



Estudio de viabilidad del uso de energías renovables, como alternativa de solución
para cubrir la demanda eléctrica del Instituto Politécnico –Bucaramanga

Proyecto de investigación

Carlos Andrés Bautista Albarracín
1098776838
Juan Sebastián Figueredo Díaz
1098200581

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad de ciencias naturales e ingeniería
Ingeniería electromecánica
Bucaramanga, 18-01-2021



Estudio de viabilidad del uso de energías renovables, como alternativa de solución para cubrir la demanda eléctrica del Instituto Politécnico –Bucaramanga

Proyecto de investigación

Carlos Andrés Bautista Albarracín
1098776838

Juan Sebastián Figueredo Díaz
1098200581

Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero electromecánico

DIRECTOR

MSc. Obdulio Solano Ruíz

CO-DIRECTOR

MSc. Jairo Gómez Tapias

Grupo de investigación en diseño y materiales (DIMAT)

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER

Facultad de ciencias naturales e ingeniería

Ingeniería electromecánica

Bucaramanga, 18-01-2021

Nota de Aceptación

APROBADO _____

Juan R. C.

Firma del Evaluador

[Firma]

Firma del Director

AGRADECIMIENTOS

El proyecto de grado fue realizado bajo la supervisión del docente MSc. Obdulio Solano Ruíz, que como nuestro director de trabajo de grado durante un semestre académico, aportó con su experiencia y conocimiento las indicaciones esenciales para llevar a cabo las correcciones necesarias, así como el suministro de documentos que nos ayudarían a mejorar la redacción, investigación y sustentación de nuestro proyecto, agradecemos su dedicación y disponibilidad durante la elaboración del mismo.

También, dar gracias a la Mag. Flor Alba Casadiego Ardila, rectora del colegio Politécnico de Bucaramanga, que como máxima autoridad del plantel, puso a disposición el mismo y la información necesaria que permitió el óptimo desarrollo de la investigación.

Asimismo, agradecemos al Ing. Jairo Roa, empleado de la ESSA, por proporcionar la información relacionada al consumo energético de la institución, que sirvió como punto de partida para la realización del estudio.

Por último, dar gracias a la empresa COPOWER® por brindarnos las asesorías correspondientes con todo lo relacionado a la implementación de sistemas solares fotovoltaicos y facilitar el manejo del software especializado como herramienta para obtención de cálculos y datos técnicos del proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO.....	9
INTRODUCCIÓN.....	10
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	11
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
1.2. JUSTIFICACIÓN	12
1.3. OBJETIVOS	13
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	13
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
1.4. ESTADO DEL ARTE.....	14
2. MARCO REFERENCIAL	19
2.1. MARCO HISTÓRICO	19
2.1.1. BREVE HISTORIA DE LA ENERGÍA EN COLOMBIA	20
2.1.2. FUNDACIÓN DEL INSTITUTO POLITÉCNICO DE BUCARAMANGA	21
2.2. MARCO CONCEPTUAL.....	22
2.3. MARCO LEGAL.....	25
3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....	27
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN APLICADA	27
3.2. ENFOQUE CUANTITATIVO	27
3.3. MÉTODO ANÁLISIS.....	28
3.3.1. CONSULTAS EN FUENTES SECUNDARIAS	28
3.3.2. CONSULTA A FUENTES PRIMARIAS	29
3.4. TÉCNICAS DE OBSERVACIÓN NO PARTICIPANTE	29
4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO	30
4.1. ESTIMACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO	30

4.2.	ANÁLISIS DE LA INFRAESTRUCTURA.....	32
4.3.	ANÁLISIS TÉCNICO (SOFTWARE DE INGENIERÍA ESPECIALIZADO EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS <i>BLUESOL</i>)	33
4.3.1.	INFORMACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DEL SITIO DE LA INSTALACIÓN.	34
4.3.2.	SUMINISTRO ELÉCTRICO	36
4.3.3.	CÁLCULOS CORRESPONDIENTES AL DISEÑO DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO	36
4.3.4.	CÁLCULO DE PRODUCIBILIDAD	41
4.3.5.	CÁLCULO DE LOS INVERSORES	43
4.3.6.	CONDUCTORES ELÉCTRICOS	45
5.	RESULTADOS	47
6.	CONCLUSIONES	52
7.	RECOMENDACIONES	53
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Etiqueta de desempeño energético.....	24
Figura 2. Plano eléctrico último piso de la institución	33
Figura 3. Distribución del sistema sobre el área disponible	40
Figura 4. Diagrama unifilar del sistema	40
Figura 5. Tendencia de producción mensual de energía esperada durante el año.	42
Figura 6. Detalles del SSFV	47
Figura 7. Retorno de la inversión del proyecto durante 25 años	49
Figura 8. Reducción de dióxido de carbono anual	50
Figura 9. Modelado 3D de la ubicación del SSFV	51
Figura 10. Acercamiento del SSFV mediante modelado 3D	51

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Histórico de consumo Colegio Politécnico 2019.....	31
Tabla 2. Datos geográficos del sitio de la instalación.....	34
Tabla 3. Datos de irradiación sobre la zona de estudio.....	35
Tabla 4. Suministro eléctrico	36
Tabla 5. Características eléctricas del generador fotovoltaico	38
Tabla 6. Características eléctricas de las cadenas	39
Tabla 7. Datos de la construcción de los módulos	39
Tabla 8. Factores de pérdidas.....	42
Tabla 9. Verificación inversor 1	44
Tabla 10. Verificación inversor 2	45
Tabla 11. Presupuesto, suministro y transporte de equipos para una capacidad máxima posible de 25.08 kWp	48
Tabla 12. Presupuesto ingeniería, instalación, trámites y puesta en marcha del sistema.....	48

RESUMEN EJECUTIVO

Actualmente, en el mundo se han estado desarrollando avances tecnológicos a partir de la idea de que los recursos energéticos convencionales no son infinitos, y que se debe acelerar en la búsqueda de alternativas que permitan explorar e implementar nuevas soluciones en cuanto a la obtención de energías limpias que contribuyan con un impacto positivo en el aspecto social, ambiental y tecnológico.

Por esta razón, el proyecto se fundamenta en el estudio de viabilidad de una alternativa energética que satisfaga la demanda de energía eléctrica del Instituto politécnico ubicado en la ciudad de Bucaramanga, como opción para mejorar su servicio eléctrico, ahorro de energía y aprovechamiento de recursos naturales; con el adicional de aportar solución a un problema crucial como es la crisis energética.

El método consiste en conocer el consumo total de energía que posee la institución, identificar sus áreas críticas, es decir, las de mayor consumo; posteriormente, determinar la oferta del recurso solar. Una vez obtenido lo anterior, se revisan los resultados para establecer qué tan viable es la implementación de un sistema fotovoltaico, y asimismo, considerar la posibilidad de instaurar turbinas eólicas; teniendo en cuenta factores de infraestructura y dimensionamiento, de modo que sea posible cubrir la demanda de consumo energético.

Finalmente, se presenta la evaluación de los beneficios de sustituir el suministro energético actual por otro tipo de energía alternativa, con sus respectivas especificaciones técnicas y financieras para la implementación del sistema, así como el diseño del mismo.

PALABRAS CLAVE. Consumo, energía, alternativas, renovable, diseño.

INTRODUCCIÓN

En Colombia, debido a su incremento poblacional y el cambio climático, se ha optado por disminuir la obtención de energía proveniente de fuentes a base de carbón mineral, gas natural, combustibles líquidos, entre otros; para buscar nuevas opciones que logren satisfacer la demanda que se presenta.

Por consiguiente, el proyecto se encuentra dentro del contexto de las energías renovables como opción para contribuir con la mejora de la calidad del suministro eléctrico del instituto politécnico de Bucaramanga, a partir de la evaluación de diferentes aspectos: meteorológicos, geográficos, energéticos, técnicos, financieros y aquellos que contribuyan a aportar beneficios al medio ambiente de manera que justifique la transición energética.

Además, el presente proyecto expone el análisis de resultados de forma cuantitativa concerniente a la viabilidad técnica y financiera del suministro de energía mediante la implementación del uso de un sistema solar fotovoltaico.

Finalmente, se formula la propuesta del diseño del sistema, con recomendaciones basadas en aspectos complementarios que sirven como punto de partida para estudios posteriores que apunten a la optimización del modelo propuesto.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia, se evidencia un aumento significativo en la población escolar debido a los diferentes planes del gobierno, que buscan fortalecer la educación por medio de miles de cupos estudiantiles en todo el país, según cifras del departamento nacional de estadística DANE, en 2018 la población escolar ascendía a 9.916.546 estudiantes (DANE, 2018)

De lo anterior, es posible apreciar que este número de estudiantes seguirá en ascenso, lo cual hará que el consumo de energía eléctrica e infraestructura de los centros educativos se vea directamente afectado; en la actualidad las instituciones educativas, para mejorar la calidad académica de sus estudiantes ponen al servicio equipos de alta tecnología, esto conlleva a elevar su consumo energético y por ende su costo de funcionamiento.

Con relación a lo anterior, el Instituto politécnico de Bucaramanga, tiene identificadas algunas de sus áreas que cubren un alto porcentaje de su consumo energético. Se estima que el costo alcanza un valor promedio de cinco millones de pesos (5'000.000=) mensuales, según datos entregados por la Rectora Flor Alba Casadiego Ardila. (Politécnico, 2020)

Por lo tanto, se plantea la siguiente pregunta: ¿La implementación de suministro energético a través del aprovechamiento de energía renovables como la solar y/o la eólica, permitirá cubrir la demanda energética total o parcial del colegio, de manera que permita apreciar un incremento en la eficiencia y ahorro de energía que contribuya así con el cuidado del medio ambiente?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Lograr cubrir, total o parcialmente, la demanda de energía eléctrica mediante el uso de energías renovables, conlleva a un mejoramiento en la calidad del servicio que la institución ofrece a la comunidad estudiantil; por tal razón se busca que los sobrecostos que actualmente se obtienen por el consumo, puedan ser orientados para mejorar parte de su infraestructura en beneficio de la institución.

Asimismo, como lo estipula la Unidad de Planeación Minero Energética -UPME-, donde invita a que contribuyamos en uno de los objetivos del gobierno, que tiene que ver con el incremento del uso de Energías Renovable (UPME, 2015), por lo anterior, se resalta la importancia que instituciones educativas como el Instituto politécnico, por medio de la implementación del uso de energías renovables, promueva en sus estudiantes el interés por este tipo de alternativas energéticas, de tal manera que se vean inmersos en la situación actual que vive el planeta y con esto contribuyan a inculcar en ellos, el cuidado del mismo.

