



**DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO DE TIPO INYECCIÓN
A LA RED PARA APORTAR EL 41,5 kWh/ DÍA DEL CONSUMO DE
ENERGÍA ELÉCTRICA REQUERIDO POR EL COLEGIO IETD EN
MONTERREY, CASANARE**

María Juliana Rincón Rincón
Andrés Felipe Rodríguez Piñeros

Código: 2101-011

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, 09 de noviembre de 2021

**DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO DE TIPO INYECCIÓN
A LA RED PARA APORTAR EL 41,5 kWh/DÍA DEL CONSUMO DE ENERGÍA
ELÉCTRICA REQUERIDO POR EL COLEGIO IETD EN MONTERREY,
CASANARE**

María Juliana Rincón Rincón
Andrés Felipe Rodríguez Piñeros

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Ambiental

Director (a): José Alfonso Avellaneda Cusaria

Línea de Investigación:
Ingeniería para la sostenibilidad e Infraestructura sustentable

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Colombia
2021



Vigencia: 11/22/2021

SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

ACTA No: 1273

En las instalaciones de la Universidad El Bosque, se desarrolló la sustentación del trabajo de grado titulado **Diseño de un sistema solar fotovoltaico de tipo inyección a la red para aportar 41,5 kWh/ día del consumo de energía eléctrica requerido por el colegio IETD en Monterrey, Casanare**, con código:2101-011, desarrollado por **Andrés Felipe Rodríguez Piñeros** con C.C. 1000239894 y **María Juliana Rincón Rincón**, con C.C. 1022444431, bajo la dirección de **José Alfonso Avellaneda Cusarúa**, con C.C. 19220589, como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental. El trabajo fue evaluado por **Gustavo Andrés Contreras Hernández** con C.C. 79859868 y **Wilmar Alirio Botello Suárez** con C.C.88031185. Al finalizar la deliberación se concluyó que cumple con los criterios de calidad, por lo que se determina que el documento y su sustentación son **Aprobados**.

En constancia, se firma en Bogotá, D.C., el 11/22/2021.


KENNETH OCHOA VARGAS
Director
Programa de Ingeniería Ambiental


GERMÁN AGUDELO ASCENCIO
Líder Comité de Trabajos de Grado
Programa de Ingeniería Ambiental

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velara por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

Agradecimientos

En primer lugar, damos gracias a Dios por permitirnos haber llegado a este punto de la carrera en donde se da por culminada esta etapa de formación, una tan importante para seguir en lo que concierne a la vida y nuestro futuro.

A nuestros padres y familiares por el apoyo incondicional brindado durante el desarrollo de la carrera.

Agradecemos a nuestro director José Alfonso Avellaneda Cusaria, por la orientación y acompañamiento que nos brindó durante el desarrollo de este trabajo de investigación, además, agradecemos a las instituciones que nos brindaron la información para el desarrollo del trabajo.

Contenido

Introducción	12
1. Planteamiento del problema y pregunta de investigación.....	14
1.1 Planteamiento del Problema.....	14
1.2 Pregunta de Investigación	15
2. Justificación	16
3. Objetivos	18
3.1 Objetivo general.....	18
3.2 Objetivos específicos.	18
4. Marco de Referencia	19
4.1 Estado del arte.....	19
4.2 Marco teórico - conceptual	22
4.3 Marco normativo y legal.....	32
4.4 Marco geográfico	34
4.4.1. Macrolocalización.....	34
4.4.2. Microlocalización.....	35
4.5 Marco institucional	36
5. Metodología de investigación	38
5.1.1 Metodología primer objetivo “Interpretar la incidencia de radiación solar en un periodo anual para el área de estudio, así como los tipos de panel y sistemas que generan una mayor eficiencia”	41
5.1.2 Metodología segundo objetivo “Calcular la producción energética y demanda de energía a captar de acuerdo al área disponible para elaborar el diseño de generación en el colegio IETD de Monterrey, Casanare”	42
5.1.3 Metodología tercer objetivo “Evaluar los beneficios ambientales por la implementación del sistema solar fotovoltaico en la zona de estudio”	44
5.2 Plan de Trabajo	46
6. Resultados y discusión.....	48
6.1. Objetivo 1. Interpretar la incidencia de radiación solar en un periodo anual para el área de estudio, así como los tipos de panel y sistemas que generan una mayor eficiencia.	48
6.1.1 Factores geológicos en el municipio de Monterrey Casanare.....	48
6.1.2. Factores meteorológicos y climáticos en el municipio Monterrey, Casanare.....	50
6.1.2.1. Temperatura	50
6.1.2.2. Viento.....	53
6.1.2.3. Radiación solar.....	56

6.1.3. Comparación de sistemas solares fotovoltaicos.....	58
6.1.4. Evaluación de los tipos de paneles solares.....	59
6.2. Objetivo 2. Calcular la producción energética y demanda de energía a captar de acuerdo al área disponible para elaborar el diseño de generación en el colegio IETD de Monterrey, Casanare.	61
6.2.1 Caracterización de zonas.....	61
6.2.2 Consumo energético del Instituto Educativo Técnico Diversificado.....	62
6.2.3 Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico	63
6.2.4 Sistema solar fotovoltaico	67
6.3. Objetivo 3. Evaluar los beneficios ambientales que traería la implementación del sistema solar fotovoltaico en la zona de estudio.	69
6.3.1 Cálculo de la huella de carbono	69
6.3.2 Análisis costo-beneficio.....	70
6.3.3 Programa ambiental escolar (PRAE)	73
7. Conclusiones	77
8. Recomendaciones.....	79
10. Anexos	86

Listado de Tablas

Tabla 1. Normatividad nacional.	32
Tabla 2. Diseño metodológico.	38
Tabla 3. Descripción de sistemas solares fotovoltaicos.	58
Tabla 4. Tipos de paneles solares.	59
Tabla 5. Consumo energético kWh año 2019 del IETD.	62
Tabla 6. Dimensiones del panel monocristalino HiKuPro Mono SUPER HIGH POWER MONO PERC MODULE 475 W ~ 495 W - CANADIAN SOLAR INC.	63
Tabla 7. Irradiancia mensual en el IETD.	64
Tabla 8. Generación de energía (kWh/mes) mensual en el IETD.	64
Tabla 9. Excedente de energía generada mensual en el IETD.	66
Tabla 10. Consumo energético kWh año 2019 del IETD.	69
Tabla 11. Reducción de la HC.	70
Tabla 12. Presupuesto de la implementación del sistema solar fotovoltaico.	70
Tabla 13. Cálculo de VPN y TIR del sistema solar fotovoltaico.	71
Tabla 14. Valores de TIR, VPN y PR del proyecto solar.	72
Tabla 15. PRAE Uso de la energía solar fotovoltaica.	73

Listado de Figuras

Figura 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible involucrados en el proyecto.	22
Figura 2. Órbita de la Tierra alrededor del sol.	24
Figura 3. Radiación recibida sobre la superficie de la Tierra.	25
Figura 4. Funcionamiento de las capas n y p.	25
Figura 5. Efecto fotoeléctrico.	27
Figura 6. Composición de paneles y arreglos fotovoltaicos.	28
Figura 7. Funcionamiento inversor.	28
Figura 8. Clasificación de los sistemas fotovoltaicos.	29
Figura 9. Esquema general básico de un sistema fotovoltaico autónomo.	30
Figura 10. Esquema general básico de un sistema fotovoltaico conectado a la red.	30
Figura 11. Macrolocalización del proyecto.	34
Figura 12. Microlocalización y área del proyecto.	35
Figura 13. Microlocalización del proyecto.	36
Figura 14. Instituciones involucradas.	36
Figura 15. Fases y etapas del plan de trabajo de investigación.	47
Figura 16. Perfil de elevación del municipio de Monterrey, Casanare.	49
Figura 17. Mapa distribución de la temperatura media anual (°C) en el Departamento de Casanare. ...	50
Figura 18. Temperatura promedio mensual periodo de 1970 a 2020 del municipio de Monterrey, Casanare.	51
Figura 19. Temperatura promedio máxima y mínima anual del municipio de Monterrey, Casanare. ...	52
Figura 20. Temperatura promedio por hora del municipio Monterrey, Casanare.	52
Figura 21. Mapa velocidad media anual (m/seg) en el Departamento de Casanare.	53
Figura 22. Mapa velocidad media del viento mensual de 1970 a 2020 en el municipio de Monterrey, Casanare.	54
Figura 23. Mapa velocidad promedio del viento en el municipio de Monterrey, Casanare.	55
Figura 24. Rosa de vientos municipio de Monterrey, Casanare.	55
Figura 25. Radiación solar mensual periodo de 1970 a 2020 en el municipio de Monterrey, Casanare.	56
Figura 26. Suma promedios diarios mensuales de irradiación.	57
Figura 27. Perfiles por hora promedio mensual [kWh / m ²].	57
Figura 28. Mapa de distribución espacial del IETD.	61
Figura 29. Gráfica del consumo energético para el año 2019 del IETD.	62
Figura 30. Consumo energético vs generación de energía eléctrica para el año 2019.	66
Figura 31. Sistema solar fotovoltaico propuesto para el IETD.	68

Lista de anexos

Anexo 1. Árbol de problemas	86
Anexo 2. Respuesta solicitud consuno energético de la institución	87
Anexo 3. Recibos del servicio de energía para el año 2019	88
Anexo 4. Ficha técnica panel solar	92
Anexo 5. Ficha técnica inversor.....	94
Anexo 6. Ficha técnica contador/medidor bidireccional	96

Resumen

El presente trabajo de investigación se formuló con el fin de contribuir a la solución de los problemas sociales, económicos y ecológicos que se presentan debido a la generación energética eléctrica por fuentes convencionales y a las extensas redes de distribución que presentan fallas en el suministro de energía. Por esta razón, el desarrollo de la investigación tiene como objetivo diseñar un sistema solar fotovoltaico de tipo inyección a la red para aportar 41,5 kWh/ día del consumo de energía eléctrica requerido por el colegio IETD en Monterrey, Casanare, bajo una metodología deductiva y comparativa basada el estudio de las propiedades del fenómeno de la radiación solar y la transformación de energía por medio de celdas fotovoltaicas para de esta manera, dar un panorama lo más exacto posible a la solución del problema energético y desarrollo de la región. Como principal resultado, se obtuvo que se necesitan de 40 paneles solares para suplir la demanda energética total del colegio logrando reducir la Huella de Carbono acero (0), aportando de esta manera soluciones al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible. Se concluye que, la cantidad de paneles a implementar suple la demanda de energía eléctrica del IETD y por las condiciones climatológicas y meteorológicas se generan excedentes de energía que se venderían a la red eléctrica del municipio, generando ingresos adicionales para la institución.

Palabras clave: Celda solar, desarrollo sostenible, energía solar, radiación, sistema fotovoltaico.

Abstract

The present research work was formulated with the purpose of contributing to the solution of social, economic and ecological problems that arise due to the generation of electricity by conventional sources and the extensive distribution networks that present failures in the supply of energy. For this reason, the development of the research aims to design a solar photovoltaic system of grid injection type to provide 41.5 kWh/day of electricity consumption required by the IETD school in Monterrey, Casanare, under a deductive and comparative methodology based on the study of the properties of the phenomenon of solar radiation and the transformation of energy through photovoltaic cells to thus, give a picture as accurate as possible to the solution of the energy problem and development of the region. As a main result, it was obtained that 40 solar panels are needed to supply the total energy demand of the school, reducing the Carbon Footprint (0), thus providing solutions to meet the objectives of sustainable development. It is concluded that the number of panels to be implemented supplies the IETD's electricity demand and, due to the weather and climate conditions, surplus energy is generated and sold to the municipality's electricity grid, generating additional income for the institution.

Keywords: Solar cell, sustainable development, solar energy, radiation, photovoltaic system.

Introducción

La energía es un servicio esencial para la preservación y desarrollo del estilo de vida de la sociedad. En la actualidad, la energía proviene principalmente de los combustibles fósiles, que generan emisión del 80% de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que aportan al calentamiento global (Rosero Hernández, 2018). Es por esto, que luego del Acuerdo de París y de los compromisos adquiridos por Colombia para reducir el 20% de las emisiones de GEI, es decir, 66,5 millones de toneladas de CO₂, el sector energético mediante un Plan de Gestión del Cambio Climático, busca reducir 11,2 millones de toneladas de CO₂ a 2030 (MinEnergía, 2019).

Según la ONU el 90% de la disminución de las emisiones de CO₂ que se necesitan para disminuir el calentamiento global, depende de las fuentes de generación de energía y su uso. Un 41% de este aporte se logrará a través de la incorporación de energías limpias. Es por esto, que Colombia ha asumido el compromiso en el establecimiento de la instalación de energías renovables (MinEnergía, 2019) pues, actualmente, depende de “Hidroeléctrica en un 70%, seguido de un 29% de termoeléctrica y un 0,68 de energías renovables no convencionales (biomasa 0,57% y eólica 0,11%)” (Zárate & Vidal, 2016).

Algunos países como Austria, Alemania, Países Bajos, Francia, Inglaterra y España representan aproximadamente el 98% de las instalaciones fotovoltaicas conectadas en la Unión Europea. Alemania ha superado su capacidad con 41,22 GW instalados, seguida de Italia con 19,27 GW y Francia con 7,13 GW. España es el país con mayor capacidad instalada, la cual es de 5,4 GW, lo que equivale al 1,8% de los 294,16 GW instalados en el mundo. En el continente americano, Estados Unidos lidera las instalaciones fotovoltaicas obteniendo una capacidad de 40,3 GW en 2016. Mientras que, en los países de América del Sur, la energía fotovoltaica se ha ido incrementando cada vez más como una alternativa para disminuir los impactos negativos asociados al cambio climático (Rodríguez Urrego & Rodríguez Urrego, 2018).

Los sistemas fotovoltaicos para la producción de electricidad en Colombia son menos del 4% de la producción nacional de electricidad (Rodríguez Urrego & Rodríguez Urrego, 2018). Esta oferta es aún muy reducida para cumplir los compromisos del acuerdo de París. Es por esto que, en los últimos años en el país, se han incrementado las investigaciones relacionadas con la energía solar fotovoltaica en donde se enmarca la importancia de estas para el desarrollo de las comunidades tanto urbanas como rurales y para reducir los GEI. En la zona de los llanos orientales ya se han iniciado aprovechamientos de los sistemas de energía solar fotovoltaica, los registros más recientes están relacionados en el municipio Hato Corozal, Casanare, en donde el autor asegura que la ubicación geográfica junto con las condiciones climáticas, son favorables para que se dé un buen funcionamiento y eficiencia de los paneles solares (Ramírez, Siabato, & Orduz, 2017).

El departamento del Casanare es uno de los más extensos del país con el 3,9% del área colombiana y que se ha convertido en la región de mayor explotación petrolera nacional con el descubrimiento de los pozos petroleros de Cusiana y Cupiagua. Esto, junto con las actividades rurales de ganadería extensiva y cultivo de arroz, ha presentado cambios importantes en el desarrollo de la economía y la sociedad, lo que ha promovido el incentivo de programas energéticos como el tendido de grandes redes eléctricas para distancias considerables, con inversiones económicas elevadas. (Ladino, 2011)

Por este motivo, el propósito de esta investigación, específicamente va orientada a diseñar un sistema solar fotovoltaico de tipo inyección a la red para aportar un porcentaje considerable de la demanda del consumo de energía eléctrica requerido por el colegio Instituto Educativo Técnico Diversificado (IETD) en Monterrey, Casanare, teniendo en cuenta que esta se relaciona con conocimientos sobre la generación de energía a partir de paneles solares. Lo que permite contribuir positivamente a que se genere un beneficio social, ecológico y económico al sector mejorando la calidad de vida de la comunidad de estudio.

En el primer apartado de este trabajo se encuentra la información relacionada con el planteamiento del problema relacionando las causas con la pregunta de investigación. En el segundo apartado se encuentra la justificación del proyecto a desarrollar en el cual se detallan los aspectos ecológicos, económicos y sociales. Luego de esto, se establecen los objetivos necesarios para el desarrollo del proyecto. En el cuarto apartado se encuentra el marco referencial, el cual se divide en estado del arte, marco teórico-conceptual, normativo, geográfico e institucional donde se muestra una recopilación de los estudios de investigación y artículos científicos los cuales dan un apoyo teórico para la comprensión de definiciones y teorías, ejecución de cálculos y el desarrollo del diseño del Sistema Solar Fotovoltaico. Seguido a esto, se establece la respectiva metodología que permite el desarrollo de las actividades, dando cumplimiento a los objetivos propuestos. En el sexto apartado se muestran los resultados obtenidos y sus respectivos análisis. Finalmente, en el séptimo y octavo apartado se establecen las conclusiones y recomendaciones del trabajo de investigación desarrollado.

1. Planteamiento del problema y pregunta de investigación

1.1 Planteamiento del Problema

Actualmente, la generación de energía para la población mundial depende principalmente del petróleo, gas natural y carbón, los cuales son recursos fósiles abundantes pero finitos (Benito & Ruiz, 2018). En el caso de Colombia, en el lapso de 1975 a 2019, la población se ha duplicado, pues ha pasado de casi 24 a 49 millones de habitantes. Este crecimiento poblacional ha implicado un aumento significativo en el consumo de energía (principalmente convencional), ya que, en este periodo el consumo final de energía en Colombia pasó de 728 PJ a 1.346 PJ. El sector terciario (en donde se encuentra la educación) demanda el 5 % de la energía en Colombia (UPME, 2020). La generación de energía eléctrica en el país cuenta con una capacidad instalada igual a 17.749 MW, de los cuales el 68 % corresponde a capacidad hidráulica y el 30 % térmica (UPME, 2020). Actualmente, los usuarios que tienen la mejor calidad de servicio presentan una interrupción de duración acumulada de 14,8 horas. Los peores indicadores de calidad del servicio presentan una interrupción de duración acumulada de 95,8 horas. Incluso, hay usuarios que pueden llegar a percibir al año más de 600 interrupciones con duraciones acumuladas de 1.000 horas al año (SSPD, 2019).

Es por esto que, siendo Colombia un país ubicado en la zona de convergencia intertropical, la oferta de energía solar es abundante y suficiente de tal manera que, si se hace un aprovechamiento racional de esta, los problemas anteriores, no tendrían por qué presentarse. En el caso del departamento de Casanare donde se realizó la investigación corresponde a grandes llanuras hacia el oriente que contienen una alta oferta de energía solar durante todo el año. Para hacer aprovechamiento de esta oferta se hace necesario propiciar investigaciones que conlleven a un aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica, generando un servicio de calidad y de acceso continuo para la comunidad. La radiación en esta zona es de 4,5 a 5,0 kWh/m² (IDEAM, 2021) y debido a su unidad morfológica constituida por tres conjuntos fisiográficos denominados vertiente oriental de la cordillera Oriental, piedemonte y llanura aluvial, en la que el piedemonte, conformado por abanicos, terrazas disectadas y colinas, se caracteriza por presentar un relieve plano (Gobernación de Casanare, 2018), lo cual permite la instalación de sistemas de aprovechamiento de energía solar.

El municipio de Monterrey, donde se encuentra el colegio Instituto Educativo Técnico Diversificado objeto de estudio, ubicado en el piedemonte de los llanos orientales, registra para el año 2016 un total de 4422 usuarios en la cabecera municipal, con un escenario de crecimiento promedio medio anual para el período 2017 – 2031 de 9,49% (UPME, 2019). Esto genera que la empresa ENERCA S.A E.S.P, encargada de brindar el suministro de energía eléctrica, presente fallas en la red de distribución por el aumento de la demanda, lluvias y fuertes vientos que afectan el suministro de la misma (Enerca S.A E.S.P., 2020). Además, de acuerdo al Plan de Desarrollo Municipal formulado en el 2019, se observa prioridad a proyectos asociados a la generación de infraestructura vial y centros de desarrollo deportivos, adicionalmente, la ausencia de un número significativo de iniciativas, estudios investigativos y la escasez de planeación de infraestructura para la generación y distribución, refleja la falta de aprovechamiento de la energía solar, como alternativa para la generación de corriente eléctrica, debido a que no se cuenta con un diseño de energía solar fotovoltaica que permita el aprovechamiento de las condiciones ambientales de la región (Anexo 1). Dentro del propósito de incentivar el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica se ha tomado el Instituto Educativo Técnico Diversificado como estudio de caso para

proponer sustitución por parte de energía eléctrica convencional por energía alternativa de origen fotovoltaico.

1.2 Pregunta de Investigación

¿Es posible contribuir de manera significativa a la satisfacción de energía eléctrica en el colegio Instituto Educativo Técnico Diversificado a partir del aprovechamiento de energía eléctrica fotovoltaica?

2. Justificación

Colombia cuenta con un recurso solar promedio uniforme en el año para todo el territorio de 4,5 kWh/m², la incidencia que tiene la posición geográfica del país hace que cuente con una amplia disponibilidad de este recurso natural renovable y lo convierte en un territorio propicio para ser utilizado como fuente de generación de energía eléctrica por medio de sistemas solares fotovoltaicos. El mayor potencial se encuentra en las regiones de la Costa Atlántica y Pacífica, la Orinoquía y la Región Central (Gómez Ramírez, 2017).

La energía solar fotovoltaica trae beneficios *ecológicos*, puesto que genera menos emisiones de dióxido de carbono (CO₂), efecto invernadero, lluvia ácida y óxidos de azufre (Gómez Ramírez, 2017). Un panel solar que genera 3 GW equivale a evitar la emisión de 1000 toneladas de CO₂ que se pueden producir normalmente en la obtención de energía mediante la utilización de combustibles fósiles (Alarcón Solórzano & Cevallos Reyes, 2019). Así mismo, estos sistemas evitan que se afecten los ecosistemas como lo hace el proceso de extracción y creación de los combustibles fósiles las cuales requieren de la instalación de refinerías y procesadoras produciendo un gran foco de contaminación ecosistémica deteriorando los ecosistemas naturales, además, sus subproductos contaminan los cuerpos hídricos, suelos y calidad del aire. (Romeva & Romero, 2020). Sin embargo, en proyectos de gran envergadura los paneles solares pueden convertirse en un problema ecológico debido a la emisión de metales pesados durante los procesos de lavado y mantenimiento situación que debe ser tenida en cuenta cuando se pretenda realizar este tipo de proyectos, la situación es preocupante cuando el panel solar llega al final de su vida útil que es aproximadamente de 30 - 40 años.

En cuanto a los beneficios *económicos*, el Sector Eléctrico Colombiano (SEC) tiene diversas oportunidades e incentivos tributarios para la implementación de la energía fotovoltaica. Por medio de la Ley 1715 de 2014, se conceden beneficios a personas naturales o jurídicas que incentiven la investigación, desarrollo e inversión en cuanto a la producción y utilización de energía a partir de las Fuentes no Convencionales de Energía (FNCE) (Gómez Ramírez, 2017). Además, según la UPME (2020) la transformación energética es un nicho de nuevos negocios y oportunidades. El desarrollo de estas nuevas fuentes de producción y formas de consumo de energía llevan a posibilidades de inversión, creación de capital humano, investigación y desarrollo de productos nuevos que agreguen valor a la economía del país. Aun cuando existe la tendencia en la reducción de los costos de este tipo de energía, aún no son competitivos con la generación de energía con fuentes convencionales como las hidroeléctricas.

El uso de energía solar fotovoltaica también trae beneficios *sociales* debido a que es menos peligroso, pues no se necesita de líneas de alta tensión que pueden llegar a generar catástrofes por fallas en la estructura y líneas de transporte. Otro beneficio, se ve reflejado en que este tipo de energías se pueden emplear en múltiples áreas como lo son los servicios (comercio, salud, alimentación, educación, etc.), residencias (viviendas y edificaciones), electrificación de viviendas aisladas, agropecuario (agroganaderos y de agricultura) y transporte (Gómez Ramírez, 2017). Esto evidencia, que mediante la implementación de este tipo de energías se garantiza un estándar decente de vida y mejora la inclusión social, pues se permite que los ciudadanos tengan acceso a un servicio de acondicionamiento y confort térmico, refrigeración, iluminación y, en general, disponer de la energía que requieren para el desarrollo de sus actividades cotidianas (Zhang, et al., 2020). Esto solo se refleja, cuando se trata de proyectos de generación distribuida a nivel local y regional (UPME, 2020).

Desde la ingeniería ambiental se innova en la búsqueda de soluciones a problemáticas relacionadas con el cuidado y la preservación de la sociedad y los ecosistemas y todo lo que en ellos se relaciona. Una de estas innovaciones ha sido el aprovechamiento de las fuentes renovables para generar energía. Este tema se ha convertido en un factor de gran relevancia a nivel internacional debido a la importancia de asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno de forma que sea compatible con el ambiente.

Adicionalmente, la realización de este proyecto contribuye a cumplir principalmente con el ODS 7, pues se busca incrementar el acceso a la energía mediante la inversión en fuentes de energía limpia como lo es la energía solar y mejorar así, la productividad energética. Esto genera que se relacione con los ODS 11 y 9 pues se logra que los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles y se promueve a la construcción de infraestructuras sostenibles e innovadoras. Esto a su vez, lleva a cumplir el ODS 1 pues se contribuye a poner fin a la pobreza, el ODS 4 ya que garantiza una educación inclusiva, equitativa y de calidad, y el ODS 15 en el cual se lucha contra la desertificación, detener e invertir en la degradación de las tierras.

Los anteriores escenarios permiten comprender la necesidad y utilidad económica, social y ecológica de proyectos de aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica para comunidades escolares como la que propone la investigación a desarrollar. Siendo este un proyecto innovador en el municipio de Monterrey, Casanare, debido a que la institución sería la primera en implementar un Sistema Solar Fotovoltaico que supla una demanda significativa del consumo de energía de sus actividades.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Diseñar un sistema solar fotovoltaico de tipo inyección a la red para aportar 41,5 kWh/ día del consumo de energía eléctrica requerido por el colegio IETD en Monterrey, Casanare

3.2 Objetivos específicos.

1. **Interpretar** la incidencia de radiación solar en un periodo anual para el área de estudio, así como los tipos de panel y sistemas que generan una mayor eficiencia.
2. **Calcular** la producción energética y demanda de energía a captar de acuerdo al área disponible para elaborar el diseño de generación en el colegio IETD de Monterrey, Casanare.
3. **Evaluar** los beneficios ambientales que traería la implementación del sistema solar fotovoltaico en la zona de estudio.

4. Marco de Referencia

El presente trabajo busca diseñar un sistema solar fotovoltaico para el colegio IETD demostrando los beneficios sociales, ecológicos y económicos que trae la implementación del proyecto, contribuyendo al desarrollo sostenible. Por esto, es preciso exponer antecedentes en materia de energía solar, conceptos y teorías para el desarrollo de la propuesta del sistema solar fotovoltaico, la ubicación geográfica del proyecto y la normatividad aplicable, como se muestra a continuación:

4.1 Estado del arte

Para la elaboración de este capítulo se consultaron referencias bibliográficas nacionales e internacionales, de los cuales se seleccionaron 8 teniendo en cuenta aquellos que más se ajustan a esta investigación. Esto se realizó mediante una revisión específica de distintos documentos (Libros, tesis, artículos científicos) con una fecha de publicación no mayor a 10 años con la finalidad de construir una línea base que nos permita analizar las metodologías aplicadas en lo que concierne a la energía solar fotovoltaica como alternativa para el desarrollo. Este apartado contiene ejemplos relevantes de la bibliografía disponible que permite hacer un análisis sobre la implementación de los sistemas solares fotovoltaicos en diferentes contextos. A continuación, se presenta esta revisión bibliográfica dando una idea general de la problemática tratada, metodología, resultados más relevantes y contribución al presente trabajo.

En primer lugar, se consideró el contexto nacional. Se tuvo en cuenta un estudio realizado por Vásquez Lombana & Pedroza Arias (2014) titulado “Diseño de un sistema eléctrico residencial con energía solar, para suministrar energía a la red eléctrica de una vivienda unifamiliar en Yopal - Casanare” en el cual se definió la problemática que está generando el aumento en el consumo de energía eléctrica debido al crecimiento poblacional. Para contribuir a la solución del problema, se propone este trabajo, el cual contiene elementos pertinentes para la formulación del diseño de acuerdo a las ecuaciones necesarias, así mismo, entre los resultados más relevantes del estudio se expone según una simulación que la propuesta logrará dejar de emitir 246 Kg CO₂eq al año por cada vivienda, al alimentar la carga con sistema fotovoltaico en vez de la red del sistema interconectado nacional (SIN), contribuyendo positivamente a la protección del medio ambiente al disminuir notablemente la emisión de los GEI, lo que para nuestro proyecto sería de gran importancia debido a que al aplicar una metodología similar se podría estimar la reducción de Kg CO₂eq que se dejaría de emitir a la atmósfera.

Por otro lado, se tomó el estudio realizado por Benito & Ruiz (2018) en el cual exponen que uno de los problemas principales es que Colombia se encuentra en la fase inicial de implementación de sistemas solares fotovoltaicos a pesar de estudiarlo por muchos años, por mitos acerca de altos costos de implementación. Por esto, se planteó “Análisis beneficio-costos de la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaica en el campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio, Meta” el cual permite tomar como guía el proceso de cálculo para determinar el potencial energético del parque solar fotovoltaico a partir del análisis de información de radiación solar, área disponible y consumo de energía. Este trabajo logró proponer un sistema solar fotovoltaico compuesto por 800 paneles con una potencia de 153 kW que tendrían la capacidad de ahorrar el 15,22% de la demanda energética del campus durante 25 años. De igual forma, se obtiene el resultado de un análisis financiero según indicadores utilizados, en el cual se demuestra que el sistema conectado a la red sería la opción viable económicamente, ya que se obtuvo una relación beneficio costo positiva con un resultado mayor

al del sistema fotovoltaico aislado, en donde se logra recuperar la inversión en los primeros 3 años para luego generar un ahorro proyectado durante los 18 años restantes de la vida útil del sistema.

