



TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO
FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
GENERACIÓN ENERGÉTICA INDEPENDIENTE BASADOS EN RECURSOS
RENOVABLES PARA EL CENTRO EDUCATIVO LICEO RAFAEL NÚÑEZ DE
LA CIUDAD DE BARRANCABERMEJA

AUTORES

Jhon Jairo Bustamante Ruiz Código: 1103672924

Jonathan Ospina Abaunza Código: 1096198730

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
BARRANCABERMEJA

FECHA DE PRESENTACIÓN:08-05-2020



TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO

Factibilidad para la implementación de un sistema de generación energética independiente basados en recursos renovables para el centro educativo liceo Rafael Núñez de la ciudad de Barrancabermeja

AUTORES

Jhon Jairo Bustamante Ruiz Código: 1103672924

Jonathan Ospina Abaunza Código: 1096198730

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Electromecánico**

DIRECTOR

Fredy Alberto Rojas Espinoza

CODIRECTOR

Luis Omar Sarmiento Álvarez

Grupo de investigación en ingenierías y ciencias sociales - DIANOIA

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
BARRANCABERMEJA
FECHA DE PRESENTACIÓN: DD-02-2020**

Nota de Aceptación

APROBADO



Firma del jurado



Firma del Jurado

Barrancabermeja, 19 de mayo de 2020

DEDICATORIA

Este logro lo dedico a mi madre y esposa por apoyarme en este proceso como profesional; gracias por ser como son, por que su presencia me han ayudado a construir y forjar la persona que soy. (Jhon Bustamante)

El presente trabajo de grado está dedicado a mi familia por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida. A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional como ser humano. (Jonathan Ospina)

AGRADECIMIENTOS

Gracias a las UTS por permitirme vivir cada momento durante estos años de formación como profesional, sin importar la cantidad de errores y fallas cometidas durante el proceso como persona y profesional. A todas mis amigos, vecinos y futuros colegas que me ayudaron de una manera desinteresada, gracias infinitas por toda su ayuda y buena voluntad. (Jhon Bustamante)

El presente trabajo de grado agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

Agradezco a todos los docentes que con su sabiduría, conocimiento y apoyo, motivaron a desarrollarme como persona y profesional en las Unidades Tecnológicas De Santander. (Jonathan Ospina)

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO.....	12
INTRODUCCIÓN.....	14
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	16
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	17
1.3. OBJETIVOS.....	18
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	18
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
1.4. ESTADO DEL ARTE.....	20
2. MARCOS REFERENCIALES.....	25
2.1. MARCO TEÓRICO.....	25
2.2. MARCO CONCEPTUAL.....	36
2.3. MARCO LEGAL.....	40
3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO.....	44
3.1. ESTABLECIMIENTO DE PARÁMETROS.....	44
3.1.1. MEDICIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO.....	44
3.1.2. CUADRO DE CARGAS Y DEMANDA ENERGÉTICA.....	50
3.1.3. DISEÑO DE TABLA CARACTERÍSTICA.....	57
3.2. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN.....	60
3.2.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE DOCUMENTOS DE CARÁCTER CIENTÍFICO.....	60
3.2.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS APLICABLES.....	65
3.2.3. ESTABLECIMIENTO DEL SISTEMA.....	68
3.3. ESTUDIO DE BENEFICIOS.....	82
3.3.1. TIR (TASA INTERNA DE RETORNO).....	82
3.3.2. DETERMINAR EL IMPACTO AMBIENTAL QUE LOGRARÍA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA MEDIANTE EL CÁLCULO DEL CO ₂ MITIGADO.....	83
3.4. EVALUACIÓN DE APLICACIÓN Y DESARROLLO DEL SISTEMA.....	86
3.4.1. DEFINIR LOS ALCANCES TÉCNICOS DE GENERACIÓN Y PRODUCCIÓN ENERGÉTICA DEL SISTEMA.....	86
3.4.2. ESTABLECER LA INVERSIÓN, CAPITAL DE TRABAJO, INVERSIÓN TOTAL, FUENTES DE FINANCIACIÓN Y COSTOS DEL DESARROLLO Y APLICACIÓN DEL SISTEMA SELECCIONADO.....	89
3.5. INFORME EJECUTIVO PARA EJECUCIÓN DE CONSULTORÍA.....	92
4. RESULTADOS.....	93

5.	<u>CONCLUSIONES</u>	<u>95</u>
6.	<u>RECOMENDACIONES</u>	<u>97</u>
7.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	<u>98</u>
8.	<u>LISTA DE ANEXOS.....</u>	<u>101</u>
•	<u>INFORME EJECUTIVO</u>	<u>101</u>
8.1.	<u>ANEXOS DIGITALES.</u>	<u>101</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Conversión y utilización de la energía.....	29
Figura 2. Energías renovables	32
Figura 3. Energía solar que atraviesa la atmósfera	34
Figura 4. Sistemas activos de conversión de la energía solar.....	36
Figura 5. Estaciones del Atlas de Radiación Solar en Barrancabermeja.....	88