Finalmente, la generación de proyectos con energías renovables en el ámbito local genera grandes incentivos en la implementación y consolidación de estas formas renovables de energía, brindando apertura a nivel nacional para tener mayor acogida e incrementar su uso en el resto del territorio, permitiendo así evolución y desarrollo a nivel económico social y cultural.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar la viabilidad del uso de Energías Renovables como una alternativa que contribuya en cubrir la demanda energética del instituto Politécnico, mediante la identificación del consumo actual, su dimensionamiento, y el potencial de captación de estas energías de acuerdo a las características geográficas de su ubicación y facilidades locativas.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer la demanda actual del consumo energético del colegio, por medio de la identificación de malos actores y zonas críticas, de manera que se obtenga un valor estimado que se pueda comparar con el potencial de la oferta identificado, para posteriormente apuntar a su cubrimiento.
- Identificar el potencial de la oferta energética (solar y eólica) de la zona de estudio, a partir de la localización geográfica y los respectivos cálculos basados en estudios anteriormente realizados por instituciones de carácter estatal y privado, para obtener un estimado de lo que se puede captar y compararlo con su demanda.
- Determinar el cubrimiento de la demanda energética, a partir del uso de energías renovables, mediante el análisis de cada una de las edificaciones y facilidades locativas para la captación de energía, de tal forma que se establezca el alcance de lo que se pretende satisfacer.
- Diseñar un modelo de solución energética viable, a partir de los análisis previos, de manera que permita cumplir los requerimientos obtenidos en cada una de las etapas y así brindar la mejor alternativa.

1.4. ESTADO DEL ARTE

El presente estado del arte estudia la diversa literatura de carácter investigativo, académico y empresarial relacionada con la viabilidad e implementación de energía renovable en universidades, empresas, zonas de residencia y escuelas. Los estudios son nacionales e internacionales, con características geográficas diferentes; zonas tropicales con versatilidad en el clima y lugares de estaciones fijas. Estas cualidades son puntos clave para la realización del proyecto, con esto, se verifica la velocidad del viento y radiación solar.

Antecedentes Nacionales

La tesis de grado, *“Estudio de viabilidad plan de mejoramiento para hacer más eficiente el uso del recurso energético a través de paneles solares en la empresa Molina Visbal Procesos Integrados S.A.S. vía Cali- Yumbo”*, elaborada por Lina Duran, Mónica Garzón Y Marilly Gutiérrez, para obtener el título de Administradoras de Empresas, se observa tres factores fundamentales para la implementación de un nuevo recurso energético, el primero, es el factor contaminante de la zona industrial de Yumbo, allí se convierte en una de las principales problemáticas para el trabajo de los operadores, la polución es descontrolada “produce el daño del medio ambiente es la forma en que el hombre la consigue, por ejemplo la quema de combustibles fósiles, entre ellos el petróleo, gas natural, el carbón, etc. y el agotamiento de los recursos hídricos con la desviación de ríos y quebradas. (Durán Flórez, Garzón , & Gutiérrez Ordoñez , 2017)

La segunda reflexión se piensa desde el impacto tecnológico que un plan de mejoramiento en la empresa MOLINA VISBAL PROCESOS INTEGRADOS S.A.S para hacer más eficiente el uso del recurso energético a través de paneles solares. La investigación de circuitos, calidad operativa y demás, ayuda a reinterpretar las situaciones internas de la empresa para mejorar la calidad del servicio. La tercera,

es la producción a gran escala, por la cual, se busca ampliar el espectro operacional con diversificación de la energía. La incidencia de cambio es una empresa cliente que tiene acuerdos ambientales en su cadena de producción, por consiguiente, la responsabilidad productiva de Molina Visbal Procesos Integrados S.A.S, se concibe como colaborativa. (Durán Flórez, Garzón , & Gutiérrez Ordoñez , 2017)

La intervención en la compañía Molina Visbal Procesos Integrados SAS inicia con el análisis detallado del consumo actual de energía eléctrica, la cuál varía mensualmente acuerdo a la necesidad de sus clientes. Entre ellos se encuentra la compañía Smurfit Kappa Cartón de Colombia S.A. la cual representa el 60% de los ingresos de la compañía, por lo tanto, su cliente principal. Smurfit cuenta con certificación de manejo forestal responsable y certificación FSC de cadena de custodia, por tal motivo la exigencia a sus proveedores obedece al manejo responsable de los derivados de las plantaciones forestales y productos a base de papel. Si bien es Smurfit la responsable de la plantación de los productos y de entregarlo al consumidor final, dentro de la cadena de valor se encuentra Molina Visbal Procesos integrados SAS directamente relacionada ya que interviene en el proceso de transformación de materia prima por medio de los servicios ofrecidos como conversión, rebobinado y refile de papeles, cartones, cartulinas, etc. (p.19).

Por otra parte, Un artículo publicado de la revista científica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas por Sebastián Salamanca: "*Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica*". Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá, tiene dos características, un análisis del clima de la capital colombiana y la proyección de durabilidad a 25 años de los paneles solares, la propuesta está enfocada en disminuir el gasto de energía convencional en las casas bogotanas y complementarla con energía solar. Los objetivos llevan a disminuir el gasto económico y el nivel de contaminación. Una de las conclusiones importantes de este

estudio es que la viabilidad del proyecto para una vivienda en Bogotá si es posible a pesar de las condiciones atmosféricas de la ciudad. (Salamanca Ávila , 2017)

En un ecosistema similar, para el año 2015 dos estudiantes de la universidad de los Andes y uno de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, proponen un “*Diseño de sistemas de energía solar fotovoltaica para usuarios residenciales en Chía, Cundinamarca*”. Ahí, se presenta un análisis económico y técnico para la implementación de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red eléctrica (BIPVS por sus siglas en inglés) esto para personas de estrato 6 del municipio de Chía, Cundinamarca. Este estudio en términos económicos, habla de la implementación de la Ley 1715 de 2014, la cual brinda incentivos para quienes utilicen energía renovable, así mismo, muestra los rangos de recuperación económica respecto a la inversión. (Rodríguez Manrique, Cadena Monroy, & Aristizábal Cardona , 2015)

Del mismo modo, el docente e investigador Darwin Orlando Sarmiento junto con la ingeniera e investigadora Karla Yohana Sánchez, proponen un “*Diseño de energías renovables en un sector rural de la población norte santandereana*”. Lo Anterior, permite realizar un análisis particular de la implementación de sistemas fotovoltaicos en escuelas rurales, cercanas a la región de Santander y profundizar en las condiciones y componentes de la demanda. La investigación titulada: “Diseño de un sistema fotovoltaico aislado para la generación de energía eléctrica en escuelas rurales de Norte de Santander.” Efectúa un diseño financiero y técnico para la implementación de sistemas fotovoltaicos que permita el aprovechamiento de recursos naturales inacabados como la energía solar y, al mismo tiempo, suplir necesidades básicas de comunidades humanas situadas en zonas periféricas. (Cardozo Sarmiento & Sanchez Mojica , Artículos Teóricos , 2019)

En la Universidad de Antioquia, dos ingenieros electricistas, docentes de la facultad de Ingeniería y un ingeniero de materiales y estudiante de Maestría, fueron

financiados para generar un “*Diseño multiobjetivo de un sistema hídrico eólico-solar con baterías para zonas no interconectadas*”, según lo presenta el artículo. La intención, generar un modelo de optimización del sistema de energía para unos usuarios en la región de la Guajira. Allí, se concluye que la tecnología fotovoltaica es más práctica bajo diferentes condiciones que la tecnología eólica. Posteriormente, se sugiere que es importante desarrollar proyectos en los claustros universitarios para interpretar información a detalle, verificar la problemática y así dar de manera óptica una solución. (Cardozo Sarmiento & Sánchez Mojica , Diseño de un sistema fotovoltaico aislado para la generación de energía eléctrica en escuelas rurales de norte de Santander , 2019)

Asimismo, en el municipio de Páez ubicado en el departamento de Boyacá, se llevó a cabo un proyecto llamado “diseño de un sistema solar fotovoltaico autónomo para una institución educativa rural”. Dicho diseño contó con un previo análisis de otras energías alternativas pero que en última instancia se determinó que no resulta viable su implementación. Luego de seleccionar el sistema fotovoltaico, los autores hicieron el respectivo análisis de las condiciones geográficas y climáticas por medio de información obtenida de entidades idóneas en tales áreas como el IDEAM y la NASA. Posteriormente, realizaron los cálculos correspondientes al número de paneles, banco de baterías y su capacidad, número de inversores y la potencia de cada uno y por último determinan la configuración serie o paralelo que requiere el sistema. (Mesa, Sanabria, & Pérez, 2015)

Antecedentes Internacionales

La tesis de grado elaborada en Lima, Perú, por Paulo Daniel Valdiviezo para optar el título de Ingeniero Mecánico, elabora el “*Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP*”, es decir, en Pontificia Universidad Católica del Perú. En las investigaciones, se

evidencia una gran intención por implementar sistemas fotovoltaicos en universidades y colegios, espacios para la investigación e innovación tecnológica. En este se considera la literatura referente a las condiciones climáticas del contexto, las herramientas necesarias para el abastecimiento necesario de 15 computadoras portátiles: Baterías, paneles fotovoltaicos, inversores, controladores, cableado. Además de ello, se estiman las distancias entre los paneles solares, la distancia e instalación eléctrica del edificio para comprender el circuito y el lugar donde estarán los equipos de cómputo. (Valdiviezo Salas , 2014)

Por otro lado, un artículo titulado: “*Determinación del potencial de generación de energía renovable en la UNAH*”. Elaborado por Nabil Kawas y German Gómez, muestra las diferentes posibilidades de aprovechamiento de las condiciones naturales y meteorológicas por medio del estudio, disposición y análisis de las variantes y parámetros estimados y alcanzados al finalizar. Este artículo, permite la comprensión de la influencia directa que tienen las variantes meteorológicas en la producción energética por medio de sistemas sostenibles y amigables con el ambiente. (Mejía Escobar , Gómez Canáles , & Kawas , 2013)

Al igual que las anteriores propuestas en la Universidad de Jaén, España, el estudiante Juan Carlos Castro, plantea en su tesis: “*Diseño de un Sistema Fotovoltaico Autónomo para el Suministro de Energía Eléctrica a la Sala de Cómputo de la Universidad Nacional de Jaén*”, tiene como objetivo el diseño de un sistema fotovoltaico independiente para el suministro de energía eléctrica a la sala de informática de la Universidad Nacional de Jaén, con la particularidad de comparar la energía solar con la energía eléctrica, allí se presenta las relación de los equipos utilizados en la sala de cómputo frente al consumo diario de energía. Lo anterior, permite una estadística exacta de los requerimientos para instalación de la red eléctrica. (Rufasto Castro , 2019)

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO HISTÓRICO

La necesidad de crear medios útiles para satisfacer el deseo evolutivo del ser humano, a su vez, se convirtió en generar y asegurar la confiabilidad energética en la humanidad. La idea de crear nuevos sistemas energéticos ha hecho que de manera gradual las personas piensen económica y ambientalmente sobre su consumo; pasar de energía fósil a energías limpias para mitigar los agravantes del cambio climático. Además de ello, mientras los costos de combustibles fósiles aumentan, por otra parte, los costos para elementos de energía fotovoltaica en el mercado disminuyen.

