ 17.891.640 en un CDT su interés en un año sería aproximadamente el 12% (Banco de la República, 2024) que corresponde a \$ 2.146.997 este sería el costo de oportunidad que ofrece el mercado financiero, esta cifra es menor comparada con el ahorro de dinero que obtiene el usuario de la unidad habitacional al construir la instalación solar fotovoltaica que es \$3.933.493, además la instalación solar fotovoltaica le da un mayor valor comercial a la casa es decir al patrimonio.

### **Marco Normativo Incentivos Tributarios**

Está conformado por todas las entidades y disposiciones de índole gubernamental y legal como:

(Ley 1715 artículos 11,12,13 y 14, 2014)

(Resolución 00319, 2022)

Estatuto Tributario: está conformado por 8 libros que contienen toda la normatividad para el recaudo de impuestos nacionales. (Congreso de la República, 2022)

### **Incentivos**

Los incentivos tributarios con que se cuenta son deducción de renta, exclusión del Impuesto del valor agregado, exención de arancel, depreciación acelerada.

Estos incentivos aplican tanto para personas jurídicas como naturales y están todos en el marco normativo de la Ley 1715 en los artículos 11 al 14, los tramites se deben hacer ante la

UPME y la DIAN el plazo que tiene la UPME para realizar la evaluación de los documentos del proyecto y entrega de la certificación de acceso a los incentivos a la persona natural o jurídica es máximo de 20 días hábiles para instalaciones solares fotovoltaicas.

La persona natural o jurídica debe diligenciar 4 formatos y entregarlos junto con la solicitud de incentivos ante la UPM.

Formato 1. Incluye la identificación del solicitante, información de contacto, nombre del proyecto y los incentivos solicitados."

Formato 2. Descripción o Resumen general del proyecto. Si es un proyecto de autogeneración o generación de energía, cuál es su ubicación.

Formato 3. Información de los bienes que hacen parte de la solicitud como, por ejemplo, los módulos solares, los inversores, conductores, estructuras, los soportes son las hojas técnicas de los equipos.

Formato 4. Información de los servicios objeto de la solicitud como diseños, licencias ambientales esto aplica para proyectos grandes, los soportes son las ofertas y contratos de los servicios de consultoría, ingeniería, proformas, cotizaciones, términos de referencia, facturas; este último formato no aplica para el caso desarrollado por el autor porque es un proyecto pequeño. Se debe adjuntar la simulación en PVSYST de la instalación solar fotovoltaica. (Resolución 00319, 2022)

La deducción de la renta es hasta el 50% del valor total de la inversión esta deducción se puede aplicar hasta 15 años después de la puesta en marcha de la instalación UPME. (Resolución 00319, 2022)

Deducción del impuesto de renta hasta el 50% del total de la inversión en la instalación y durante un periodo de 30 años contados desde el 1 de julio de 2021, después de este plazo no se gozará más de este beneficio. (Ley 1715 artículo 5, 2014)

Exención del IVA para los equipos, materiales, maquinaria, servicios nacionales o importados usados en instalaciones en este caso puntual solares fotovoltaicos estarán excluidos de dicho impuesto. (Ley 1715 artículo 12, 2014)

En el caso del usuario de la unidad habitacional del caso desarrollado por el autor es un sistema solar fotovoltaico interconectado a la red, los módulos fotovoltaicos y el inversor están exentos del impuesto de valor agregado (19%), frente a esto no hay que efectuar ningún trámite ante la UPME; si se quieren obtener los beneficios de deducción de impuesto de renta y depreciación acelerada este si se debe gestionar ante la UPME.

Exención al pago de derechos arancelarios para las personas naturales y jurídicas que estén en calidad de titulares de nuevos proyectos, en este caso puntual de sistemas fotovoltaicos, el beneficio cubre material, equipo, insumos que no se produzcan en Colombia. (Ley 1715 artículo 13, 2014)

Depreciación acelerada de activos como beneficio tributario para obras civiles, maquinaria y equipos que se requieran, en este caso puntual para las instalaciones solares fotovoltaicas, la tasa anual de depreciación no puede superar el 33,33% como tasa global anual. (Ley 1715 artículo 14, 2014)

### **Autoridad Nacional de Licencias Ambientales**

Ahora nos adentramos en el contexto del medio ambiente, para esto se revisa lo que está haciendo Colombia en materia de Economía Circular.