Chaize & Digneaux (2020) realizaron un estudio titulado “Evaluación del potencial energético y económico de la implementación de una planta híbrida en el Colegio Distrital Agustín Fernández.” el cual tenía como objetivo diseñar un sistema basado en energía solar fotovoltaica y energía eólica que permitiera obtener un ahorro de energía y que fuera factible económicamente. Según las ecuaciones y los Software utilizados para elegir el tipo de panel solar fotovoltaico más adecuado para el proyecto, se encontró que se debía optar por el uso de los paneles monocristalinos debido a que da una eficiencia del 20%. Debido a que la superficie disponible para la instalación de las celdas fotovoltaicas es de 50 m², encontraron que podían instalar 29 paneles teniendo una contribución solar de 38.582 Wh, concluyendo que la producción de energía diaria de la planta sería de 39.402 Wh, correspondiente a un 33,7% del consumo del colegio.

Adicionalmente, Salamanca Ávila (2017) publica un artículo científico titulado “Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá” el cual tiene por objeto realizar un dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico en la ciudad de Bogotá D.C estableciendo la metodología necesaria para el diseño mediante la aplicación de fórmulas matemáticas teniendo en cuenta el fenómeno de la radiación solar y sus componentes que la integran. De igual forma, se establece que las instalaciones de este tipo se han incrementado debido a que el nivel de contaminación que producen es muy bajo y los costos de instalación se recuperan al reducir la facturación del consumo de energía prestado por empresas de servicios públicos. Por consiguiente, se establece que la instalación y uso de sistemas fotovoltaicos en áreas urbanas son posibles.

En el contexto internacional, se tuvo en cuenta un artículo científico publicado en el año 2017 por Bilir y Yildirim, el cual se titula “Photovoltaic system assessment for a school building” en donde se dieron cuenta que muchas viviendas y edificios tienen gran disponibilidad de área en los techos que está siendo desaprovechada, pues sirve para la implementación de Sistema Solar Fotovoltaico (SSF). El estudio tiene como objetivo instalar un SSF en un edificio educativo en Esmirna, Turquía y demostrar si el colegio puede vender el exceso de generación de electricidad mensual y anual, proporcionando un beneficio financiero adicional mediante la instalación de las células FV. Esto se realizó mediante un cálculo con un código escrito en el software Energy Equation Solver (EES). Se tuvieron en cuenta dos casos: (1) Instalar 180 PVs (con índice de cobertura del 110%), y (2) se evaluaron 265 PVs que cubren el 75% de la superficie del tejado. Los resultados que se obtuvieron mostraron que, entre noviembre y marzo la generación de energía eléctrica fotovoltaica no es suficiente para satisfacer todas las necesidades energéticas del colegio en los dos casos evaluados. Sin embargo, se observaron valores significativos del índice de cobertura para el resto del año. En términos anuales, la generación fotovoltaica superó la demanda del edificio en un 62% para el caso 2.

Adicionalmente, Koohi-Kamali y colaboradores (2016) hablaron acerca de “Photovoltaic electricity generator Dynamic modeling methods for smart grid applications: A review” que tuvo como objetivo principal analizar las técnicas de modelado de células/módulos/arrays solares y compararlas entre sí. Esto se hizo mediante una explicación de los circuitos equivalentes fotovoltaicos. Luego, se realizó un análisis de la primera y segunda clase de los métodos de modelación. Se obtuvo como resultado que la primera clase es fácil de implementar en el software de simulación de sistemas de potencia. Además, se encontró que la segunda clase se puede aprovechar para estimar los parámetros de la célula solar en

colaboración con el método EFB. Se concluyó, que la segunda clase es más precisa que la primera, aunque su carga computacional es mayor.

Por su parte, Zhang y colaboradores en el año 2020 publicaron un artículo científico titulado “Solar photovoltaic interventions have reduced rural poverty in China” que tiene como objetivo identificar la eficacia de las políticas específicas de alivio de la pobreza en materia fotovoltaica en zonas rurales beneficiarias. Esto se hizo por medio de la revisión de los efectos de la utilización fotovoltaica en la mitigación de la pobreza clasificando los condados donde se ha producido el despliegue fotovoltaico en dos tipos: condados con pobreza nacional y condados sin pobreza nacional. Se encontró que la política piloto de alivio de la pobreza fotovoltaica aumenta la renta disponible per cápita en un condado en aproximadamente un 7%-8%, por tanto, el efecto de la inversión fotovoltaica es positivo y significativo en el año de aplicación de la política y el efecto es más del doble en los dos o tres años siguientes.

De igual forma, se tuvo en cuenta un libro realizado por Borja (2020) el cual lleva por título “Todo lo que necesitas saber sobre la energía solar fotovoltaica” el cual nos da una idea principal de conceptos básicos de la tecnología eléctrica necesarios para entender el fenómeno de la energía solar fotovoltaica y su funcionamiento, así mismo, expone que el desarrollo de la tecnología y de nuevas técnicas de producción hace que el precio de los módulos disminuya de forma inversamente exponencial, logrando una mayor facilidad en la implementación de este tipo de propuestas a nivel mundial. De igual forma, demuestra que los elementos que pueden encontrarse en una instalación solar dependen principalmente de la finalidad con la que se diseñe el proyecto, teniendo en cuenta los fundamentales y obligatorios que deben ser contemplados en un diseño como el que se propone en nuestro estudio.

Teniendo en cuenta estos referentes nacionales e internacionales se define la importancia de tener en cuenta los factores sociales, económicos, ecológicos y técnicos para la implementación de los sistemas solares fotovoltaicos en el colegio IETD. Por ejemplo, para el aspecto social se debe tener en cuenta si el proyecto va a traer beneficios o afectaciones a la comunidad educativa y al municipio. Para el económico, se tiene en cuenta los incentivos monetarios y se debe analizar el costo-beneficio. En cuanto al ecológico, se debe calcular la huella de carbono y otros posibles impactos. Por último, en los técnicos se debe tener en cuenta los tipos de paneles, eficiencia, radiación, entre otros.

4.2 Marco teórico - conceptual

A continuación, a través de revisión bibliográfica, se expondrán cada una de las teorías y/o términos relacionados con el diseño de un sistema de energía renovable fotovoltaica que nos ayude a comprender la viabilidad de su implementación para satisfacer una demanda significativa en el colegio IETD del municipio Monterrey, Casanare con los conceptos de sostenibilidad ambiental, enfocada al desarrollo territorial con utilización de energías alternativas.

Para contar con un futuro energético seguro se debe contar con una vía ambientalmente sostenible. La Asamblea General de las Naciones Unidas expresa por medio del Informe Brundtland titulado “Nuestro futuro común” (WCED, S. W. S, 1987) que el **desarrollo sostenible** se define como “...el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”, esto ha aparecido como el principio rector para el desarrollo del planeta a largo plazo, estableciendo los **Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)** los cuales contemplan 17 objetivos que buscan poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad. Es por esta razón, que las fuentes de energía renovables contribuyen al cumplimiento de los siguientes ODS:

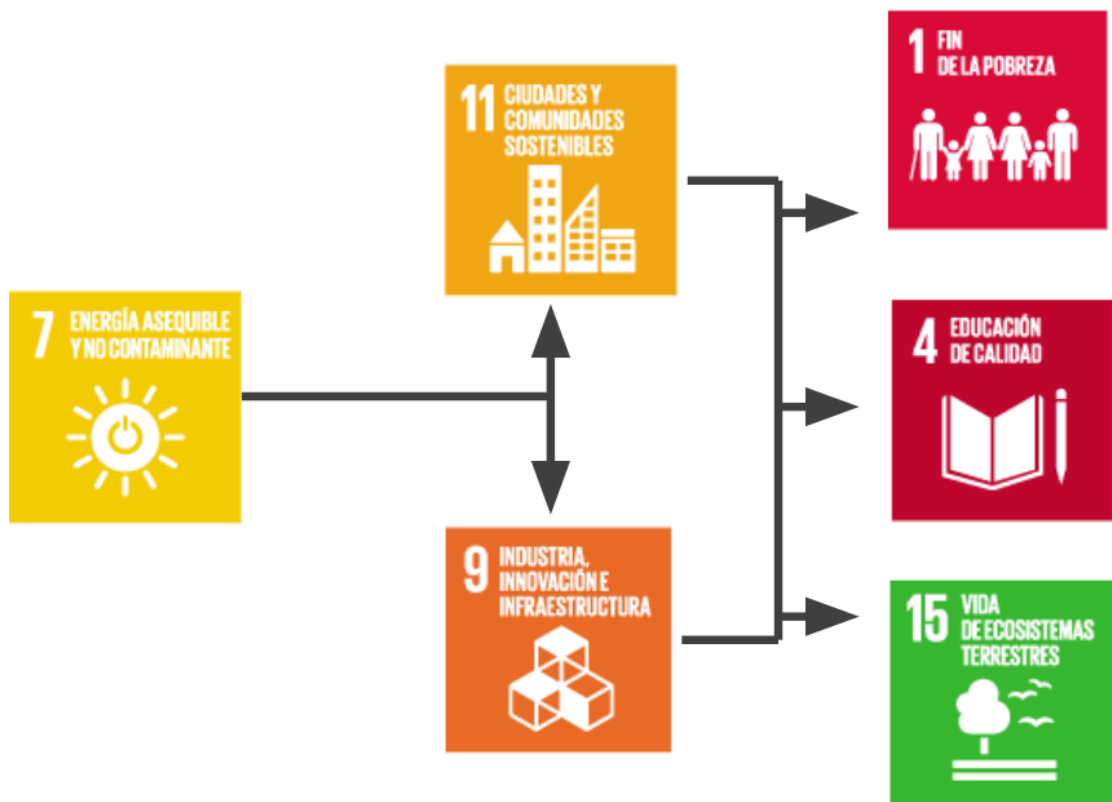


Figura 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible involucrados en el proyecto.

Fuente: Autores, 2021

En relación a lo anterior, (Sathaye, et al., 2011) afirman que la energía para el desarrollo sostenible tiene tres grandes pilares: i. mayor uso eficiente de la energía, ii. aumento en el uso de las energías renovables, y iii. aceleración en el desarrollo y crecimiento de nuevas y más eficientes tecnologías energéticas. Por su parte, las energías renovables y la sostenibilidad energética han tenido surgimiento desde dos puntos

distintos: Mientras que la primera es una respuesta a la preocupación acerca del agotamiento de los recursos naturales no renovables como los combustibles fósiles, la segunda es una respuesta a la degradación ambiental y a la disminución de la calidad de vida de las generaciones del presente y futuras. Ambos conceptos, hoy en día, tienen gran importancia en las agendas políticas de los gobiernos internacionales.

Ejemplo de esto es que, en la cumbre de París uno de los compromisos que tomó Colombia fue reducir hasta un 30% de sus emisiones proyectadas para el 2030. Esto debido a que contribuye al 0,46 % de las emisiones globales. Aunque esta cifra es baja, se estima que si no se realizan acciones las emisiones podrían aumentar alrededor de un 50% en 2030. Esta es una oportunidad para que el país modernice y transforme la economía, proteja los bosques, reduzca la deforestación y cuente con una industria eficiente, baja en carbono. Así mismo, es pertinente que se incentive y desarrolle fuentes alternativas de energía limpia que aseguren la confiabilidad del sistema eléctrico. (García Arbeláez, Vallejo López, Higgins, & Escobar, 2016)

Estas fuentes alternativas que se necesitan impulsar en el país son las **Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER)**, según la Ley 1715 de 2014 “Son aquellos recursos de energía renovable disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleados o son utilizados de manera marginal y no se comercializan ampliamente.” Así mismo, (Narváez Rincón, 2010), afirma que las FNCER son aquellas que no provienen de fuentes fósiles, entre las cuales se incluyen la el sol, viento, la que está en el interior de la tierra (geotérmica), agua (hidroeléctrica), energía oceánica, biomasa, biogás y la energía solar fotovoltaica que es la que se ocupa en el presente trabajo de investigación.

Así pues, se entiende que la **energía solar** es el recurso con mayor potencial en relación con las demás fuentes de energía alternativa y universalmente disponible (Jamar, Majid, Azmi, Norhafana, & Razak, 2016). Varios autores (Lewis, et al., 2005; Sathaye, et al., 2011) confirman que el Sol es un recurso sostenible y abundante para la generación de energía que se ha tenido. Esta es la principal fuente de energía del planeta que impulsa la circulación del viento y las corrientes oceánicas, el ciclo de evaporación y condensación del agua que lleva a la creación de ríos y lagos, y los ciclos biológicos de la fotosíntesis y la vida.

El Sol está localizado en uno de los focos de una elipse, la cual está incluida en el plano conocido como Eclíptica, en este la Tierra gira alrededor del Sol, ocurriendo la máxima distancia el 4 de julio (Afelio) siendo aproximadamente de 1.521×10^8 km, mientras que la distancia mínima se da el 31 de diciembre (Perihelio) estando a 1.471×10^8 km, lo que significa que la distancia media Tierra-Sol es de 1.496×10^8 km. No toda la radiación que llega al planeta alcanza la superficie terrestre, ya que al llegar a la atmósfera sufre una serie de fenómenos al estar en contacto con esta. La parte que ingresa sigue sufriendo cambios tales como: (1) absorción la cual se da por diferentes moléculas del aire como el O_3 , H_2O , O_2 , CO_2 , etc., (2) la difusión y, (3) la dispersión que se dan debido al choque de los fotones con las partículas y moléculas de la atmósfera (Chambi, 2018).

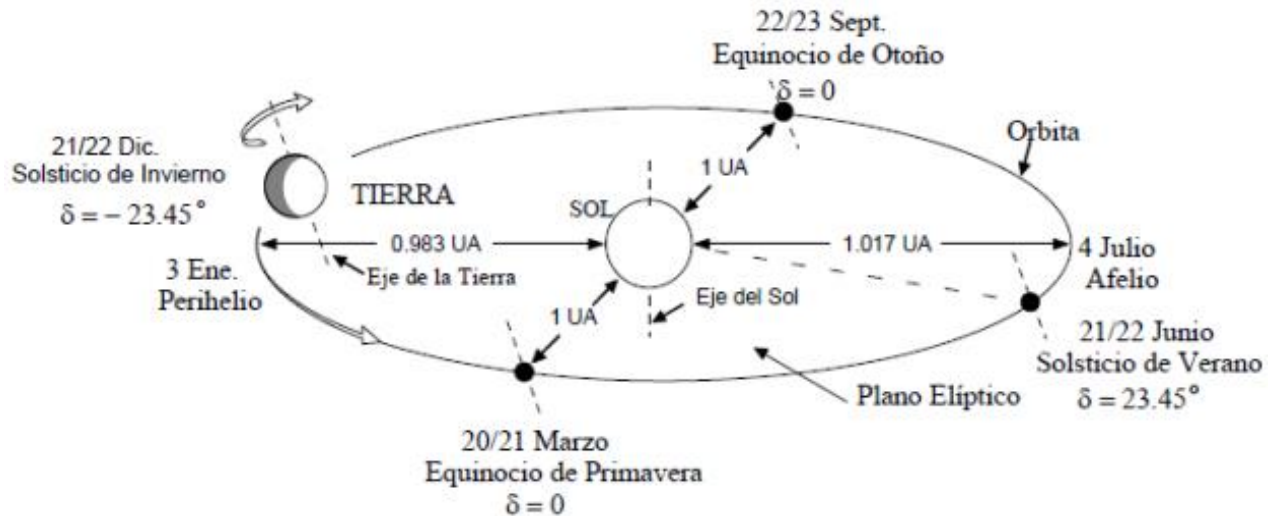


Figura 2. Órbita de la Tierra alrededor del sol.

Fuente: Chambi, 2018

Adicionalmente, el Sol emite energía en forma de radiación de onda corta. Luego de que pasa por la atmósfera, donde sufre los procesos de debilitamiento nombrados anteriormente, esta radiación solar llega a la superficie terrestre oceánica y continental que la refleja o la absorbe (IDEAM, 2014). La energía del sol llega a la Tierra en forma de radiación distribuida por todo el espectro de colores, desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. Todas las vías de utilización de la energía solar aprovechan las etapas funcionales de captación, conversión y almacenamiento (Lewis, et al., 2005).

En función de cómo reciben la radiación solar los objetos que están en la superficie terrestre se pueden distinguir los siguientes tipos de radiación:

1. La **radiación directa** la cual se refiere a aquella que llega desde el Sol en línea recta, sin que se desvíe ni disperse en su paso por la atmósfera. Dentro de este tipo de radiación se encuentra la radiación directa normal que incide perpendicularmente en el sistema que la capta. (Álvarez, 2019)
2. La **radiación difusa** es la que llega a la superficie de la tierra con un cambio de dirección al pasar por la atmósfera. Este desvío de los rayos solares se da por el choque con moléculas y partículas que tiene el aire. Ejemplo de esto, es la radiación que se recibe a través de las nubes, así como la proveniente del cielo azul. (Álvarez, 2019)
3. La **radiación reflejada** es la que proviene después de reflejar en objetos de la Tierra como una pared blanca, un lago, un charco, entre otros. También se conoce como “albedo”. (Álvarez, 2019)

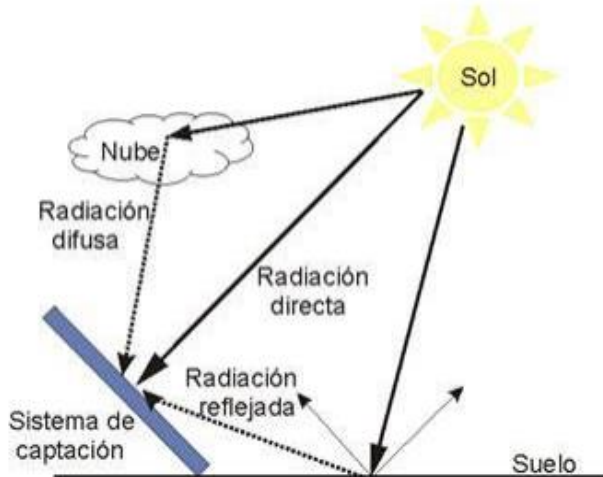


Figura 3. Radiación recibida sobre la superficie de la Tierra.
Fuente: Chambi, 2018

Por consiguiente, para poder transformar la radiación solar se hacen necesarias las **células solares**, las cuales se definen como pequeños elementos que se fabrican en materiales semiconductores cristalinos y con adiciones de ciertos tipos de impurezas. Normalmente, una célula solar se conforma por dos láminas muy delgadas de materiales semiconductores que se superponen: la primera de un cristal de silicio con impurezas de fósforo, y la segunda, de un cristal de silicio con impurezas de boro (Espejo, 2004).

Las **células** fotovoltaicas se fabrican a partir de materiales semiconductores siendo el Silicio el principal elemento con el cual estos se fabrican. Este es un elemento que en su estructura química tiene cuatro electrones por átomo en su órbita externa, lo que lo convierte en un material con una conductividad eléctrica alta pero a su vez con una resistividad baja. Como se observa en la figura 4, la célula se compone en primer lugar de un **material tipo n**, el cual se origina debido a que el Silicio se dopa con una cantidad menor de un elemento del grupo V ya sea fósforo, arsénico o antimonio, provocando que cada átomo del dopante forme un enlace covalente dentro de la red cristalina del silicio y queda un electrón suelto provocando una mayor conductividad en el material de la capa. En segundo lugar, el **material tipo p**, se forma gracias a la combinación de Silicio con un elemento del grupo III el cual puede ser boro, galio o indio, lo que conlleva a la generación de hueco en la red cristalina del silicio.

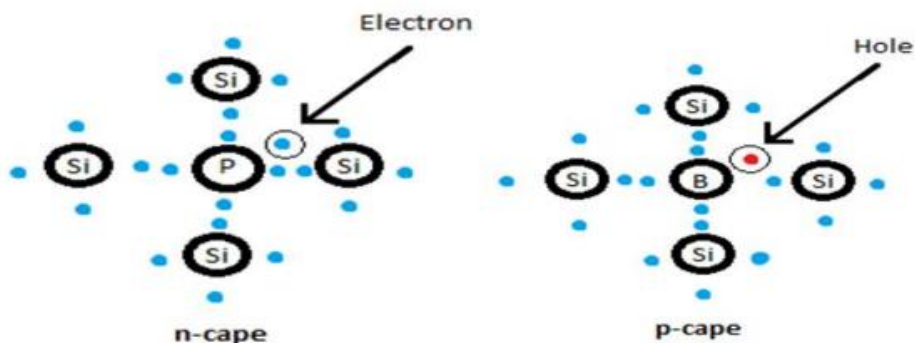


Figura 4. Funcionamiento de las capas n y p.
Fuente: Chaize & Digneaux, 2020

El Silicio es el segundo elemento más abundante de la corteza terrestre y se encuentra en forma de sílice (cuarzo). Por el momento, este material domina el mercado fotovoltaico, gracias a esto, las células fotovoltaicas según Iordan (2008), se clasifican los siguientes grupos:

1. **Monocristalinas:** son las que proporcionan el rendimiento más elevado (entre el 15 y el 18 % para las fabricadas en serie y hasta el 24 % en modelos de laboratorio). Se obtienen de silicio puro fundido y dopado con boro. Tienen el inconveniente de ser caras. Estas células son las más utilizadas en la actualidad.
2. **Policristalinas:** proporcionan un rendimiento del 12 al 14 %. Tienen la ventaja de un menor espesor, incluso de algunas micras. Se presentan en forma cuadrada aprovechando mejor el espacio, y tienen un menor coste al ser más delgadas. Su proceso de elaboración no es tan complicado como en el caso de la célula monocristalina.
3. **Silicio amorfo:** tienen una capacidad superior de absorción de la luz en relación con las células de silicio cristalino, pero proporcionan un rendimiento inferior al 10 %. Estas células se degradan con el paso del tiempo, pero se siguen estudiando porque los precios pueden ser muy competitivos.
4. **Bifaciales:** estas células son elaboradas con una doble unión N + - P - P+, lo cual permite aprovechar tanto la radiación frontal como la reflejada del suelo, llamada albedo. El rendimiento de estas células puede llegar al 30 % siempre que se tenga especial cuidado con la calidad de la superficie reflejada y las condiciones mecánicas de colocación del panel (Iordan, 2008).

Estas células funcionan a través del **efecto fotoeléctrico**, el cual es un principio físico sobre el que se ha basado el desarrollo de la tecnología de aprovechamiento directo de la radiación del sol para producir electricidad. Este efecto consiste según la propiedad de algunos materiales de aumentar su cantidad de electrones libres como respuesta a la incidencia de una radiación electromagnética (Ortiz J. D., 2013).

Este proceso se genera gracias a que en primer lugar se crea una diferencia de potencial entre ambas capas lo que favorece un intercambio de electrones de la capa n a la p. Posteriormente, para poder realizar este intercambio se necesita energía suficiente para superar la banda de conducción lo que provoca que dicha energía provendrá de la energía de los fotones contenidos en la radiación solar incidente generando de esta forma una corriente de electrones entre ambas capas, dando lugar a una corriente eléctrica en corriente continua, cuya tensión e intensidad dependerá de las características del panel y del número de paneles empleados.

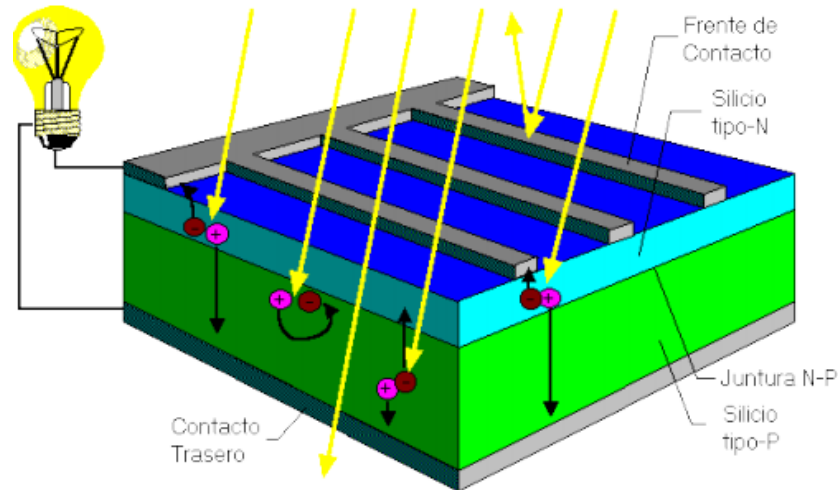


Figura 5. Efecto fotoeléctrico.
Fuente: Chaize & Digneaux, 2020

Una **célula solar** con una superficie de 100 cm^2 produce aproximadamente $1,5 \text{ W}$ con una tensión de $0,5 \text{ V}$ y una corriente de 3 A . Debido a estos valores correspondientes a la tensión y corriente no son suficientes para realizar alguna aplicación, por esta razón, es necesario agrupar varias células para conseguir niveles de tensión y corriente adecuados que permitan el desarrollo de una actividad en específico (Adler, Berardi, García Pedrosa, & Monticelli, 2013). Por lo anterior, surge el concepto de **módulo fotovoltaico**, el cual se define como la conexión de la célula una a otra encapsuladas y montadas sobre una estructura de soporte. Los módulos, se diseñan para el suministro de energía bajo un determinado voltaje de funcionamiento, el cual normalmente es de 12V o 24V , a su vez, esta depende del nivel de irradiancia que interactúe con el sistema (Barberá, 2012).

Por consecuencia, la mayoría de los **módulos fotovoltaicos** contemplan una conexión entre 36 y 96 células conectadas, estas pueden ser en serie o en un conjunto de conexiones en paralelo que posteriormente son conectadas en serie que garantizan una tensión y corriente adecuadas para el funcionamiento de una actividad específica. Adicionalmente, se debe proporcionar al conjunto de células una protección sobre los agentes atmosféricos, el cual, a su vez contempla un aislamiento eléctrico y una consistencia mecánica que permita seguridad en la práctica de estos sistemas (Adler, Berardi, García Pedrosa, & Monticelli, 2013). Un **panel** se define como la unión de varios módulos fotovoltaicos ensamblados sobre una estructura sencilla, lo que permite que la obtención de energía sea mayor y eficiente.

En un **String** o también llamado serie de paneles, todos los paneles se conectan en serie entre sí, es decir, se conectan el positivo de un panel con el negativo del siguiente y así sucesivamente hasta el último, obteniendo finalmente solamente un extremo positivo y uno negativo libres (Koochi-Kamali, Rahim, Mokhlis, & Tyagi, 2016). Una de las principales razones por las cuales se prioriza este tipo de conexión es porque se puede aumentar la potencia conectada de los módulos sin aumentar la corriente que circula. El límite para conectar paneles fotovoltaicos se limita por el máximo voltaje que pueden soportar los equipos donde se conecte el String o los mismos módulos solares fotovoltaicos (CNR, 2018).

Por otro lado, un **array** es la conexión de 2 o más strings en paralelo, al realizar esta conexión la corriente resultante del array es equivalente a la suma de las intensidades de cada uno de los strings. Por otro lado, la tensión es equivalente al voltaje del string de menor tensión (Pérez, 2020).

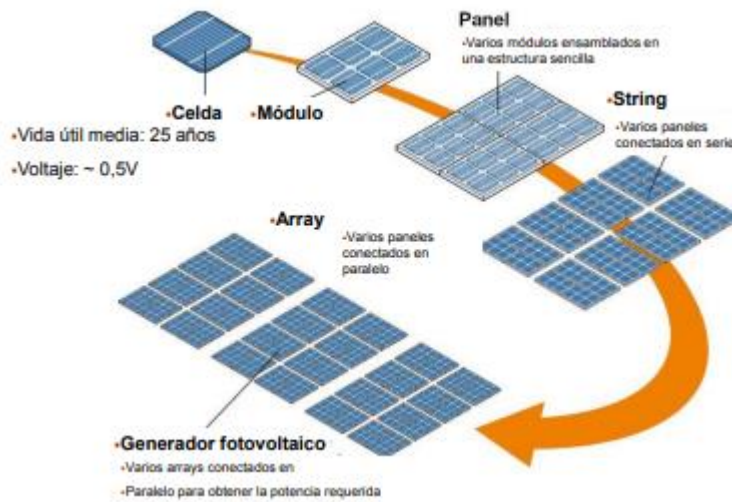


Figura 6. Composición de paneles y arreglos fotovoltaicos.
Fuente: ABB Group, 2015

Otro componente importante de un sistema solar fotovoltaico conectado a red es el **inversor**, este se encarga de transformar la corriente continua (figura 7) que es generada por los paneles fotovoltaicos en corriente alterna. Además, optimiza el rendimiento del panel, monitoriza el funcionamiento del sistema y protege al sistema de sobretensiones o cortocircuitos.

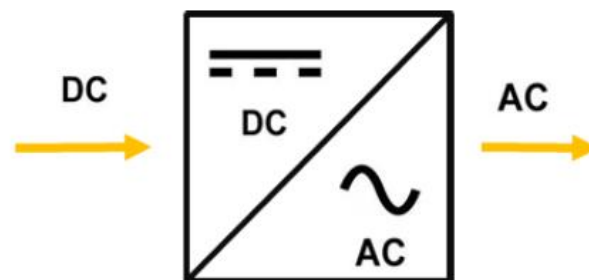


Figura 7. Funcionamiento inversor.
Fuente: Borja, 2020

Finalmente, el sistema requiere de un **contador bidireccional o medidor** que se encargue de medir en primer lugar la energía eléctrica proporcionada a la red por parte del sistema solar fotovoltaico propuesto, y por otra parte, cuantificar el consumo de la institución en ausencia de radiación para realizar el cálculo de su posterior retribución económica (Pep Puig, 2008).