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Identificación de áreas 1er piso.....	45
Tabla 2. Identificación de áreas 2do piso.....	46
Tabla 3. Identificación de áreas zonas comunes.....	47
Tabla 4. Identificación de consumo activo de potencia	49
Tabla 5. Cuadro de potencias 1er piso.....	50
Tabla 6. Cuadro de potencias 2do piso.....	51
Tabla 7. Cuadro de potencias zonas comunes	52
Tabla 8. Cuadro de cargas 1er piso	54
Tabla 9. Cuadro de cargas 2do piso	55
Tabla 10. Cuadro de cargas zonas comunes.....	56
Tabla 11. Demanda energética total	57
Tabla 12. Tabla característica.....	59
Tabla 13. Cuadro característico	68
Tabla 14. Matriz de priorización para evaluar las variables.....	71
Tabla 15. Evaluación por fuente de energía.....	72
Tabla 16. Evaluación por tipo de generador.....	73
Tabla 17. Evaluación por potencia de salida.....	74
Tabla 18. Evaluación por tensión generada	74
Tabla 19. Evaluación por corriente generada.....	75
Tabla 20. Evaluación por capacidad de almacenamiento	75
Tabla 21. Evaluación por potencia del inversor.....	76
Tabla 22. Evaluación por tensión del inversor.....	76
Tabla 23. Evaluación por corriente máxima del inversor	77
Tabla 24. Evaluación por costo.....	77
Tabla 25. Evaluación por costo / potencia.....	78
Tabla 26. Ponderación.....	79
Tabla 27. Selección de la alternativa	80
Tabla 28. Tasa interna de retorno.....	82
Tabla 29. Toneladas de CO2 mitigadas.....	84
Tabla 30. Matriz comparativa.....	84
Tabla 31. Alcances técnicos de consumo	89
Tabla 32. Alcances técnicos de generación	89
Tabla 33. Tabla inversión fija	90
Tabla 34. Inversión total.....	91

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1.....	26
Ecuación 2.....	26
Ecuación 3.....	27
Ecuación 4.....	27
Ecuación 5.....	28
Ecuación 6.....	48
Ecuación 7.....	49

RESUMEN EJECUTIVO

En relación con los lineamientos establecidos por las Unidades Tecnológicas de Santander en el plan prospectivo 2020, en donde se apuesta por el desarrollo de un sistema de conversión, almacenamiento y distribución de energías limpias dentro de la institución basado en el aprovechamiento de energías alternativas, se propuso el desarrollo de una investigación con la cual se pudiera establecer la factibilidad que tiene la aplicación de un sistema capaz de generar energía eléctrica a partir de un potencial energético libre, en el centro educativo Liceo Rafael Núñez de la ciudad de Barrancabermeja.

La investigación fue puesta a disposición como eje referencial en las Unidades Tecnológicas de Santander para el futuro desarrollo e implementación de un sistema integrado capaz de suministrar un potencial energético libre a diferentes sectores de la institución, siendo un aporte significativo a uno de los objetivos macros en el país, investigación la cual se desarrolló bajo la metodología de investigación descriptiva, la cual tienen como objetivo la evaluación de algunas características de una población estadística o situación en particular, siendo una investigación descriptiva, el objetivo fue describir el comportamiento o estado de un número de variables, permitiendo al método descriptivo orientar al investigador en el método científico, por otra parte se estableció la factibilidad de implementar un sistema dentro la institución, a manera de consultoría, lo que permitirá el aprovechamiento continuo del recurso.

Así mismo se realizó la entrega del documento de trabajo de grado para ser calificado en medio digital el cual se encontrará en el repositorio institucional, una base documental y un artículo en formato IEEE

PALABRAS CLAVE. Generación, Distribución, Energía Renovable, Factibilidad.

INTRODUCCIÓN.

En la actualidad muchas de las instituciones de educación superior en el mundo le han apostado al desarrollo de sistemas energéticos alternativos, esto con el fin de contrarrestar la crisis energética mundial que se presenta debido al incremento exponencial en la demanda que se ha generado en los últimos años y las problemáticas ambientales que conlleva la generación de esta energía bajo fuentes tradicionales como carbón, petróleo y gas.

El Colombia esta crisis energética no es indiferente, pese a poseer una de las infraestructuras de generación energética renovable (Hidroeléctricas) más grandes del Latinoamérica, estableciendo como energías renovables aquellas fuentes las cuales pueden regenerarse al mismo tiempo o de forma más rápida de la que se consume, esta regeneración ocurre de forma cíclica y variable por diferentes procesos naturales, efecto que conlleva a una problemática relacionado con esa regeneración cíclica y variable puesto que en épocas del año distintos fenómenos naturales provocan sequias las cuales afectan directamente la producción de energía en el país.