La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales en su circular fechada del 14 de noviembre de 2018 lanzó la estrategia nacional de economía circular, se promueve la creación de nuevos modelos de negocio con generación de valor en sistemas de tipo productivo y de consumo mediante el intercambio, reciclaje y regeneración de materiales, agua y energía, uno de los beneficios ambientales es el uso de las energías de fuente renovable, ANLA. (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA, 2018)

### **Economía Circular en Sistemas Solares Fotovoltaicos**

El diseño de los dispositivos debe ser enfocado a la duración, recuperación y una menor proporción al reciclaje, puesto que los periodos de obsolescencia y vida útil son cada vez más

largos, los pasos para lograr la economía circular de los sistemas fotovoltaicos son:

Uso y fabricación de productos más Inteligentes.

- Rechazo de materiales de naturaleza tóxica disminuir el desperdicio de materiales en el proceso de fabricación.
- Repensar desde la etapa de diseño reduciendo el periodo de obsolescencia de un producto, es decir diseñar productos de mayor durabilidad.
- Reducir la producción de productos a partir de material no reciclado, evitar en todo momento el desperdicio.
- Extender la Vida útil, reutilizando los elementos en aplicaciones de menor exigencia.
- Reparar, corrigiendo los defectos para recuperar el funcionamiento.
- Restaurar, mejorando las condiciones de trabajo con revisiones e inspecciones de mantenimiento.
- Re manufacturar, recuperando componentes para instalar en otros dispositivos para darles una nueva funcionalidad.
- Reutilizar, retomando el dispositivo en su conjunto o sus componentes para otra aplicación.
- Recuperación, reciclando y realizando recuperación de materiales, de esta manera no se usa de nuevo energía para obtener materiales. (Stucki, Wil . Scholten, & Frischknecht, 2023)
- Reciclaje es el “proceso mediante el cual se toman para el aprovechamiento y transformación residuos sólidos y se les devuelve a los materiales su potencial como insumos o materias primas para nuevos productos”. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC, 2009)

### **Residuos de los Módulos Solares de Silicio**

Los residuos peligrosos están conformados por sustancias que componen el módulo

solar como el silicio, en esencia es una sustancia corrosiva, el plomo se cataloga como una sustancia tóxica y peligrosa para el medio ambiente en mayor medida para los cuerpos de agua, la plata es una sustancia irritante y que afecta el medio ambiente, el estaño es un elemento tóxico, corrosivo; entre los residuos no peligrosos está el cobre al cual se le puede dar un nuevo aprovechamiento, de igual forma está el vidrio y el aluminio, la EVA que es una sustancia copolimérica no es peligrosa. UPME. (Unidad de Planeación Minero Energética UPME, 2023)

### **Investigaciones Experimentales para el Reciclaje del Silicio y Vidrio de Módulos Solares**

En los últimos años se están desarrollando metodologías experimentales para el reciclaje. La técnica de reciclado estándar se basa en el tratamiento térmico y consiste en quemar los plásticos para separar las células del vidrio. Esto es aproximadamente el 80% del panel. Después se llevan a cabo diferentes procesos químicos para eliminar la capa anti reflectante, si la hubiese, y separar los contactos metálicos. Los materiales semiconductores como las obleas de silicio también se pueden reutilizar. Este material se puede reciclar hasta cuatro veces. (Bernal Aparicio, Martínez Cañon, & Valencia Zuluaga, 2022)

A pesar del alto porcentaje de recuperación con el polímero EVA no se logra su separación en un 100% del vidrio y materiales como el cadmio y plomo (presentes en el módulo solar) manejan toxicidad de alto riesgo, ocasionando que se manipulen como materiales peligrosos para evitar que generen daños en el ambiente, siendo en general la materia de mayor peligrosidad de los módulos solares. (Sierra Céspedes, Vasquez Stanescu, & Ramírez - Pisca, 2021)

### **Ciclo de Vida**

Es una metodología desarrollada para establecer la cantidad de materiales, energía que proviene en primer lugar de las minas de extracción de materiales como el silicio y su posterior

transformación en celdas solares al pasar por el proceso con elementos como el boro y el fosforo, el almacenamiento, el transporte de los módulos solares. Los fabricantes tienen establecido un periodo de treinta años, en su instalación y mantenimiento es importante anotar que en cualquiera de las etapas anteriormente mencionadas o en especial en la instalación y mantenimiento, el periodo de treinta años puede disminuir por efectos de una manipulación inadecuada y posterior aparición de micro fisuras en las celdas solares de silicio. La última etapa se denomina fin de la vida útil cuando se deben desmontar los módulos solares y trasladar a sitios para su disposición final. (Stucki, Wil . Scholten, & Frischknecht, 2023)