Por lo anterior, un **sistema solar fotovoltaico** se define como un conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que se encargan de captar la energía solar en forma de w disponible para

convertirla en energía eléctrica. Por lo anterior, se puede identificar que los sistemas solares fotovoltaicos se componen de un panel, baterías, inversor, medidor y módulos (Perpiñán, 2013).

Las condiciones del funcionamiento de un **módulo fotovoltaico** dependen de variables como la radiación del sol y la temperatura de funcionamiento. Es por esto que para la medida y comparación adecuada de los distintos módulos se han definido algunas condiciones de trabajo nominales o estándar. Las condiciones se han normalizado para una temperatura de funcionamiento de 25°C y una radiación del sol de 1000 W/m². Teniendo en cuenta que las unidades de **potencia eléctrica** son el vatio (W), kilovatios (kW) y megavatio (MW), la potencia de un módulo es expresada en vatios pico (Wp) y se refiere a la potencia que se suministra en condiciones normalizadas (Espejo, 2004).

Por lo tanto, estos sistemas independientemente de su uso y potencia, se pueden dividir en dos categorías: Sistema autónomo y sistema conectado a red (Figura 8).

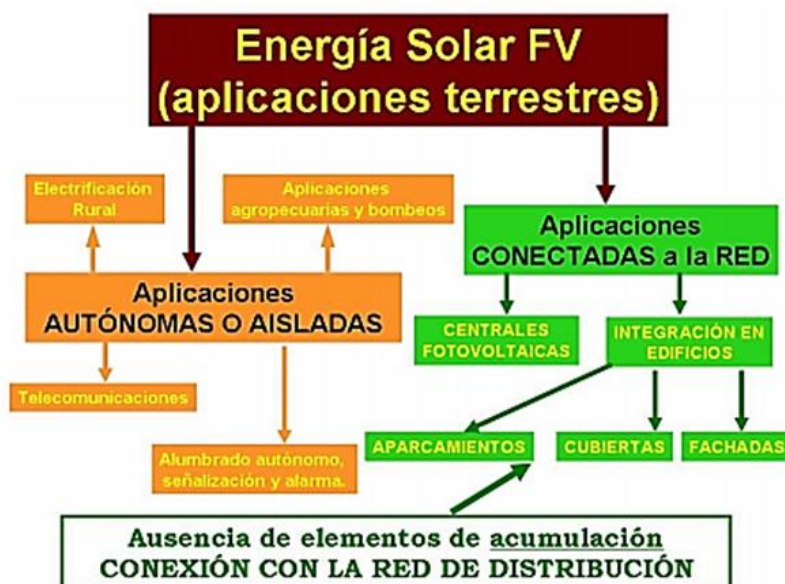


Figura 8. Clasificación de los sistemas fotovoltaicos.

Fuente: Cohaila, 2018

Los **sistemas fotovoltaicos autónomos** (SFA) no necesitan una conexión a red eléctrica, debido a que su funcionamiento es independiente. Estos sistemas tienen una estructura distinta en función de los elementos que lo componen, se puede distinguir en 3 tipos: Directamente conectado a una carga, con regulador de carga y batería, y con regulador de carga, batería e inversor. Estos se caracterizan por ser un sistema orientado a cubrir la demanda de energía eléctrica para una zona aislada de la red eléctrica (Mejía, 2018; Gómez & Mayorga, 2020).

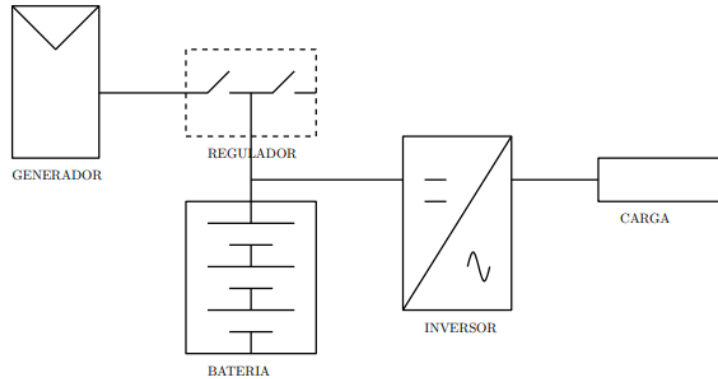


Figura 9. Esquema general básico de un sistema fotovoltaico autónomo.

Fuente: Perpiñán, 2013

Por otro lado, un **sistema fotovoltaico conectado a la red** (SFCR) está conformado por un generador fotovoltaico que con la ayuda de un inversor opera en paralelo a la red eléctrica. El concepto de SFCR es compatible con un amplio margen de instalaciones las cuales pueden ir desde centrales de varios megavatios hasta pequeños sistemas de unos cuantos kilovatios (Gómez & Mayorga, 2020; Cohaila, 2018).

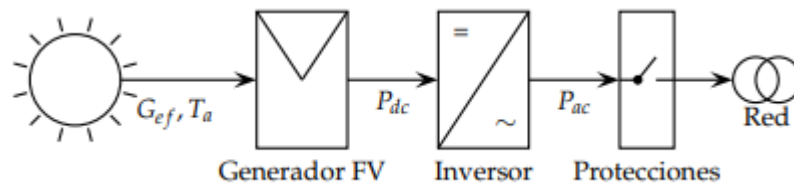


Figura 10. Esquema general básico de un sistema fotovoltaico conectado a la red.

Fuente: Perpiñán, 2013

Por otro lado, para la implementación de módulos fotovoltaicos es importante tener en cuenta variables económicas como lo es la **Tasa Interna de Retorno (TIR)** y **Valor Presente Neto (VPN)**, la primera se entiende como el lapso temporal en el que se ve reflejado un porcentaje establecido de la inversión inicial, este se debe reflejar una vez el proyecto ya haya sido implementado y la puesta en marcha sea favorable (Camacho, 2020). Así mismo, Crawford (2019) la define como “aquella tasa de interés que hace igual a cero (0) el valor presente neto de un proyecto”, este es uno de los índices que más aceptación tiene para la evaluación financiera de los proyectos puesto que mide la rentabilidad de una inversión. Esta tasa es evaluada de manera anual para poseer un registro organizado y facilitar el análisis en proyectos con altos lapsos de implementación.

El VPN hace referencia a traer a valor presente, utilizando una tasa de descuento adecuada, todos los flujos (positivos o negativos) que se relacionan en el proyecto. Es el que más se utiliza ya que pone en pesos de hoy tanto los ingresos como los egresos futuros, facilitando la decisión desde el punto de vista financiero, de realizar o no un proyecto. Esta variable se basa en la inversión económica la cual se utilizó desde un tiempo inicial hasta el resultado final del proyecto. Se debe determinar la inversión inicial, costos de mantenimiento y costo de reemplazo de equipos. Además, los ingresos del mismo, que en este caso es la energía que se genera por el sistema fotovoltaico. Esto da como resultado un ahorro para la empresa, pues se reducen los costos en la factura de energía (Crawford, 2019; Camacho, 2020).

El VPN es una operación con fundamentos matemáticos en la que se debe restar en totalidad la suma de

los diferentes flujos ante la cantidad matemática de la inversión inicial. Posee características para concluir la factibilidad de un proyecto el cual se basa en un valor menor o mayor a cero. Si el valor que se obtiene en el VPN es mayor o igual a cero se tienen altas posibilidades de aceptar un proyecto de inversión, mientras que, en el caso contrario el proyecto debe ser rechazado ya que su viabilidad no es notoria para una posible inversión (Crawford, 2019).

Adicionalmente, otra variable fundamental para el proyecto es la estimación de la **huella de carbono** la cual es una herramienta que calcula de manera simple mediante patrones previamente establecidos la cantidad de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que producen las diferentes actividades humanas y que de manera directa contaminan la atmósfera ocasionando que la radiación solar no tenga la posibilidad de seguir su ciclo natural. Las unidades en las cuales se representa la huella de carbono es en toneladas o kilos de CO₂, esta medida es equivalente a la concentración de GEI. El cálculo de la huella de carbono tiene tres alcances principales los cuales son: cálculos de emisiones directas correspondiente al uso de combustibles de tipo fósil, cuantificación de las emisiones indirectas que son producidas por el consumo de carga eléctrica y, por último, se analizan las emisiones indirectas que son asociadas a los bienes y servicios correspondientes al objeto de estudio específico (Camacho, 2020).

Las teorías y conceptos mencionadas en este apartado ayudaron al diseño del sistema solar fotovoltaico conectado a red en el Instituto Educativo Técnico Diversificado.

4.3 Marco normativo y legal

En este marco se describe la normatividad legal vigente necesaria para el desarrollo del diseño del sistema solar fotovoltaico estipuladas por el Ministerio de Minas y Energía y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Tabla 1.

Normatividad nacional.

Acto normativo	Declarado por	Contenido general	Contribución al trabajo investigativo
Resolución No. 030 de 2018	Ministerio de Minas y Energía	Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional	Esta resolución aplica a los autogeneradores a pequeña escala y generadores distribuidos conectados al SIN, a los comercializadores que los atienden, a los operadores de red y transmisores nacionales. También aplica a las conexiones de los autogeneradores a gran escala mayores a 1 MW y menores o iguales a 5 MW. Esta resolución no aplica para sistemas de suministro de energía de emergencia, existentes o nuevos.
La Ley 1715 de 2014	Congreso de la República	Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.	Esta ley tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional. Así mismo, autoriza la entrega de excedentes de energía a la red por parte de los autogeneradores y le otorga a la CREG la facultad de establecer los procedimientos para la conexión, operación, respaldo y comercialización de energía de la autogeneración y de la generación distribuida. Así mismo, establece la aceptación de medidores bidireccionales de bajo costo para esta actividad.
Constitución Política de Colombia 1991	Corte Constitucional	Establece que los servicios públicos son inherentes a la finalidad social del Estado y es deber de éste asegurar su prestación eficiente a todos los habitantes del territorio nacional.	La constitución en el artículo 365, nos brinda argumentos para garantizar un uso eficiente de la energía que se logre producir en el sistema solar fotovoltaico, con la regulación establecida mediante la CREG y distintos entes reguladores.

Acto normativo	Declarado por	Contenido general	Contribución al trabajo investigativo
Ley 23 de 1973	Congreso de la República	Por el cual se conceden facultades extraordinarias al presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente y se dictan otras disposiciones	Concede facultades extraordinarias al presidente de la República para expedir el Código Nacional de los Recursos Naturales y de protección al medio ambiente, según el Artículo 1. Es objeto de la presente ley prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y buscar el mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales renovables, para defender la salud y el bienestar de todos los habitantes del Territorio Nacional. Artículo. 2. El medio ambiente es un patrimonio común; por lo tanto, su mejoramiento y conservación son actividades de utilidad pública, en las que deberán participar el Estado y los particulares. Para efectos de la presente Ley, se entenderá que el medio ambiente está constituido por la atmósfera y los recursos naturales renovables. Artículo. 3. Se consideran bienes contaminables el aire, el agua y el suelo
Ley 142 de 1994	Congreso de la República	Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.	Son funciones y facultades especiales de la CREG, entre otras, las de regular el ejercicio de las actividades de los sectores de energía y gas combustible para asegurar la disponibilidad de una oferta energética eficiente; propiciar la competencia en el sector de minas y energía y proponer la adopción de las medidas necesarias para impedir abusos de posición dominante y buscar la liberación gradual de los mercados hacia la libre competencia; y establecer criterios para la fijación de compromisos de ventas garantizadas de energía y potencia entre las empresas eléctricas y entre éstas y los grandes usuarios.

Nota. Esta tabla muestra la normatividad aplicable al proyecto de energía solar fotovoltaica (Autores, 2021)

4.4 Marco geográfico

El marco biogeográfico y sociocultural corresponde al municipio de Monterrey departamento de Casanare. A continuación, se describe la zona de interés y en la Figura 11 se encuentra el mapa de la ubicación para otorgar una mayor claridad.

4.4.1. Macrolocalización

El municipio de Monterrey tiene una extensión total de 879,57 km² y contempla una población de 14,820 habitantes, constituido en 12,515 habitantes en la zona urbana y 2,305 habitantes en la zona rural. Por otra parte, el municipio tiene una temperatura media de 27°C y su división político-administrativa contempla 25 veredas, además, limita con el municipio de Páez Boyacá, Tauramena, Villanueva y Sabanalarga (figura 11). Así mismo, se encuentra localizado sobre territorios quebrados que sobresalen como accidentes orográficos que corresponden al relieve de la vertiente oriental de la cordillera Oriental. Debido a su conformación topográfica tiene pisos térmicos cálidos y medio (CORPORINOQUIA, 2017).

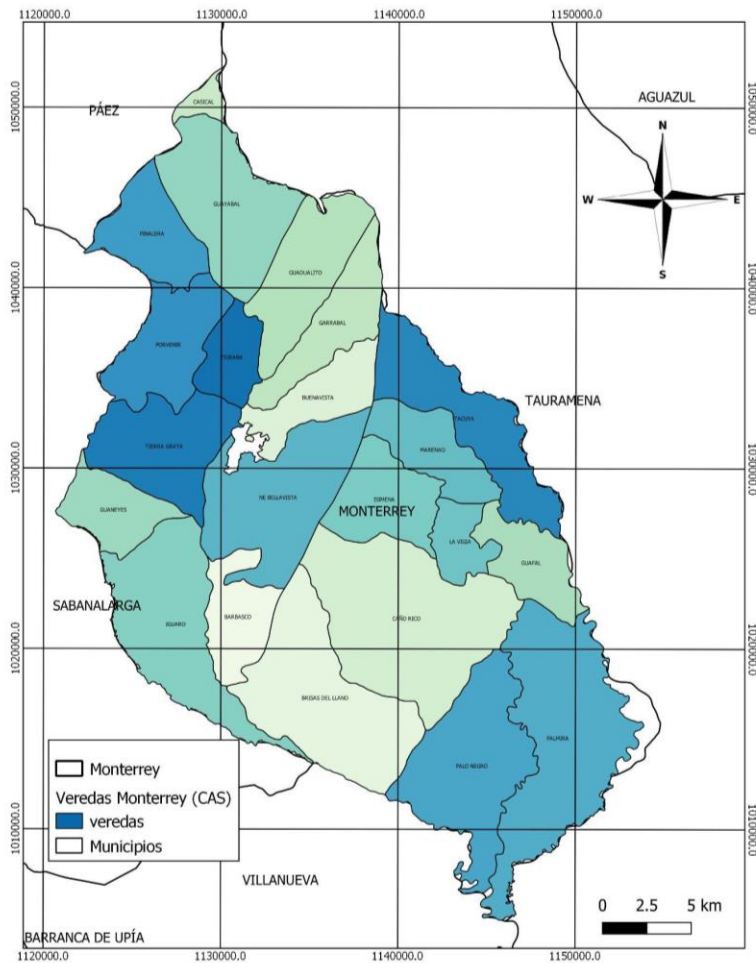


Figura 11. Macrolocalización del proyecto.

Fuente: Autores, 2021

4.4.2. Microlocalización

El Instituto Educativo Técnico Diversificado está ubicado en el casco urbano del Municipio de Monterrey Casanare, Colombia. De acuerdo a la figura 12 y 13 se observa que este limita al norte con los barrios Olímpico y Paraíso (calle 4 y 5), al sur con el barrio las palmas (calle 1ª A), al oriente con el barrio 16 de Septiembre y Julia Luz (carrera 10ª A) y al occidente con barrio Villas del Bosque (Carrera 11-Avenida tulio Bautista), por otro lado, la institución está conformada por 1452 estudiantes, 32 profesores, 15 administrativos y 8 personal de apoyo. Además, las principales actividades que se realizan en la institución se ejecutan entre las 6:30 a.m. a 5:00 p.m. la cual representa la jornada estudiantil, adicionalmente, en los meses de abril y septiembre se realizan actividades de demostración académica durante una semana. Finalmente, la institución académica se puede zonificar en 3 áreas, la primera corresponde al área de aulas académicas, la segunda hace referencia al área de dirección y administración y la tercer a los talleres de las distintas modalidades que ofrece el IETD, estas se logran visualizar en la figura 12 de color verde, amarillo y rojo respectivamente (IETD, 2021).



Figura 12. Microlocalización y área del proyecto.
Fuente: IETD, 2021



Figura 13. Microlocalización del proyecto.
Fuente: Autores, 2021

4.5 Marco institucional

Con el objetivo de obtener información acerca de los consumos y requerimientos energéticos del colegio Instituto Educativo Técnico Diversificado para su posterior análisis y diseño del sistema en el área de estudio, es fundamental interpretar las responsabilidades que contemplan los distintos actores involucrados, con el propósito de acudir a estos para establecer información precisa y la situación energética, de acuerdo a esto se estableció que las instituciones a nivel regional y local que se ven involucradas son:



Figura 14. Instituciones involucradas.
Fuente: Autores, 2021

El Instituto Educativo Técnico Diversificado es una sede educativa encaminada a orientar estudiantes en la parte técnica, ofrece cinco modalidades (Mecánica automotriz, electricidad, dibujo técnico, Secretariado contable y metalistería) las cuales requieren de condiciones especiales para su funcionamiento. La institución presenta educación preescolar, básica primaria, básica secundaria, media técnica y técnica (IETD, 2021). Este actor nos permite estudiar la zona de acuerdo con la información suministrada por medio de planos, datos de población y necesidades que presenta la sede.

La alcaldía municipal de Monterrey, Casanare se encarga de priorizar la atención de la administración municipal en la gestión para elevar las coberturas o reducir el déficit y mejorar la calidad de los servicios públicos agua potable, saneamiento básico, salud, vivienda, transporte, energía eléctrica, gas, comunicaciones y bienestar social en general en pro del mejoramiento de la calidad de vida de la población regiomontuna (Alcaldía Municipal de Monterrey, 2021). Esta entidad brinda los registros de consumo energético que se presentan en la sede educativa permitiendo realizar los cálculos pertinentes para el diseño del sistema en la institución.

ENERCA S.A E.S.P se encarga de prestar el servicio de distribución y comercialización de Energía Eléctrica y Gas, de acuerdo a procesos de calidad, contribuyendo al bienestar de grupos de interés y el desarrollo de la región (Enerca S.A E.S.P., 2021). Gracias a esto, se logra establecer las características de la red de distribución la cual establecerá el sistema de mayor beneficio a implementar en la zona de estudio.

5. Metodología de investigación

En este capítulo la metodología que se desarrolla parte desde un enfoque mixto, debido a que los instrumentos y herramientas empleados permitirán realizar el análisis del diseño del sistema de energía solar fotovoltaica en el IETD, de acuerdo a esto, se ejecutó el siguiente diseño metodológico y plan de trabajo.

5.1 Diseño metodológico

En este apartado se desarrollan y justifican tres fases, para cada objetivo específico en donde se observan los diferentes procesos, técnicas e instrumentos del método científico, que se utilizan para abordar el objeto de estudio y para recolectar, organizar, analizar e interpretar la información.

Tabla 2.
Diseño metodológico.

	FASE I	FASE II	FASE III
	Objetivo Específico 1	Objetivo Específico 2	Objetivo Específico 3
	<p>Interpretar la incidencia de radiación solar en un periodo anual para el área de estudio, así como los tipos de panel y sistemas que generan una mayor eficiencia.</p>	<p>Calcular la producción energética y demanda de energía a captar de acuerdo al área disponible para elaborar el diseño de generación en el colegio IETD de Monterrey, Casanare.</p>	<p>Evaluar los beneficios ambientales por la implementación del sistema solar fotovoltaico en la zona de estudio.</p>
Método	<p>El método que se emplea en este proyecto es de carácter deductivo ya que partimos de lo general de acuerdo al estudio de la energía solar para llegar a un resultado particular como lo es el diseño de un sistema solar fotovoltaico específico que corresponda a las características propias del área de estudio dando respuestas válidas a la pregunta de investigación propuesta, para así realizar predicciones lógicas. Por otra parte, se emplea el método comparativo con la búsqueda sistemática de estudios que comprendan características ambientales similares a las del área de estudio para dar respuestas con criterio a la implementación de sistemas solares fotovoltaicos.</p>		

Enfoque	<p>El enfoque de la investigación es de tipo mixto en relación con los objetivos planteados, ya que permite analizar las características de mayor relevancia de la zona de estudio relacionando los aspectos cualitativos como cuantitativos, para obtener los resultados esperados. Este método, nos permite analizar la problemática que se genera por el escaso uso de la generación de energía proveniente de fuentes no convencionales como lo es la energía solar, la cual a su vez trae una gran cantidad de beneficios sociales, económicos y ecológicos. Por esta razón, el desarrollo de la propuesta requiere de una investigación cualitativa y cuantitativa de la toma de datos, el desarrollo de modelos y la aplicación de fórmulas, debido a que se debe realizar una revisión bibliográfica para caracterizar la incidencia de la radiación solar y poder establecer mediante la aplicación de SIG la factibilidad del proyecto en la zona de estudio.</p>
---------	--

Alcance	<p>En la primera etapa del proyecto el alcance es descriptivo debido a que se buscan especificar las propiedades y características de la incidencia de radiación solar, así mismo, la eficiencia de los distintos tipos de paneles y sistemas fotovoltaicos.</p> <p>El alcance es descriptivo porque se buscan establecer los procesos de los cálculos y necesarios para hallar la producción energética y demanda de energía a captar de acuerdo al área disponible.</p> <p>Para esta fase se requiere analizar los resultados obtenidos en las fases anteriores, por lo que el alcance es correlacional, ya que tanto las características físicas de la zona de estudio como los resultados obtenidos en los cálculos permiten evaluar los beneficios ambientales por la implementación del sistema solar fotovoltaico.</p>
---------	--

Unidad de Análisis	<p>La unidad de análisis durante toda la investigación es el territorio del colegio Instituto Educativo Técnico Diversificado</p>
--------------------	---

Recolección de información	T é c n i c a s	Recopilación y análisis documental	Visita técnica a campo y análisis documental	Recopilación y análisis documental
----------------------------	--------------------------------------	------------------------------------	--	------------------------------------

	Reconocimiento de la zona de estudio por medio del POT municipal y SIG, registro de información mediante diario de campo y registro fotográfico, consulta de perfiles por hora promedio y de promedios mensuales de irradiación con la aplicación online Global Solar Atlas	Artículos científicos, trabajos de grado, diario de campo	Artículos científicos, trabajos de grado, diario de campo	
Organización, sistematización y análisis	Técnicas	Análisis documental y cálculos	Cálculos	Análisis documental
	Instrumentos	Tablas y gráficas en formato de Excel, así como Atlas Interactivo de radiación del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM y en la aplicación Global Solar Atlas.	Tablas y gráficas en formato de Excel.	Tablas y gráficas en formato de Excel.
Interpretación	Técnicas		Análisis de contenido	

Nota. Esta tabla muestra la metodología aplicada para cada uno de los objetivos específicos (Autores, 2021)

5.1.1 Metodología primer objetivo “Interpretar la incidencia de radiación solar en un periodo anual para el área de estudio, así como los tipos de panel y sistemas que generan una mayor eficiencia”

5.1.1.1 Reconocimiento factores geológicos de la zona

Para asegurar la utilidad del sistema fotovoltaico según Hung (2011), primero fue necesario realizar un proceso de reconocimiento de la zona. Por lo tanto, se tomó como punto de partida la identificación de los factores geológicos del municipio de Monterrey, a partir de la documentación suministrada por la entidad del estudio general de factores climáticos, suelos y zonificación de tierras del departamento de Casanare, escala 1.100.000 desarrollado por el IGAC en el año 2014 y capas base obtenidos del SIGOT.

5.1.1.2 Reconocimiento factores meteorológicos y climáticos de la zona

Además, se realizó la interpretación de los factores climáticos obtenidos de la base de datos de WorldClim, teniendo en cuenta la temperatura, el viento y la radiación solar que inciden en el área de estudio para su posterior visualización e interpretación en Rstudio y comparación con la información obtenida de Atlas Solar y la base de datos de Weather Spark. Lo anterior, debido a que se suele despreciar el comportamiento de los módulos fotovoltaicos y de esta manera la eficiencia del sistema (Acevedo, 2013).

5.1.1.3 Análisis de los distintos sistemas solares fotovoltaicos

De acuerdo con Mejía, (2018); Gómez & Mayorga (2020) se analizó el desempeño de los sistemas fotovoltaicos aislados y conectados a red. Lo anterior, mediante la revisión de diferentes estudios para identificar las tecnologías y componentes fotovoltaicos más convenientes con mayor eficiencia que permite obtener un mejor beneficio.

5.1.1.4 Evaluación de los tipos de paneles solares

Luego de esta inspección se realizó un análisis de distintos tipos de paneles, posteriormente, se escogió el más adecuado (Camacho, 2020). Para esto:

- a. Se consideraron varias opciones de paneles fotovoltaicos.
- b. Se obtuvieron las dimensiones de los diferentes paneles a elegir.
- c. Se eligió la opción más adecuada teniendo en cuenta la comparación realizada de acuerdo a la eficiencia y características de la composición de los mismos.

5.1.2 Metodología segundo objetivo “Calcular la producción energética y demanda de energía a captar de acuerdo al área disponible para elaborar el diseño de generación en el colegio IETD de Monterrey, Casanare”

5.1.2.1 Caracterización de la zona

Se solicitó el plano del colegio IETD, junto con el área disponible para uso directamente al área encargada, obteniendo como respuesta una serie de planos del edificio, a lo que se le calculó el área del tejado para la realización de la proyección de la cantidad de paneles que se pueden utilizar en el área disponible (Benito & Ruiz, 2018).

Según Camacho (2020), para el diseño es importante realizar:

- a. Inspección del lugar donde se desea realizar la instalación de los paneles y se determina la superficie en la que se van a instalar de acuerdo a un análisis del área e interconexión, en el cual se analiza el fácil acceso al punto de instalación. Este estudio fue fundamental para tener una buena proyección económica.
- b. Se identificó si el lugar disponible tenía orientación hacia el sur.
- c. Si es un tejado, se debe determinar si la instalación sobre la superficie será inclinada o plana para establecer la inclinación del mismo si se presenta. Además, los módulos deben quedar ventilados correctamente ya que pueden producir sobrecalentamientos si no se les da una separación apropiada, lo cual puede provocar disminución de rendimiento.
- d. Se identificó si la estructura está en condiciones adecuadas para soportar la instalación.
- e. Finalmente, se verificó evitar o minimizar las sombras correspondientes a elementos externos como edificios o árboles.

5.1.2.2 Consumo energético del Instituto Educativo Técnico Diversificado

$$\underline{x} = \frac{\sum_{i=1}^N \cdot Xi}{N}$$

5.1.2.3 Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico

Para el dimensionamiento del sistema solar fue necesario el desarrollo de las siguientes etapas:

- a. Características de panel solar
- b. Cálculo número de paneles

Se encontró el área que ocupa un panel solar y se realizó el cálculo del número de paneles necesarios para suplir la demanda de energía de acuerdo al área disponible en la institución.

$$\text{Número de paneles} = \frac{\text{área disponible}}{\text{área del panel}}$$

c. Potencia del arreglo y perdidas

Potencia del arreglo (Pa): Número de paneles * Potencia del panel

d. Irradiancia mensual

Posteriormente, se identificó el valor de irradiación para cada mes en kWh/m² mediante la base de datos obtenida del proyecto POWER del Centro de Investigación Langley de la NASA (LaRC) (Benito & Ruiz, 2018).

e. Hora solar pico

De acuerdo al valor de irradiación se procedió a encontrar el valor correspondiente a la Hora Solar Pico.

$$\text{Horas de Pico Solar (HPS)} = R / I(\text{CEM})$$

Donde:

R: Valor de irradiancia mensual

I(CEM): 1 kW/m²

f. Carga CA

Se identificó la carga final del sistema contemplando las eficiencias de los equipos seleccionados

$$\text{Cargas CA (kWh/día)} = Pa * EI * ER * HPS$$

Donde:

Pa: Potencia del arreglo

EI: Eficiencia del inversor

ER: Eficiencia del regulador

HPS: Hora de pico solar

g. Cálculo de la generación

Se realizó el cálculo de cargas o de generación de energía del sistema para cada uno de los meses haciendo uso de la herramienta Excel.

h. Cálculo de excedente de generación mensual

Para el cálculo de los excedentes por mes se realizó la resta de la cantidad de energía generada y la energía consumida para cada mes del año estudiado.

i. Distribución del arreglo fotovoltaico

La unión entre un generador fotovoltaico y un inversor implica elegir el número de módulos que componen cada rama y el número de ramas que componen el generador. El número de módulos que hay en cada rama determinará el rango de tensiones que entregará el generador, mientras que el número de ramas impondrá el valor máximo de corriente que el generador es capaz de proporcionar (Perpiñán, 2013).

j. Selección de Inversor y contador bidireccional

Según Perpiñán (2013) el fabricante del inversor elige los componentes para soportar una corriente máxima admisible. El inversor es capaz de autoprotgerse ante valores superiores a este umbral desplazando el punto de funcionamiento del generador.

5.1.2.4 Sistema solar fotovoltaico

Se diseñó de acuerdo a los valores obtenidos de medidas de los distintos componentes del sistema los cuales fueron estipulados y diagramados mediante la herramienta de AutoCAD 2D en el cual se observa la distribución de los paneles en el área establecida.

5.1.3 Metodología tercer objetivo “Evaluar los beneficios ambientales por la implementación del sistema solar fotovoltaico en la zona de estudio”

5.1.3.1 Cálculo de la huella de carbono

Se cuantifica la huella de carbono del colegio IETD por parte de su consumo de energía, a través de la Calculadora Fecoc 2016, teniendo en cuenta que un kW que se consume produce 0,1990 kg CO₂, para esto se usó la siguiente ecuación.

$$HC = \text{Consumo} * \text{Factor de emisión}$$

Adicionalmente a esto, se realizó una gráfica de comparación de la huella de carbono con SFV y sistema convencional (Rodríguez & Gutiérrez-Fernández, 2018)

Para encontrar el valor de la estimación se utilizaron las siguientes fórmulas (Rodríguez & Gutiérrez-Fernández, 2018):

$$HC = \% \text{ de energía a reemplazar} \times \text{factor de emisión}$$

En donde:

HC: Huella de carbono del sistema

% energía a reemplazar: Es el valor a estimar 100%.