Las Unidades Tecnológicas de Santander en su aporte para contrarrestar esta problemática y en cumplimiento de su objetivo para presentar ante la comunidad académica internacional la apertura de espacios autosustentables, ha propuesto el desarrollo de un sistema integrado de conversión, almacenamiento y distribución de energías limpias dentro de la institución.

Por lo cual se decidió llevar a cabo el desarrollo de una investigación a manera de consultoría, en donde se presente la factibilidad de un sistema alternativo para generación de energía eléctrica, el cual cuente con la capacidad de captar un

potencial energético libre, de naturaleza renovable y transformarlo en energía eléctrica. Para la selección de este sistema se tomó como premisa que su uso fuera totalmente oportuno a las condiciones de la institución y que el mismo pudiera verse replicado, por lo que se implementó la aplicación de matrices de priorización para seleccionar el sistemas que mejor se adecua a las necesidades de la institución educativa, matrices las cuales tienen la capacidad de evaluar de manera transversal y parcial, diferentes alternativas de solución, las cuales se ven sometidas a una valoración ponderada, cuyo resultado cuantitativo entrega la mejor opción posible.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El acceso a energía es esencial para poner fin a la pobreza. A nivel mundial, más de 1000 millones de personas viven sin electricidad, y otros 3000 millones utilizan combustibles contaminantes como leña u otra biomasa para cocinar o calefaccionar las viviendas. El acceso a energía asequible, confiable, sostenible y moderna el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) es esencial para poner fin a la pobreza y cumplir otros ODS de las Naciones Unidas, y resulta imprescindible para que muchos países alcancen las metas relativas a la mitigación del cambio climático. (Banco Mundial, 2017)

Colombia, un país cuya fuente de energía para el 2018 es en un 79.39% hidráulica, según la Unidad de Planeación Minero-Energética UPME (Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), 2018), se enfrenta a una crisis energética, provocada principalmente por fenómenos naturales.

Con el fin de aportar a la solución de la crisis mencionada, las Unidades Tecnológicas de Santander en el grupo de investigación en ingenierías y ciencias sociales - DIANOIA propuso el desarrollo de una investigación capaz de determinar factibilidad de implementación de un sistema de generación de potencia descentralizado basado en recursos renovables en la escuela primaria Liceo Rafael Núñez, el cual logre la conversión, almacenamiento y distribución de energías limpias; basado en uso de los potenciales energéticos de la institución, empleando distintas tecnologías, con el fin de abastecer del recurso a las áreas que lo requieran.

Para el desarrollo de la investigación enfocada en un sistema de conversión, almacenamiento y distribución de energía, se requiere de un documento en el cual se encuentre plasmado el análisis de la información disponible en una base documental la cual además de ser pertinente a la línea de investigación, aporte y agilice el desarrollo del mismo.

Teniendo en cuenta lo anterior, al contar el análisis de la información para el desarrollo del sistema, será el primer paso para determinar factibilidad de implementación del sistema propuesto.

¿Es factible contar con la aplicación de un sistema de generación de potencia descentralizado basado en el aprovechamiento recursos renovables en el centro educativo Liceo Rafael Núñez?

1.2. JUSTIFICACIÓN.

La búsqueda de fuentes de información, la recolección, clasificación y análisis, aporta avances significativos para la realización de investigaciones establecidas en las líneas institucionales.

El trabajo coordinado de los diferentes agentes y la unión de esfuerzos investigativos, redundan en la dinámica de los grupos de investigación y se constituye en insumo que impulsará el desarrollo de sistemas que cuenten con la capacidad de captar fuentes de potencial energético libre, las cuales representan un recurso limpio, renovable, libre de contaminación, gratuito, de naturaleza inagotable y que se encuentra al alcance de todos.

Así mismo evaluar la factibilidad de un sistema capaz de desarrollar el potencial energético suficiente para abastecer la necesidad energética de la escuela primaria Liceo Rafael Núñez, logra proyectar la gestación de espacios cerrados con la capacidad de aprovechar energías de naturaleza renovables. Así mismo dar la oportunidad a los estudiantes de investigar, y ejemplificar sistemas de naturaleza renovable permitiendo generar y construir nuevos conocimientos entorno a temáticas afines y que posteriormente puedan ser implementados.

1.3. OBJETIVOS.

1.3.1. Objetivo general.

Plantear la factibilidad de implementación de un sistema de generación energética independiente basado en energías renovables, mediante el estudio técnico y económico para presentar a manera de consultoría la propuesta de aplicación del sistema en el centro educativo Liceo Rafael Núñez de la ciudad de Barrancabermeja.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Establecer los parámetros del sistema de generación de potencia eléctrica mediante la medición y el análisis de la carga actual del centro educativo con el fin de identificar las zonas de mayor consumo y demanda energética.
- Seleccionar el sistema de generación de energía eléctrica mediante la aplicación de una matriz de evaluación de eficiencia y rendimiento para

establecer la alternativa que mejor se ajuste a las necesidades del centro educativo.