La proyección tecnológica hacia el 2020 fue el desafío de varias naciones a principios del segundo milenio, sin embargo, en algunos países la red de electrificación domiciliar aún no se instala. Entonces, es necesario reinterpretar dicha proyección para entender el contexto actual. Como lo presenta la (all, 2018)

Las políticas públicas energéticas son la gestión que el Estado debe realizar bajo un análisis constante del consumo eléctrico en el país, observar la demanda y oferta según el crecimiento habitacional y suministrar desde alguna fuente de energía el derecho público. Es así, como los gobiernos actuales brindan seguridad energética, evitan los apagones nacionales, departamentales y locales, disminuyen los riesgos ambientales y promueven la inversión; entonces aparece el desarrollo sostenible. Sin embargo, el cambio climático en el siglo XXI es más notorio y el acceso a la energía todavía no es universal.

En términos locales, en el departamento de Santander se han desarrollado dado las políticas nacionales, diferentes ejercicios de investigación y aprovechamiento de los recursos renovables y no renovables para la generación de energía eléctrica dada su posición geográfica, hidrográfica y atmosférica. Así lo demuestra el artículo “*Evaluación del potencial de energía solar en Santander, Colombia*”, en el cual se expone la implementación de granjas solares como ayuda gradual a las empresas eléctricas. Vale aclarar, que existe todo un marco legal que rige el uso de este tipo de energía en Colombia, además de ello, la promoción de energías renovables como la fotovoltaica para el cuidado del medio ambiente. En ese orden de ideas, la Comisión de Regulación de Energía Gas, expide la resolución 038 de 2018, con la cual es posible en gran medida la realización del presente proyecto. Este reglamento ofrece la oportunidad para que los usuarios puedan generar ahorros en su factura de energía eléctrica por medio de la instalación de su auto-generador mientras se ayuda a las grandes empresas a disminuir la generación de energía en el país. (Muñoz Maldonado , Acebedo Roncancio , & Santamaría Saavedra , 2019)

2.1.1. Breve historia de la energía en Colombia

En la época de 1930 la electrificación en Colombia se distribuía entre el alumbrado público y las grandes industrias que necesitaban del servicio para producción a mayor escala. Posteriormente, a mediados del siglo XX la red de electricidad llegó a las familias con gran acumulación de capital. Posteriormente, el gobierno nacional empieza a desarrollar las primeras políticas públicas para la prestación del servicio de electricidad, Como lo presentan (Cuadros Amaya & Ortega Calderon , 2012).

Luego, al finalizar el siglo XX el gobierno nacional gestiona el CREG, que es la comisión nombrada anteriormente, reguladora de la energía y el gas en el país. Además de eso, está encargada de la proyección energética del gobierno nacional

en conjunto con el Ministerio de Minas y Energía, para proyectos de inversión y capacidad de generación.

Al tiempo moderno, en la primera década del siglo XXI. El potencial de energías renovables como la eólica, solar y biomasa en el país ha sido poco explorado. El dominio en cuanto a la generación de energía ha sido por la hidráulica que corresponde al 64% de la producción y la generación de energía térmica que representa el 33%. (Cuadros Amaya & Ortega Calderon , 2012). En la actualidad los estudiantes universitarios están desempeñando un gran papel para la investigación en energía renovables, la implementación de estos estudios son prospectos de aplicación en las misma universidades, colegios u empresas.

2.1.2. Fundación del instituto politécnico de Bucaramanga

El Instituto Politécnico de Bucaramanga es fundado por el honorable consejo municipal, en 1925 con el nombre de escuela de artes y labores manuales de Santander, bajo la dirección de la señora Carmelita Gutiérrez de Méndez y el acompañamiento de 8 docentes. En 1989 por medio de la resolución 0287 el ministerio de educación permitió la experimentación del bachillerato y en 1992 se aprueba definitivamente. Está situado geográficamente en el centro de la ciudad, en el barrio Ciudadela Real de Minas en la calle de los estudiantes. (Politécnico, 2020)

La institución educativa se ha proyectado desde sus inicios a la enseñanza en la aplicación del sentido estético en obras manuales con el objetivo de mejorar el presupuesto familiar. De ahí que, siempre ha venido implementando la modalidad industrial con especialidad en confección. En el año 2001 con el fin de mejorar y brindar mayor oportunidad al estudiantado se aprueba el bachillerato técnico con especialidad en gestión empresarial.

Respecto a la labor pedagógica se generó por medio del Gobierno departamental la integración de los establecimientos educativos instituto politécnico femenino, concentración escolar Margarita Diaz Otero, republica de ecuador y Atanasio Girardot ordenando como resultado de esta integración el instituto politécnico de Bucaramanga.

En el año 2003 el municipio inicia la construcción de la nueva y actual Sede principal en la calle de los estudiantes en el cual en el 2009 se realiza un convenio con el SENA para graduar estudiantes con doble titulación, mejorando la preparación de los graduados y facilitar el futuro de estos.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

La investigación sobre el consumo y direccionamiento energético del Instituto Politécnico, para viabilizar la implementación del uso de energías renovables mediante la identificación de su infraestructura y consumo energético, sostiene unos ejes temáticos conceptuales para orientar la investigación. La energía debe ser generada, conducida y transmitida, pero además, de ello en los casos donde existe un sistema eléctrico también es necesario promover un sistema de precaución por lo cual, es necesario identificar los puntos de emisión de energía, especialmente en proyecto que está dirigido para un colegio. Además de lo anterior, es de suma importancia en el campo de la productividad describir qué se entiende por eficiencia energética, desde la cual se aprovecha el recurso. Como se expone. (Minenergía, 2019)

Generación: Este proceso consiste en transformar diferentes clases de energía (cinética, térmica, nuclear, química, lumínica, solar entre otras), en energía eléctrica, esta energía es vendida a diferentes comercializadores a un precio según el balance

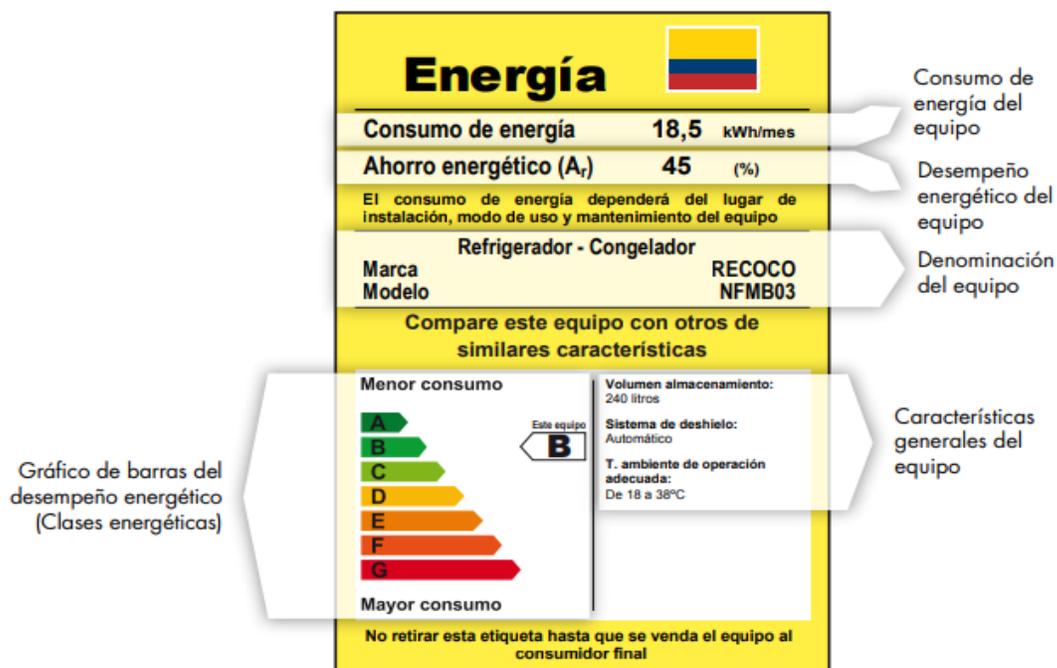
de la demanda y la oferta. Los generadores son los entes encargados de realizar las transacciones de energía eléctrica en el mercado mayorista, por lo general esta potencia debe ser mayor o igual a 20 MW. Los entes o generadores que producen menos de 20 MW son llamadas plantas menores. Las personas que desean producir su propia energía y no usar la red pública, pudiendo o no, ser los propietarios del sistema de generación, son llamados autogeneradores. Las personas o generadores que producen su propia energía para su autoconsumo y de terceros utilizando un proceso de producción combinada de energía térmica y eléctrica, y destinada a procesos comerciales o industriales se conoce como Cogenerador. (Energías, 2019)

Transmisión: Consiste en el transporte de diferentes cantidades de energía por medio de redes de alta y media tensión que interconectan los puntos de generación con los diferentes puntos de consumo a través del Sistema de Transmisión Nacional –STN. En el país hay zonas marginales que no cuentan con el servicio de energía eléctrica por medio del Sistema Interconectado Nacional, esto debido a que la interconexión en ciertas partes no es viable financieramente, estas áreas son llamadas zonas no interconectadas-ZNI. (Energías, 2019)

Distribución: Su función es suministrar la energía eléctrica con los equipos asociados desde la subestación de distribución hasta los puntos de consumo de los diferentes usuarios (medidor o contador). La distribución eléctrica después de la subestación de transporte se realiza en dos etapas: La primera parte es de las subestaciones de transformación hasta las de distribución, los voltajes utilizados en este proceso deben estar entre 25 y 132 KV, mientras que en la segunda etapa que es la última en que se suministra media tensión, está constituida por la red de distribución hasta los centros de transformación con voltajes de funcionamiento de 3 a 30 KV

Otro concepto más relacionado con los protocolos de seguridad, pero también con los de medición es la etiqueta, “un rótulo visible con información sobre consumo e indicador de desempeño energético, clasificación de desempeño y características técnicas de un equipo” (Energías, 2019). En ésta, se muestra el consumo de energía, el desempeño energético del equipo, por ejemplo, en las aulas de clase, proyectores, televisores, equipos de sonido o, elementos en las áreas de cocina como picadoras o peladoras industriales. En éste se evidencia la cantidad necesaria de energía para el funcionamiento eficiente del aparato.