Factor de emisión: Es 0,166 kg CO₂eq/kWh para la generación eléctrica.

Por otro lado, con la siguiente ecuación se encontró la reducción de HC para el IETD.

$$\text{Reducción de HC} = HC_{\text{Promedio IETD}} - HC$$

5.1.3.2 Registro de los valores económicos de costos y beneficios

Según Benito y Ruiz (2018), se debe calcular cada uno de los indicadores que se requieren para la anotación de los valores económicos de los costos y beneficios de la implementación del proyecto, tales como el periodo de recuperación, la tasa simple de rendimiento, la tasa promedio de rendimiento, el valor presente neto y la tasa interna de rendimiento.

Matemáticamente hablando la TIR es la tasa a la cual el VPN se hace igual a cero:

$$VPN = \sum F_n(1+i)^{-n} = 0$$

(Crawford, 2019)

Por otro lado, la fórmula para hallar el VPN se muestra a continuación:

$$VPN = \sum F_n(1+i)^{-n} = F_0 + F_1(1+i)^{-1} + F_2(1+i)^{-2} + \dots + F_n(1+i)^{-n}$$

(Crawford, 2019)

Donde i es la tasa a la cual son descontados los flujos de caja y es denominada Tasa de Interés de Oportunidad (TIO) que es la tasa de interés más alta que un inversionista sacrifica con el objeto de realizar un proyecto.

Finalmente, se calculó el periodo de retorno (PR).

5.1.3.3 Formulación del programa ambiental escolar (PRAE)

5.2 Plan de Trabajo

5.2.1 Cronograma

Este está estipulado en el cronograma de actividades el cual está definido para lograr el desarrollo de los objetivos propuestos de acuerdo con las actividades necesarias para el cumplimiento de los mismos. Para el primer objetivo, realizó la revisión bibliográfica sobre el diseño de sistemas fotovoltaicos, del recurso energético y condiciones geográficas, meteorológicas y climatológicas de la zona en estudio, así mismo, la identificación de actores involucrados y una revisión sobre la eficiencia de los sistemas solares fotovoltaicos y sus componentes. Para el segundo objetivo, se consultó los consumos históricos y datos pertinentes de las actividades académicas del IETD, también, se establecieron las fórmulas pertinentes para estimación de la magnitud del sistema solar y se dimensionó el sistema de acuerdo el área disponible. Finalmente, el tercer objetivo estableció el aprovechamiento de la conexión a la red, así mismo, se realizaron los análisis de los costos relacionados con el proyecto y la reducción de la emisión de gases efecto invernadero por la producción de forma convencional de la energía eléctrica nacional, además, se realizó la elaboración de la ficha del PRAE para implementar un proyecto de educación ambiental en la institución.

Así mismo, para el buen desarrollo del proyecto se definen 3 fases principales las cuales están estipuladas de la siguiente forma:

Primera fase: Durante el desarrollo de la asignatura de seminario de investigación se identificó el problema, se plantearon los objetivos y se identificaron los actores involucrados junto con la caracterización del recurso energético de la zona de estudio.

Segunda fase: Corresponde a la asignatura de proyecto de grado I en donde se establecerán y usarán las ecuaciones pertinentes para la estimación de la magnitud del parque solar. Finalizando esta fase se hará un análisis de los beneficios sociales, económicos y ecológicos que trae el proyecto.

Tercera fase: En proyecto de grado II se calcula la reducción de Gases de Efecto Invernadero, se realizará la propuesta de diseño del sistema solar fotovoltaico y la construcción del documento. Se finaliza con la sustentación.

5.2.2 Presupuesto

De igual forma, se elaboró el presupuesto el cual cuenta con los insumos y gastos necesarios para el desarrollo de las actividades pertinentes estipuladas en el cronograma en las cuales se contemplan el desplazamiento, alimentación, alojamiento, instrumentos imprevistos, entre otros.

5.2.3 Esquematación de las diferentes etapas y fases del trabajo de investigación

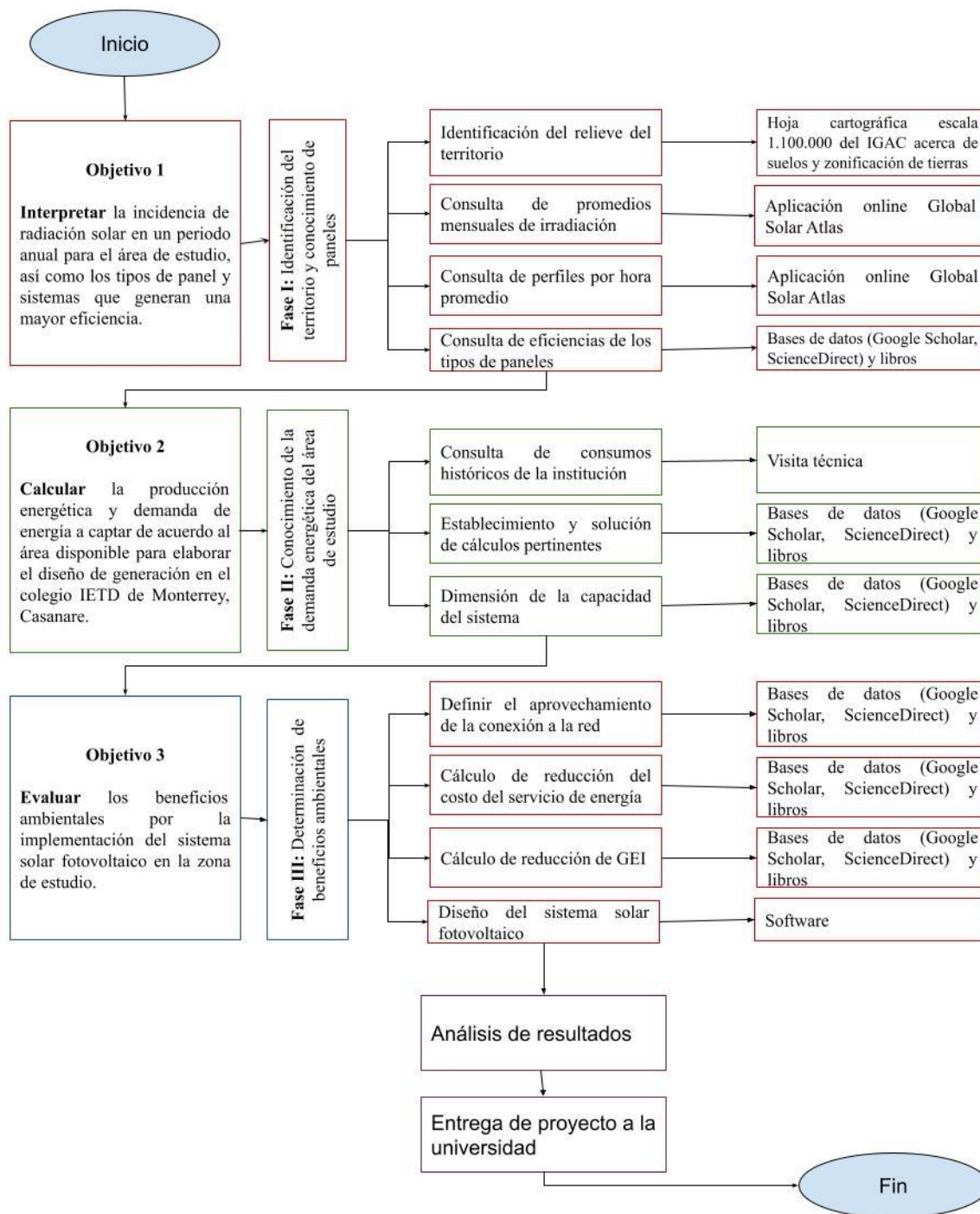


Figura 15. Fases y etapas del plan de trabajo de investigación.

Fuente: Autores, 2021

6. Resultados y discusión

6.1. Objetivo 1. Interpretar la incidencia de radiación solar en un periodo anual para el área de estudio, así como los tipos de panel y sistemas que generan una mayor eficiencia.

La disponibilidad de la radiación solar en un lugar en específico, está determinada por factores como la elevación y pendiente del terreno, ya que esta influirá de manera directa en el ángulo con el que inciden los rayos solares, de igual forma, la localización geográfica y temporal definida en latitud, orientación y hora. Por otra parte, las condiciones meteorológicas y climáticas las cuales permiten determinar la radiación percibida y su variabilidad en las distintas épocas del año. Por lo anterior, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) cumplen una gran importancia en el análisis de los factores que permiten identificar la disponibilidad del recurso, con los SIG realizamos distintos procesos en los cuales identificamos a partir del modelo digital del terreno de la zona de estudio, las curvas de nivel, pendientes y demás factores que inciden en el estudio los cuales son esenciales para la selección de ubicaciones viables para instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica (Hung, 2011).

6.1.1 Factores geológicos en el municipio de Monterrey Casanare

Para la obtención de los resultados de este objetivo se tomó el estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Casanare, escala 1.100.000 desarrollado por el IGAC en el año 2014, este nos permitió identificar la presencia del tipo de relieve correspondiente a abanicos de terraza antiguos con una orientación hacia el oriente, los cuales corresponden a geoformas residuales de génesis aluvial y aluvio-torrencial, depositados por las corrientes que descendían de la cordillera durante el Pleistoceno, los cuales se localizan en las partes más altas del paisaje de piedemonte, muy próximas al contacto con el frente abrupto del paisaje montañoso. Este tipo de relieve presenta una morfología de terrazas limitadas parcialmente por escarpes que oscilan entre 10 y 250 metros de altura, encontrándose levantadas y basculadas, y en varios casos falladas por la actividad tectónica reciente.

En el municipio de Monterrey, Casanare se presenta un modelado que cubre las capas del Terciario y se ubica altitudinalmente varios metros por encima del nivel base actual como se observa en la figura 16, donde se presenta la identificación de la terraza de Monterrey la cual inicia su formación en el casco urbano con una elevación de 410 metros aproximadamente hasta alturas de 750 metros donde finaliza el relieve en las veredas Garrabal, Bellavista, Buenavista y Barbasco, que posteriormente desciende abruptamente hasta los 400 metros y surge la zona de piedemonte de la Orinoquía con las veredas Tacuya, Marenao, Isimena, Caño Rico y Brisas del llano.

Además, se considera para la identificación de zonas sensibles que no permitan la ejecución de un sistema solar fotovoltaico, que junto con el perfil de elevación nos ayudan a identificar las áreas de posibles microclimas y de una distribución parcialmente homogénea de la incidencia de la radiación en la zona de estudio (Hung, 2011).

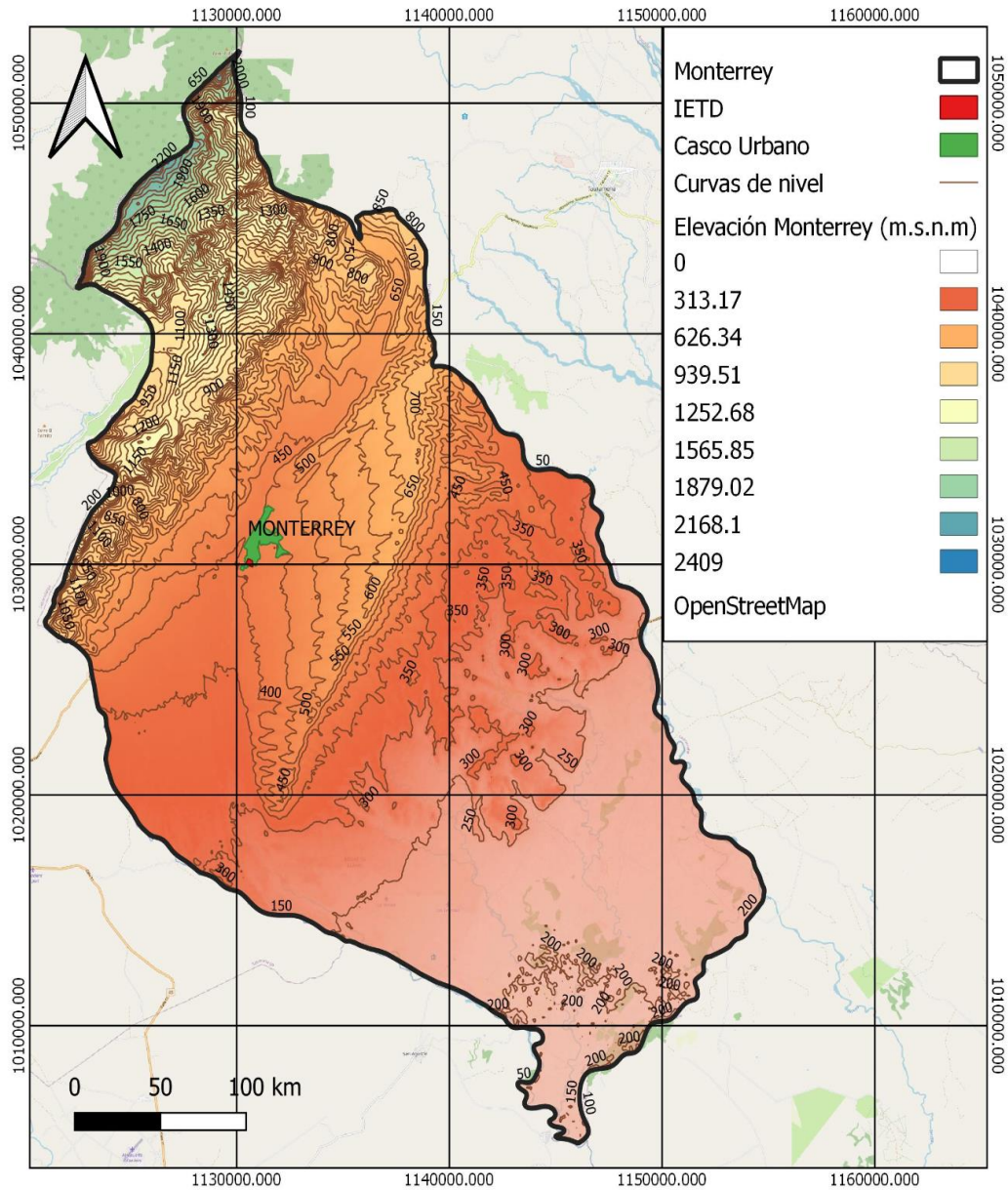


Figura 16. Perfil de elevación del municipio de Monterrey, Casanare
Fuente: Autores, 2021

El efecto albedo y el efecto invernadero influyen en los mecanismos atmosféricos que regulan la absorción de energía solar en nuestro planeta. La cantidad de energía solar no es uniforme ni en la atmósfera ni en el suelo terrestre, ya que se asocia a la tonalidad de las superficies, que hacen que este efecto sea máximo en zonas claras y mínimo en zonas oscuras. La radiación solar reflejada en nuestro planeta es aproximadamente de un 30 % (García, 2012).

Es por esto, que el municipio de Monterrey al estar establecido en una terraza cercana a la cordillera oriental presenta mayor disponibilidad del recurso solar debido a que la radiación directa y difusa incide para un aprovechamiento de la transformación de la radiación en energía eléctrica que puede ser usada para las actividades de la institución u otras áreas de municipio.

6.1.2. Factores meteorológicos y climáticos en el municipio Monterrey, Casanare

Los métodos de diseño de un sistema solar fotovoltaico suelen despreciar factores meteorológicos y climatológicos como la velocidad y dirección del viento, las pérdidas por temperatura, por lo cual, se puede despreciar el comportamiento de los módulos fotovoltaicos y de esta manera la eficiencia del sistema (Acevedo, 2013). Por esta razón, se estudiaron las condiciones generales de la región donde se espera implementar el proyecto de generación de energía solar.

6.1.2.1. Temperatura

La temperatura ambiente depende de distintas características que inciden en la zona de estudio, como la inclinación de los rayos solares, el tipo de roca que absorbe la energía, la dirección y velocidad del viento, la latitud, la altura sobre el nivel del mar y la proximidad a cuerpos de agua (García, 2012). Según la figura 17 obtenida del atlas del IDEAM, la temperatura media anual en el Departamento de Casanare es aproximadamente de 24 a 28°C.

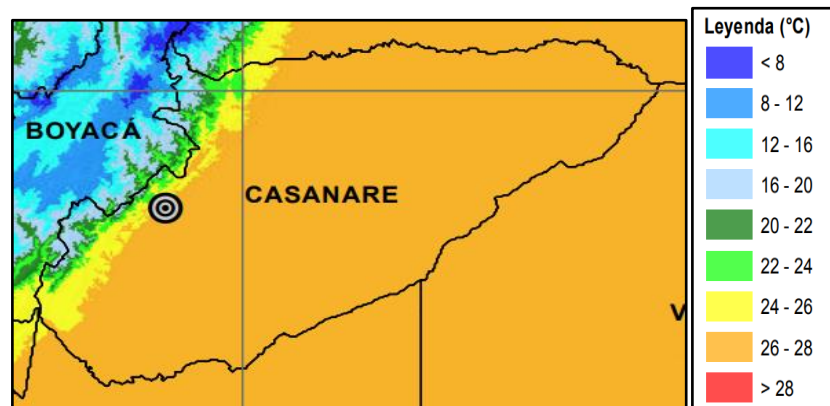


Figura 17. Mapa distribución de la temperatura media anual (°C) en el Departamento de Casanare. Fuente: IDEAM, 2014

Según González (2017), de la temperatura ambiente que hay en el lugar depende principalmente el rendimiento y la eficiencia a la que trabaja el panel fotovoltaico, ya que, a mayor temperatura ambiente, mayor es la temperatura alcanzada por las células que componen el panel y, por tanto, menor es la potencia generada, lo que ocasiona pérdidas de generación eléctrica. Es por esto, que este mismo autor asegura que las condiciones de temperatura idóneas se encuentran en los meses que tienen una temperatura media no superior a los 30°C. A continuación, en el gráfico de la figura 18, se muestran las temperaturas promedio mensual, en donde se observa que los meses con mayor temperatura son de enero a marzo, serían los meses en los que más temperatura alcanza el panel fotovoltaico y, por tanto, más pérdidas se producen.

Debido a que las pérdidas en el panel fotovoltaico se deben a la temperatura de la celda solar y no a la de la temperatura ambiente, la cual se incrementa debido a que, al ser de color azul estas absorben la radiación en mayor cantidad. En promedio, las celdas fotovoltaicas van a estar a 30°C mayor que la temperatura ambiente. Por esta razón, una parte de la radiación es convertida en electricidad y la otra parte en calor o reflejada. Por lo anterior, es fundamental mantener las celdas fotovoltaicas frías, las cuales deben ser instaladas de manera que el aire circule (Orbegozo & Arivilca, 2010).

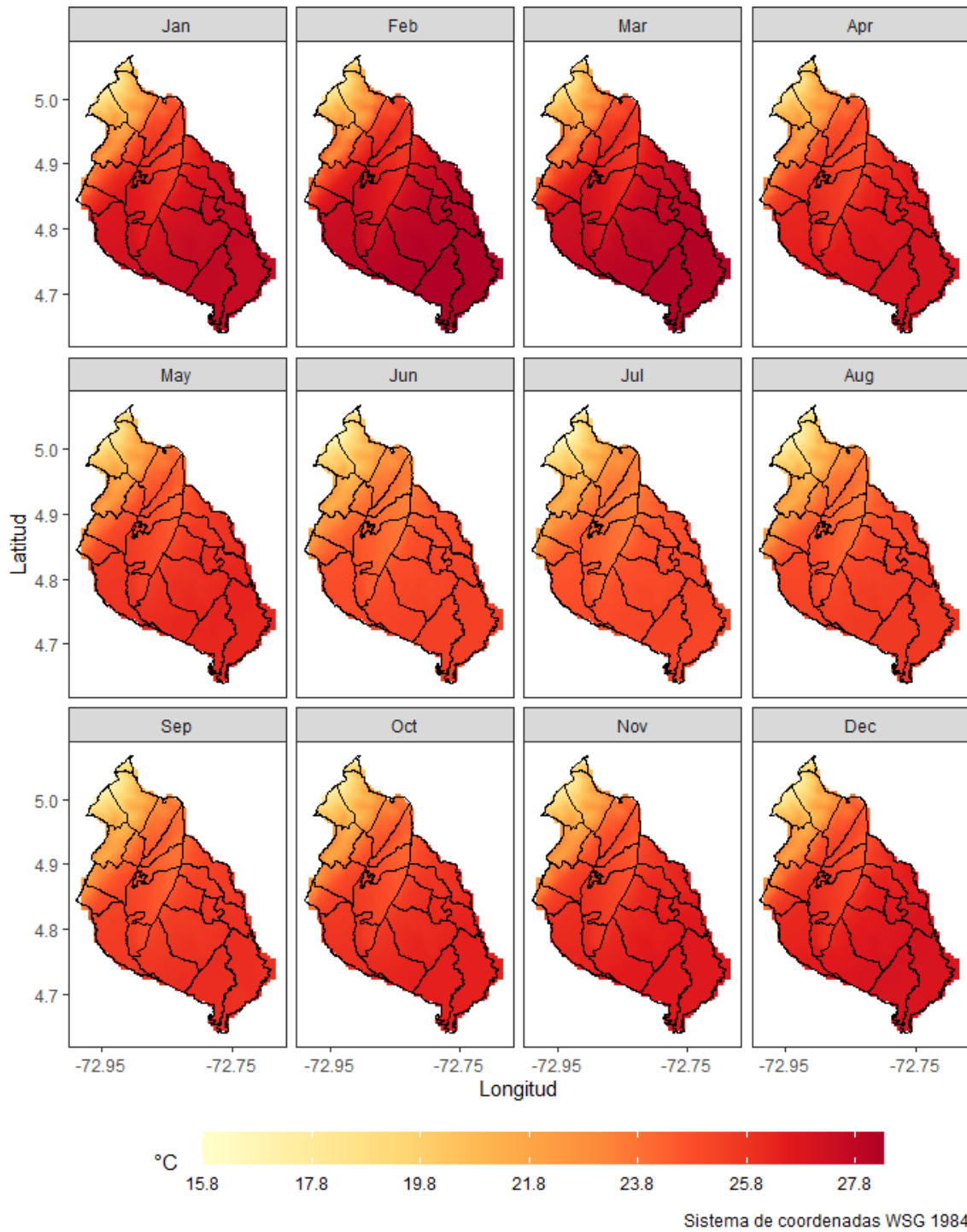


Figura 18. Temperatura promedio mensual periodo de 1970 a 2020 del municipio de Monterrey, Casanare.
Fuente: Autores, 2021

De acuerdo a la figura 18, se identifica que en la terraza en la cual se ubica el casco urbano del municipio de Monterrey la temperatura es menor en comparación a la zona sur este del municipio, debido a que se encuentra en una gradiente de elevación mayor a la zona que corresponde al piedemonte, de acuerdo a

esto, se genera un microclima el cual favorece a la menor concentración de calor en esta zona la cual acompañada de áreas de vegetación permiten estas características.

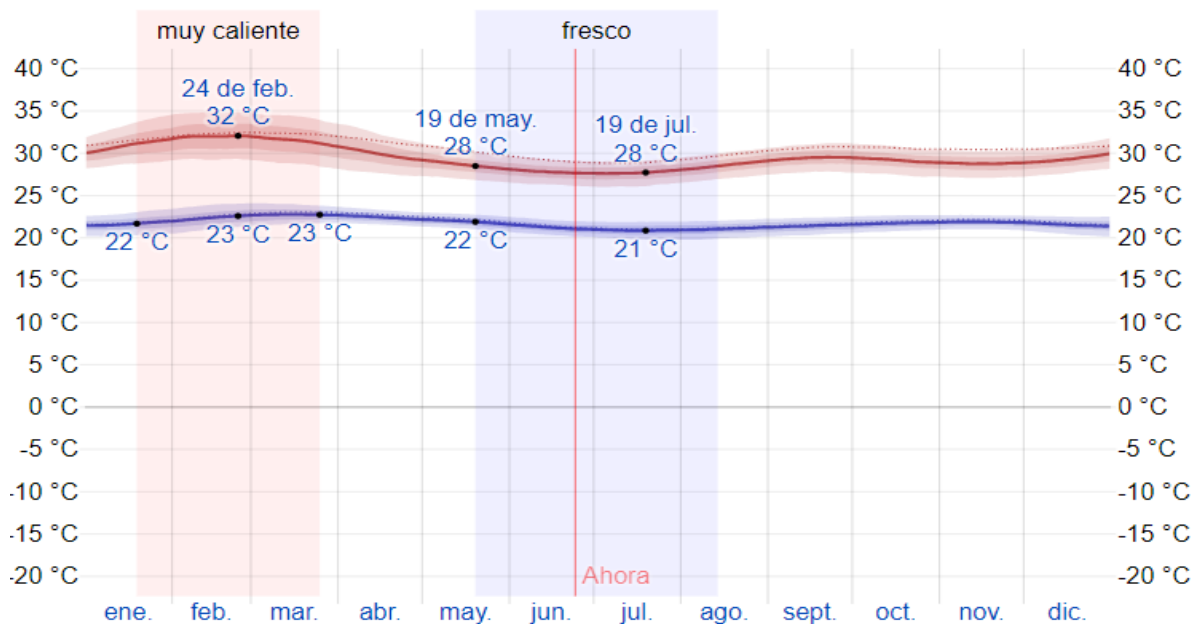


Figura 19. Temperatura promedio máxima y mínima anual del municipio de Monterrey, Casanare. Fuente: Weather Spark, 2021.

De acuerdo a la figura 19, la temporada de mayor temperatura comprende un periodo de 2,2 meses correspondiente a los días del 19 de enero al 25 de marzo, con una temperatura máxima promedio de 32 °C y una temperatura mínima promedio de 23 °C. Por otro lado, la temporada de menor temperatura corresponde a un periodo de 2,8 meses en los cuales se encuentran los días del 9 de mayo al 4 de agosto, con una temperatura mínima promedio de 21 °C y máxima promedio de 28 °C (Weather Spark, 2021).

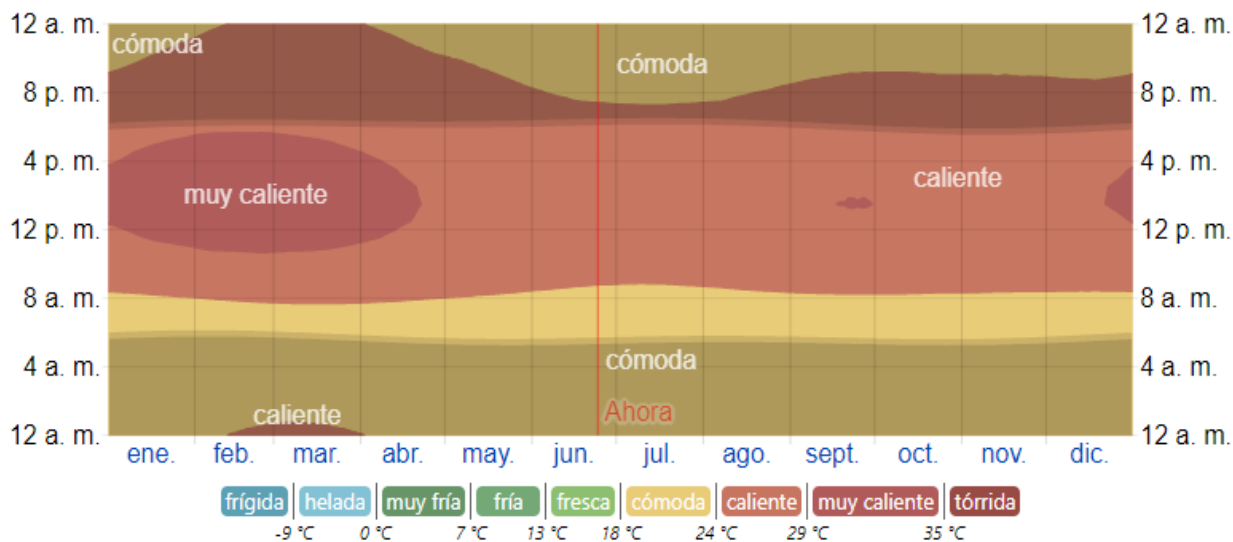


Figura 20. Temperatura promedio por hora del municipio Monterrey, Casanare. Fuente: Weather Spark, 2021.

6.1.2.2. Viento

Por otro lado, se mide el viento para tener un indicador de la diferencia de temperatura entre el ambiente y los módulos fotovoltaicos. Por esta razón, para la correcta implementación y anclaje de los módulos fotovoltaicos se necesita de una estructura que cuente con una adecuación para el soporte de los mismos. Además, de la velocidad que alcance el viento depende en cierto modo la refrigeración por sí solo, del panel fotovoltaico (González, 2017). Es por esto que es fundamental tener en cuenta el comportamiento del viento en el Municipio de Monterrey, Casanare el cual, según el mapa de velocidad anual del Departamento de Casanare publicado por el IDEAM (Figura 21), oscila entre los 2 a 3 m/s.

Según Acevedo Blanco (2013), al contemplar la velocidad y dirección del viento en el diseño del sistema solar fotovoltaico, las pérdidas por efecto de la temperatura en la superficie de los módulos se van a reducir de manera significativa, esto a razón de que los paneles fotovoltaicos aumentan el voltaje a medida que el aire que circula logra disminuir la temperatura de los módulos.