- Establecer los beneficios económicos, ambientales y sociales mediante una matriz comparativa del sistema de generación independiente respecto a las fuentes de energía tradicional, con el fin de evaluar el impacto que tendría el centro educativo en la región del Magdalena Medio.
- Evaluar la perspectiva de la ejecución y desarrollo del sistema de generación independiente mediante el análisis de la inversión, capital de trabajo, fuentes de financiación y costos para establecer los recursos requeridos para la puesta en marcha.
- Elaborar un informe ejecutivo con los resultados obtenidos de la investigación basada en la alternativa más viable de solución con fines de lograr un acuerdo para la ejecución de una consultoría con el centro Educativo Liceo Rafael Núñez.

1.4. ESTADO DEL ARTE.

A nivel Internacional se encontró una tesis de grado titulado “Modelo comparativo de evaluación técnica - económica de la generación eléctrica ejecutada en Ecuador entre 2008 y 2017 versus el incremento de energía proveniente de fuentes renovables no convencionales” Realizaron un análisis de la generación eléctrica nacional incluyendo inversiones y costos de energía, desde la perspectiva de la evaluación técnico-económica de proyectos. Sobre la base del marco conceptual de energía y energía y la metodología de evaluación de proyectos de inversión, se realiza un análisis comparativo del valor presente neto del costo de la energía, expresado en USD / kWh, de tres escenarios.

El escenario real ejecutado por el gobierno, que significó la construcción de ocho plantas hidroeléctricas, tres plantas térmicas y algunos proyectos de energía renovable no convencional, en comparación con un segundo escenario basado en la concesión al sector privado de los nuevos grandes proyectos de generación y frente a un tercer escenario, en el que se excluyen algunos de los grandes proyectos realmente ejecutados, reemplazándolos con proyectos de energía renovable no convencionales ejecutados por el sector privado (Villagómez, 2019).

A nivel Internacional se encontró una tesis de grado titulado “Análisis de las energías renovables no convencionales (ERNC), situación actual y costos de producción con énfasis en los tipos de generación más comunes energía solar fotovoltaica, energía hidroeléctrica, energía eólica y biomasa” Realizaron un estudio en que se analizó la evolución de las energías renovables no convencionales(ERNC) y la situación actual de las mismas a nivel internacional, así como los costos generales; y la reducción de las emisiones de CO^2 en cada

una de las tecnologías comparativamente con los métodos tradicionales que han utilizado petróleo o carbón cientos de años.

Tomando en consideración información general a nivel mundial, pero sobre todo de la Unión Europea y Estados Unidos debido al desarrollo de las tecnologías en los lugares donde existe un mayor desarrollo tecnológico con objetivos claros como la reducción del daño al medio ambiente. Adicionalmente analizaron la situación de los diferentes recursos renovables disponibles; y en cuál deberían prestar mayor atención desde un punto de vista ecológico, pero también económico (Ricaurte, 2015).

A nivel Internacional se encontró una tesis de grado titulado “Plan de negocios sistema de energía solar aplicado al calentamiento de agua” Realizaron el estudio para la propuesta de un plan de negocio que tiene como base la aplicación de energías renovables al calentamiento de agua sanitaria para consumo doméstico y comercial, la cual consiste en un sistema de paneles solares compuestos por colectores de tubos al vacío de alto rendimiento energético, con una vida útil de 25 años, en donde la fuente de energía es la radiación solar que aun cuando el clima esté nublado, provee de la energía suficiente para alcanzar la temperatura de confort (37 a 39 °C) para el usuario (Jácome, 2014).

A nivel Internacional se encontró una tesis de grado titulado “El impacto social económico y ambiental de la energía solar renovable dentro del Ecuador y su matriz energética” Realizaron un estudio en busca presentar efectivamente la realidad del Ecuador en cuanto a la matriz energética y exponer un nuevo frente de oportunidades de energías solar renovables dentro del país. La tesis utiliza evidencia empírica de diferentes fuentes para presentar las ventajas y desventajas de la utilización de la energía solar dentro de territorio ecuatoriano. El enfoque para la explotación de la energía presenta el impacto económico, ambiental y

social que genera la energía solar y finalmente los beneficios hacia la matriz energética, con el propósito de generar nuevas inversiones a base de la generación de energías favorables para todo el Ecuador (Roldán, 2013).

A nivel Internacional se encontró una tesis de grado titulado “Generación de energía eléctrica por pedaleo” Investigaron y analizaron distintos pasos para el desarrollo del sistema Generador Eléctrico por Pedaleo (GEPP), que tiene como objetivo principal la obtención de energía eléctrica mediante energía mecánica para la alimentación eléctrica de dispositivos electrónicos, específicamente de teléfonos celulares, así mismo se mencionan los procesos para la construcción de cada sistema y la realización del prototipo funcional, así como los componentes que lo constituyen y los materiales (Carmona, 2012).