Figura 1. Etiqueta de desempeño energético



Fuente: Minenergías, (2019), extraído de: <https://www.minenergia.gov.co/>

2.3. MARCO LEGAL

En Colombia, el marco legal para la ejecución de proyectos de utilización de energía renovables es partícipe del mismo posicionamiento a nivel mundial, tanto así, que se crea la Ley 1715 de 2014, por la cual se regula el uso de este tipo de energías, con la finalidad de mejorar la calidad de la oferta y la demanda. Además, la Constitución Política de Colombia de 1991, en el artículo 334, promulga que el Estado tiene la facultad de intervenir en los recursos naturales para intensificar la economía y la producción, así mismo, con esto conseguir el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes. Ahora bien, la comisión de Regulación de Energía y Gas-CREG, busque en principio “lograr que los servicios de energía eléctrica, gas natural y gas licuado de petróleo (GLP) se presten al mayor número posible de personas, al menor costo posible para los usuarios y con una remuneración adecuada para las empresas que permita garantizar calidad, cobertura y expansión.” (Cuadros Amaya & Ortega Calderon , 2012). En ese sentido, si la finalidad es la ampliación del servicio, en las zonas rurales es sumamente útil implementar paneles solares para el funcionamiento de la red eléctrica del hogar.

Es importante, resaltar que históricamente como lo presenta, (Cuadros Amaya & Ortega Calderon , 2012), “la Ley 109 de 1936, complementada por el decreto 1606 de 1937 a raíz de la insatisfacción que presentaba la población se determinó la mediación del Estado en las empresas prestadoras de servicios públicos debido a que estas compañías no prestaban sus servicios con óptimos niveles de calidad.” (p.17). Entonces, se exige ya una eficacia en el servicio de energía para el país, unas condiciones mínimas que visibilicen la carga energética y la estabilidad.

El Ministerio de Minas y Energía en el *Plan Energético Nacional Colombia: Ideario energético 2050*, elaborado en el 2015, establece también, que el territorio colombiano es complejo, pero que gracias a la diversidad presentada el país, la Ley

1715 de 2014, permite el aprovechamiento regulado de esos recursos, los cuales representan un “medio para fomentar el desarrollo de nuevas actividades económicas y mejorar la calidad y la sostenibilidad de la prestación de servicios básicos energéticos.

Por otra parte, tres de las resoluciones más importantes entre los años 2015 a 2018, están caracterizadas por la regulación de la actividad de autogeneración de energía, la elaboración del impacto ambiental y la certificación para desarrollo de proyectos para energías No Convencionales, que en este caso serían las energías no renovables. Con el título *Energías renovables no convencionales*, el Ministerio de Minas y Energías expone:

Resolución CREG 024 de 2015, "Por la cual se regula la actividad de autogeneración a gran escala en el Sistema Interconectado Nacional (SIN)".

Resolución MinAmbiente 1312 de 11 agosto de 2016, "Por la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA, requerido para el trámite de la licencia ambiental de proyectos de uso de fuentes de energía eólica continental y se toman otras determinaciones".

Resolución UPME 703 del 14 de diciembre de 2018, "Por la cual se establecen el procedimiento y los requisitos para obtener la certificación que avala los proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE), con miras a obtener el beneficio de la exclusión del IVA y la exención de gravamen arancelario de que tratan los artículos 12 y 13 de la Ley 1715 de 2014, y se adoptan otras disposiciones". (2019).

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

3.1. Tipo de investigación aplicada

Este tipo de investigación pretende examinar la generación de conocimiento con aplicación directa hacia problemas sociales o del sector productivo, se fundamenta en hallazgos de tipo tecnológico de la investigación proporcionado el enlace entre la teoría y el producto. (Lozada, 2014)

Partiendo de la definición anterior, se establece este tipo de investigación como indicado para llevar a cabo el desarrollo del proyecto, ya que para este no se plantean únicamente la identificación de un problema sino que se busca generar alternativas tangibles que satisfagan algún tipo de necesidad.

3.2. Enfoque cuantitativo

Es aquel que emplea preferentemente información cuantificable (medible), como es el caso de los diseños experimentales o investigaciones basadas en encuestas. Este enfoque es indispensable cuando se requiere la obtención de datos con exactitud a partir de variables numéricas. (Cauas, 2015)

El presente proyecto requiere este tipo de enfoque debido a no solo se demanda un análisis cualitativo o exclusivamente el tratamiento de bases teóricas, sino que es estrictamente necesario llevar a cabo la realización de cálculos y la correspondiente medición de cada una de las variables involucradas en el estudio del mismo, de manera que permita proporcionar con claridad los resultados del diseño y así determinar la viabilidad del proyecto.

3.3. Método análisis

Consiste en utilizar una descripción general de una realidad para dar lugar a una distinción, clasificación, conocimiento de elementos esenciales que de una u otra forma mantienen relaciones entre sí. (Calduch, 2014)

Se precisan dos tipos: consultas en fuentes secundarias y primarias.

3.3.1. Consultas en fuentes secundarias

Aquellas que se resuelven por medio de libros, artículos de investigación, entre otros.

Para efectos de la investigación se consultaron artículos científicos, proyectos de grados y artículos de investigación, los cuales contribuyeron significativamente en el contenido del presente documento. A continuación, se hace mención de las temáticas relevantes consultadas, fuentes y sus respectivos autores.

- Viabilidad – “Estudio de viabilidad plan de mejoramiento para hacer más eficiente el uso del recurso energético a través de paneles solares en la empresa Molina Visbal Procesos Integrados S.A.S. vía Cali- Yumbo” - (Durán Flórez, Garzón , & Gutiérrez Ordoñez , 2017)
- Energía solar fotovoltaica - “*Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica*” - (Salamanca Ávila , 2017)
- Diseño sistema solar fotovoltaico – “Diseño de un sistema solar fotovoltaico autónomo para una institución educativa en el municipio de Páez - Boyacá” - (Mesa, Sanabria, & Pérez, 2015)

3.3.2. Consulta a fuentes primarias

Es aquella que permite obtener información de primera mano, ya sea por medio de entrevistas o a partir de comunicación directa con la persona de la cual queremos obtener información.

Se establece en las consultas primarias la visita a una empresa y el encuentro con personas profesionales expertas en el tema. El presente estudio se apoyó en información suministrada por la empresa COPOWER® dedicada a la fabricación e instalación de paneles solares, ubicada en la ciudad de Bucaramanga.

3.4. Técnicas de observación no participante

Consiste en un tipo de observación que se lleva a cabo por agentes externos que no tienen lugar alguno dentro de los sucesos; por lo cual no existe un vínculo con los sujetos del escenario, solo es posible ser espectador de lo que acontece y el investigador se limita a elaborar un escrito de lo que sucede para obtener lo que requiere. (Campos & Lule, 2012)

Se optó por esta técnica de observación, ya que solo se requirió extraer información sin la necesidad de estar presente en cada una de las secciones de la empresa, la cual sirvió como soporte de la investigación mediante el suministro de información relevante.

4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

El desarrollo del proyecto tuvo como punto de partida la consideración de los potenciales energéticos alternativos y la disposición socioeconómica de la región, lo cual dio lugar a inferir que contemplar la obtención de energía proveniente de fuentes eólicas es casi nula, debido a las condiciones geográficas que proporcionan baja variabilidad de los vientos, con velocidades significativamente bajas para lograr ser tenidas en cuenta, ya que los aerogeneradores de uso convencional logran operar con velocidades mínimas entre 3 a 4 m/s.

Por consiguiente, se optó por la realización de un sistema de generación solar fotovoltaico que opera en paralelo con la red eléctrica nacional, cabe aclarar que esto indica que el sistema no funcionará si se da una desconexión o corte del sistema de energía eléctrica. Su aplicación involucra un presupuesto limitado y se presenta la estimación de diferentes criterios técnicos para la implementación del mismo.

A continuación, se presentan las etapas del diseño del sistema para la institución.

4.1. Estimación del consumo energético

La determinación del consumo de energía eléctrica mensual por parte de la institución no se determinó por medio de equipos de medición habituales, debido a la problemática concerniente a la pandemia, ya que tal situación impidió el ingreso de estudiantes a las instalaciones del colegio; por otra parte, no fue posible conocer de primera mano las facturas del consumo, puesto que como entidad de carácter estatal no cuenta con el acceso a ese tipo de información.

No obstante, como alternativa fue posible contactar a un funcionario de la electrificadora de Santander S.A. ESP (ESSA) empresa encargada del suministro de energía eléctrica en la región, quien suministró el histórico de consumo correspondiente al año 2019, ya que para ese año el colegio presentó normalidad en su funcionamiento, lo que se traduce como operación a plena carga.