### **Tiempo de Retorno Energético**

Es el tiempo en años en el cual un sistema solar fotovoltaico genera la misma cantidad de energía no renovable que se utilizó para su fabricación; para un sistema solar fotovoltaico de 3kWp instalado en el techo de una unidad habitacional con una irradiación solar de 1331 kWh/m<sup>2</sup> con módulos solares de silicio mono cristalino se tiene un tiempo de retorno energético de un año. (Stucki, Wil . Scholten, & Frischknecht, 2023)

### **Impactos Ambientales**

La generación de un 1kWh de energía con combustible fósil equivale a 1kg de CO<sub>2</sub>, en los sistemas solares fotovoltaicos que funcionan con módulos solares de silicio mono cristalino es menor y equivale a 35,8 gramos de CO<sub>2</sub>. (Stucki, Wil . Scholten, & Frischknecht, 2023)

El CO<sub>2</sub> es un Gas de efecto Invernadero, hace parte de la atmosfera, su estado es gaseoso y puede ser de origen natural o como resultado de las actividades humanas, adsorbe o emite irradiación infrarroja emitida por la superficie terrestre, nubes y atmosfera. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC, 2021)

**Tabla 25***Desarrollo de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero*

VARIABLES	UNIDAD	1996	2003	2007	2014	2016	2020	2021	2023
Emisiones de gases de efecto invernadero	gCO <sub>2</sub> equivalente en kWh	121	72	76	80	107	43	43	36
Eficiencia del Modulo	%	13,6	14,8	14	14	15,1	19,5	20	20,9
Rendimiento Anual	kWh/ kWp	862	882	922	922	882	976	976	976

Nota: Stucki, M., Götz, M., de Wild-Scholten, M., Frischknecht, R. (2023, p.4)

En la Tabla 25 se puede observar que las emisiones de CO<sub>2</sub> se reducen en la medida que se mejora y aumenta la eficiencia (%) de los módulos solares esto también se ve reflejado en el rendimiento anual.

### **Marco Normativo Ambiental en Colombia**

En Colombia, a través de la resolución 1447 de 2018, se regula el sistema de monitoreo, reporte y verificación de las acciones de mitigación a nivel nacional, conforme al artículo 175 de la Ley 1753 de 2015.", se creó el RENARE.Registro Nacional de Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero RENARE. (Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015) como resultado del compromiso del país con el cumplimiento de las metas de cambio climático definidas en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), el RENARE es una plataforma en la cual se integran la factibilidad, formulación, implementación y cierre de las fases de registro para posterior seguimiento a todas las acciones que busquen reducción y remoción de emisiones de gases de

efecto invernadero y la certificación de RENARE, el usuario registra en la plataforma las toneladas de CO<sub>2</sub> removidas, reducidas, mitigadas durante un año, el registro los debe efectuar los tres primeros meses de cada año para reducir su carga impositiva del impuesto al carbono. (Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015)

### **Impuesto al Carbono Ley 1819 de 2016**

Nace como un instrumento económico para dar cumplimiento a las metas de mitigación de gases de efecto invernadero a nivel nacional, busca desincentivar el uso de combustibles fósiles como la gasolina, kerosene, Jet fuel, ACPM, Fuel Oil, Gas natural usado en la industria del petróleo y petroquímica, gas licuado de petróleo cuando se vende a usuarios industriales, algunos de estos combustibles son usados en las plantas térmicas para la Producción de energía eléctrica. (Ley 1819 art. 221, 2016).

Estos combustibles emiten 57 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmosfera en Colombia y corresponden aproximadamente al 27% de las emisiones totales del país; la tarifa de este impuesto inició en enero de 2015 con \$15.000 por cada 1000 kg de CO<sub>2</sub> y se ajusta cada año de acuerdo con la inflación del año anterior, para el año 2024 es de \$23.049 por tonelada de CO<sub>2</sub>; el impuesto lo pagan todos los involucrados en la cadena de valor del combustible cuando se importa, cuando el productor del combustible lo extrae para su consumo propio, cuando se vende el combustible en el territorio nacional. El recaudo de este impuesto se aplica en la conservación de los bosques amazónicos, implementación del acuerdo de paz con criterios de sostenibilidad ambiental, para fortalecer el sistema de áreas protegidas, monitoreo de la deforestación, conservación de fuentes de agua, paramos; existe una compensación para la no generación del impuesto al carbono e implica la obtención de certificados de reducción o remoción de gases de efecto invernadero que cumplan con la cantidad proyectada de los combustibles a vender, importar o estimar consumir, cálculo de gases de efecto invernadero sus equivalencias, compensación con los certificados emitidos por el RENARE, solicitud con anexos ante la DIAN, finalmente ahorro y no generación del impuesto, los proyectos que se presenten