A nivel Internacional se encontró una tesis de grado titulado “Proyecto de instalación de energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria en una vivienda”. Rediseñaron y realizaron la remodelación de la instalación de calefacción individual de una vivienda, dotándola de un sistema de apoyo de calentamiento de agua por energía solar, vivienda la cual está situada en España, en el municipio llamado Aranda de Duero. Así mismo realizaron el estudio y la determinación de las mejores propuestas y medidas de ahorro energético y uso eficiente de la energía para la puesta en práctica en la vivienda en cuestión (Jiménez, 2008).

A nivel nacional se encontró una tesis de grado titulado “Evaluación de la implementación de energía solar fotovoltaica en la ganadería sostenible en Toca, Boyacá” Estructuraron una metodología que pueda ser implementada para el uso de energía solar fotovoltaica aplicada a la ganadería sostenible, enfocada a la producción lechera, en la finca La Chorrera del municipio de Toca (Boyacá),

tomando como referente el Project Management Body of Knowledge (PMBOK) para gestión de proyectos. (Camargo, 2018)

Con el fin de que los pequeños productores puedan incursionar en el mercado lechero, con una disminución de costos de producción que les permita generar mayor ganancia. La finalidad de la investigación fue enmarcar la importancia del uso de las energías renovables en la actualidad, con el fin de contribuir al cuidado del medio ambiente y al desarrollo de nuevas tecnologías en ámbitos de alta relevancia para el país como la ganadería (Camargo, 2018).

A nivel nacional se encontró una tesis de grado titulado “Análisis de viabilidad del suministro de energía eléctrica a la granja la fortaleza ubicada en Melgar-Tolima mediante la implementación de un sistema solar fotovoltaico” Realizaron el análisis sobre la viabilidad técnica, financiera y ambiental de un sistema solar fotovoltaico conectado a red (SFCR) en la Granja La Fortaleza ubicada en Melgar – Tolima, partiendo de la demanda energética histórica de la Granja, la disponibilidad del recurso solar, las características tecnológicas del sistema y los costos actuales por el uso de energía solar fotovoltaica, así mismo realizaron el análisis financiero y la evaluación de los beneficios ambientales que conlleva sustituir el suministro energético actual por energía solar (Guevara, 2015).

A nivel nacional se encontró una tesis de grado titulado “Proyecto para la implementación de un sistema de generación solar fotovoltaica para la población wayuu en Nazaret corregimiento del municipio de Uribia, departamento de la Guajira – Colombia” Realizaron el análisis de una alternativa de solución teniendo en cuenta distintos factores técnicos y económicos, encontrando en la instalación de equipos de suministro energético con celdas solares la respuesta a la necesidad, obteniendo información de la ejecución del proyecto en una pequeña población alejada, donde se supla las necesidades de los usuarios, usando una

metodología en base a fuentes de información secundaria para dimensionar el alcance y generar la ingeniería de detalle para dar cumplimiento a los objetivos económicos y sociales (Galvis, 2013).

A nivel regional se encontró una tesis de grado titulado “Desarrollo de un sistema de generación de energía eléctrica empleando energía mecánica proveniente de una bicicleta estática en espacio cerrado para el aprovechamiento del recurso en las Unidades Tecnológicas de Santander” Desarrollaron un sistema electromecánico el cual cuenta con la capacidad de captar un potencial energético libre, de naturaleza renovable y transformarlo en energía eléctrica, para el diseño del sistema tomaron como premisa que el uso fuera totalmente oportuno a las condiciones de la institución y que el mismo pudiera verse replicado, por lo que se decidió tomar como fuente del potencial energético la energía mecánica generada por el uso de las bicicletas de spinning del gimnasio de la institución.

Debido a que se trata de una fuente primaria de energía que cumple con las siguientes condiciones (ser un potencial energético libre y de naturaleza renovable) debido a que proviene netamente de los usuarios que la usen. El sistema fue diseñado de tal manera que fuera totalmente adaptable, es decir, que no necesite de modificaciones externas o adaptaciones en la bicicleta de spinning, por consiguiente, pudiera ser usado en cualquier otra bicicleta de spinning, así mismo el sistema no realizará interrupciones en el uso normal del ejercicio debido a la compactación y ubicación estratégica (Vásquez, 2019)

2. MARCOS REFERENCIALES.

2.1. MARCO TEÓRICO.

La ley de Faraday establece que en una bobina de alambre conductor se generará un voltaje proporcional a la tasa de cambio del flujo que la atraviesa. La ley de Faraday es la base de la operación del transformador. Un alambre conductor que porta corriente en presencia de un campo magnético experimentará, si se encuentra adecuadamente orientado, una fuerza sobre él. Dicho comportamiento es la base de la acción motriz en todas las maquinas reales.