Tabla 1. Histórico de consumo Colegio Politécnico 2019

MES	CONSUMO ACTIVA(KWH)	TOTAL FACTURADO(\$)
Enero	5520	3.976.787
Febrero	9440	5.016.193
Marzo	9440	5.113.610
Abril	8560	4.611.145
Mayo	8720	4.514.736
Junio	6880	3.599.626
Julio	9120	8.439.672
Agosto	8720	4.732.311
Septiembre	10080	10.146.536
Octubre	8800	10.168.813
Noviembre	8320	4.572.569
Diciembre	3440	1.829.115
PROMEDIO	8086,67	5.560.092,75

Fuente: Autores

4.2. Análisis de la infraestructura

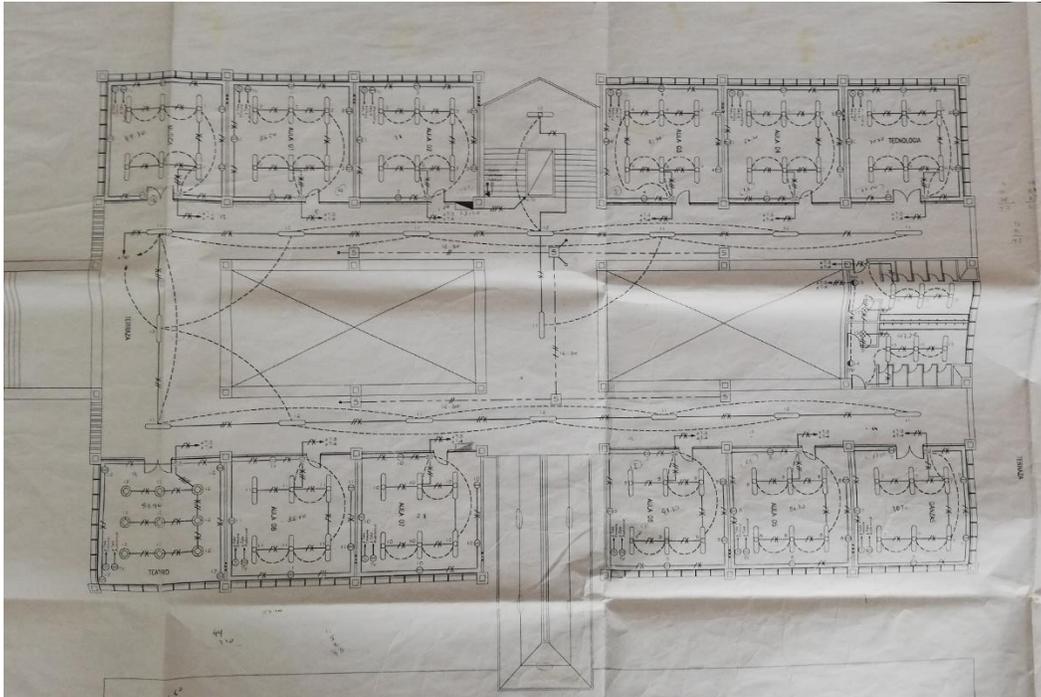
Mediante visitas periódicas realizadas a la institución educativa con el fin de observar las áreas disponibles, y con la intención de solicitar los planos de la misma para hacer un análisis a profundidad, se determinó que la terraza (placa) de la edificación cuenta con secciones aptas para la instalación del sistema.

Se aclara, que los planos suministrados por la institución corresponden a los planos eléctricos de cada uno de uno de los niveles del predio, estos no tienen las respectivas cotas pero permiten apreciar la ubicación de las áreas disponibles y el punto de conexión donde posteriormente estará anclado el sistema. No obstante, las áreas fueron determinadas por medio de instrumentos de medición convencionales.

De lo anterior, se obtuvo que la terraza cuenta con un área total disponible de $584 m^2$ compuesta por dos secciones de $4 m \times 55 m$, otra de $5 m \times 19 m$, y una restante de $49 m^2$. Lo que resulta suficiente para el cubrimiento parcial de la demanda del consumo.

En seguida se muestra el plano eléctrico del último piso de la edificación, donde se aprecian los pasillos, los cuales se repiten en la terraza y se eligieron como algunas de las secciones que componen la totalidad del área disponible.

Figura 2 Plano eléctrico último piso de la institución



Fuente. Instituto Politécnico de Bucaramanga

4.3. Análisis técnico (Software de ingeniería especializado en sistemas fotovoltaicos *BlueSol*)

En esta etapa se identifica la planta fotovoltaica, se facilitan los datos del proyecto, las características de los materiales propuestos (módulos fotovoltaicos, inversores), los criterios para la elección de las soluciones del sistema y los criterios de diseño de los principales componentes. Además, se informa sobre los cálculos preliminares necesarios para el dimensionamiento.

Inicialmente, se definió que el sistema debe ser conectado a la red ya que la edificación se encuentra ubicada en el área urbana; por tal razón, no es estrictamente necesario que el sistema cuente con total autonomía, sino que por el contrario obtenga el beneficio de comercializar la energía no utilizada con la

compañía eléctrica; además, dada la circunstancia en la que se requiera más energía que la suministrada por el sistema solar, la podrá obtener de la red eléctrica.

Luego, se considera que el sistema fotovoltaico tendrá un cubrimiento parcial de la demanda, el cual corresponde a la tercera del consumo total, o sea el 33.3%. Esto debido a que el inciso A del artículo 5 de la resolución No.030 del 2018 de la comisión de regulación de energía y gas CREG estipula que la sumatoria de la potencia instalada de los GD o AGPE que entregan energía a la red debe ser menor o igual al 15% de la capacidad nominal del circuito del transformador.

Es pertinente resaltar que la herramienta utilizada para la obtención de datos técnicos y cálculos necesarios para la propuesta del diseño, provinieron del software de ingeniería especializado en el diseño de sistemas fotovoltaicos *BlueSol*, el cual por medio de la digitación de datos de entrada arroja los parámetros que el sistema requiere.

4.3.1. Información y características geográficas del sitio de la instalación.

Tabla 2. Datos geográficos del sitio de la instalación

Installation site	
Location	BUCARAMANGA SANTANDER
Latitude	7,12°
Longitude	-73,14°
Altitude	0 metri
Maximum temperature	28,51 °C
Minimum temperature	19,22 °C
Global irradiation on a horizontal plane	1.883,40 kWh/m ²
Albedo	20%

Fuente: Autores

En esta ubicación se tuvo en cuenta la siguiente irradiación diaria sobre una superficie horizontal obtenida según la fuente NASA-SSE.

Tabla 3. Datos de irradiación sobre la zona de estudio

Month	Diffuse daily [kWh/m ²]	Direct daily [kWh/m ²]	Global daily [kWh/m ²]
January	1,69	3,65	5,34
February	1,96	3,38	5,34
March	2,20	3,08	5,28
April	2,31	2,65	4,96
May	2,20	2,81	5,01
June	2,09	3,07	5,16
July	2,03	3,54	5,57
August	2,15	3,40	5,55
September	2,22	3,05	5,27
October	2,10	2,70	4,80
November	1,90	2,82	4,72
December	1,73	3,13	4,86
Yearly	748,25	1.135,15	1.883,40

Fuente: NASA-SSE

Considerando la irradiación diaria promedio mensual y el número de días que componen los doce meses del año, se puede determinar el valor de la irradiación global anual sobre una superficie horizontal para la ubicación de Bucaramanga, Santander es igual a 1.883,40 [kWh / m²]

Un aspecto relevante que requiere de atención particular es la capacidad de eludir el sombreado, ya que en un sistema fotovoltaico con presencia de sombra provoca pérdida de potencia y por lo tanto de energía producida. Sin embargo, se permiten

fenómenos limitados cuando se evalúan adecuadamente. Para el caso de la planta en cuestión no se evidenció existencia de sombreado

4.3.2. Suministro eléctrico

El sistema será conectado a la red de distribución eléctrica en Baja Tensión, Corriente alterna trifásica a 230,00 V bajo la responsabilidad de la Operador de red.

Tabla 4. Suministro eléctrico

Electricity supply	
Connection type	BT - Tri
Nominal voltage	230,00 V
Available power	3,00 kW
Average annual consumption	97.040,60 kWh

Fuente: Autores

4.3.3. Cálculos correspondientes al diseño del sistema solar fotovoltaico

Una vez que se introdujo información del consumo mensual, lugar, área disponible, luego de considerar lo expuesto anteriormente por la CREG y con los valores obtenidos de la irradiación, se determinó que el sistema tendrá una potencia nominal de 25,08 kWp, estimada por la utilización de 66 paneles de 380 W cada uno, los cuales ocupan una área de 160 m²

Dicha potencia nominal se calcula a partir de la siguiente formula:

$$P_{nom} = N_p * P_p \quad (1)$$

Donde:

- P_{nom} es la potencia nominal.

- N_p es el número de paneles.
- P_p es la potencia de cada panel.

Para calcular el número de paneles de forma tradicional se utilizó la siguiente fórmula:

$$N_p = \frac{C_d * F_c}{H_{sp} * P_p} \quad (2)$$

Donde:

- N_p es el número de paneles.
- C_d es el consumo diario.
- F_c es el factor de corrección que se estima de 1.3, lo que equivale a un sobredimensionamiento del 30% debido a la posibilidad de días con baja irradiación.
- H_{sp} son las horas solares pico
- P_p es la potencia de cada panel

Tal cantidad de paneles de la cual se distingue el generador fotovoltaico consta de:

- 6 cadenas de 11 módulos conectados en serie para la realización de las cadenas.
- El grupo de conversión formado por 2 inversores trifásicos
- El grupo de interfaz
- Los sistemas de medición de energía
- Cables eléctricos para conexión entre los módulos, y de estos a los tableros eléctricos.

A continuación, se muestran las características del generador fotovoltaico y de sus componentes principales a saber, cadenas y módulos.

Tabla 5. Características eléctricas del generador fotovoltaico

Electrical characteristics of the photovoltaic generator	
Nominal power	25,08 kWp
Number of PV modules	66
Intercepting surface	128,04 m ²
Number of strings	6
Maximum voltage @STC (Voc)	523,49 V
Voltage at maximum power @STC (Vmpp)	436,81 V
Short circuit current @STC (Isc)	29,46 A
Current at maximum power @STC (Impp)	29,46 A

Fuente: Autores

Después, para la planta en cuestión, se determinó que el generador fotovoltaico debe presentar una única exposición (ángulo de inclinación y ángulo de acimut iguales para todos los módulos fotovoltaicos), un aspecto a saber es la exposición del generador fotovoltaico la cual debe ser:

Acimut: 180 ° Inclinación: 15 °

El diccionario de la real academia española DRAE (2020) define el ángulo azimut como el ángulo que con el meridiano forma el círculo vertical que pasa por un punto del globo terráqueo.

El generador fotovoltaico de la potencia nominal de 25,08 kW utiliza la configuración serie - paralelo y se divide en 6 strings o cadenas de módulos conectados en serie.

A continuación, se enumeran las composiciones de las cadenas del sistema.