para la no generación deben desarrollar una metodología de mitigación dentro el marco del organismo nacional de normalización, hacer el trámite ante el RENARE su metodología la verifica un tercero denominado organismo de validación y verificación; los proyectos que pueden aplicar son los de energías renovables entre estas la energía solar fotovoltaica, proyectos forestales, la reducción de metano en rellenos sanitarios, mejora de eficiencia energética en calderas, ganadería sostenible.

## Discusión

Los sistemas solares fotovoltaicas puntualmente conectados a la red cuentan con el marco normativo técnico y legal de índole nacional para ser desarrolladas, en este caso la posibilidad de ser dimensionadas y catalogadas para autoconsumo con permuta de energía más los beneficios tributarios, la no generación del impuesto al carbono este último aplica directamente en la cadena de abastecimiento de combustibles fósiles, pero no deja de ser menos importante como información porque aplica más para personas jurídicas que estén en dicha cadena o que generen energía eléctrica con plantas térmicas; todos los instrumentos legales y técnicos están, la discusión se centra en la difusión de esta información para que las personas jurídicas y naturales conozcan los beneficios económicos que ofrecen las políticas energéticas y tributarias actuales, el valor agregado en el patrimonio, la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> y por ende se materialicen las inversiones en este ámbito, el esfuerzo de difusión debe ser amplio, las instituciones públicas deberían implementar las instalaciones solares fotovoltaicas en cada una de sus plantas físicas tanto en las existentes o en las que se construyan, el sector privado de igual forma en sus nuevos proyectos de vivienda, hospitales, bancos entre otros, esto debe ser acompañado con el rigor técnico que de alguna manera se cita en el presente artículo, el sector financiero debería interesarse de forma más intensa en el ofrecimiento de alternativas de portafolio para las inversiones en instalaciones solares fotovoltaicas.

## Conclusiones

1. La propuesta de instalación solar fotovoltaica a menor escala para auto consumo en el caso de la unidad habitacional casa 04 Condominio Campestre la Quinta situada en Villavicencio capital del departamento del Meta es una alternativa de valor agregado porque aporta un beneficio económico en el patrimonio del propietario con un costo de oportunidad mayor al que puede ofrecer el mercado financiero; en el caso desarrollado por el autor si el propietario tomara los \$ 17.891.640 y los depositara en un CDT su interés en un año sería aproximadamente el 12% de acuerdo con (Banco de la República, 2024) esto corresponde a \$ 2.146.997 este sería el costo de oportunidad que ofrece el mercado financiero, esta cifra es menor comparada con el ahorro de dinero que obtiene el usuario de la unidad habitacional al construir la instalación solar fotovoltaica que es \$3.933.493 esto es casi el 22% de interés de los \$17.891.640 que cuesta la instalación, por otra parte la instalación solar fotovoltaica le da un mayor valor comercial a la unidad habitacional lo cual incrementa el valor del patrimonio demostrando que es una buena decisión financiera.
2. Se determinó que los beneficios tributarios son un estímulo económico del gobierno a las decisiones financieras de las personas naturales como es el caso de la unidad habitacional, para que se dé poco a poco la transición energética, se determinó que, aunque la instalación solar fotovoltaica a menor escala del caso es relativamente pequeña de igual forma tiene la exención del impuesto del valor agregado que actualmente es el 19% dentro del marco de los beneficios tributarios en los dispositivos como módulos solares e inversor, esta cifra corresponde a \$1.291.696.
3. Se describió con el apoyo de la simulación en el software PVSYST que la unidad habitacional del caso requiere anualmente 6.599 kWh de energía, teniendo en cuenta que para producir 1kWh de energía con combustible fósil en una planta térmica se genera

1kg de CO<sub>2</sub>, para esta instalación convencional es decir sin sistema fotovoltaico se generarían anualmente 6.599 kg de CO<sub>2</sub>, ahora en una instalación solar fotovoltaica con las características del caso, cuando se produce 1kWh de energía se generan 0,0359 kg de CO<sub>2</sub> , es decir que esta instalación solar fotovoltaica genera en un año 237 kg de CO<sub>2</sub>, puntualmente 97,4% menos de CO<sub>2</sub> que con la instalación convencional, esto es un aporte a la sostenibilidad porque contribuye de manera positiva en el impacto ambiental atrayendo inversores y agregando valor a la unidad habitacional.