Una máquina de línea sencilla que consta de una barra conductora que se mueve en un campo magnético ilustra muchas de las acciones de los motores y generadores reales. Cuando se aplica una carga a esta, disminuye la velocidad opera como motor, convirtiendo la energía eléctrica en mecánica. Cuando una fuerza empuja la barra a una velocidad mayor que la velocidad de vacío en estado estacionario, la maquina actúa como generador, convirtiendo energía mecánica en energía eléctrica.

La misma máquina física puede operar como motor o como generador dependiendo de si la fuerza externa aplicada (para la máquina lineal sencilla) o el par (para la máquina rotacional real) están en la dirección del movimiento, se consume potencia mecánica y se produce una cantidad igual de energía eléctrica, haciendo que la maquina actúe como generador. Si están en dirección opuesta al movimiento, hay consumo de potencia eléctrica y se produce una cantidad igual de potencia mecánica, haciendo que la máquina opere como motor. La dirección de rotación no cambia cuando la máquina deja de operar como generador para operar como motor, o viceversa (Chapman S. J., 2000).

Segunda ley de Newton. La fuerza sobre una partícula es igual a la razón de cambio de su cantidad de movimiento lineal, producto de la masa y de la velocidad:

Ecuación 1

$$f = \frac{d}{dt}(mv)$$

Donde:

f : Fuerza

m : Masa

v : Velocidad

dt : Diferencial de tiempo

Si la masa de la partícula es constante, la fuerza es igual al producto de la masa y de la aceleración:

Ecuación 2

$$f = m \frac{dv}{dt} = ma$$

Donde:

f : Fuerza

m : Masa

dv : Diferencial de velocidad

dt : Diferencial de tiempo

a : Aceleración

La segunda ley precisa los términos de fuerza y masa. Una vez elegida una unidad de masa, la unidad de fuerza se define como la fuerza necesaria para dar a la unidad de masa una aceleración de magnitud unitaria (Bedford; Fowler, 2000)

Ley de Watt, en circuitos de corriente directa, asienta que la potencia de un circuito es directamente proporcional al voltaje y la intensidad de corriente del propio circuito. Lo anterior quiere decir que cuanto mayor sea el voltaje aplicado o cuanto más intensa sea la corriente del circuito, tanto mayor será la potencia; por el contrario, a menor voltaje aplicado o a menor flujo de electrones, menor será la potencia eléctrica (Zetina, 2001)

Ley de Ohm. Básicamente, en circuitos eléctricos de corriente directa, asienta que la intensidad de corriente que fluye en un circuito está en proporción directa con la fuerza electromotriz aplicada y en proporción inversa con la resistencia del propio circuito. De acuerdo con lo anterior se puede establecer que la corriente de un circuito (en amperes) es igual al cociente que resulta de dividir el potencial eléctrico aplicado (en volts) entre la resistencia (en ohm) del circuito:

Ecuación 3

$$I = \frac{V}{R}$$

Donde:

I: Corriente

V: Voltaje

R: Resistencia

(Zetina, 2001).

Potencia. Se define como la tasa de transferencia de energía por unidad de tiempo. Una idea de potencia que tenga en cuenta la energía aplicada brinda un concepto que va más allá de la potencia mecánica. Si cierta fuerza realiza un trabajo ΔW sobre un cuerpo durante un intervalo de tiempo Δt , la potencia promedio debido a ello es:

Ecuación 4

$$\bar{P} = \frac{\Delta W}{\Delta t}$$

Donde:

\bar{P} : Potencia media

ΔW : Delta de trabajo

Δt : Delta de tiempo

La potencia instantánea P se define como:

$$P = \frac{dW}{\Delta t}$$

Donde:

P : Potencia instantánea

dW : Diferencial de trabajo

Δt : Delta de tiempo

(Vargas,2008).

El rendimiento de los sistemas energéticos. Se utilizan los términos equivalentes de rendimiento, eficacia o eficiencia de forma muy amplia para indicar la bondad de un sistema respecto a un sistema ideal. En función del concepto de idealidad que se defina, se pueden considerar rendimientos energéticos, económicos y sociales, expresiones todas ellas aplicables al estudio de los sistemas que transforman energía.

Respecto a los rendimientos energéticos, el Primer Principio indica que, cuando la energía se convierte de una de sus formas a otra con producción de trabajo, parte de la misma se disipa en forma de calor. La cantidad de calor disipado es una medida del rendimiento de un dispositivo, Φ_D :