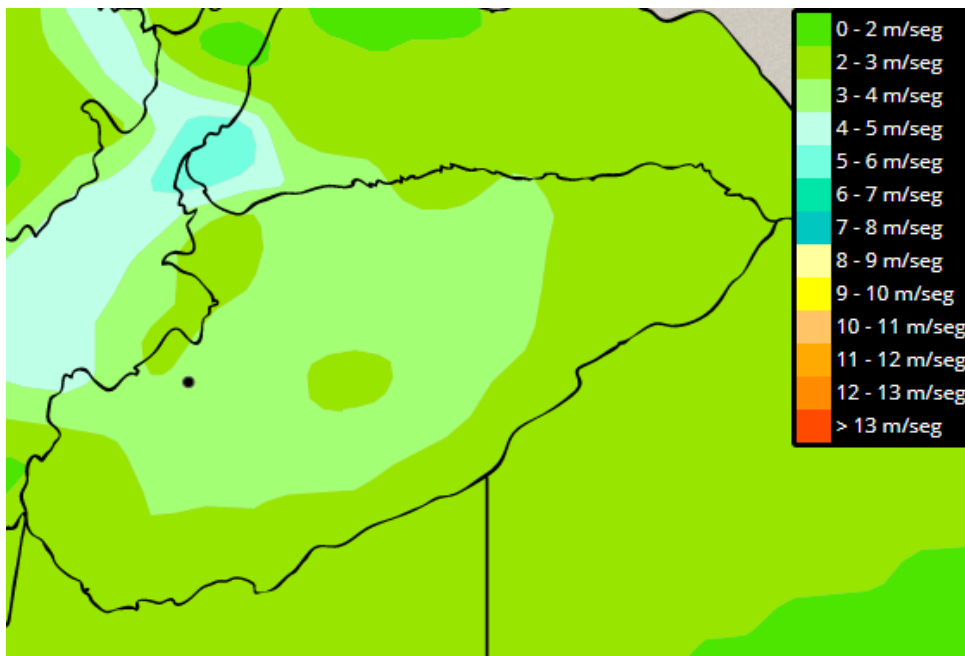


Figura 21. Mapa velocidad media anual (m/seg) en el Departamento de Casanare.

Fuente: IDEAM, 2021

En la figura 22, se observa que los meses con mayor velocidad del viento en el municipio de Monterrey, Casanare son de diciembre a marzo, siendo de hasta 1,6 m/s. Estos valores se aproximan a los otorgados por el IDEAM observados en la figura anterior. Además, se encuentra que la velocidad del viento se ve marcada por las elevaciones del terreno, indicando un mayor promedio de velocidad en la zona de piedemonte, así mismo, se observa una reducción de la velocidad en la zona de la terraza donde se encuentra el casco urbano del municipio, esto se debe a que los vientos de la región provienen del este (figura 24) y chocan con una pared de aproximadamente 350 metros de altura, la cual indica el inicio de la terraza lo que genera la reducción de la velocidad del viento en el área de estudio.

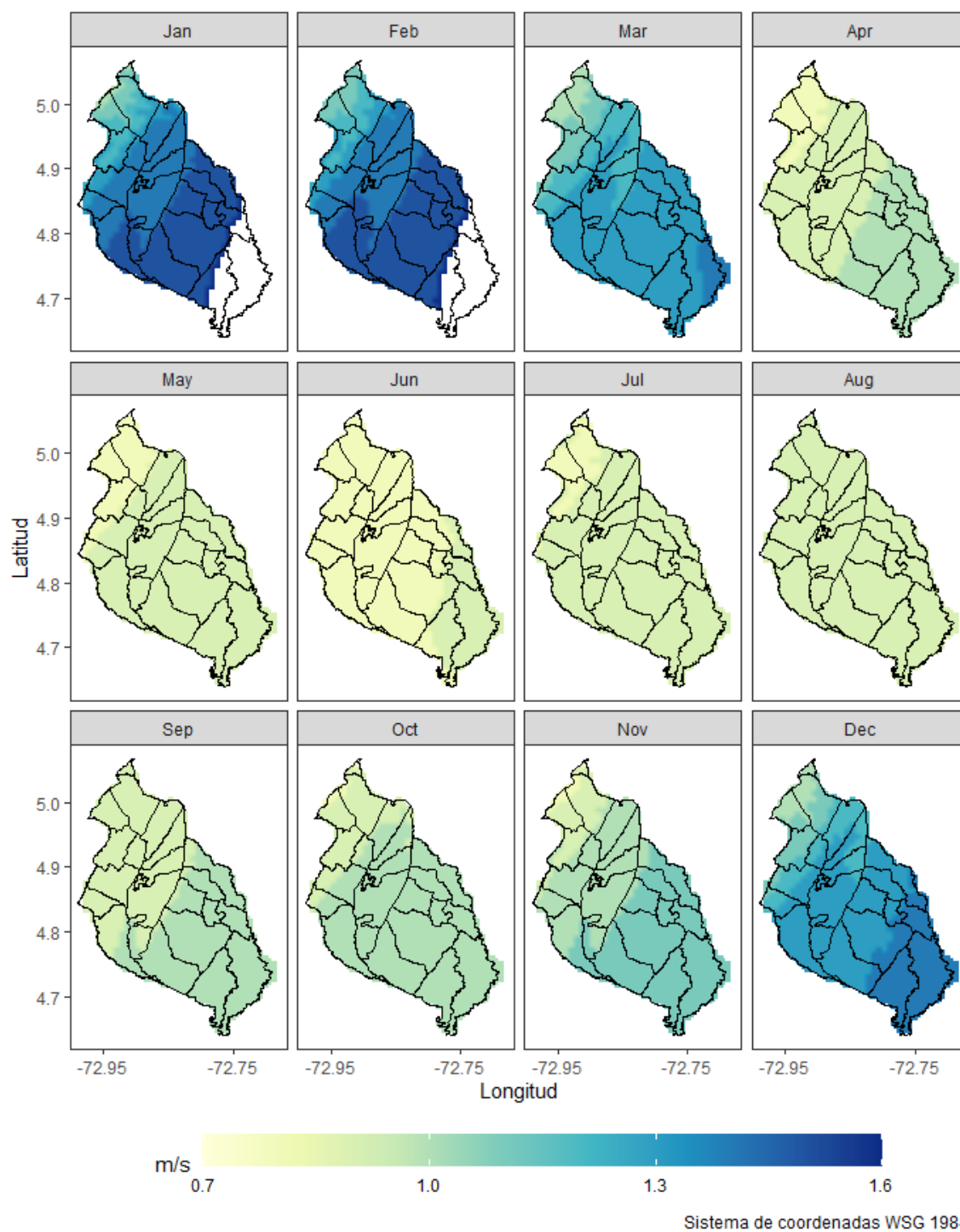


Figura 22. Mapa velocidad media del viento mensual de 1970 a 2020 en el municipio de Monterrey, Casanare.
Fuente: Autores, 2021

En el gráfico de la figura 23, se observa que la velocidad promedio del viento por hora en Monterrey tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año. La época con más viento del año dura aproximadamente 3 meses, del 10 de diciembre al 31 de marzo, con velocidades promedio del viento de más de 1,83 m/s. El día con más viento del año fue el 7 de febrero, con una velocidad promedio del

viento de 2,2 m/s. Los vientos más calmados del año duran aproximadamente 9 meses, del 31 de marzo al 10 de diciembre. Esta información concuerda con el mapa expuesto en la figura 22.

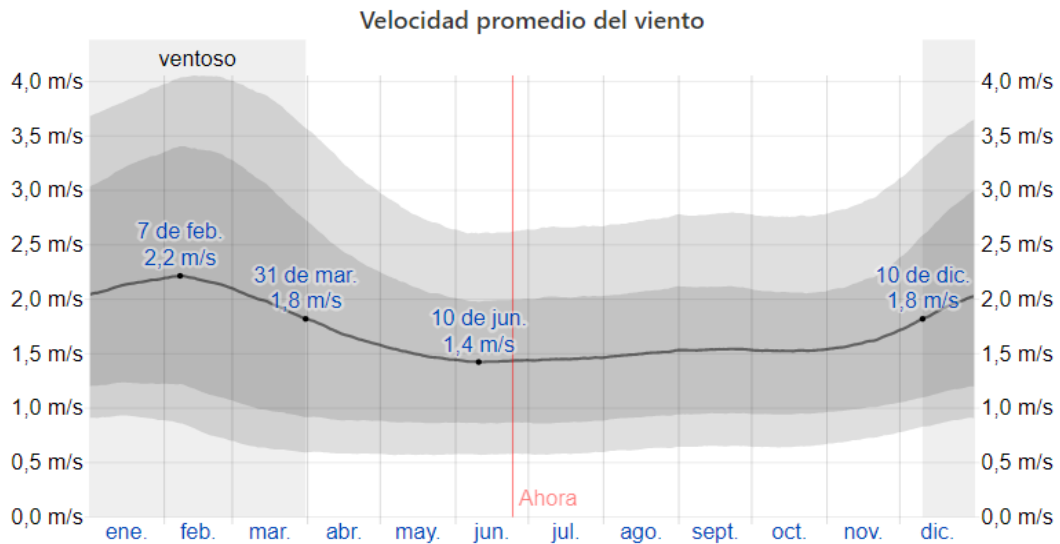


Figura 23. Mapa velocidad promedio del viento en el municipio de Monterrey, Casanare.
Fuente: Weather Spark, 2021.

Adicionalmente, en la figura 24 se encuentra que los vientos más representativos son aquellos que provienen del sursureste en dirección nornoroeste con una velocidad entre 0 a 5 m/s. Por otro lado, la dirección del viento se ve influenciada por las elevaciones del terreno.

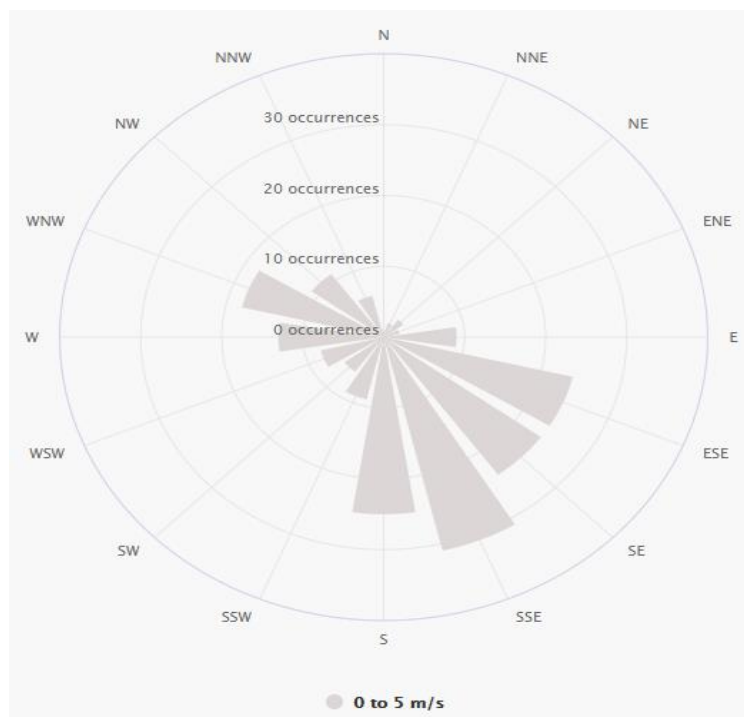


Figura 24. Rosa de vientos municipio de Monterrey, Casanare
Fuente: Weather Spark, 2021.

6.1.2.3. Radiación solar

Según González (2017) y Camacho (2020), la radiación solar es la variable con mayor grado de importancia para la implementación de este tipo de metodologías y proyectos. La cantidad de radiación recibida por un panel fotovoltaico depende del ángulo con el que inciden los rayos sobre la superficie y la inclinación de dicho panel.

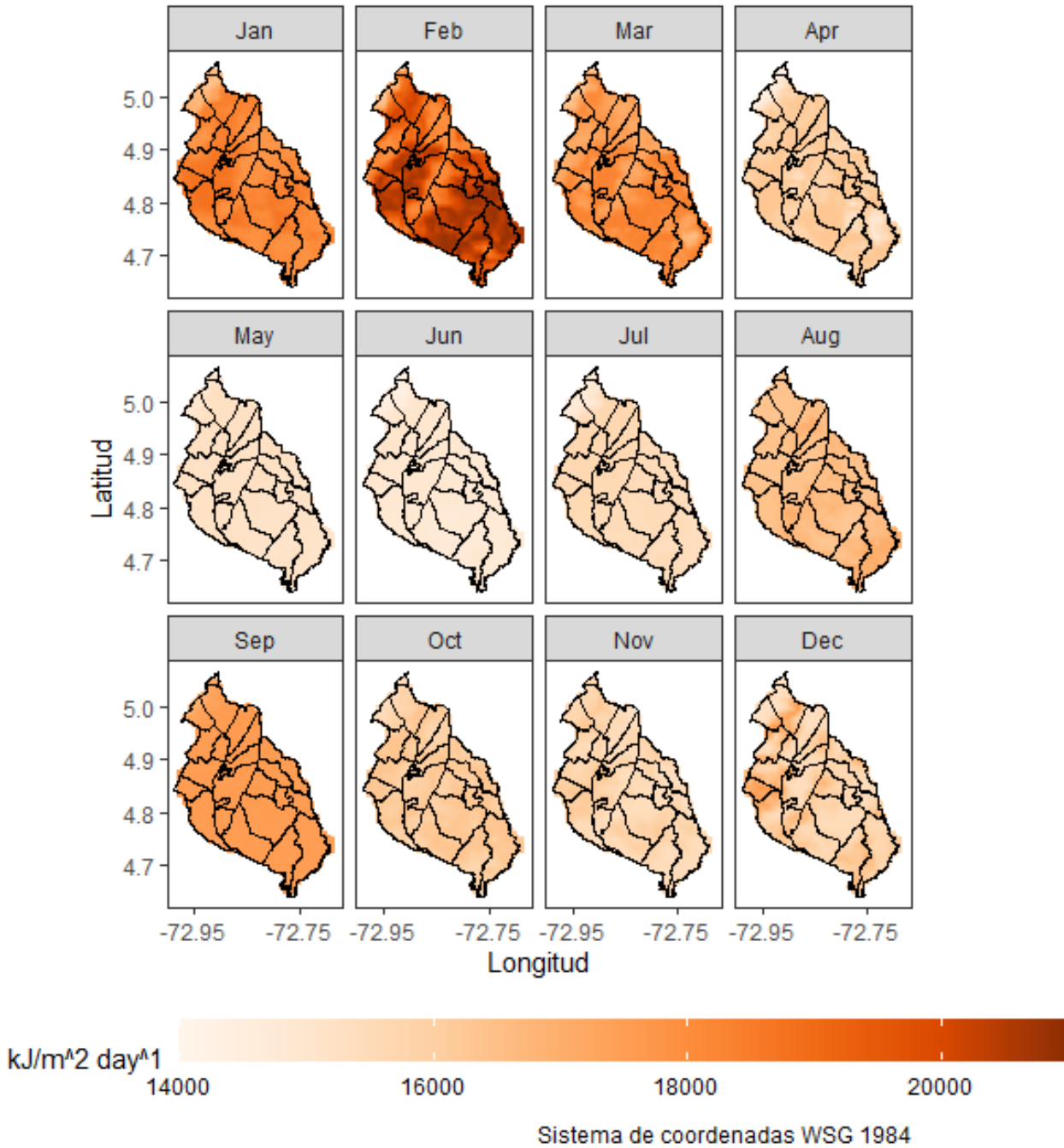


Figura 25. Radiación solar mensual periodo de 1970 a 2020 en el municipio de Monterrey, Casanare. Fuente: Autores, 2021

El mapa de la figura 25, muestra la radiación solar del municipio de Monterrey, en donde, según la escala de colores, se observa que los meses de enero y febrero son los que mayor radiación tienen. Mientras que, los meses de mayo y junio son los que menos radiación poseen. Por otro lado, tal y como se muestra en la figura 26, se observa un gráfico de barras en el cual se representa la suma diaria de irradiancia promedio mensual, siendo el mes de enero y diciembre los meses con más radiación pues tienen valores de aproximadamente 150 kWh/m² y 140 kWh/m² respectivamente. Mientras que, los meses con menos irradiancia son abril y junio con valores aproximados a los 80 kWh/m² y 90 kWh/m².

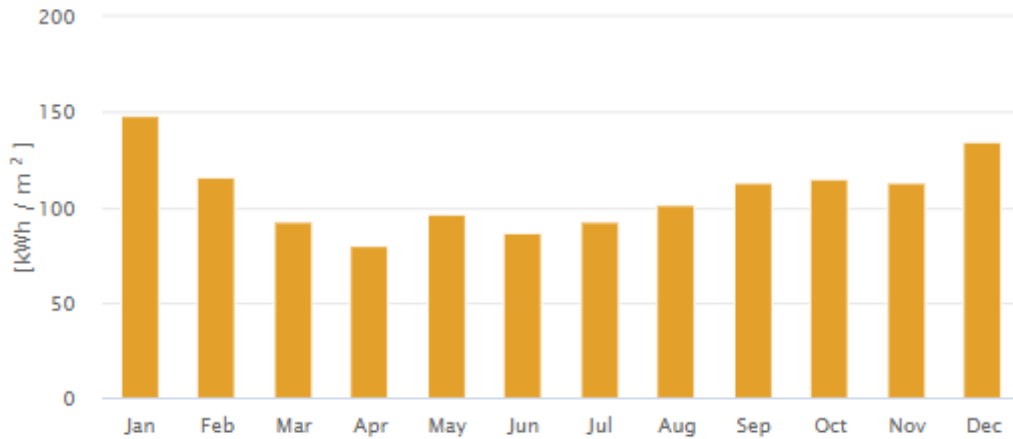


Figura 26. Suma promedios diarios mensuales de irradiancia.
Fuente: Atlas solar, 2021

La información del gráfico anterior se corrobora con la obtenida en la figura 27, pues los datos que se presentan en la suma total mensual representan la relación de este valor con los días que contempla cada mes del año, además, en tonalidades rojas a naranjas se indican las horas con mayores valores de irradiancia. Teniendo en cuenta lo anterior, los meses de enero y diciembre tienen las radiaciones solares más altas, principalmente entre las 8 de la mañana a la 1 de la tarde.

	ene	feb	mar	abr	Mayo	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
0-1												
1-2												
2-3												
3-4												
4-5												
5-6					5	5			5	7	7	
6-7	114	76	51	69	113	106	98	98	121	139	162	164
7-8	340	250	152	141	189	179	170	184	220	243	293	345
8-9	467	365	239	203	247	222	216	238	298	321	375	451
9-10	560	461	319	249	274	239	223	268	347	369	415	503
10-11	584	501	359	296	320	291	272	304	395	424	452	520
11-12	532	485	351	339	380	344	348	371	428	446	448	478
12-13	474	439	337	324	350	308	314	367	445	449	415	430
13-14	434	395	328	297	336	303	323	375	437	416	366	387
14-15	409	372	297	271	321	299	315	363	399	364	328	372
15-16	392	351	272	238	283	275	307	336	347	294	278	349
16-17	336	297	214	186	228	246	266	273	258	209	204	283
17-18	130	137	86	55	71	90	132	91	67	26	24	75
18-19												
19-20												
20-21												
21-22												
22-23												
23-24												
Suma	4772	4130	3004	2666	3118	2906	2982	3268	3766	3707	3767	4356

Figura 27. Perfiles por hora promedio mensual [kWh / m²]
Fuente: Fuente: Atlas solar, 2021

De acuerdo a la identificación de los factores anteriores se determinó que la unidad climatológica que predomina en la zona es cálido muy húmedo (c-MH) y presenta una precipitación anual entre los 3000 a 4000 mm al año, con precipitación promedio multianual de 3636 mm y un déficit promedio de 50,8 mm en los meses más secos de diciembre a marzo favoreciendo a la entrada de irradiación solar, además, un aumento de la temperatura media mensual de 23 °C (IGAC, 2014). Es decir, que de acuerdo con la información obtenida se identificó que la radiación en los meses de abril a noviembre se ve reducida debido al comportamiento unimodal que presentan las lluvias.

Además, teniendo en cuenta las figuras 27 y 19, se observa que existe una relación directamente proporcional entre la irradiación solar y la temperatura, debido a que en los meses más calientes (diciembre, enero y febrero) es en donde se presenta mayor radiación. Así como lo expone Vélez-Pereira, Vergara-Vásquez, Barraza-Coronell, & Agudelo-Yepes (2015) en su estudio, en el cual se observa la correlación entre la radiación solar medida y la estimada por medio del desarrollo del modelo estadístico obtenido con la temperatura en el cual se demuestra la existencia de una relación directa entre estas dos variables.

Según René Torrez (2008), en la identificación del comportamiento de los vientos se consideran los flujos de energía entre el suelo y el aire. Debido a que la irradiación constante permite un almacenamiento de calor en las capas del suelo presentes en el terreno, lo que genera que el suelo caliente refleje radiación, calentando a su vez el aire. De igual forma, el aire caliente es capaz de reemitir radiación, lo que genera la absorción de energía nuevamente por el terreno, hasta que se llega a un equilibrio. Por esta razón, permite obtener calor acumulado en el suelo y aire durante el día, obteniendo finalmente la temperatura asociada a este comportamiento.

6.1.3. Comparación de sistemas solares fotovoltaicos

Existen diferentes metodologías y procedimientos para realizar dimensionamientos de sistemas solares fotovoltaicos, tanto para sistemas conectados a red como para sistemas autónomos. De acuerdo con esto, se realizó la comparación de los 2 principales sistemas solares fotovoltaicos con información obtenida de los estudios de Mejía (2018); Gómez & Mayorga (2020):

Tabla 3.
Descripción de sistemas solares fotovoltaicos.

Parámetros de medida	Sistemas Fotovoltaicos Autónomos (SFA)	Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR)
Baterías	Sistema de almacenamiento de energía depende de bancos de baterías que pueden tener autonomía de entre 2 a 4 días	No necesitan de sistemas de respaldo como baterías
Componentes	Se compone del acumulador, regulador de carga y luminarias	Se compone del generador fotovoltaico, un inversor DC/AC y un conjunto de protecciones eléctricas
Autonomía	Produce energía eléctrica para satisfacer el consumo de cargas eléctricas no	La energía producida por este sistema será consumida parcial o totalmente en

Parámetros de medida	Sistemas Fotovoltaicos Autónomos (SFA)	Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR)
	conectadas a la red, empleando un sistema de acumulación energético para hacer frente a los períodos en los que la generación es inferior al consumo.	las cercanías, y la energía sobrante será inyectada en la red para su distribución a otros puntos de consumo.
Flexibilidad	El diseño si necesita considerar un consumo a satisfacer	El diseño no necesita considerar un consumo a satisfacer
Legalidad	No necesita permiso	Necesita permiso para conectar el sistema a la red
Costos iniciales	Bajo	Alto
Costos de mantenimiento	Limpieza, mantenimiento de equipos, compra de baterías	Limpieza, mantenimiento de equipos
Independencia	Independiente de cualquier sistema	Depende del sistema eléctrico nacional

Nota. Esta tabla muestra la descripción y características de los sistemas solares fotovoltaicos (Autores, 2021)

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red (SFCR) cuentan con una eficiencia mayor en comparación a los sistemas fotovoltaicos autónomos, ya que estos presentan menores pérdidas al tener una menor cantidad de componentes en la conformación de su sistema, de igual forma, se ve reflejado en los costos de inversión que son menores a diferencia de los sistemas aislados ya que la vida útil de las baterías comprende un periodo entre 2 a 4 años según el tipo de tecnología que comprenda este componente (Mejía, 2018; Gómez & Mayorga, 2020).

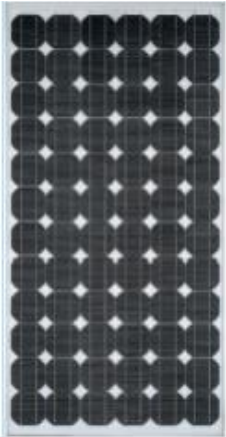
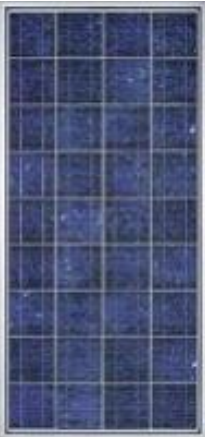

6.1.4. Evaluación de los tipos de paneles solares

Para la evaluación de los tipos de paneles solares, a continuación, se muestra una tabla comparativa de la descripción general, eficiencia y la imagen correspondiente a los 3 tipos de paneles más utilizados actualmente los cuales son monocristalinos, policristalinos y de silicio amorfo. Esto será útil, para posteriormente elegir el tipo de panel que mejor se adapte al proyecto (Acevedo, 2013).

Tabla 4.

Tipos de paneles solares.

	Paneles de silicio monocristalinos	Paneles solares policristalinos	Paneles fotovoltaicos de silicio amorfo
Descripción	Tiene una estructura cristalina completamente ordenada. Se obtiene de silicio puro fundido dopado con boro. Se reconoce por su monocromía azulada	Tiene una estructura ordenada por regiones separadas. Las zonas irregulares se traducen en una disminución del rendimiento.	Tiene un color homogéneo (marrón). No existe conexión visible entre las células. Son llamados como módulos de capa delgada o Thin Film. Usan material

	Paneles de silicio monocristalinos	Paneles solares policristalinos	Paneles fotovoltaicos de silicio amorfo
	oscura y metálica.	Tiene menos fases de cristalización que el monocristalino. Se reconoce por su superficie en distintos tonos de azules y grises metálicos.	fotovoltaico no-cristalino, como gas de silicato de alta temperatura.
Eficiencia	Las celdas alcanzan una eficiencia individual hasta de 24%. Cuando son integradas en forma de módulos fotovoltaicos pueden alcanzar eficiencias de entre 11 – 17%	La eficiencia en laboratorio de las células policristalinas con de 19-20%. Mientras que, la eficiencia directa está entre 11-14%	Las celdas operan de acuerdo a los mismos principios de los módulos cristalinis, pero tienen una eficiencia significativamente menor (4-8%).
Imagen			

Nota. Esta tabla se muestra la descripción y características de los sistemas solares fotovoltaicos (Autores, 2021)

Teniendo en cuenta la tabla anterior, el panel solar que se escogió para el proyecto es el monocristalino, pues presenta un mayor porcentaje de eficiencia respecto a los otros. Esta elección se corrobora con la hecha por Camacho (2020) y Chaize y Digneaux (2020), pues afirman que los paneles solares monocristalinos son las que tienen mayor eficiencia tanto de forma directa (14-17%), como en el laboratorio (24%), debido a que el silicio se obtiene de forma pura.

6.2. Objetivo 2. Calcular la producción energética y demanda de energía a captar de acuerdo al área disponible para elaborar el diseño de generación en el colegio IETD de Monterrey, Casanare.

6.2.1 Caracterización de zonas

Para la implementación del proyecto, de acuerdo a la información brindada por parte de la institución, se tuvo en cuenta la distribución espacial de la infraestructura en la cual se determinó las áreas con menor interferencia de cobertura vegetal de gran altura que pudiera afectar la incidencia de la radiación solar en las cubiertas. Es por esto, que se escogió la infraestructura asociada a los talleres (ver figura 12) debido a que alrededor de estos no hay presencia de árboles y cuentan con una altura adecuada para la captación de la radiación solar.

Las infraestructuras restantes se descartaron para la instalación de los paneles debido a que tienen distintas alturas y al estar juntas, algunas generan efecto sombra sobre las de menor tamaño que se encuentran a su alrededor. Además, estas también están cerca de árboles de gran altura.



Figura 28. Mapa de distribución espacial del IETD.

Fuente: IETD, 2021

6.2.2 Consumo energético del Instituto Educativo Técnico Diversificado

En la siguiente tabla 5 se observa el consumo de energía (kWh) para el año 2019 del Colegio Instituto Educativo Técnico Diversificado, esto teniendo en cuenta que la institución cuenta con varios contadores de energía, de los cuales fueron suministrados por parte de la empresa prestadora del servicio de energía eléctrica en el Casanare, ENERCA S.A. E.S.P, los datos de solo 2 para el año 2019 (Anexos 2 y 3) pues no se encontraron registros de los demás contadores en las bases de datos. Adicionalmente, se eligieron de ese año debido a que corresponde al último año de presencialidad por confinamiento por la pandemia del Coronavirus (COVID - 19).

Tabla 5.
Consumo energético kWh año 2019 del IETD.

Consumo energético kWh año 2019						
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
1	248	282	324	466	433	449
2	894	894	894	894	894	894
Total	1142	1176	1218	1360	1327	1343
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	149	285	462	395	454	248
2	894	894	894	894	894	894
Total	1043	1179	1356	1289	1348	1142

Nota. Esta tabla muestra el consumo mensual de energía eléctrica del IETD para el año 2019 (Autores, 2021)

Teniendo en cuenta los datos suministrados, se realizó una sumatoria de estos (figura 29), para conocer el total del consumo mensual del año en mención. Se obtuvo como resultado que en abril, mayo, junio, septiembre y noviembre fueron los meses en los que se consumió más energía. Mientras que, los meses que menos consumo tuvieron corresponden a enero, febrero, julio, agosto y diciembre. Esto puede ser debido a que coincide con las épocas de vacaciones escolares, es decir, es reducida la cantidad de personas y actividades que se presentan en estos meses, por tanto, es menor la cantidad de energía usada.