Tabla 6. Características eléctricas de las cadenas

Electrical characteristics of the strings	
Number of PV modules in series	11
Nominal power	4,18 kW
Open circuit voltage (Voc)	523,49 V
Short circuit current (Isc)	9,82 A
Current at maximum power (Impp)	9,82 A

Fuente: Autores

Para efectos de la construcción de los módulos y considerando que el software sugiere paneles de 380 W, capacidad que también puede ser seleccionada arbitrariamente por el diseñador, se determinó el tipo de panel para una referencia sugerida y sus respectivos datos.

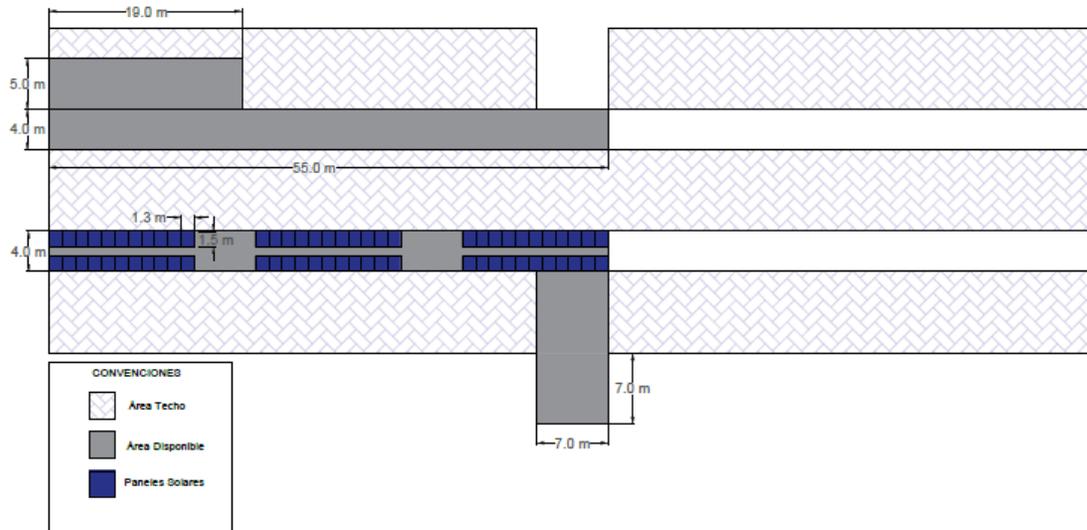
Tabla 7. Datos de la construcción de los módulos

Construction data of the modules	
Manufacturer	AE Solar GmbH
Model	AE380M6-72
Technology	Si-Mono
Nominal power	380,00 W
Tolerance	3,00%
Open circuit voltage (Voc)	47,59 V
Voltage at maximum power (Vmpp)	39,71 V
Short circuit current (Isc)	9,82 A
Current at maximum power (Impp)	9,82 A
Area	1,94 m ²
Efficiency	19,6%

Fuente: Autores

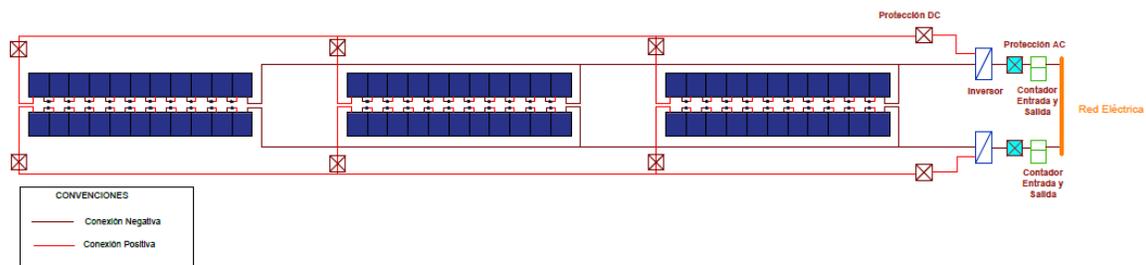
Posteriormente, se presenta el plano representativo de la ubicación del sistema sobre el área disponible con la respectiva distribución de las cadenas.

Figura 3. Distribución del sistema sobre el área disponible



Fuente. Autores

Figura 4 Diagrama unifilar del sistema



Fuente. Autores

4.3.4. Cálculo de producibilidad

La producibilidad del sistema se calculó sobre la base de datos, derivados de la fuente de datos climáticos NASA-SSE, del sitio de instalación en relación con el promedio mensual de radiación solar global incidente en la superficie horizontal.

El procedimiento para el cálculo de la energía producida por el sistema tiene en cuenta la potencia nominal (25,08 kW), el ángulo de inclinación y el ángulo acimut (15 °, 180 °) del generador fotovoltaico, las pérdidas en el generador fotovoltaico (pérdidas resistivas, pérdidas por diferencia de temperatura de los módulos, por reflexión y por desajuste entre strings), la eficiencia del inversor así como el coeficiente de reflectividad del suelo frente a los módulos (20%) (Albedo).

Por tanto, la energía producida por el sistema anualmente ($E_{p,y}$) se calcula de la siguiente manera:

$$E_{p,y} = P_{nom} * Irr * (1 - \text{pérdidas}) = 35.403.03 \text{ kWh} \quad (3)$$

Donde:

- P_{nom} es la potencia nominal
- Irr es la irradiación anual de la superficie de los módulos: 1879.65 kWh/m^2
- pérdidas son las pérdidas de potencia: 24.90%

Las pérdidas de potencia se deben a varios factores. La siguiente tabla enumera estos factores de pérdida y sus valores asumidos por el procedimiento para el cálculo de la producibilidad del sistema.

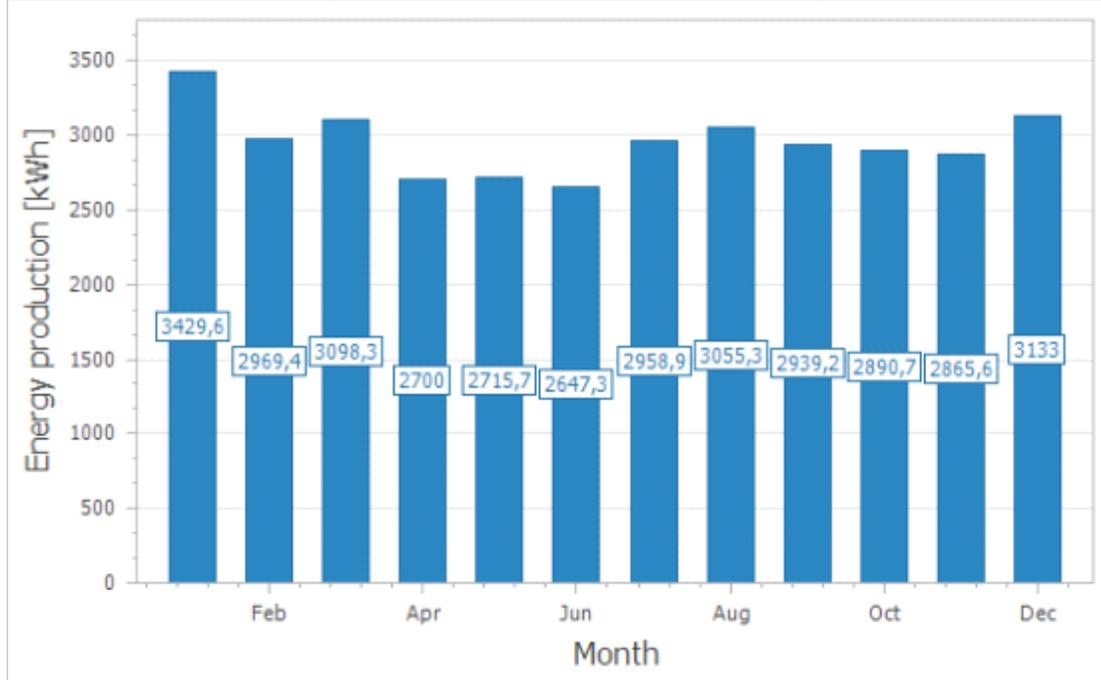
Tabla 8. Factores de pérdidas

Losses	
Temperature losses	6,00 %
Mismatching losses	2,00 %
Resistive losses	4,00 %
Losses for DC/AC conversion	3,50 %
Other losses	12,00 %
Shading losses	0,00 %
Total losses	24,90 %

Fuente: Autores

El siguiente gráfico muestra la tendencia de producción mensual de energía esperada durante el año, la cual equivale a 35403.03 kWh

Figura 5. Tendencia de producción mensual de energía esperada durante el año.



Fuente: Autores

4.3.5. Cálculo de los inversores

Para calcular el número de inversores con los que dispondrá el sistema y sus respectivas características de operación, es necesario efectuar la verificación de las correctas conexiones eléctricas entre el generador fotovoltaico y el grupo de conversión DC AC.

Para elegir correctamente un inversor es fundamental verificar la compatibilidad entre los inversores utilizados y los campos fotovoltaicos.

Las verificaciones en inversores se refieren al apartado en corriente continua del sistema fotovoltaico y se refieren a:

- La verificación de la tensión continua
- La verificación de la corriente continua
- La verificación de la potencia

4.3.5.1 Verificación de voltaje DC

La verificación de la tensión continua consiste en comprobar que el conjunto de tensiones suministradas por el campo fotovoltaico es compatible con el rango de variación de la tensión de entrada del inversor.

En otras palabras, es necesario calcular la tensión mínima y máxima del campo fotovoltaico y verificar que la primera sea mayor que la tensión mínima de entrada aceptable para el inversor, y la segunda sea menor que la tensión máxima de entrada permitida por el inversor.

4.3.5.2 Verificación de corriente continua

La verificación de la corriente continua es para comprobar que la corriente de cortocircuito del campo fotovoltaico es menor que la corriente de entrada máxima permitida del inversor.

4.3.5.3 Verificación de la potencia

La verificación de la potencia es comprobar que la potencia nominal del grupo de conversión DC / AC (suma de la potencia nominal del inversor) es superior al 80,00% y menor al 120,00% de la potencia nominal del sistema fotovoltaico.

Las siguientes tablas muestran el resultado de estas verificaciones.