4. En instalaciones solares fotovoltaicas de mayor potencia que se estructuren y dimensionen de manera adecuada obtendrán mayores beneficios económicos.
5. Si los proyectos de instalaciones solares fotovoltaicas se dimensionan y construyen para usuarios que estén en la cadena de abastecimiento de combustibles fósiles obtendrán exenciones tributarias en el impuesto al carbono, de acuerdo con los certificados emitidos por el RENARE.

## Referencias

- ATERSA. (s.d.). *Módulo Solar*. Acceso em agosto de 2024, disponível em ATERSA:  
[www.atersa.com](http://www.atersa.com)
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA. (2018). *Estrategia Nacional de Economía Circular*. Fonte: [www.anla.gov.co](http://www.anla.gov.co)
- Autosolar. (2024). *Autosolar*. Fonte: [www.autosolar.com](http://www.autosolar.com)
- Banco de la República. (2024). Fonte: [www.banrep.gov.co](http://www.banrep.gov.co)
- Bernal Aparicio, W., Martínez Cañon, L. E., & Valencia Zuluaga, M. (2022). *Guía para la disposición de paneles solares al final de su ciclo de vida en Colombia*. Bogotá: Fundación Universidad de América.
- Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG. (agosto de 1994). *Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG*. Fonte: [www.creg.gov.co](http://www.creg.gov.co)
- Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG. (2007). Resolución 119. Bogotá.
- Comisión Electrotécnica Internacional. (2021). Terrestrial Photovoltaic Modules - Design qualification and type approval part. 2. *IEC 61215*.
- Comisión Electrotécnica Internacional. (2022). Dispositivos Fotovoltaicos. Procedimientos de corrección con la temperatura y la irradiancia de las características I-V. *IEC 60891*. Ginebra, Suiza: Comisión Electrotécnica Internacional.
- Comisión Reguladora de Energía y Gas. (2021). *Resolucion 174 de 2021*. Comisión Reguladora de Energía y Gas CREG.
- Congreso de la República. (2022). *Estatuto Tributario*. Congreso de la República. Fonte: <https://estatuto.co/158-2>
- Empresas Publicas de Medellín EPM. (2022). *Sistema Interconectado Nacional*. Medellín: Empresas Públicas de Medellín EPM. Fonte: [www.epm.com](http://www.epm.com)
- Guzmán Valencia, A. (2020). *Propuesta de una Unidad de Negocio para la Venta de Energía*

- Eléctrica derivada de Fuentes Renovables*. Universidad Nacional de Colombia.
- Guzman Vasquez, A., Trujillo, M. A., & González, M. (2020). *Gerencia Financiera Basada en el Valor*. Bogotá: Colegio de Estudios Superiores de Administración CESA.
- Impuesto al carbono*. (2016). Congreso de La República.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC. (2005). *Energía Solar Definiciones y Nomenclatura. NTC 1736*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC. (20 de mayo de 2009). *Gestión ambiental de residuos solidos. Guia para separación en la fuente. GTC 24*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC. (2013). *Equipos Fotovoltaicos Autónomos, verificación de diseño. NTC 6035*.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC. (2017). *Sistemas de Gestión de la Energía. GTC - ISO 50006*. Bogotá.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC. (2020). *Código Eléctrico Colombiano sección 690.7. NTC 2050*. Bogotá.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC. (2020). *Código Eléctrico Colombiano. Sistemas Solares Fotovoltaicos. Sección 690.2 Definiciones. NTC 2050*. Bogotá.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC. (2021). *Gases de efecto invernadero. Huella de carbono. Requisitos y directrices para certificación. NTC 14067*.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. (2024). Fuente: [www.ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co)
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. (2023). *Atlas de Irradiación Solar*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Fuente: [www.ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co)
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. (2023). *Atlas de Irradiación Solar*. Fuente: [www.ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co)

Ley 1715. (13 de Mayo de 2014). *Integración de las Energías Renovables no Convencionales al Sistema Energético Nacional*. Bogotá, Bogotá, Colombia: Congreso de la República.