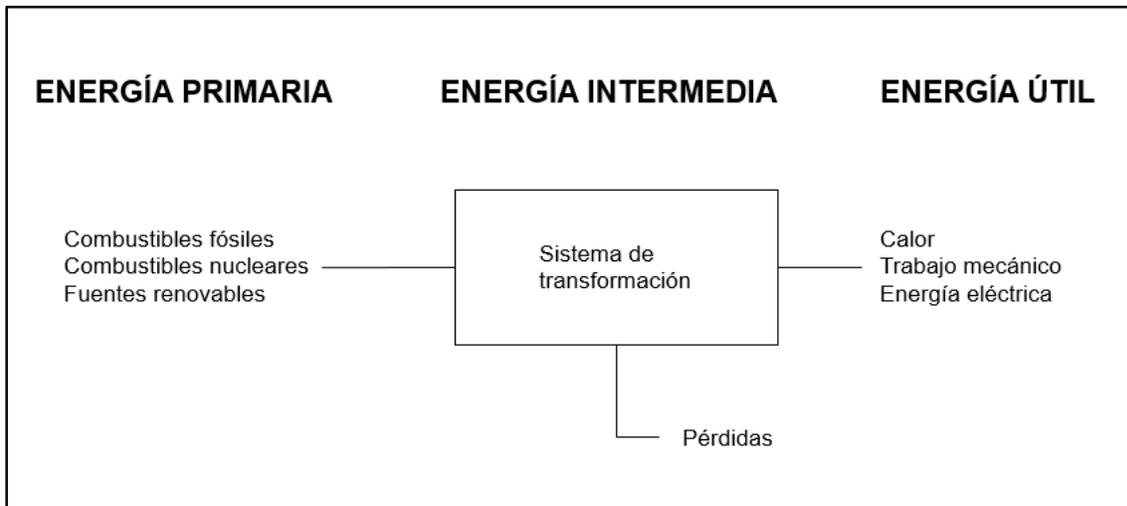
Ecuación 5

$$\Phi_D = \frac{E_D}{E_T}$$

(Jarabo, 1988).

Finalmente, la energía útil se obtiene como resultado de restar a las energías primarias las pérdidas ocasionadas en su transformación en energías secundarias, transporte, distribución y utilización de las mismas, pérdidas que pueden estimarse en un 50% del valor de la energía primaria. De ahí la gran importancia de tratar de disminuir el coeficiente de pérdidas o lo que es lo mismo, establecer una adecuada política de ahorro energético (Jarabo, 1988).

Figura 1. Conversión y utilización de la energía



Fuente: Jarabo, F. (1988). El libro de las energías renovables [Figura]. Recuperado de <http://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>

Fuentes de energía no renovables. Dentro de las fuentes de energía no renovables se consideran los combustibles fósiles actualmente utilizados (carbón, petróleo, gas natural), así como el uranio, materia prima imprescindible en la producción de la energía nuclear de fisión. Dichas fuentes energéticas son consideradas actualmente como convencionales, pero existen otras fuentes alternativas, cuyo estudio para su aprovechamiento a gran escala se ha

iniciado hace pocos años: se trata de las pizarras bituminosas y las arenas asfálticas.

Curiosamente, España tiene cierta experiencia en la explotación de pizarras bituminosas, de las que un importante yacimiento en Puertollano (Ciudad Real) comenzó a ser explotado en los años cincuenta, yacimiento que entonces era rentable, debido a las dificultades económicas de la época. Los combustibles fósiles tienen su origen en la descomposición de materiales biológicos formados hace casi 100 millones de años, estando su energía contenida en los enlaces químicos. El carbón es el principal combustible fósil en cuanto a la cantidad existente. Sus reservas económicamente explotables se cifran en algo más de un billón de toneladas, de las que más del 60% se encuentran en EE.UU., ex-URSS y República Popular China (Jarabo, 1988).

Fuentes de energía renovables. Las fuentes de energía renovables son aquellas que proceden del flujo de energía que recibe continuamente la Tierra, y que tiene su origen en el Sol, aunque en ciertos casos existe una cierta contribución de los campos gravitatorios terrestre y lunar. Aunque el 30% de la energía procedente del Sol es reflejada por la atmósfera terrestre, el 70% restante la atraviesa experimentando o no cambios en sus características, lo que da lugar a las distintas fuentes renovables de energía, cuyas formas de captación y aprovechamiento serán asimismo diferentes (Jarabo, 1988).

La energía procedente del Sol que atraviesa la atmósfera sin experimentar cambios sensibles, se denomina energía solar directa, siendo la que proporciona a los seres vivos luz y calor. La diferente distribución de la energía solar en la atmósfera influye asimismo en el movimiento de las masas de aire. Cuando el aire se calienta tiende a subir y es rápidamente sustituido por aire más frío, fenómeno que constituye el origen de los vientos. Por consiguiente, la energía eólica, o

energía contenida en el viento es una forma indirecta de la energía solar y, por tanto, de naturaleza renovable (Jarabo, 1988).

Otra parte de la energía solar que penetra en la atmósfera es absorbida por las plantas verdes para su crecimiento, que la almacenan en forma de energía química. Siendo el primer eslabón de lo que se conoce como energía de la biomasa, que se extiende posteriormente a todos los seres vivos e inevitablemente está contenida en los diferentes tipos de residuos orgánicos que aquéllos generan. Así mismo, la energía contenida en el interior de la Tierra o energía geotérmica tiene también origen remoto en el Sol. Muchas veces se considera dicha fuente de energía como no renovable, dado que no es debida al flujo energético continuo procedente del exterior de la Tierra.