Tabla 9. Verificación inversor 1

Inverter:1	
Voltage limits	Mppt1 - Minimum voltage at module temperature of 66,01°C (374,55 V) > Minimum voltage of MPPT (300 V)
Voltage limits	Mppt2 - Minimum voltage at module temperature of 66,01°C (374,55 V) > Minimum voltage of MPPT (300 V)
Voltage limits	Mppt1 - Maximum voltage at module temperature of 19,22°C (445,58 V) < Maximum voltage of MPPT (500 V)
Voltage limits	Mppt2 - Maximum voltage at module temperature of 19,22°C (445,58 V) < Maximum voltage of MPPT (500 V)
Voltage limits	Mppt1 - Open circuit voltage at module temperature of 19,22°C (532,26 V) < Maximum inverter voltage (600 V)
Voltage limits	Mppt2 - Open circuit voltage at module temperature of 19,22°C (532,26 V) < Maximum inverter voltage (600 V)
Limits on current	Mppt1 - Short circuit current (19,64 A) < Maximum inverter current (20,75 A)
Limits on current	Mppt2 - Short circuit current (9,82 A) < Maximum inverter current (20,75 A)
Power limits	Sizing factor on power (80 %) < (96%) < (120 %)

Fuente: Autores

Tabla 10. Verificación inversor 2

Inverter:2	
Voltage limits	Mppt1 - Minimum voltage at module temperature of 66,01°C (374,55 V) > Minimum voltage of MPPT (300 V)
Voltage limits	Mppt2 - Minimum voltage at module temperature of 66,01°C (374,55 V) > Minimum voltage of MPPT (300 V)
Voltage limits	Mppt1 - Maximum voltage at module temperature of 19,22°C (445,58 V) < Maximum voltage of MPPT (500 V)
Voltage limits	Mppt2 - Maximum voltage at module temperature of 19,22°C (445,58 V) < Maximum voltage of MPPT (500 V)
Voltage limits	Mppt1 - Open circuit voltage at module temperature of 19,22°C (532,26 V) < Maximum inverter voltage (600 V)
Voltage limits	Mppt2 - Open circuit voltage at module temperature of 19,22°C (532,26 V) < Maximum inverter voltage (600 V)
Limits on current	Mppt1 - Short circuit current (19,64 A) < Maximum inverter current (20,75 A)
Limits on current	Mppt2 - Short circuit current (9,82 A) < Maximum inverter current (20,75 A)
Power limits	Sizing factor on power (80 %) < (96%) < (120 %)

Fuente: Autores

4.3.6. Conductores eléctricos

El dimensionamiento de los cables eléctricos implica los siguientes cálculos: - Cálculo de la caída de tensión Cálculo de la caída de tensión. Conocida la longitud de la tubería, el tipo de cable y la corriente máxima en la misma, el cálculo del porcentaje de caída de tensión para un cable en corriente continua se obtuvo con la siguiente relación:

$$\Delta V_{\%} = 2 * \frac{R}{V_{nom}} * I_{nom} * \frac{L}{1000} \quad (4)$$

Donde:

- L es la longitud del conductor en metros.
- I_{nom} es la corriente nominal en el conductor.
- V_{nom} es la tensión en el conductor.

- R es la resistencia por Km del conductor a una temperatura de 80°C .

Para el cálculo del porcentaje de la caída de tensión para el conductor en corriente alterna se obtuvo con las siguientes ecuaciones:

Para una línea monofásica:

$$\Delta V_{\%} = 2 * \frac{\sqrt{R^2 + X^2}}{V_{AC}} * I_{nom} * \frac{L}{1000} \quad (5)$$

Para una línea trifásica:

$$\Delta V_{\%} = 1,73 * \frac{\sqrt{R^2 + X^2}}{V_{AC}} * I_{nom} * \frac{L}{1000} \quad (6)$$

Donde:

- L es la longitud del conductor en metros.
- I_{nom} es la corriente nominal del conductor.
- V_{AC} es el voltaje.
- R, X son la resistencia y reactancia de la línea por Km, a una temperatura de 80°C .

5. RESULTADOS

Dentro de los resultados obtenidos, se encuentra la contribución al mejoramiento del sistema de suministro eléctrico del colegio, ya que no solo se proporcionan beneficios económicos sino que lo posicionaría como uno de los primeros planteles educativos a nivel departamental que incursionan en el uso de energías alternativas.

El resumen de los detalles relevantes obtenidos del diseño del sistema solar fotovoltaico se presenta por medio de la siguiente figura:

Figura 6. Detalles del SSFV



Fuente: Autores

En cuanto al valor estimado del diseño, se logró por medio de una cotización elaborada por una empresa del sector especializada en el manejo, fabricación e instalación los sistemas en cuestión.

Tal cotización presenta valores manejados a criterio de la compañía, donde se tomaron en cuenta aspectos como el suministro y transporte de equipos, así como la instalación, trámites y puesta en marcha del sistema.

Dichos aspectos se exponen en las tablas 11 y 12:

Tabla 11. Presupuesto, suministro y transporte de equipos para una capacidad máxima posible de 25.08 kWp

ITEM	DESCRIPCION	UND	CANTD	IVA	VALOR ANTES DE IVA	VALOR PARCIAL	
1	PANEL SOLAR AE SOLAR 380 W	unidad	66	0%	\$ 29.769.960,00	\$ 56.955.659,00	
2	INVERSOR FRONIUS 10 KWP	unidad	2	0%	\$ 6.719.718,00		
3	CABLE SOLAR	metros	500	19%	\$ 1.750.000,00		
4	Bases / marcos / estructuras diseñadas para montar, andar e instalar paneles	unidad	1	19%	\$ 7.000.000,00		
5	MEDIDOR BIDIRECCIONAL	unidad	1	19%	\$ 1.500.000,00		
6	ACCESORIOS ELECTRICOS	UNIDAD	1	19%	-\$ 1.215.981,00		
7	TRANSPORTE DE EQUIPOS	unidad	1	0%	\$ 9.000.000,00		
					SUBTOTAL	\$ 56.955.659,00	
					IVA 19%	19%	\$ 10.821.575,21
					TOTAL, SUMINISTRO	\$ 67.777.234,21	

Fuente: COPOWER®

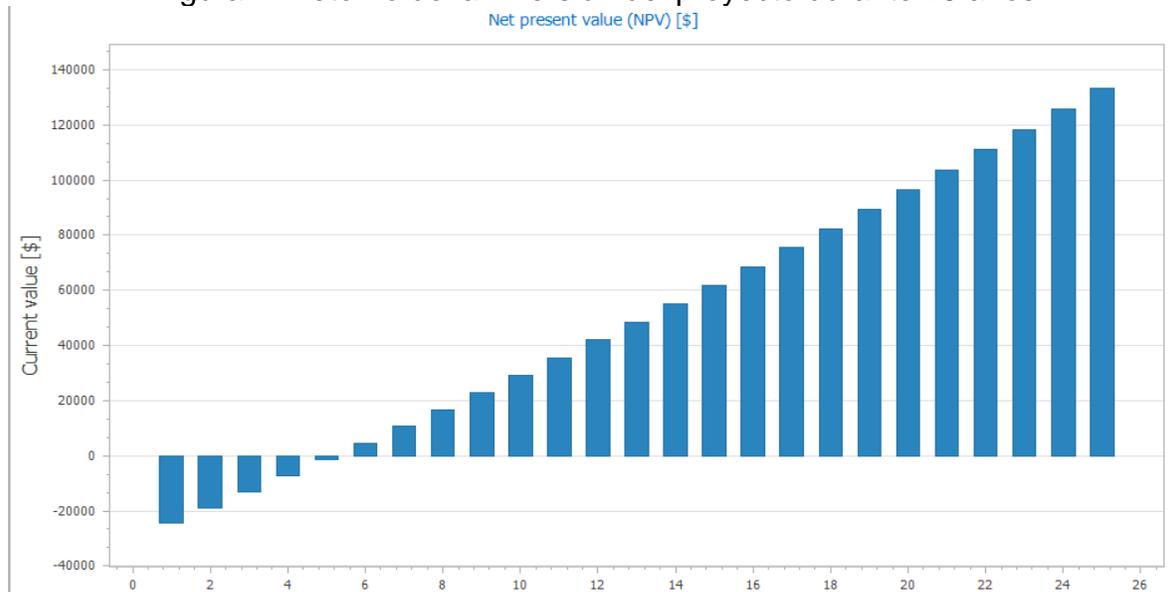
Tabla 12. Presupuesto ingeniería, instalación, trámites y puesta en marcha del sistema

ITEM	DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VALOR PARCIAL		
1	SUMINISTRO INSTALACIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN DEL SISTEMA	GL	1	\$ 12.000.000,00		
2	CERTIFICACIÓN RETIE	GL	1	\$ 2.000.000,00		
3	DISEÑO E INGENIERIA	GL	1	\$ 9.000.000,00		
4	CONSTRUCCIÓN DE OBRAS ELECTRICAS	GL	1	\$ 5.500.000,00		
	ADMINISTRACION 10%		\$ 2.850.000,00	COSTO DIRECTO	\$ 28.500.000,00	
	IMPREVISTOS 2%		\$ 570.000,00	IVA 19% Sobre utilidad	IVA sobre Utilidad 4%	\$ 218.600,00
	UTILIDAD 4%		\$ 1.140.000,00	TOTAL, MONTAJE		\$ 33.276.600,00
3. RESUMEN DE LA OFERTA 1+2						
ITEM	DESCRIPCION	GLOBAL	VALOR PARCIAL COP			
1	VALOR INVERSIÓN EN SUMINISTRO Y TRANSPORTE DE EQUIPOS	1	\$ 67.777.234,21			
2	VALOR INVERSIÓN INSTALACIÓN, TRAMITES Y PUESTA EN MARCHA	1	\$ 33.276.600,00			
			VALOR TOTAL COP \$ IVA INCLUIDO	\$ 101.053.834,21		
			Costo del Wp Instalado COP (IVA Incluido)	\$ 4.130,89		

Fuente: COPOWER®

En cuanto a las cifras anteriormente expuestas, se apreció que en principio la inversión es considerable, pero si se tiene en cuenta la proyección a 25 años que se estima como el tiempo máximo de vida útil de estos sistemas, se obtiene que la recuperación de dicha inversión es previsible, tal y como se muestra en el gráfico a continuación:

Figura 7. Retorno de la inversión del proyecto durante 25 años



Fuente: Autores

Nota: los valores actuales considerados en la tabla están calculados en dólares (US\$)

Por consiguiente, a partir de los valores expuestos del retorno de la inversión se considera que el diseño del sistema es viable, tal y como se aprecia en la figura 4, la cual demuestra que en 5 años se recupera el valor invertido y los años posteriores representa el ahorro significativo que proporciona la implementación del sistema.