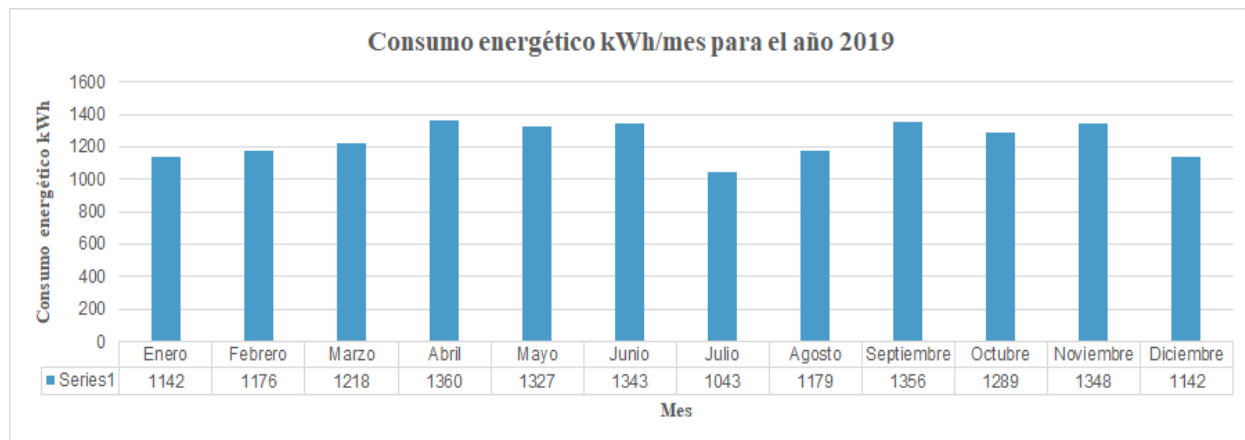


Figura 29. Gráfica del consumo energético para el año 2019 del IETD.

Fuente: Autores, 2021

Posteriormente, se obtuvo el promedio mensual del consumo energético del colegio en mención. Teniendo como resultado que mensualmente en promedio se consumieron 1243,58 kWh.

$$\underline{x} = \frac{14923 \text{ kWh}}{12}$$

$$\underline{x} = 1243,58 \text{ kWh}$$

Así mismo, teniendo en cuenta lo anterior, se calculó el consumo que requiere diariamente, el cual fue de 41,5 kWh para el desarrollo de las actividades académicas y administrativas.

$$\frac{1243,58 \text{ kWh}}{30 \text{ días}}$$

$$41,5 \text{ kWh/día}$$

6.2.3 Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico

Para el desarrollo del cálculo del número de paneles que cabrían en el área disponible de la institución, se necesitó conocer las dimensiones del panel a utilizar (ver tabla 6), determinando el área en m² que ocuparía cada uno:

Tabla 6.

Dimensiones del panel monocristalino HiKuPro Mono SUPER HIGH POWER MONO PERC MODULE 475 W ~ 495 W - CANADIAN SOLAR INC.

Dimensiones del panel	M	Área m ²
Largo	2,25	2,358
Ancho	1,048	

Nota. Esta tabla muestra las características del panel seleccionado Anexo 4 (Autores, 2021)

Según el área que ocupa un panel solar se realizó el cálculo del número de paneles necesarios para suplir la demanda de energía en la institución, teniendo en cuenta el área disponible identificada. Para esto se realizó el siguiente cálculo:

$$\text{Número de paneles} = \frac{94 \text{ m}^2}{2.358 \text{ m}^2} = 39,864 = 40$$

De acuerdo al número de paneles fotovoltaicos obtenidos según el área de estudio, se determinó la potencia a generar con el conjunto de paneles:

$$\text{Potencia del arreglo (Pa): } 40 * 369 \text{ W} = 14760 \text{ W}$$

La potencia de arreglo dio como resultado 14,760 W, que considerando un margen de pérdidas del 25% debido a los factores de temperatura, radiación y vientos que influyen en la eficiencia del panel solar fotovoltaico, a partir de esto se obtuvo un nuevo valor correspondiente a 11,070 W.

$$Pa: 14,760 \text{ W} - 25\% = 11,070 \text{ W} = 11,07 \text{ kW}$$

Por otro lado, se identificó el valor de irradiación para cada mes en kWh/m² mediante la base de datos obtenida del proyecto POWER del Centro de Investigación Langley de la NASA (LaRC), con una última modificación el 8 de mayo de 2021. El promedio anual de irradiancia fue de 4,8683 kWh/m².

Tabla 7.

Irradiancia mensual en el IETD.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
kWh/m ²	5,60	5,48	5,00	4,53	4,42	4,22	4,29	4,57	5,05	5,01	4,95	5,30

Nota. Esta tabla muestra la irradiancia en el IETD (Autores, 2021)

De acuerdo al valor de irradiación se procedió a encontrar el valor correspondiente a la Hora Solar Pico. Este equivale a la energía que se recibe en una hora de irradiación de 1 kW/m². Para el área de estudio se encontró un valor promedio de 4,87 h.

$$\text{Horas de Pico Solar (HPS)} = 4,8683 \text{ kWh/m}^2 / 1 \text{ kW/m}^2 = 4,87 \text{ h}$$

Adicionalmente, se calculó la generación de cargas de corriente alterna CA, contemplando las pérdidas por eficiencia de los equipos que componen el sistema solar fotovoltaico como el inversor (EI), regulador (ER) dando como resultado 1,237.25 kWh/mes usando los valores promedios anuales de los meses anteriormente nombrados.

$$\text{Cargas CA (kWh/día)} = 11.07 \text{ kW} * 0,9 * 0,85 * 4,87 \text{ H día}$$

$$\text{Cargas CA (kWh/día)} = 41,2418 \text{ kWh/día} * 30 = 1237,25 \text{ kWh/mes}$$

De acuerdo al procedimiento descrito anteriormente para estimar la generación de energía se determinó a partir de las características específicas de consumo de energía, HSP y potencia de los paneles para cada uno de los meses, calculando la producción energética que logrará satisfacer la demanda energética requerida.

Tabla 8.

Generación de energía (kWh/mes) mensual en el IETD.

Mes	Consumo (kWh)	HSP (h)	Generación (kWh/mes)
ene-2019	1142	5,60	1921
feb-2019	1176	5,48	1713

Mes	Consumo (kWh)	HSP (h)	Generación (kWh/mes)
mar-2019	1218	5,00	1715
abr-2019	1360	4,53	1504
may-2019	1327	4,42	1516
jun-2019	1343	4,22	1401
jul-2019	1043	4,29	1472
ago-2019	1179	4,57	1568
sep-2019	1358	5,05	1677
oct-2019	1289	5,01	1719
nov-2019	1348	4,95	1643
dic-2019	1142	5,30	1818
Totales	14.925	4,87	19667
GENERACIÓN/CONSUMO			132%

Nota. Esta tabla muestra la generación de energía para el IETD (Autores, 2021)

En la gráfica de la figura 30 se observa el consumo energético de la institución para el año 2019 junto a la generación de energía eléctrica del sistema fotovoltaico a implementar. La generación del sistema respecto a la demanda del colegio fue mayor en todos los meses del año, por lo que sería factible vender el excedente de generación de electricidad mensual y anual a la red eléctrica. Teniendo en cuenta la Resolución 030 de 2018, el excedente generado puede ser vendido directamente al comercializador del servicio de energía eléctrica.

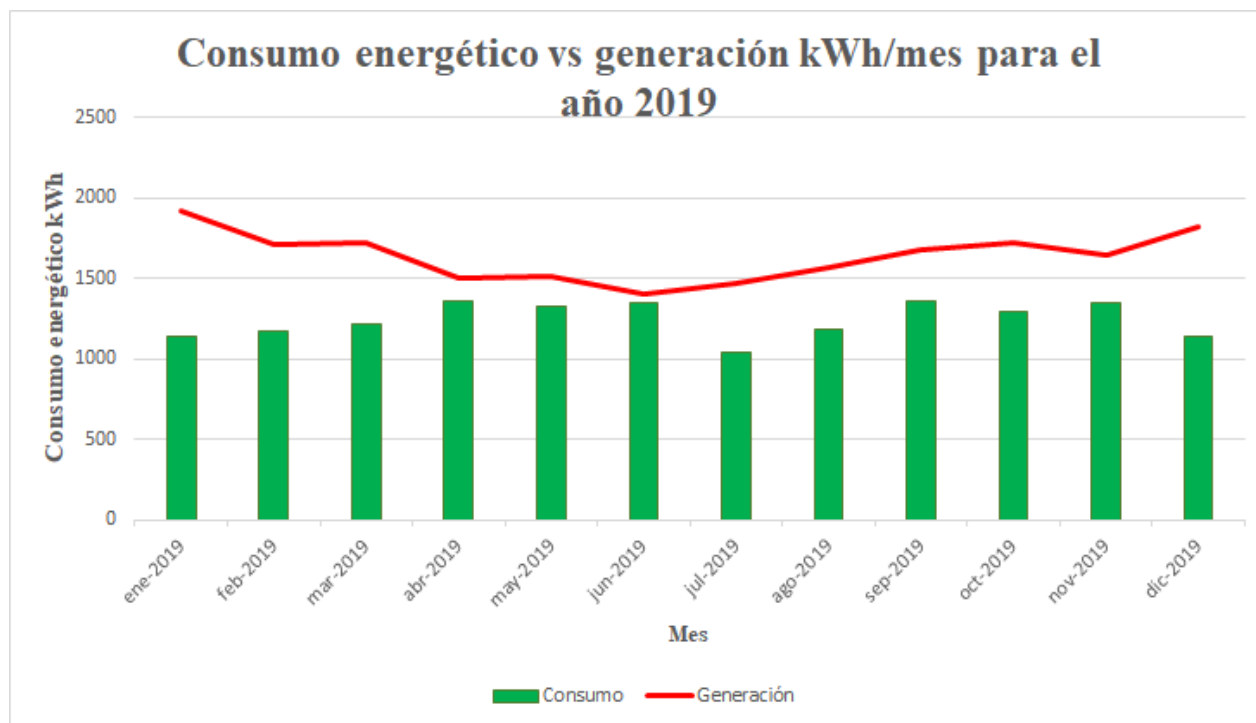


Figura 30. Consumo energético vs generación de energía eléctrica para el año 2019
Fuente: Autores, 2021

Como se observa en la tabla 9 los meses en los que se generarían mayores excedentes corresponden a enero y diciembre, pues tienen un bajo consumo debido a que no se presentan actividades académicas ya que están en época de vacaciones. Además, como se observó en figuras anteriores, durante estos meses se presenta una mayor radiación y la HSP es alta, por lo que la generación es mayor.

Por otro lado, el mes con menor excedente de energía es junio, debido a que la generación de energía es poca porque existe una menor radiación y HSP baja. Además, las actividades académicas son mayores, pues se realiza la semana técnica en donde se muestran trabajos académicos, ocasionando un incremento en el consumo energético.

Tabla 9.

Excedente de energía generada mensual en el IETD.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	TOTAL
kWh	779	537	497	144	189	58	429	389	319	430	295	676	4742

Nota. Esta tabla muestra el excedente de energía eléctrica generada por el sistema solar fotovoltaico (Autores, 2021)

Para la selección del inversor, es necesario identificar la distribución con la que van a ser conectados los paneles, es por esto, que se decidió distribuir los 40 paneles en 4 ramas conectadas en paralelo de 10 paneles cada una con una conexión en serie por cada rama. En consecuencia, se analiza las características que debe soportar el inversor, debido a que tendrá que soportar la tensión e intensidad resultante de la distribución contemplada de los paneles. Por lo anterior, se calculan a continuación los parámetros de salida necesarios para la elección del inversor contemplando la potencia y la corriente de los paneles.

$$\begin{aligned} \text{Potencia} &= V_{\text{máx}} \text{ (V)} 41.6 \\ \text{Corriente} &= I_{\text{cc}} \text{ (A)} 8.88 \end{aligned}$$

Al estar conectados 10 paneles en serie, el inversor deberá poder soportar una tensión de 416 V. Mientras que, al haber 4 líneas en paralelo tendrá que poder soportar una intensidad de 35,52 A.

Ahora bien, teniendo en cuenta los valores mencionados anteriormente se eligió el Inversor Grid Tie BluePlanet 20 kW LT3 de la marca KACO, el cual recibe un voltaje de 200 - 950 V y una corriente de 40 A. Las demás especificaciones se encuentran en la ficha técnica del inversor que está en el anexo 5.

Por su parte, el contador bidireccional se encarga de la cuantificación de la generación de la energía inyectada a la red y de la cuantificación del consumo de la institución. Por esto, se eligió para el proyecto el contador bidireccional trifásico MT174 de la marca Iskra. Las especificaciones de este instrumento se encuentran en la ficha técnica que está en el anexo 6.

6.2.4 Sistema solar fotovoltaico

En la figura 31 elaborada en AutoCAD, se muestra la estructura con la distribución del SSF como propuesta para el IETD. En donde se contemplan todos los componentes del sistema y las conexiones necesarias para el funcionamiento. En donde se distribuyeron los 40 paneles en 4 ramas conectadas en paralelo de 10 paneles cada una con una conexión en serie por cada rama. Adicionalmente, se tuvo en cuenta que el lugar en donde se realizó la implementación no presenta en sus alrededores edificios o vegetación que impidan el paso de la radiación solar.

Para cumplir lo anteriormente dicho, se tuvo en cuenta que, debido a la posición geográfica de Colombia en el hemisferio norte, los módulos deben ir orientados hacia el sur geográfico, para así aprovechar al máximo la radiación solar y en ningún caso hacia el norte (Ortiz & Chacón, 2018). Así mismo, la inclinación de los paneles estuvo determinada por la inclinación de la cubierta del edificio, la cual contempla una inclinación de 10°. Esto concuerda con la teoría, la cual recomienda una inclinación superior a 10° para permitir que el agua lluvia escurra y ayude con el proceso de limpieza por polvo de los paneles, reduciendo los costos de mantenimiento (Loeza, Carmona, & Tenorio, 2012).

Además, de acuerdo a que la dirección del viento proviene del sur-este se realizó la distribución de los paneles con una separación de 0,5 m de tal manera que se permita la circulación del aire manteniendo las celdas fotovoltaicas frías y de esta manera se reduzca el efecto de pérdidas por temperatura en la superficie de los módulos. Gracias a esto, se permitiría que el sistema aumente el voltaje a medida que el aire circula y logra disminuir la temperatura del sistema.

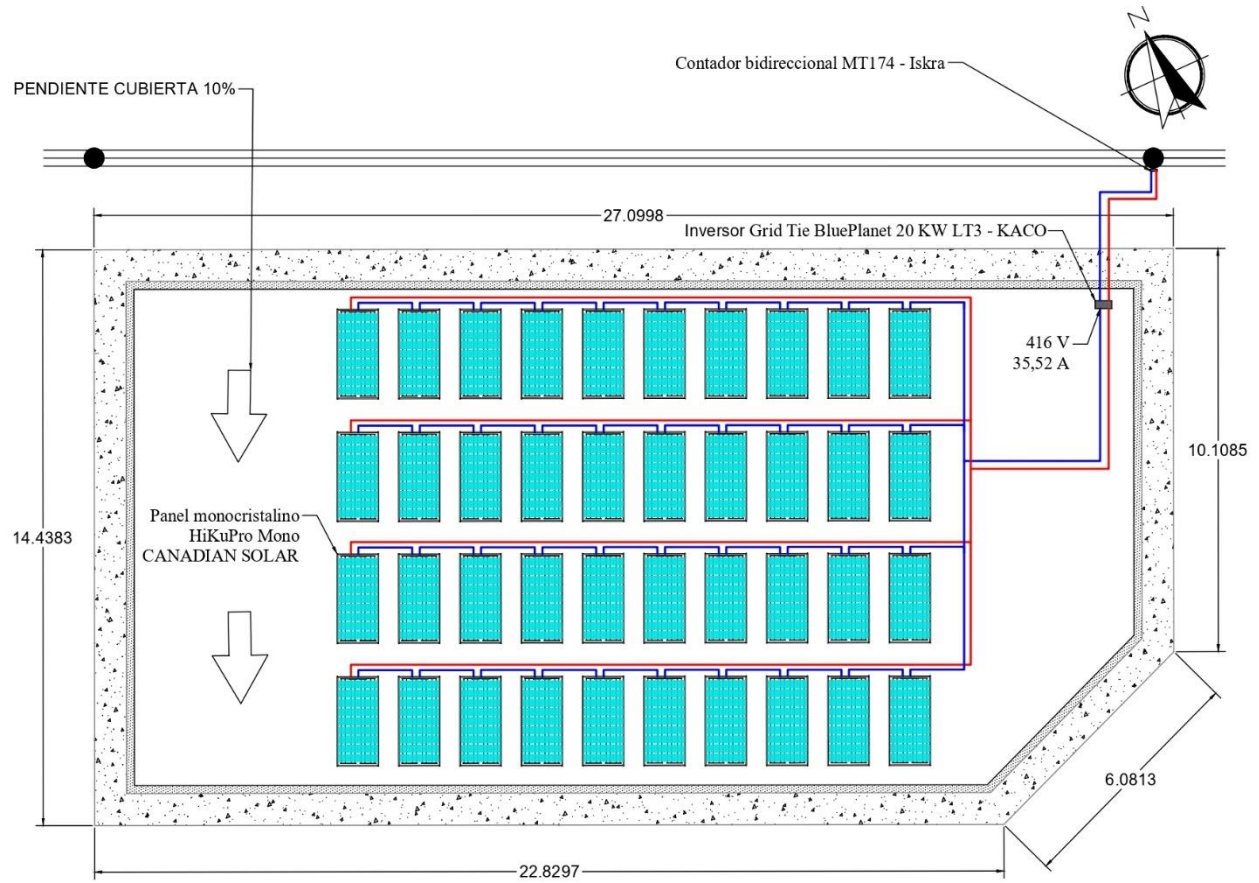


Figura 31. Sistema solar fotovoltaico propuesto para el IETD.
Fuente: Autores, 2021

6.3. Objetivo 3. Evaluar los beneficios ambientales que traería la implementación del sistema solar fotovoltaico en la zona de estudio.

6.3.1 Cálculo de la huella de carbono

Haciendo uso de la ecuación de la Huella de Carbono y teniendo en cuenta que el consumo son los kWh mes a mes del IETD y el factor de emisión es 0,166 kg CO₂eq/kWh para la generación eléctrica según FECOC para el año 2019 (Rodríguez & Gutiérrez-Fernández, 2018).

Tabla 10.
Cálculo de la huella de carbono mensual del IETD.

Mes	Consumo (kWh)	Huella de carbono (kg/CO ₂)
ene-2019	1142	189,572
feb-2019	1176	195,216
mar-2019	1218	202,188
abr-2019	1360	225,760
may-2019	1327	220,282
jun-2019	1343	222,938
jul-2019	1043	173,138
ago-2019	1179	195,714
sep-2019	1358	225,428
oct-2019	1289	213,974
nov-2019	1348	223,768
dic-2019	1142	189,572
Promedio	1244	206,463
Totales	14925	2477,550

Nota. Esta tabla muestra la huella de carbono generada de acuerdo al consumo de la institución (Autores, 2021)

Se obtuvo un valor promedio de la huella de carbono de los 12 meses, de 206,463 kg/CO₂, lo cual equivale a 0,206463 T/CO₂.

Para conocer la reducción de la huella de carbono (HC) una vez implementado el sistema fotovoltaico, se estimó la reducción de la huella de carbono con el 100% del reemplazo de energía eléctrica que proviene del uso de hidroeléctricas por la implementación del sistema fotovoltaico, debido a que el diseño propuesto logrará satisfacer la totalidad de la demanda energética contemplando excedentes de generación alcanzando el 132% (Bilir & Yildirim, 2017).

En la tabla 11 se observan los valores obtenidos de las ecuaciones anteriores:

Tabla 11.
Reducción de la HC anual.

Porcentaje a evaluar	Porcentaje de consumo (kWh)	HC (kg/CO ₂)	Reducción total de HC
100%	14925	2477,550	0
32%	4776	792,82	0

Nota. Esta tabla muestra la reducción de la huella de carbono con la implementación del sistema solar (Autores, 2021)

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, se encontró que la cantidad total de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas por el consumo eléctrico en el IETD fue de 2477,550 kgCO₂/año y el beneficio ambiental que se tiene por la reducción de la HC por medio del sistema fotovoltaico propuesto, es la contribución a reducir los impactos negativos, logrando una reducción igual a cero (0) de la HC, aportando de esta manera soluciones al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible (Rodríguez & Gutiérrez-Fernández, 2018).

Igualmente, se obtuvieron las emisiones de CO₂ para el año 2019 teniendo en cuenta que la producción energética fotovoltaica se destinaria al consumo institucional. El consumo del IETD en el año 2019 fue de 14923 kWh/año, y la producción que se tenía prevista por el sistema fotovoltaico fue de 19667 kWh/año. La producción fotovoltaica cubriría el consumo total de la institución y tendría un excedente del 32%, lo que le permitiría a la empresa prestadora de servicio de energía reducir su huella de carbono con la compra de la energía de origen renovable del sistema propuesto (Molina & Ortiz, 2012). Debido a esto, la empresa de energía al adquirir 4776 kWh del sistema solar fotovoltaico logrará reducir 792,82 kg/ CO₂ de su proceso productivo.

6.3.2 Análisis costo-beneficio

Para el análisis costo-beneficio del proyecto fotovoltaico se calculó la Tasa Interna de Retorno (TIR) con el fin de conocer la rentabilidad del proyecto y el Valor Presente Neto (VPN) para estimar el comportamiento de la inversión. El análisis se halló teniendo en cuenta el presupuesto contemplado en la tabla 12 de los equipos requeridos en el sistema fotovoltaico, el cual tiene una inversión total de COP \$54'628.000 (Tener en cuenta que USD 1 equivale a 3877 COP a corte del día 5 de noviembre del 2021). Por otro lado, los excedentes que sobrepasen el consumo de energía eléctrica de la red en el periodo de facturación, se venderán al precio establecido por la empresa de energía.

Tabla 12.
Presupuesto de la implementación del sistema solar fotovoltaico.

Equipo	Cantidad	Característica	Precio de Compra (Pesos)	Total COP
HiKuPro Mono SUPER HIGH POWER MONO PERC CANADIAN SOLAR INC	40	Panel monocristalino 475 W ~ 495 W	\$672.000	\$26.880.000

Equipo	Cantidad	Característica	Precio de Compra (Pesos)	Total COP
Grid Tie BluePlanet 20 kW LT3 – KACO	1	Inversor 200 - 950 V	\$12.300.000	\$12.300.000
MT174 – Iskra	1	Contador bidireccional trifásico	\$748.000	\$748.000
Kit para conexión a techo, conexiones, cables	40	Unidad	\$30.000	\$1.200.000
Mano de obra	1	Unidad	\$1.000.000	\$1.000.000
Mantenimiento anual	25	Limpieza de paneles y arreglo fotovoltaico	\$500.000	\$12.500.000
TOTAL				\$54.628.000

Nota. Esta tabla contempla los costos asociados a la implementación del proyecto (Autores, 2021)

Es por esto, que el aspecto económico tiene una gran importancia al momento de la toma de decisiones de la ejecución de un proyecto, por lo tanto, se identificó que el sistema con mayor favorabilidad que se identificó fue el de conexión a red gracias a que contempla menos costos durante el ciclo de vida del proyecto, por esta razón, se realizó el cálculo de los parámetros financieros contemplando la vida útil de los paneles solares (25 años) (Crawford, 2019).

El costo anual de la energía es el producto entre el consumo anual de la institución y el costo promedio del kWh el cual corresponde a \$573,24 kWh. Por otro lado, se calculó el valor anual de venta de los excedentes de energía generados por el sistema el cual se obtuvo realizando la multiplicación entre los excedentes del total de kWh generados anualmente por el sistema y el valor equivalente del costo de generación de kWh.

Tabla 13.

Cálculo de VPN y TIR del sistema solar fotovoltaico.

Año	Costo Anual de la Energía (COP)	Valor anual venta de excedente -COP 54.628.000	VAN COP 54.628.000
1	COP 8.554.460,5	COP 2.718.304,1	COP 51.366.035,1
2	COP 8.554.460,5	COP 2.718.304,1	COP 47.451.677,2
3	COP 8.554.460,5	COP 2.718.304,1	COP 42.754.447,8
4	COP 8.554.460,5	COP 2.718.304,1	COP 37.117.772,4
5	COP 8.554.460,5	COP 2.718.304,1	COP 30.353.762,0
6	COP 8.554.460,5	COP 2.718.304,1	COP 22.236.949,5
7	COP 8.554.460,5	COP 2.718.304,1	COP 12.496.774,6
8	COP 8.554.460,5	COP 2.718.304,1	COP 808.564,6
9	COP 8.554.460,5	COP 2.718.304,1	COP 13.217.287,4
10	COP 8.554.460,5	COP 2.718.304,1	COP 30.048.309,8

Año	Costo Anual de la Energía (COP)	Valor anual venta de excedente -COP 54.628.000	VAN COP 54.628.000
11	COP 8.554.460,5	COP 2.718.304,1	COP 50.245.536,7
12	COP 8.554.460,5	COP 2.718.304,1	COP 74.482.208,9
13	COP 8.554.460,5	COP 2.718.304,1	COP 103.566.215,5
14	COP 8.554.460,5	COP 2.718.304,1	COP 138.467.023,6
15	COP 8.554.460,5	COP 2.718.304,1	COP 180.347.993,2
16	COP 8.554.460,5	COP 2.718.304,1	COP 230.605.156,7
17	COP 8.554.460,5	COP 2.718.304,1	COP 290.913.752,9
18	COP 8.554.460,5	COP 2.718.304,1	COP 363.284.068,4
19	COP 8.554.460,5	COP 2.718.304,1	COP 450.128.447,0
20	COP 8.554.460,5	COP 2.718.304,1	COP 554.341.701,3
21	COP 8.554.460,5	COP 2.718.304,1	COP 679.397.606,4
22	COP 8.554.460,5	COP 2.718.304,1	COP 829.464.692,6
23	COP 8.554.460,5	COP 2.718.304,1	COP 1.009.545.196,0
24	COP 8.554.460,5	COP 2.718.304,1	COP 1.225.641.800,1
25	COP 8.554.460,5	COP 2.718.304,1	COP 1.484.957.725,0

Nota. Esta tabla muestra el cálculo del VPN y TIR del proyecto (Autores, 2021)

El sistema que se eligió, al no contemplar equipos como las baterías que reducen la vida útil y genera un mayor costo de inversión, conllevaría a un ahorro futuro al no reponer los equipos que dejen de ser eficientes en un periodo corto. Por lo anterior, se observó que el sistema presenta una amortización suficientemente rápida debido a la eficiencia y bajo costo de este.

Tabla 14.

Valores de TIR, VPN y PR del proyecto solar.

Vida Útil (Años)	TIR (%)	VPN	PERIODO DE RETORNO (Años)
25	20%	\$ 111.402.552,38	8,07

Nota. Esta tabla muestra el VPN, TIR y PR del proyecto (Autores, 2021)

Por último, se determinó que la factibilidad del proyecto propuesto para el IETD es favorable debido a que la tasa interna de retorno (TIR) y el valor presente neto (VPN) presentaron valores positivos que demuestran una gran favorabilidad para la implementación del sistema, además, el análisis costo-beneficio nos permitió determinar que al octavo año de la implementación del proyecto habrá recuperado la inversión inicial y se empieza a obtener ganancias a partir de dicho año.

6.3.3 Programa ambiental escolar (PRAE)

Con el fin de involucrar a la comunidad educativa en el desarrollo del proyecto, se formuló un PRAE en donde se traten temas como la energía solar, la huella de carbono y adecuada disposición de paneles luego de cumplir su vida útil. Para ello se utilizó la ficha resumen de un proyecto PRAE expuesta en el documento de “Concurso para la ejecución de iniciativas comunitarias” publicado por el Área metropolitana del Valle de Aburrá.

Tabla 15.

PRAE Uso de la energía solar fotovoltaica.

Programa "Uso de la energía solar fotovoltaica"

Reto/Temática de educación ambiental

Gerencia básica del día a día de la sostenibilidad
Disposición adecuada de residuos sólidos
Aire

Problemática

Las fuentes energéticas que se usan actualmente incrementan las problemáticas ambientales que se relacionan con factores como el alto índice de contaminación y otros; por esto, se hace indispensable el desarrollo de energías renovables y el entender cómo estas se pueden implementar para suplir las necesidades de la sociedad que las usa. Se puede afirmar que una de las formas de interacción de los contextos sociales, económicos y ecológicos de un individuo con su entorno energético es por medio de la enseñanza de las energías renovables desde temprana edad, gracias a que esto brinda a las personas herramientas conceptuales para fortalecer un pensamiento crítico sobre el uso desmedido de las fuentes energéticas convencionales y cómo sus acciones pueden generar cambios a largo plazo (Ortega & Mayorga, 2018).

En el Instituto Educativo Técnico Diversificado se identifica la necesidad de desarrollar una temprana conciencia ambiental en el marco de los sistemas fotovoltaicos y su importancia en la reducción de los Gases de Efecto Invernadero. Así mismo, la importancia del manejo de los residuos peligrosos generados una vez se cumpla la vida útil de los paneles solares.

Justificación

Actualmente, las instituciones educativas están en la búsqueda de la concientización de estudiantes, docentes y administrativos acerca de la reducción de daños y problemas ambientales, teniendo en cuenta que “la educación ambiental es un eje dinamizador para modificar las actitudes de las personas de manera que éstas sean capaces de evaluar los problemas de desarrollo sostenible o sustentable y abordarlo” (Mora, 2017). Es por esto, que un verdadero cambio positivo para el ambiente desde el IETD se basa en desarrollar un PRAE que promueva una cultura ambiental basada en desarrollo sostenible a través de la instalación de paneles fotovoltaicos y el manejo de estos luego de cumplir su ciclo de vida.

Alcance – Área de influencia

Sede Central del Instituto Educativo Técnico Diversificado

Población beneficiaria

1452 estudiantes
32 docentes
15 administrativos
8 personas de personal de apoyo

Actividad, objetivos y resultados

Objetivo general: Realizar campañas educativas ambientales en el IETD que involucren a los estudiantes, docentes y administrativos acerca de la importancia del uso de la energía solar fotovoltaica como agente de cambio a la generación de energía convencional.