Ley 1715. (2014). *Integración de las Energías Renovables no Convencionales al Sistema Energético Nacional*. Bogotá: Congreso de la República.

Ley 1715 artículo 12. (2014). *Exclusión del impuesto a las ventas IVA*.

Ley 1715 artículo 13. (2014). *Incentivo arancelario*.

Ley 1715 artículo 14. (2014). *Incentivo contable de depreciación acelerada de activos*.

Ley 1715 artículo 5. (2014). *Definiciones*.

Ley 1715 artículos 11,12,13 y 14. (13 de mayo de 2014). *Ley 1715 por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional*. Bogotá.

Mermoud, A. (2023). Photovoltaic Software PVsyst. Ginebra.

Meteotest. (2024). Meteonorm. Suiza. Fonte: [www.meteonorm.com](http://www.meteonorm.com)

Ministerio de Minas y Energía. (2021). *Transición Energética*. Acceso em agosto de 2024, disponível em Ministerio de Minas y Energía: [www.minenergia.gov.co](http://www.minenergia.gov.co)

Ministerio de Minas y Energía. (agosto de 2024). *minenergia.gov.co*. Fonte: [www.minenergia.gov.co](http://www.minenergia.gov.co)

Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Cambio climático y gestión del riesgo*. Acceso em Agosto de 2024

Muñoz Santiago, A. E., & Gómez Bravo, Y. P. (2021). *Gestión financiera. Notas de clase*. Barranquilla, Colombia: Universidad del Norte.

Paratec- xm. (agosto de 2024). *Parámetros técnicos del SIN*. Fonte: Paratec -xm: [www.paratec.xm.com.co](http://www.paratec.xm.com.co)

PARATEC-XM. (2024). Fonte: [www.paratec.xm.com.co](http://www.paratec.xm.com.co)

PARATEC-XM. (2024). Fonte: [www.paratec.xm.com.co](http://www.paratec.xm.com.co)

Ramírez del Rio, J. E. (2022). *Comparación de las tecnologías fotovoltaica e hidroeléctrica en*

Colombia. Universidad Nacional de Colombia.

Resolución 00319. (2022). *Por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para la evaluación de las solicitudes de evaluación y emisión de los certificados que permiten acceder a los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014*. Bogotá: Unidad de Planeación Minero Energética UPME. Fonte: [www1.upme.gov.co/Normatividad/319\\_2022.pdf](http://www1.upme.gov.co/Normatividad/319_2022.pdf)

*Resolución 174* . (2021). Comisión Reguladora de Energía y Gas CREG.

Resolución 174 . (7 de Octubre de 2021). *Resolución*. Bogotá, Bogotá, Colombia: Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG.

Sierra Cespedes, M. M., Vasquez Stanescu, C. L., & Ramírez - Pisca, R. (2021). *Disposición final e impacto ambiental de las celdas fotovoltaicas*. Publicaciones en Ciencias y Tecnología.

*Sistema Interconectado Nacional SIN*. (s.d.). Acceso em Agosto de 2024, disponível em [www.xm.com.co](http://www.xm.com.co)

Stucki, M., Wil . Scholten, M., & Frischknecht, R. (2023). *Hoja informativa. Análisis del ciclo de vida de la electricidad de los sistemas fotovoltaicos*. International Energy Agency. Fonte: [www.iea.org](http://www.iea.org)

Unidad de Planeación Minero Energética. (2015). *Integración de las Energías no Convencionales en Colombia*. Bogotá: Unidad de Planeación Minero Energética. Fonte: [www.upme.gov.co](http://www.upme.gov.co)

*Unidad de Planeación Minero Energética*. (agosto de 2024). Fonte: [www.Upme.gov.co](http://www.Upme.gov.co)

Unidad de Planeación Minero Energética. (2024). *Análisis de demanda de energía eléctrica durante el Evento del Niño*. Bogotá. Fonte: [www.upme.gov.co](http://www.upme.gov.co)

Unidad de Planeación Minero Energética UPME. (2023). *Resultados Pacto educativo para la planeación energética en Colombia y transición energía justa*.

Universidad Politécnica de Valencia. (2014). Curso de Energía Solar Fotovoltaica. Em U. P.

Valencia. Valencia.