Lo anterior se confirma de manera aproximada con la siguiente ecuación:

$$R_{inv} = ((Prom_{\$} * N) * \%_C) * Vida\ útil \quad (7)$$

Donde:

- R_{inv} es el retorno de la inversión.
- $Prom_{\$}$ es el promedio de valor facturado durante el año (\$ 5.560.092,75)
- N es el número de meses de la año.
- $\%_C$ es el porcentaje de cubrimiento del sistema sobre la demanda total (0,33%).
- $Vida\ útil$ es la vida útil del sistema (25 años).

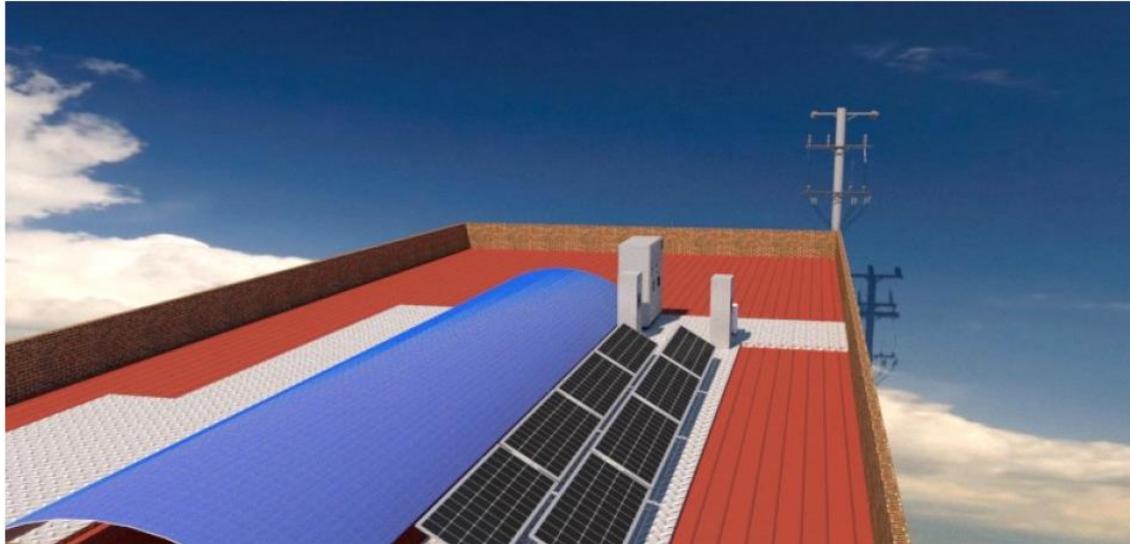
Finalmente, se destaca la contribución con el cuidado del medio ambiente, ya que la implementación del diseño reduce significativamente la producción de CO_2 por año, y la vez se muestra mediante modelado 3D un acercamiento de lo que sería la implementación del sistema en su respectiva ubicación.

Figura 8. Reducción de dióxido de carbono anual



Fuente: Autores

Figura 9. Modelado 3D de la ubicación del SSFV



Fuente. Autores

Figura 10. Acercamiento del SSFV mediante modelado 3D



Fuente. Autores

6. CONCLUSIONES

Estimar el consumo de energía eléctrica de la institución educativa fue uno de los contratiempos del proyecto, debido al confinamiento que generó la pandemia, el cual imposibilitó la toma de mediciones de dicho consumo en condiciones normales de operación; sin embargo, el problema tuvo solución por medio de la información suministrada por un funcionario de la ESSA S.A ESP.

La propuesta de diseño planteada se considera como la que mejor se ajusta a las condiciones económicas y de infraestructura, ya que en ella se requiere una cantidad de paneles favorable para cumplir con los requerimientos de la demanda del consumo y por la adaptación en el área disponible. No obstante, aún falta ejecutar la implementación y operación del sistema, con el propósito de observar las condiciones reales de uso y de esa manera efectuar correcciones si las hay.

A pesar de que la energía fotovoltaica en sistemas aislados tiene la limitante impuesta por la CREG en el artículo 5 apéndice A, en la cual solo permite usar menor o igual al 15% de la capacidad nominal del circuito, transformador o subestación donde se solicite el punto de conexión, el diseño se sigue considerando viable debido al ahorro del 33% del valor facturado, lo que permite amortiguar la inversión económica, y a largo plazo proyectar ganancias tal y como se aprecia en la gráfica del retorno de la inversión.

El método del diseño propuesto se puede emplear sin mayores inconvenientes en cualquier otra institución educativa con características similares o iguales, en la cual se espera que el sistema pueda satisfacer parte de las necesidades energéticas.

7. RECOMENDACIONES

En primer lugar, se recomienda que la toma de datos necesarios sean precisos, con el fin de diseñar un sistema apropiado que logre cubrir las necesidades requeridas por el interesado, para el caso de entidades públicas se conoce que los inmuebles no tienen acceso a la factura de consumo; por lo tanto, se sugiere la instalación de equipos de medición como el analizador de redes, de no ser posible su instalación se insta a recurrir a fuentes confiables para su determinación.

Además, es pertinente que se tenga en cuenta el manejo de diferentes métodos de análisis como softwares especializados de tal forma que sirvan como patrón de comparación ante los cálculos realizados habitualmente, y considerar las recomendaciones de empresas con experiencia en el área para equiparar los diferentes aspectos técnicos involucrados y obtener un resultado confiable.

Por otra parte, se aconseja leer y considerar las normas y lineamientos relacionados con la energía proveniente de sistemas solares fotovoltaicos, con el objetivo de direccionar el sistema hacia la implementación segura y legítima. Además, antes de llevar a cabo la instalación del sistema fotovoltaico, se sugiere realizar un previo análisis de las estructuras existentes para determinar si se solicitan refuerzos o mejoras para dichas estructuras.

Con relación a la instalación del sistema, se propone que debe ser ejecutada de manera que cumpla con el cronograma establecido. Asimismo, los componentes deben ser instalados adecuadamente por personal con certificación RETIE. Los incumplimientos de cualquiera de estos aspectos durante la instalación pueden generar consecuencias que van desde el retraso en el término de la instalación hasta entregar un proyecto defectuoso o inseguro.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- all, c. a. (2018). *IEA* . Obtenido de <https://www.iea.org/>
- Calduch, D. R. (2014). *MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN INTERNACIONAL*. Madrid, España.
- Campos, G., & Lule, N. (2012). "LA OBSERVACIÓN, UN MÉTODO PARA EL ESTUDIO DE LA REALIDAD". *Xihmai*, 45-60.
- Cardozo Sarmiento , D. O., & Sanchez Mojica , K. J. (7 de 11 de 2019). *Artículos Teóricos* . Obtenido de <http://gis.unicafam.edu.co/index.php/gis/article/view/43>
- Cardozo Sarmiento , D. O., & Sánchez Mojica , K. Y. (2019). Diseño de un sistema fotovoltaico aislado para la generación de energía eléctrica en escuelas rurales de norte de Santander . *GIS*, <http://gis.unicafam.edu.co/index.php/gis/article/view/43>.
- Castillo Ramírez , A., Villada Duque , F., & Valencia Velásquez , J. A. (2015). Diseño multiobjetivo de un sistema híbrido eólico-solar con baterías para zonas no interconectadas. *Dialnet* , <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4778482>.
- Cauas, D. (2015). Definición de las variables, enfoque y tipo de investigación. Bogotá, Colombia.
- Cuadros Amaya , L. J., & Ortega Calderon , D. A. (23 de FEBRERO de 2012). *DOCPLAYER*. Obtenido de <https://docplayer.es/19960851-Derivex-una-herramienta-para-contratar-la-energia-de-consumo-industrial-presentado-por-laura-juliana-cuadros-amaya-diego-andres-ortega-calderon.html>
- (2018). *DANE*.
- Durán Flórez, L. M., Garzón , M., & Gutiérrez Ordoñez , M. (2017). *ESTUDIO DE VIABILIDAD PLAN DE MEJORAMIENTO PARA HACER MAS EFICIENTE*

*EL USO DEL RECURSO ENERGÉTICO A TRAVÉS DE PANELES
SOLARES EN LA EMPRESA MOLINA VISBAL PROCESOS INTEGRADOS
S.A.S VÍA CALI YUMBO. Cali .*

- Energías, M. d. (2019). *Minenergías* . Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co/>
- Garzón, D., & Gutierrez, N. (2017). XXXXXXXXXXXX.
- Lozada, J. (2014). Investigación aplicada: definición, propiedad intelectual e industria. *CIENCIAMÉRICA*, 34-39.
- Mejía Escobar , E. J., Gómez Canáles , G. J., & Kawas , N. (2013). Determinación del potencial de generación de energía renovable en la UNAH. *Revista Ciencian y Tecnología* , <https://www.camjol.info/index.php/RCT/article/view/1716>.
- Mesa, L., Sanabria, C., & Pérez, W. (2015). Diseño de un sistema solar fotovoltaico autónomo para una institución educativa en el municipio de Páez - Boyacá". Páez, Boyacá, Colombia.
- Minenergía. (2019). *El futuro es de todos, Minenergías* . Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co/>
- Muñoz Maldonado , Y. A., Acebedo Roncancio , G. D., & Santamaría Saavedra , J. D. (Julio de 2019). *Prospectiva* . Obtenido de <http://ojs.uac.edu.co/index.php/prospectiva/article/view/1645>
- Politécnico, I. (2020). *Instituto Politecnico Bucaramanga*. Obtenido de <http://politecnico.edu.co/responsive/index.php/page/index/1>
- Rodríguez Manrique, A. K., Cadena Monroy, Á. I., & Aristizábal Cardona , A. J. (2015). Diseño de sistemas de energía solar fotovoltaica para usuarios residenciales en Chía, Cundinamarca . *Mutis* , <https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/1019>.
- Rufasto Castro , J. C. (2019). Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para el suministro de energía eléctrica a la sala de cómputo de la Universidad Nacional de Jaén. *UNJ*, <http://m.repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/70>.

Salamanca Ávila , S. (2017). Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá . *CIDC*.

UPME. (2015). *Integración de las Energías renovables no convencionales en Colombia*. Bogotá: La Imprenta Editores SA.

Valdiviezo Salas , P. D. (2014). DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A 15 COMPUTADORASPORTÁTILES EN LA PUCP. *PUCP*, <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/5447>.