Actividad	Objetivo	Resultado
Taller de introducción a la energía solar	1. Formular campañas educativas ambientales en el IETD que demuestren la importancia de la energía solar	El personal educativo identifica el concepto de energía solar y sus procesos
Charla del papel de las energías renovables en el desarrollo sostenible		Identificación del aporte de las energías renovables en el cumplimiento de los ODS
Presentación sobre la caracterización de sistemas fotovoltaicos y sus componentes		Conocimiento de los distintos sistemas y paneles solares
Presentación del concepto de la Huella de Carbono	2. Explicar qué es la huella de carbono y cómo se realiza el cálculo institucional y personal	Apropiación del concepto de Huella de Carbono
Explicación del cálculo de la huella de carbono institucional y personal		Calcular la huella de carbono institucional y personal para que lo repliquen en su entorno cercano
Exposición sobre los beneficios de la reducción de la Huella de Carbono		Concientización de la importancia de la reducción de la Huella Carbono
Presentación del concepto de residuos peligrosos	3. Informar sobre los residuos peligrosos que se generan de un sistema solar fotovoltaico y la disposición al finalizar la vida útil.	Conocimiento de los residuos peligrosos y la importancia de una adecuada disposición final
Actividad lúdica sobre el manejo y adecuada disposición final de los paneles al finalizar su vida útil		Identificación de los procesos a seguir para la disposición final de estos residuos

Metodología

Para el cumplimiento de los objetivos específicos del proyecto PRAE se van a desarrollar actividades como talleres, presentaciones y actividades lúdicas en donde participen los estudiantes, docentes y administrativos.

Presupuesto

Recurso	Unidad de medida	Cantidad	Valor unitario (COP)	Valor total (COP)
Taller	\$	1	150.000	150.000
Presentación	\$	5	100.000	500.000
Actividad lúdica	\$	1	160.000	160.000
Charla	\$	1	150.000	150.000
Capacitador	\$	8	250.000	2'000.000
Total				2'960.000

Duración del proyecto

Se va a realizar el proyecto en 8 meses, realizando una actividad por mes los días viernes durante 2 horas.

Seguimiento y evaluación

Encuestas
Evaluaciones

Comunicación y difusión

El proyecto se llevará a cabo de forma presencial en el IETD

Indicadores

Número de personas involucradas en la campaña de educación ambiental al año
Número de campañas realizadas por año

Articulación

Articulación con otras instituciones educativas del municipio y empresas privadas del sector energético

Nota. Esta tabla contempla el proyecto PRAE (Autores, 2021)

Luego de realizar la implementación del sistema, el instituto tendría esta zona como proyecto piloto para implementar un programa ambiental escolar (PRAE) con el personal educativo a partir de explicar el uso de la energía solar fotovoltaica, la importancia de la reducción de la HC y la adecuada disposición de los paneles como residuos peligrosos una vez finaliza su vida útil. El sistema educativo permite a través del PRAE la transformación de la comunidad estudiantil hacia una sociedad más sostenible. De igual forma, la educación ambiental posibilita la interacción de los estudiantes, docentes y administrativos con distintas áreas del conocimiento integrando los saberes hacia un proceso de mayor desarrollo educativo.

De acuerdo con Guerreo (2017), se debería incluir los lineamientos técnicos y las técnicas de tratamiento y disposición, por lo que se propuso la siguiente alternativa que cumple las orientaciones planteadas anteriormente para el tratamiento y disposición de los residuos de paneles solares.

1. Reciclaje de aluminio: se debe desmantela el marco de aluminio del panel. Se lleva este residuo a reciclaje.
2. Reciclaje de vidrio: se retira la cubierta de vidrio del panel y es llevado a reciclaje.
3. Reciclaje de plástico: la cubierta posterior es removida y llevada a una planta de reciclaje de plástico.
4. Reciclaje de metales: las celdas individuales son trituradas y se remueve el componente eléctrico. El metal extraído se recicla (Guerrero, 2017).

7. Conclusiones

Se concluye que la posición geográfica de la zona en donde se desarrolla el proyecto fotovoltaico es importante en la recepción de la radiación solar de los módulos fotovoltaicos, así como las condiciones meteorológicas y climatológicas. En el caso del Municipio de Monterrey, Casanare, al estar ubicado sobre una terraza presenta una mayor disponibilidad del recurso solar para aprovechamiento principalmente en los meses de diciembre a marzo. En cuanto a los factores meteorológicos y climáticos del municipio, la temperatura al ser en un rango de 24 a 28°C representa un adecuado rango para el funcionamiento óptimo de las celdas fotovoltaicas, así como, esto se complementa con la velocidad del viento del municipio pues este ayuda a disminuir la temperatura de los módulos, incrementando el voltaje.

En conclusión, el proyecto está diseñado para satisfacer los 41,5 kWh/día que requiere la institución, además, generará un excedente de energía del 32% que será vendida a la empresa prestadora del servicio de energía. Adicionalmente, se estableció que para proyectos en instituciones de carácter público los SSF que mejor se adaptan son los sistemas conectados a la red debido a la larga vida útil de los equipos que lo contemplan, especialmente el panel solar. Además, el sistema autónomo al contemplar las baterías y otras protecciones eléctricas, aumentan los tiempos de mantenimiento y cambios de equipos requiriendo nuevos periodos de reinversión.

Por otro lado, para la adecuada demostración del sistema de módulos fotovoltaicos en el IETD se utilizó el programa QGIS para determinar la ubicación geográfica de la institución, para luego plasmar en el programa AutoCAD la ubicación de los 40 paneles necesarios con la inclinación adecuada y orientación óptima para su funcionamiento y mantenimiento. De esta forma, se cumplen los parámetros adecuados de diseño para la implementación y funcionamiento del proyecto utilizando la metodología de tipo conexión a la red para el correcto aprovechamiento de los tejados del IETD.

La cantidad total de emisiones de gases de efecto invernadero que se generaron por consumo eléctrico en el IETD en el año 2019 fue de 2,47755 tCO₂/año. El beneficio ambiental que se consigue por la reducción de esta HC por medio de la instalación de SSF, es la contribución para mitigar los efectos negativos al cambio climático, aportando así soluciones ambientales necesarias en la actualidad dando cumplimiento a los ODS. La ventaja de la implementación del proyecto es que la energía se produce en el mismo lugar, contando con espacio disponible suficiente evitando traslados o modificaciones de las instalaciones.

Dentro del análisis expuesto, fue posible determinar la factibilidad del proyecto de acuerdo con el cálculo de la TIR, VPN y periodo de retorno de la inversión como principales indicadores financieros. En consecuencia de lo expuesto, se halló que la TIR al obtener un valor del 20% y el VPN un valor positivo demuestra que el proyecto es viable. Además, se determinó que para el año 8, posterior a la implementación del proyecto el balance económico comenzará a generar ahorros por el pago de energía eléctrica pues recuperará la inversión inicial a esta fecha. Dichos ahorros podrán ser invertidos en otras actividades o necesidades de la institución. Así mismo, es preciso señalar que al tener recursos económicos por excedentes esta situación se presenta como una ventaja económica que favorece el ahorro de la inversión pública en establecimientos educativos.

Por último, mediante la formulación del PRAE se logró evidenciar los beneficios obtenidos debido a la implementación de las energías renovables. Uno de los beneficios está en la apropiación del proyecto por parte de los estudiantes, docentes y administrativos abarcando temáticas de interés ambiental como el conocimiento de la importancia de los sistemas solares fotovoltaicos y cómo estos ayudan a reducir las emisiones de GEI. Además, la comunidad estudiantil tendrá la capacidad de dar una caracterización, disposición y manejo de los paneles como residuos peligrosos luego de cumplir su vida útil.

8. Recomendaciones

En base a los resultados recogidos en la presente investigación y al aporte bibliográfico de esta monografía, se recomienda realizar un cálculo de la HC que contemple la generación de GEI en los procesos de fabricación y transporte de los equipos que componen un sistema solar fotovoltaico.

Para un futuro estudio se recomienda contemplar detalladamente el cableado requerido para la instalación total del sistema. Así mismo, calcular la reducción de la eficiencia de los paneles solares a través del tiempo, ya que este es un factor que se presenta por el desgaste natural de los módulos.

También se recomienda contemplar las condiciones climáticas y meteorológicas futuras, pues por condiciones del cambio climático pueden llegar a variar y de esta manera, afectar la producción energética estipulada en este estudio.

Se recomienda incentivar y crear mecanismos para que la población institucional fomente el uso del Proyecto Ambiental Escolar (PRAE) dentro de las diversas actividades contempladas en el calendario académico y estas sean replicadas en otras sedes educativas.

Una vez concluido el presente trabajo de investigación, se considera que este estudio sea conocido por las instituciones académicas de nivel secundario y universitario de la región para una posible implementación del proyecto debido a los beneficios sociales, económicos y ecológicos hallados a partir de la metodología usada.

9. Referencias bibliográficas

- Acevedo, V. L. (2013). *Análisis de tecnologías fotovoltaicas y evaluación de sistemas solares fotovoltaicos conectados a red y autónomos utilizando la herramienta de simulación PVSYST: sistema híbrido de 4, 2KWP en Bogotá*. Trabajo de grado, Universidad Autónoma de Bucaramanga, Bucaramanga. Obtenido de https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/1423/2013_Tesis_Victor_Leonardo_Acevedo_Blanco.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Adler, F., Berardi, M., García Pedrosa, M., & Monticelli, F. &. (2013). *Energía Solar Fotovoltaica. Notas del curso instalaciones industriales*. Trabajo de grado, Universidad nacional de mar de plata. Obtenido de <http://www3.fi.mdp.edu.ar/dtoelectrica/files/instalaciones-industriales/material/autogeneracion/renovables/solar/energia%20solar%202013.pdf>
- Alarcón Solórzano, R. Y., & Cevallos Reyes, A. A. (2019). *Implementación de un sistema de iluminación a nivel fotovoltaico para el área recreacional de la carrera de Ingeniería Ambiental, ESPAM MFL*. Trabajo de grado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabi Manuel Félix López, Calceta. Obtenido de <http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1205/1/TTMA72.pdf>
- Alcaldía Municipal de Monterrey. (2021). *Alcaldía Municipal de Monterrey*. Obtenido de <http://www.monterrey-casanare.gov.co/alcaldia/funciones-y-deberes>
- Álvarez, D. (2019). *Análisis de variabilidad mensual de la radiación directa en la producción de sistemas termosolares de concentración*. Trabajo de grado, Universidad de Sevilla, Sevilla. Obtenido de <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/91086/TFG-2329-ALVAREZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Barberá, D. (2012). *Introducción a la energía fotovoltaica*. Obtenido de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70271/fichero/02+INTRODUCCI%C3%93N+A+LA+ENERG%C3%8DA+FOTOVOLTAICA%252FIntroducci%C3%B3n+a+la+Energ%C3%ADa+Fotovoltaica.pdf>
- Benito, G., & Ruiz, K. (2018). *Análisis beneficio-costo de la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaica en el campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio, Meta*. Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás, Villavicencio. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/13714/2018ginnabenito.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bilir, L., & Yildirim, N. (2017). Photovoltaic system assessment for a school building. *ScienceDirect - International journal of hydrogen energy*, 9-10.
- Camacho, C. (2020). *Determinación de la factibilidad para la implementación de celdas fotovoltaicas en las bodegas 11 y 22 de la corporación de abastos de Bogotá S.A*. Trabajo de grado, Universidad El Bosque, Bogotá. Obtenido de https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/2145/Camacho_Pazmi%20Cristian_David_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Chaize, G., & Digneaux, V. (2020). *Evaluación del potencial energético y económico de la implementación de una planta híbrida en el Colegio Distrital Agustín Fernández*. Trabajo de grado, Universidad El Bosque, Bogotá.
- Chambi, V. (2018). *Estudio y análisis de la actividad solar, radiación solar global y radiación UV en la ciudad de Arequipa*. Tesis, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/7602/FSMchlavn.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CNR. (2018). *Manual de inspección y revisión de sistemas fotovoltaicos*. Santiago de Chile : Impresoras S.A. Obtenido de <https://www.cnr.gob.cl/wp-content/uploads/2019/06/Manual-de-Inspeccio%CC%81n-y-Revisio%CC%81n-de-SFV.pdf>
- Cohaila, J. (2018). *Caracterización del sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica de la UNJBG utilizando un aplicativo informático, Tacna – 2017*. Tesis, Universidad Nacional Jorge Basadra Grohmann, Tacna. Obtenido de http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/3578/1556_2018_cohaila_mayta_jk_faci_fisica.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Consejo Municipal de Monterrey Casanare. (2020). *Acuerdo N°003 ‘‘Por medio del cual se adopta el Plan De Desarrollo para el periodo administrativo 2020-2023 ‘‘De Corazón Por Monterrey’’ del municipio de Monterrey - Casanare’’*. Obtenido de https://monterreycasanare.micolombiadigital.gov.co/sites/monterreycasanare/content/files/000532/26569_23768_acuerdon003.pdf
- CORPORINOQUIA. (2017). *Municipio de Monterrey*. Obtenido de <http://www.corporinoquia.gov.co/cidea/index.php/pages/casanare/category/8-monterrey>
- Crawford, W. (2019). *Guía de diseño para proyectos de energía solar fotovoltaica y evaluación financiera de estos orientada a empresas*. Universidad de Antioquia, Medellín. Obtenido de http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/13983/1/WilfridoCrawford_2019_Dise%C3%B1oEnergiaSolar.pdf
- Enerca S.A E.S.P. (2020). *Informe consolidado de la gestión mayo 2018 - mayo 2020*. Yopal. Obtenido de https://enerca.com.co/media/e02gplhh/informe_gestion_2018-2020.pdf
- Enerca S.A E.S.P. (2021). *Planeación Estratégica: ENERCA S.A. E.S.P.* Yopal. Obtenido de <https://www.enerca.com.co/institucional/planeacion-estrategica/>
- Espejo, C. (2004). *La energía solar fotovoltaica en España*. Universidad de Murcia. Obtenido de <http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/1443/espejomarin.pdf?sequence=1>
- García Arbeláez, C., Vallejo López, G., Higgins, M., & Escobar, E. (2016). *El Acuerdo de París. Así actuará Colombia frente al cambio climático*. WWF-Colombia, Cali. Obtenido de https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/el_acuerdo_de_paris__asi_actuara_colombia_frente_al_cambio_climatico.pdf

- García, M. (2012). *La atmósfera: composición y estructura. La dinámica atmosférica. El efecto Coriolis. Dinámica global de la atmósfera. Balance energético. Tiempo meteorológico y su medición. Los sistemas climáticos. La contaminación atmosférica. Métodos de determinación* y. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/263925612_La_atmosfera_composicion_y_estructura_La_dinamica_atmosferica_El_efecto_Coriolis_Dinamica_global_de_la_atmosfera_Balance_energetico_Tiempo_meteorologico_y_su_medicion_Los_sistemas_climaticos_La_contam?en
- Gobernación de Casanare. (2018). *Gobernación de Casanare*. . Obtenido de Recuperado de: <http://www.casanare.gov.co>
- Gómez Ramírez, J. (2017). La Energía Solar Fotovoltaica en Colombia: potenciales, antecedentes y perspectivas. *Universidad Santo Tomás*.
- Gómez, J., & Mayorga, D. (2020). *Estudio para la implementación de un sistema de autogeneración a partir de energía solar fotovoltaica en las instalaciones del molino Guanentá, ubicado en el municipio de Curití, Santander*. Trabajo de grado, Universidad Autónoma de Bucaramanga, Bucaramanga. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12749/7267>
- González, M. (2017). Estudio del aumento del potencial eléctrico de placas solares fotovoltaicas mediante sistemas de refrigeración. *Universidad de Jaén - Escuela Politécnica Superior de Linares*.
- Guerrero, L. V. (2017). *Revisión de las energías alternativas aplicadas en colegios y su influencia en la educación ambiental colombiana*. Universidad Militar Nueva Granada.
- Hung, V. (2011). *Propuesta Metodológica de selección de emplazamientos viables para instalaciones de energía solar fotovoltaica: Lanzarote*. Trabajo final de Máster, Universidad Complutense de Madrid. Obtenido de https://eprints.ucm.es/id/eprint/14433/1/Veronica_Propuesta_metodologica.pdf
- IDEAM. (2014). *Radiación solar*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta>
- IDEAM. (2021). *Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta>
- IETD. (2021). *Somos Tecnico: Sitio oficial del Instituto Tecnico Diversificado de Monterrey Casanare*. Obtenido de <http://www.ietdm.edu.co/Somos.php>
- IGAC. (2014). *Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras Departamento de Casanare Escala 1:100.000*. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia S.A. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/407461902/Estudio-de-suelos-Casanare-pdf>
- Iordan, S. (2008). *Análisis comparativo de plantas solares fotovoltaicas conectadas a la red*. Obtenido de <http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/1286pub.pdf>

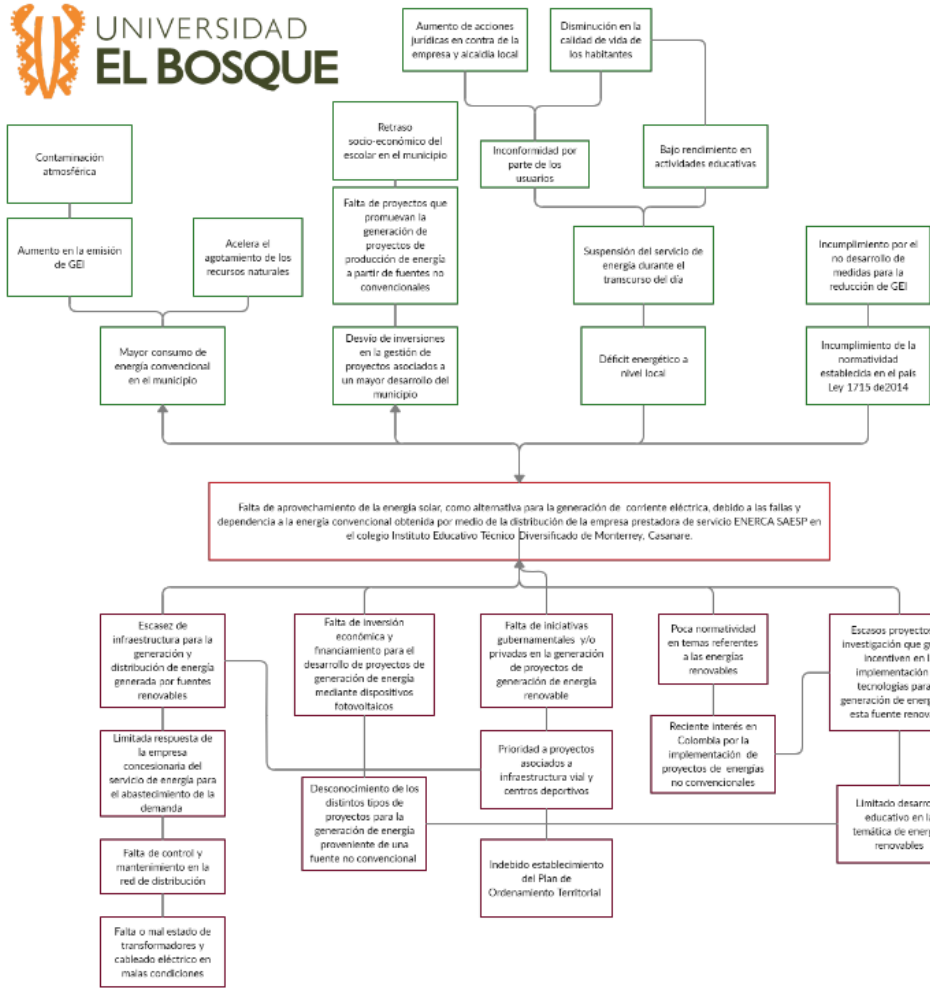
- Jamar, A., Majid, Z., Azmi, W., Norhafana, M., & Razak, A. (2016). A review of water heating system for solar energy applications. *ELSEVIER*, 178-187. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2016.05.028>
- Koohi-Kamali, S., Rahim, N. A., Mokhlis, H., & Tyagi, V. V. (2016). Photovoltaic electricity generator dynamic modeling methods for smart grid applications: A review. *ScienceDirect - Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 131-172.
- Ladino, R. (2011). *La energía solar fotovoltaica como factor de desarrollo en zonas rurales de Colombia. Caso vereda Carupana, municipio de Tauramena, departamento de Casanare*. Tesis, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/1085/LadinoPeraltaRafaelEduardo2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lewis, N. S., Crabtree, G., Nozik, A. J., Wasielewski, M. R., Alivisatos, P., Kung, H., . . . Nault, R. M. (2005). Basic Research needs for Solar Energy Utilization. *Report of the Basic Energy Sciences Workshop on Solar Energy Utilization*. Retrieved from <https://doi.org/10.2172/899136>
- Loeza, F. A., Carmona, C. R., & Tenorio, J. C. (2012). *Metodología de un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCCR) para uso en luminarias del edificio 3 de la ESIME Zacatenco*. Instituto Politécnico Nacional Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.
- Mejía, E. (2018). *Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para el suministro de energía eléctrica al laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Amazónica*. Trabajo de grado, Universidad Politécnica Amazónica, Bagua Grande. Obtenido de <https://repositorio.upa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12897/19/Informe%20Final%20de%20Proyecto%20de%20Investigaci%3b3n%20SFA%20-%202018%20UPA.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- MinEnergía. (2019). *Colombia, activa frente al cambio climático. Con energía solar y eólica aportará reducción de 9 millones de toneladas de CO2*. Obtenido de MinEnergía: <https://www.minenergia.gov.co/web/guest/historico-de-noticias?idNoticia=24159231>
- Molina, J., & Ortiz, I. M. (2012). Implantación de energías renovables y estimación de la huella de carbono en el municipio de Blanca (Murcia). *Universidad de Murcia*, 125-132.
- Mora, J. (2017). *Formulación del proyecto ambiental escolar (PRAE) en la institución educativa departamental Pío X jornada sabatina en el municipio de Chipaque Cundinamarca*. Trabajo de grado, Fundación Univesitaria Los Libertadores. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Frepository.libertadores.edu.co%2Fbitstream%2Fhandle%2F11371%2F1423%2Fjanethmora2017.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&clen=1602942>
- Narváez Rincón, P. C. (2010). Fuentes convencionales y no convencionales de energía: estado actual y perspectivas. *SciELO*.
- Orbegozo, C., & Arivilca, R. (2010). *Energía Solar Fotovoltaica - Manual técnico para instalaciones domiciliarias*. Green Energy Consultoría y Servicios SRL.

- Ortega, J., & Mayorga, J. (2018). *Implementación y análisis de una propuesta didáctica para la enseñanza de energías renovables*. Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Frepository.udistrital.edu.co%2Fbitstream%2Fhandle%2F11349%2F12903%2FMayorgaBuchellyJessicaLorena2018.pdf%3Bjsessionid%3D748C056D11D63AFBC9134CA9DBE4826C%3Fsequence%3D1&cl>
- Ortiz, J. D. (2013). Viabilidad técnico-económica de un sistema fotovoltaico de pequeña escala. (U. D. Caldas, Ed.) *Visión electrónica*, 6-12. doi:<https://doi.org/10.14483/issn.2248-4728>
- Ortiz, M. L., & Chacón, D. E. (2018). *Evaluación de los impactos en la implementación de energía solar fotovoltaica para una vivienda unifamiliar (Vereda la Cecilia Villavicencio-Meta-Colombia)*. Villavicencio: Universidad Cooperativa de Colombia.
- Pep Puig, M. J. (2008). Energía solar fotovoltaica. *“Energías Renovables*, 13-16.
- Pérez, B. (2020). *Todo lo que necesitas saber sobre la energía solar fotovoltaica (3rd ed.)*. Academia de energía solar.
- Perpiñán Lamigueiro, O. (2020). Energía Solar Fotovoltaica. *Creative Commons*.
- Perpiñán, O. (2013). *Energía Solar Fotovoltaica*. ResearchGate. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Oscar-Perpinan-Lamigueiro/publication/249012821_Energia_Solar_Fotovoltaica/links/02e7e51e80783f1d9f00000/Energia-Solar-Fotovoltaica.pdf
- Ramírez, E. B., Siabato, A. I., & Orduz, M. G. (2017). Análisis técnico, socioeconómico y ambiental de la electrificación con energía solar fotovoltaica aislada para vivienda rural en Hato Corozal, Casanare, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*.
- René Torrez, S. (2008). Irradianza solar y temperatura del aire superficial. *Revista Boliviana de Física*.
- Rodríguez Urrego, D., & Rodríguez Urrego, L. (2018). Photovoltaic energy in Colombia: Current status, inventory, policies and future prospects. (ScienceDirect, Ed.) *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 160-170. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.065>
- Rodríguez, A. M., & Gutiérrez-Fernández, F. (2018). Reducción de la huella de carbono por medio de la implementación de un sistema fotovoltaico en el sector hotelero. caso de estudio anaira hostel (Leticia-Amazonas - Colombia). *Revista de Tecnología*, 169-180.
- Romeva, R., & Romero, B. (2020). Ingeniería concurrente en un entorno sostenible. *CienciAmérica*. doi:<http://dx.doi.org/10.33210/ca.v9i4.337>
- Rosero Hernández, A. (2018). *Estrategias de gestión ambiental para mitigar la huella de carbono generada por el uso de energías convencionales en una institución hospitalaria de nivel 4*. . Santiago de Cali: Universidad Autónoma de Occidente.

- Salamanca Ávila, S. (2017). Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá. (U. D. Caldas, Ed.) *Revista científica*. doi:<https://doi.org/10.14483/23448350.12288>
- Sathaye, J., Lucon, O., Rahman, A., Christensen, J., Denton, F., Fujino, J., & Zhang, Y. (2011). *Renewable Energy in the Context of Sustainable*. University of Dayton.
- Soto Isidro, E. P. (2005). *Celdas fotovoltaicas en generación distribuida*. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile Escuela de Ingeniería.
- SSPD. (2019). *Diagnóstico de la calidad del servicio de energía eléctrica en Colombia 2018*. Bogotá: Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Obtenido de https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2019/Nov/diagnostico_calidad_servicio_2018.pdf
- UPME. (2019). *Proyección de la demanda energética eléctrica y potencia máxima en Colombia*. Informe.
- UPME. (2020). *Plan Energético Nacional 2020-2050. La transformación energética que habilita el desarrollo sostenible*. Informe.
- Vásquez Lombana, J. A., & Pedroza Arias, E. (2014). *Diseño de un sistema eléctrico residencial con energía solar, para suministrar energía a la red eléctrica de una vivienda unifamiliar en Yopal - Casanare*. Yopal: Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.
- Vélez-Pereira, A. M., Vergara-Vásquez, E. L., Barraza-Coronell, W. D., & Agudelo-Yepes, D. C. (2015). Evaluación de un modelo estadístico para estimar la radiación solar en Magdalena, Colombia. *Scielo*.
- WCED, S. W. S. (1987). *World commission on environment and development. Our common future*, 17(1), 1-91. Informe.
- Weather Spark*. (4 de Junio de 2021). Obtenido de Weather Spark: <https://es.weatherspark.com/y/25245/Clima-promedio-en-Monterrey-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-BestTime>
- Zárate, M. T., & Vidal, A. H. (2016). *Colombia Energy Investment Report*. Brussels: Energy Charter Secretariat.
- Zhang, H., Wu, K., Qiu, Y., Chan, G., Wang, S., Zhou, D., & Ren, X. (2020). Solar photovoltaic interventions have reduced rural poverty in China. *Nature communications*.

10. Anexos

Anexo 1. Árbol de problemas



EFFECTOS

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

CAUSAS

Anexo 2. Respuesta solicitud consumo energético de la institución



TRD 130.51.18-139

Monterrey, 11 marzo de 2021

Señor

Estudiante Ingeniería Ambiental
Universidad El Bosque
Dr. Cll 26 N. 10ª-11
Cel
E-mail

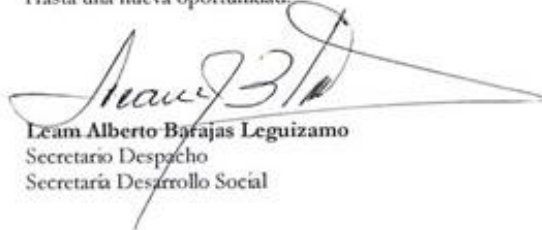
ASUNTO: Respuesta radicado ventanilla única MTR-00725-E

Cordial saludo,

De conformidad con el asunto, me permito informar que se realizó búsqueda en el archivo de la secretaría donde se encontró 4 facturas correspondientes al colegio Instituto Educativo Técnico Diversificado sede central, las cuales se envían en medio magnético al correo , debido que al momento de imprimir no se evidenciaba lo solicitado que era el consumo energético.

Esperamos sea de gran ayuda para su trabajo de grado y demás fines pertinentes.

Hasta una nueva oportunidad



León Alberto Barajas Leguizamo
Secretario Despacho
Secretaría Desarrollo Social

Adjunto: 4 folios

Elaboró: Yeni Carolina Moreno Díaz
Secretaría - SDS

Carrera 6 # 15-72
Código Postal 855 010
Pbx (8) 624 9890
www.Monterrey-Casanare.gov.co



Página 1 de 1

Anexo 3. Recibos del servicio de energía para el año 2019



OR: ENERCA SA ESP. NIT. 844.004.576-0
YOPAL Carrera 19 N° 6-100 Ed. Emiro Sossa P
PBX: 634 46 80-Línea Gratuita 01 8000 910 182
www.enerca.com.co

Datos del Usuario
MUNICIPIO DE MONTERREY
CR 10 CL 5 INST TEC DIVERSIFICADO
MONTERREY
R91467824

NIT/CC: Estrato: Urbana
Servicio: Predio:

Documento Equivalente No. 060024857529
Cuenta No. 711698158
Total a Pagar \$272.690
Pagar antes de INMEDIATO
Fecha de Suspensión 06-DIC-2019
Fecha de Impresión

Datos Técnicos

Ciclo: 41
Ruta de Entrega: 908-000207996012
Carga: 30
Nivel Tensión: Secundaria
Nodo Circuito: 15165
Nodo Conexión: 77301
Tipo de Medida: Activa
Medidor: PAF 13772714

Datos del Consumo

Medida	Lectura Actual	Lectura Anterior	Diferencia	Factor	Energía Consumida
Activa	454		454	1	

Tipo de Lectura: Anomalia:

Financiación

Total Cuotas
Cuota Actual
Cuotas Pendientes
Valor Financiación
Valor Cuota
Saldo Financiación

Consumos Últimos Seis Meses



PERIODO FACTURADO: 19/10/2019 - 19/11/2019

Pr promedio Kwh

Activa

Resumen de su Cuenta 05-DIC-19

Fecha Ultimo Pago \$687,300
Ultimo Pago
Valor Reclamación \$0
Saldo a Favor
Saldo de esta Factura 3
Periodos vencidos 0
Intereses por mora

Costo Unitario del Servicio

Descripción	Valor
G Costo compra energía	219.42
T Costo Transmisión	162.58
D Costo Distribución	57.03
Cv Costo Comercialización	41.21
PR Pérdidas	
R Restricciones	9.21
CF Costo fijo	

Curv = G + T + D + Cv + PR + R + CF

Información FOES

Consumo Base FOES
Vr KWh FOES

Detalle de la factura

Valor factura periodo	238,989
Impuesto A.P.	23,899
Conexos	9,806
Ajuste Decena	-4

Calculo del Consumo

Periodo	Cant. kWh	Valor Unidad	Valor Total	Valor Subsidio/Contribución	Valor a pagar
2019/11	454	526.41	238,989	0%	238,989

Calidad del Servicio

Suspensión 7.25 Acumulado 28.5
FES(Frecuencia) 12
DES(Duración) 5
Periodo: JUL - SEP

TOTAL A PAGAR \$272.690
Pagar antes de INMEDIATO
Fecha de Suspensión INMEDIATO

PARA SUSPENSION

Este documento de cobra presta mérito ejecutivo de conformidad a la Normas del Derecho Civil y Comercial (Ley 689 de 2001, Art 18)
Vigilada por la Superintendencia de Servicio Públicos Domiciliarios

Somos Grande Contribuyentes
Resolución DIAN # 012635/2018



Aviso de Suspensión del Servicio por Causal de No Pago:
Por el no pago en la fecha establecida, se procederá a la suspensión del servicio. Contra la presente decisión procede recurso de reposición y en subsidio el de apelación, conforme lo establece el artículo 154 de la ley 142 de 1994 y el C.C.U.
ENERCA solo recauda sus servicios a través de los puntos de pago autorizados que se encuentran al respaldo de este documento.
No entregue dinero a ninguna persona

Convenio Alumbrado Publico

Descripción	Valor
Valor a Pagar	

000024857529

Documento Equivalente NO. 711698158
Cuenta No. \$272.690
Total a Pagar INMEDIATO
Pagar antes de INMEDIATO
Fecha de Suspensión 06-DIC-2019
Fecha de Impresión



(415)7709998012233(8020)0711698158(3900)0000272690



99

Factura de Venta No. ENER 25105625

Cuenta 494232290

Periodo Facturado DICI 2019

Fecha de Facturación 07/ENE/2020

ENERCA
S.A. E.S.P.
O.R: ENERCA S.A. E.S.P.
NIT. 844.904.576.0, Marginal de la Selva Km 1 Via Aguazul
Tel 6344680 - 018009910182 www.enerca.com.co

Información Técnica

Cuenta: 494232290

Municipio: Monterrey Ciclo: 2

Ruta Entrega: Estrato

Clase de Servicio: 01400020701433000 3

Nodo Conexión: 1-4005

Nivel Tensión: Carga Instalada

Circuito: 4-000 Grupo: 5

Nombre: Sal. 13.2 Monterrey

Información Cliente

Cliente: MARIANÍ LA INOTARDO RUIZ

Dirección: CL 50 No. 11-11 INT. 105 UNIVERSIDAD MARIT

Nit. CC: 891857824

Historial de Consumo

MES MES MES MES MES MES Promedio

Datos de Consumo

Marca	# Contador	Observación
TIENE	DEBIDOR	RETRADO

Lectura Actual	Lectura Anterior	Factor	Consumo (kwh)
0	0	1	894

Liquidación Consumo Periodo

Consumo (kwh)	\$/kwh	Valor Total(\$)
894	571.815	511.203

Valor Total Consumo Periodo:	\$	511.203
(Subsidio / Contribución)	\$	
Valor Consumo Facturado:	\$	511.203

Detalle de la Factura

Concepto	Valor Total (\$)
Valor factura consumo periodo	\$ 511.203
Impuesto A.P.	\$ 51.120
Ajuste al Peso JBI	\$ 3

VALOR TOTAL A PAGAR: 562.320

PAGO OPORTUNO ANTES DE: 13/ENE/2020

FECHA DE SUSPENSIÓN A PARTIR DE: 14/ENE/2020

AVISO DE SUSPENSIÓN DEL SERVICIO POR CAUSAL DE NO PAGO:
Por el no pago en la fecha establecida, se procederá a la suspensión del servicio. Contra la presente decisión procede recurso de reposición y en subsidio el de apelación, conforme lo establece el artículo 154 de la ley 142 de 1994 y el C.C.U. ENERCA solo recauda sus servicios a través de los puntos de pago autorizados que se encuentran al respaldo de este documento.
No entregue dinero a ninguna persona

Calidad del Servicio

Indicador	Periodo	Acumulado
DES	7.25	11.12
FES	15	5

Información de financiación

VI Financiación	Total Cuotas	Cuotas Pend.

Costo de Prestación del Servicio (Fórmula CUy=G+T+PR+D+R+Cv)

Gener. (G)	Trans. (T)	Pend. (PR)	Distrib. (D)	Restric. (R)	Cvar (Cv)	CFijo(Cf)	Cu (\$/kwh)	Fecha	Valor \$
225.	34.0	41.3	214.	1.26	54.7	00.0	571.8	08/09/20	00.0000

Último Pago

Fecha	Valor \$

Información FOES

Consumo Base FOES: Vr KWh FOES: Número factura Base:

ESTIMADO USUARIO: CATELE OPORTUNAMENTE SU FACTURA EN PUNTOS DE PAGO AUTORIZADOS, EVITE LA SUSPENSIÓN DEL SERVICIO Y COSTOS ADICIONALES (COP VIT, CCU)

Source: Ordinal Contratación Rev. Dic # 82076 del 01/03/2018 Vigencia Superveniencia NLR 2-85001020-3
Esta factura de cobro presta interés ejecutivo de conformidad a las normas del derecho civil y comercial (Ley 899 de 2001, Art. 15)

MARIANÍ LA INOTARDO RUIZ
GERENTE GENERAL

ENERCA
S.A. E.S.P.

Factura de Venta No. ENER 25105625

Cuenta 494232290

Periodo Facturado DICI 2019

Total a pagar ENERCA ESP 562.320

(415)7709998012*33(8020)0494232290(3500)00000562320

Fecha de emisión: 07/12/2019 Fecha de corte: 07/12/2019



OR.: ENERCA SA ESP. NIT. 844.004.576-0
 YOPAL Carrera 19 N° 6-100 Ed. Emiro Sossa P.
 PBX: 634 46 80-Línea Gratuita 01 8000 910 182
 www.enerca.com.co

Datos del Usuario

INSTITUTO EDUCATIVO TECNICO DIVERSIFICADO
 CRA 10 CON CL 5

NIT/CC: 800192608
 Estrato: 1
 Predio: Urbano

Documento Equivalente No.

Cuenta No: 000023390377
 Total a Pagar: 711698158
 Pagar antes de: \$1.361.350
 Fecha de Suspensión: INMEDIATO
 Fecha de Impresión: INMEDIATO

Datos Tecnicos

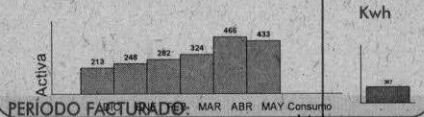
Ciclo:
Ruta de Entrega: 41
Carga: 998-0002079980127
Nivel Tensión: 30
Nodo Circuito: Secundaria
Nodo Conexión: 15168
Tipo de Medida: 77501
Medidor: Activa
 PAF 13772714

Datos del Consumo

Medida	Lectura Actual	Lectura Anterior	Diferencia	Factor	Energía Consumida
Activa	90413	89964	449	1	449

Tipo de Lectura: Anomalia:

Consumos Últimos Seis Meses



Financiación

Total Cuotas: 03-JUL-2019
 Cuota Actual
 Cuotas Pendientes
 Valor Financiación
 Valor Cuota
 Saldo Financiación

Costo Unitario del Servicio

Costo del Servicio (Cuv):
 Descripción

G Costo compra energía	218.60
T Costo Transmisión	32.66
D Costo Distribución	160.91
Cv Costo Comercialización	53.82
PR Pérdidas	40.27
R Restricciones	
CF Costo fijo	23.55

Cuv = G + T + D + Cv + PR + R + CF

Información FOES

Consumo Base FOES
 Vr KWh FOES

Calidad del Servicio

Suspensión	Acumulado
FES(Frecuencia)	
DES(Duración)	7.25 / 3.57
Periodo:	12 / 4

Resumen de su Cuenta

Fecha Último Pago
 Último Pago: 21-DIC-18
 Valor Reclamación: \$372.070
 Saldo a Favor
 Saldo de esta Factura: \$0
 Periodos vencidos
 Intereses por mora: 6

Detalle de la factura

Saldo Anterior	1,084,810
Valor factura periodo	237,879
Impuesto A.P.	23,788
Interes x mora	14,870
Ajuste Decena	3

Cálculo del Consumo

Periodo	Cant. kWh	Valor Unidad	Valor Total	Valor Subsidio / Contribución	Valor a pagar
2019/06	449	529.8	237.878	0%	237.879

Valor Total Consumo
 Valor Subsidio/Contribución
 Valor Consumo Facturado: 237.879

Este documento de cobro presta mérito ejecutivo de conformidad con las Normas del Derecho Civil y Comercial (Ley 689 de 2001, Art 18)
 Vigilada por la Superintendencia de Servicio Públicos Domiciliarios 237,879

Aviso de Suspensión del Servicio por Causal de No Pago:
 Por el no pago en la fecha establecida, se procederá a la suspensión del servicio. Contra la presente decisión procede recurso de reposición y en subsidio el de apelación, conforme lo establece el artículo 154 de la ley 142 de 1994 y el C.C.U.
 ENERCA solo recauda sus servicios a través de los puntos de pago autorizados que se encuentran al respaldo de este documento.
No entregue dinero a ninguna persona



Convenio Alumbrado Público

Descripción	Valor
Valor a Pagar	

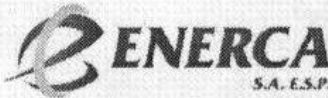


(415)7709998012233(8020)0711698158(3900)0001361350



Documento Equivalente No.

Cuenta No: 000023390377
 Total a Pagar: 711698158
 Pagar antes de: \$1.361.350
 Fecha de Suspensión: INMEDIATO
 Fecha de Impresión: INMEDIATO
 03-JUL-2019



OR, ENERCA SA E.S.P. NIT. 844.004.576-0
 YOPAL Carrera 19 N° 6-100 Ed. Emiró Bossa P.
 PBX.834 46 80-Línea Gratuita 01 8000 910 182
 www.enerca.com.co

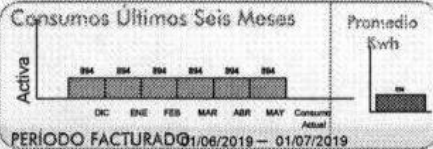
Datos del Usuario
 INSTITUTO EDUCATIVO TECNICO DIVERSII
 CLL 5 10A 00 P1

Documento Equivalente No. 000023371253
Cuenta No 494232290
Total a Pagar \$1,133,470
Pagar antes de INMEDIATO
Fecha de Suspensión INMEDIATO
Fecha de Impresión 10-JUL-2019

Datos Técnicos
Ciclo: 32
Ruta de Entrega: 014-0002070143300
Carga: 6.2
Nivel Tensión: Secundaria
Nodo Circuito: 15168
Nodo Conexión: 16005
Tipo de Medida: Activa
Medidor: /

Datos del Consumo
 Medida Lectura Actual Lectura Anterior Diferencia Factor Energía Consumida
 Activa 894
 Tipo de Lectura: Anómala

Financiación
 Total Cuotas
 Cuota Actual
 Cuotas Pendientes
 Valor Financiación
 Valor Cuota
 Saldo Financiación



MARIA NIBIAN LARROTTA RODRIGUEZ
 Gerente General

Costo Unitario del Servicio

Descripción	Valor
Costo del Servicio (Cuv):	
Descripción	218.60
G Costo compra energía	32.86
T Costo Transmisión	204.35
D Costo Distribución	53.82
Cv Costo Comercialización	40.27
PR Pérdidas	
R Restricciones	23.55
CF Costo fijo	
Cuv = G + T + D + Cv + PR + R + CF	

Información FOES
 Consumo Base FOES
 Vr KWh FOES

Detalle de la factura

Saldo Anterior	561.630
Valor factura periodo	512.474
Impuesto A.P.	51.247
Conexos	8.118
Ajuste Decena	1

Calidad del Servicio
 Suspensión FES (Frecuencia) 7.25 Acumulado 3.57
 DES (Duración) 12 4
 Periodo: ENE - MAR

Resumen de su Cuenta
 Fecha Última Pago 01-MAR-19
 Último Pago \$1,741,580
 Valor Reclamación
 Saldo a Favor \$2,053,550
 Saldo de esta Factura
 Periodos vencidos 1
 Intereses por mora 0

Cálculo del Consumo

Periodo	Conf. kWh	Valor Unidad	Valor Total	Valor Subsidio / Contribución	Valor a pagar
2019-06	894	573.24	512.474	90	512.473
Valor Total Consumo			\$ 512,474		
Valor Subsidiado/Contribución				90	
Valor Consumo Facturado					\$ 512,474

PARA SUSPENSION

TOTAL A PAGAR \$1,133,470
Pagar antes de INMEDIATO
Fecha de Suspensión INMEDIATO

Este documento de cobro presta mérito ejecutivo de conformidad a la Normas del Derecho Civil y Comercial (Ley 599 de 2001, Art 18) Vigilada por la Superintendencia de Servicio Públicos Domiciliarios

Somos Grandes Contribuyentes
 Resolución DIAN # 012635/2019



Aviso de Suspensión del Servicio por Causal de No Pago:
 Por el no pago en la fecha establecida, se procederá a la suspensión del servicio. Contra la presente decisión proceda recurso de reposición y en subsidio al de apelación, conforme lo establece el artículo 154 de la ley 142 de 1994 y el C.C.U.
 ENERCA solo recaude sus servicios a través de los puntos de pago autorizados que se encuentran al respaldo de este documento.
No entregue dinero a ninguna persona

Convenio Alumbreado Público

Descripción	Valor
Valor a Pagar	

170FFâ7B05%F87ÂÎH!!â.C0 ~
 (415)7709998012233(8020)0494232290(3900)0001133470



000023371253
Documento Equivalente No 494232290
Cuenta No 51,133,470
Total a Pagar INMEDIATO
Pagar antes de INMEDIATO
Fecha de Suspensión 10-JUL-2019
Fecha de Impresión

Anexo 4. Ficha técnica panel solar



Preliminary Technical
Information Sheet



HiKuPro Mono

SUPER HIGH POWER MONO PERC MODULE

475 W ~ 495 W

CS3Y-475 | 480 | 485 | 490 | 495MS

MORE POWER



Module power up to 495 W
Module efficiency up to 21.0 %



Lower LCOE & BOS cost,
cost effective product for utility power plant



Comprehensive LID / LeTID mitigation
technology, up to 50% lower degradation



Compatible with mainstream trackers



Better shading tolerance

MORE RELIABLE



Minimizes micro-crack impacts



Heavy snow load up to 5400 Pa,
wind load up to 2400 Pa*



linear power output warranty*



**enhanced product warranty on materials
and workmanship***

*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2015 / Quality management system
ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in IHS Module Customer Insight Survey. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 40 GW deployed around the world since 2001.

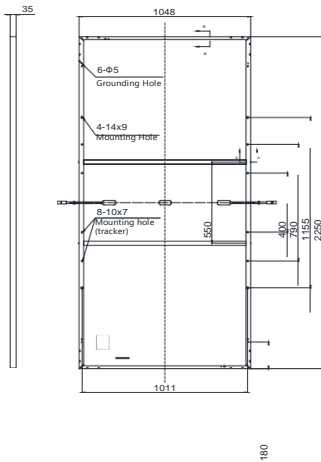
* For detailed information, please refer to the Installation Manual.

CANADIAN SOLAR INC.

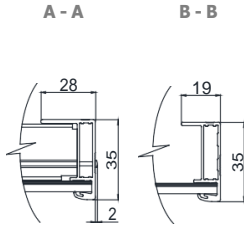
545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

ENGINEERING DRAWING (mm)

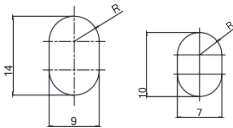
Rear View



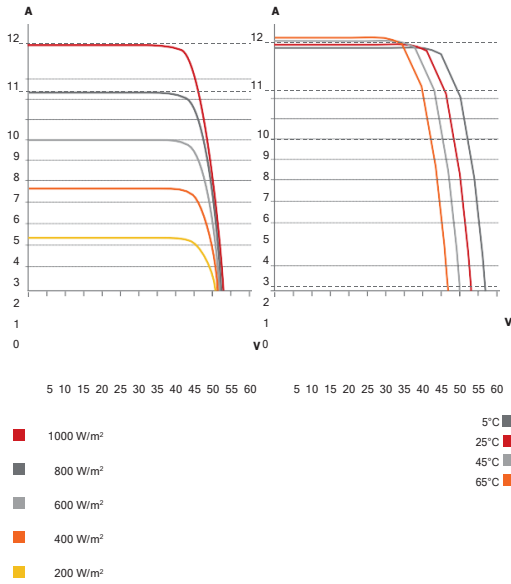
Frame Cross Section



Mounting Hole



CS3Y-490MS / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS3Y	475MS	480MS	485MS	490MS	495MS
Nominal Max. Power (Pmax)	475 W	480 W	485 W	490 W	495 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	43.8 V	44.0 V	44.2 V	44.4 V	44.6 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.85 A	10.91 A	10.98 A	11.04 A	11.1 A
Open Circuit Voltage (Voc)	52.5 V	52.7 V	52.9 V	53.1 V	53.3 V
Short Circuit Current (Isc)	11.52 A	11.57 A	11.62 A	11.67 A	11.72 A
Module Efficiency	20.1%	20.4%	20.6%	20.8%	21.0%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C				
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)				
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 61730) or CLASS C (IEC 61730)				
Max. Series Fuse Rating	20 A				
Application Classification	Class A				
Power Tolerance	0 ~ + 10 W				

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS3Y	475MS	480MS	485MS	490MS	495MS
Nominal Max. Power (Pmax)	354 W	358 W	362 W	365 W	369 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	40.8 V	41.0 V	41.2 V	41.4 V	41.6 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.68 A	8.74 A	8.79 A	8.83 A	8.88 A
Open Circuit Voltage (Voc)	49.4 V	49.6 V	49.8 V	50.0 V	50.2 V
Short Circuit Current (Isc)	9.29 A	9.33 A	9.38 A	9.42 A	9.46 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m² spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	156 [2 X (13 X 6)]
Dimensions	2250 X 1048 X 35 mm (88.6 X 41.3 X 1.38 in)
Weight	26.6 kg (58.6 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy, 2 crossbars enhanced
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm ² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 400 mm (15.7 in) (+) / 280 mm (11.0 in) (-); landscape: 1400 mm (55.1 in); leap-frog connection: 1900 mm (74.8 in)*
Connector	T4 series or H4 UTX or MC4-EVO2
Per Pallet	30 pieces
Per Container (40' HQ)	600 pieces

* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.35 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.27 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	42 ± 3°C

* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. Canadian Solar Inc. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice. Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

blueplanet 15.0 + 20.0 TL3

Transformerless, three-phase string inverters.



7

The all-rounders among inverters.

High flexibility for demanding system designs and string configurations

Manifold safety functions

Technical Data

DC input data	15.0 TL3	20.0 TL3
Max. recommended PV generator	18 000 W	24 000 W
MPP range	420 - 800 V	515 - 800 V
Operating range	200 - 950 V	200 - 950 V
Rated DC voltage / start voltage	673 / 250 V	673 / 250 V
Max. no-load voltage	1 000 V	1 000 V
Max. input current	2 x 20 A	2 x 20 A
Max. short circuit current $I_{sc \max}$	2 x 32 A	2 x 32 A
Number of MPP tracker	2	2
Connection per tracker	2	2
Max. input power per tracker	15 000 W	15 000 W
AC output data		
Rated output	15 000 VA	20 000 VA
Max. power	15 600 VA	20 800 VA
Line voltage	240 V / 415 V (3 / N / PE)	277 V / 480 V (3 / N / PE)
	230 V / 400 V (3 / N / PE)	240 V / 415 V (3 / N / PE)
	220 V / 380 V (3 / N / PE)	230 V / 400 V (3 / N / PE)
		220 V / 380 V (3 / N / PE)
Voltage range (Ph-Ph)	305 - 480 V	305 - 480 V
Rated frequency (range)	50 Hz / 60 Hz (42 - 68 Hz)	50 Hz / 60 Hz (42 - 68 Hz)
Rated current	3 x 20.9 A @ 415 V	3 x 24.1 A @ 480 V
	3 x 21.7 A @ 400 V	3 x 27.9 A @ 415 V
	3 x 22.8 A @ 380 V	3 x 28.9 A @ 400 V
		3 x 30.4 A @ 380 V
Max. current	3 x 23.0 A	3 x 31.0 A
Reactive power / cos phi	0 - 100 % S_{nom} / 0.30 ind. - 0.30 cap.	0 - 100 % S_{nom} / 0.30 ind. - 0.30 cap.
Max. total harmonic distortion (THD)	0.7 %	0.5 %
Number of grid phases	3	3
General data		
Max. efficiency	98.0 %	98.4 %
Europ. efficiency	97.6 %	98.1 %
CEC efficiency	97.6 %	98.1 %
Standby consumption	1.5 W	1.5 W
Circuitry topology	transformerless	transformerless
Mechanical data		
Display	graphical display + LEDs	graphical display + LEDs
Control units	4-way navigation + 2 buttons	4-way navigation + 2 buttons
Interfaces	Ethernet, USB, RS485, optional: 4-DI	Ethernet, USB, RS485, optional: 4-DI
Fault signalling relay	potential-free NOC max. 30 V / 1 A	potential-free NOC max. 30 V / 1 A
DC connection	DC plugs (MC4)	DC plugs (MC4)
AC connection	spring-loaded terminal, max. 16 mm ²	spring-loaded terminal, max. 16 mm ²
Ambient temperature	-25 °C - +60 °C ¹⁾	-25 °C - +60 °C ¹⁾
Humidity	0 - 95 %	0 - 95 %
Max. installation elevation (above MSL)	2 000 m	2 000 m
Min. distance from coast	2 000 m / 500 m (OD+ version)	500 m
Cooling	temperature controlled fan	temperature controlled fan
Protection class	IP65	IP65
Noise emission	< 52 db (A)	< 53 db (A)
H x W x D	690 x 420 x 200 mm	690 x 420 x 200 mm
Weight	48 kg	48 kg
Certifications		
Safety	EN 62109-1 / -2, EN 61000-6-1 / -2 / -3, EN 61000-3-2 / -3 / -11 / -12	
Grid connection rule	overview see homepage / download area	

¹⁾ Power derating at high ambient temperatures

Versions	15.0 TL3	20.0 TL3
DC switch	✓	✓
DC surge protection	○	○

standard = ✓ upgradeable = ○



BÁSICO MT -174

Medidor Polifásico Multitarifa

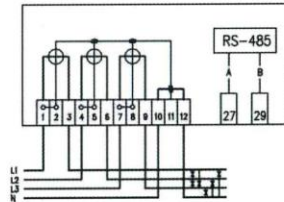
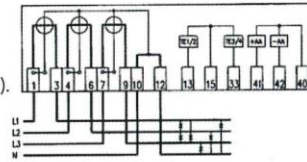


- Energías Activa, Reactiva y Aparente**
- Caja DIN**
- Múltiples tipos de conexión**
- Conexión directa o a transformadores de corriente**
- Clase de Protección**
- Perfil de carga**
- Puerto óptico**
- Reloj calendario RTC**
- Bitácora de eventos**
- Interfaz RS485**
- Registros para múltiples tarifas**
- Clase de Exactitud**
- Detección de campo magnético**
- Apto para la medición fotovoltaica**
- Demanda máxima**
- Medición en 4 cuadrantes**

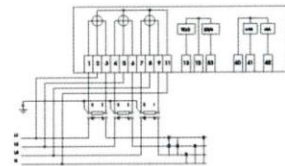
Con un diseño futurista, el medidor polifásico MT174 está preparado para adaptarse a los diversos requerimientos de los clientes. La elevada calidad en el proceso de fabricación permiten al medidor ofrecer un desempeño esperado en entornos residenciales y pequeña industria. El medidor cuenta con una amplia variedad de funcionalidades:

- Extensas características antifraude.
- Amigable diseño fotovoltaico.
- Interfaz de comunicación RS (RS 485).
- Hasta cuatro esquemas tarifarios.
- Perfil de carga extendido.
- Planes tarifarios (TOU) - tarificación interna.

Diagrama de conexiones

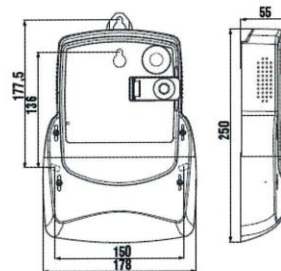


a. Diagrama de conexión directa MT174



b. Diagrama de conexión a través de TC

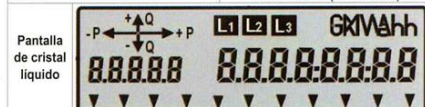
Dimensiones del medidor (mm)



MT174 Medidor polifásico multifuncional

Repaso del tipo		MT174-D2	MT174-T1
		DIN	DIN
Red	Baja tensión	•	•
	1F-2H	•	
	2F-3H	•	
Tipo de conexión	3F-4H	•	•
	RS 485	•	•
Comunicación	Interfaz óptico	•	
	Salida S0	•	•
Opciones entrada-salida	Salida OPTOMOS	•	•
	Entrada tarifa (1 o 2)	•	•

Especificaciones técnicas		MT174-D2	MT174-T1
		DIN	DIN
Tensión nominal	Un	3x120/208 V	
Rango de tensión		0,8 - 1,15 Un	
Corriente	Corriente base In	5 A	1 A
	Corriente máxima I _{max}	120 A	6 A
Clase de Exactitud	Energía activa	Clase 1 (IEC 62053-21 NTC 4052)	
	Energía reactiva	Clase 2 (IEC 62053-23 NTC 4569)	
	Energía aparente	Clase 2	
Reloj tiempo real	Precisión	Mejor que ± 3 min/año a 23°C	
	Alimentación de respaldo	Pila Li: 5 años operac. hasta 20 años	
Rango temp. IEC 62052-11	Operación	-40°C...+60°C, extend. -40°C...+70°C	
	Almacenamiento	-40°C ... +80°C	
Protección ingreso polvo y agua		IP54	
Consumo		0.6 W / 10 VA (sin RS485)	
		0.8 W / 10 VA (con RS 485)	



Funcionalidades básicas:

Características de medición

- Medición de "energía" en dos direcciones.
- Energías y demandas Activa, Reactiva y Aparente en redes 3F-4H y 2F-3H.
- Mediciones por fase y trifásicas.
- Cantidades de medición: Tensiones por fase, corrientes por fase, factores de potencia por fase, frecuencia.
- Medición de "energía" en dos direcciones.
- Medición de potencias instantáneas.

Funcionalidades tarifarias:

- Planes tarifarios (TOU) para la medición de energía activa y demanda máxima (hasta 4 tarifas, 10 estaciones, 10 programas semanales, 10 definiciones diarias, 10 conmutaciones dentro de programas tarifarios diarios, 46 festivos).

Perfiles de carga:

- 2 Registros de perfil de carga hasta 8 canales.
- Posibilidad de configurar el período del registro en 5, 10, 15, 30, 60 minutos y 24h.

Comunicación:

- Conformidad con IEC 1107.
- Dos interfaces de comunicación:
 - Puerto óptico.
 - RS 485.

Reloj de tiempo real (RTC):

- Conformidad con la norma IEC 62054-21.
- RTC con calendario basado en cristal de cuarzo de 32 kHz.
- Precisión del RTC: mejor que ± 3 minutos / año, reserva de operación: 5 años, expectativa del tiempo de vida de la pila de Litio: 20 años.
- Contador del tiempo transcurrido de la operación del RTCV.
- Pila de Litio habilita los datos en pantalla LCD cuando el medidor se encuentra en el estado de no-energizado.

Funcionalidades tarifarias:

- Pantalla LCD.
- Detección de la apertura de la tapa cubrebornes.
- Detector de campo magnético externo.
- Medición fotovoltaica.
- Canales de comunicación con seguridad.
- Indicación de batería baja.
- Entradas / Salidas.

Distribuidor:



INELCA S.A.S.
 Calle 15 No. 22 - 207 Autopista Cali - Yumbo
 Terminal logístico Valle del Pacífico, Bodega No. 4C
 PBX: (57 2) 381 5000 Fax: (57 2) 380 8573
 Email: servicioalcliente@inelca.com.co
 ventas@inelca.com.co