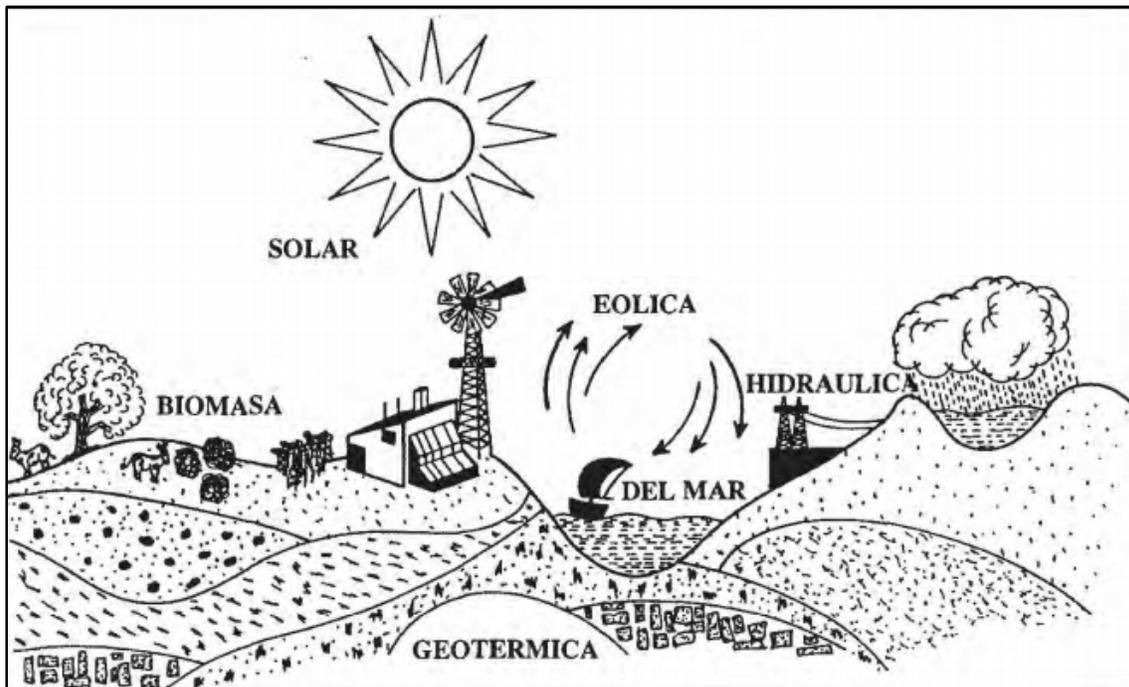
Sin embargo, la continua disipación de la misma debida, entre otras razones, a la fricción de las rocas internas de la corteza terrestre, hace que el flujo se pueda considerar prácticamente inagotable, por lo que se estudia como fuente renovable en diversas ocasiones (Jarabo, 1988).

Cuando el agua del mar absorbe la energía solar, se evapora y pasa a la atmósfera. Sin embargo, después de un cierto tiempo, vuelve a caer en forma líquida o sólida, acumulándose a diferentes alturas sobre la tierra. La energía potencial que poseen las masas de agua situadas a cierta altura se transforma en energía cinética al precipitarse agua hacia zonas más bajas. A la energía contenida por el agua en las condiciones citadas se la denomina energía hidráulica y se trata, evidentemente, de una fuente renovable de origen solar (Jarabo, 1988).

Finalmente, la acción sobre los océanos de las fuerzas gravitacionales de la Luna, del calor solar y de los vientos originan, respectivamente, tres manifestaciones de

la energía del mar: mareas, gradientes térmicos y olas que, debido a los fenómenos implicados, se pueden considerar asimismo energías renovables. Ahora bien, el hecho de que una fuente de energía sea renovable, no quiere decir que sea abundante o que su explotación resulte gratuita (Jarabo, 1988).

Figura 2. Energías renovables



Fuente: Jarabo, F. (1988). El libro de las energías renovables [Figura]. Recuperado de <http://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>

El sol como fuente de energía. El Sol es una estrella formada por diversos elementos en estado gaseoso (principalmente hidrógeno), con un diámetro de 1.4 millones de km. En su interior existen elevadas presiones, presentándose temperaturas de varios millones de grados que producen de forma espontánea e ininterrumpida un proceso de fusión nuclear, siendo origen de la energía solar, que se disipa con una potencia de 3.7×10^{14} TW.

Teniendo en cuenta que, no toda la energía que emite el Sol llega a la Tierra, ya que ésta constituye sólo una superficie captadora insignificante, situada a 150 millones de km. Por lo que, la potencia interceptada por la Tierra es de 173.000 TW, es una parte muy pequeña de la emitida por el Sol. Aun así, es una potencia aproximadamente 10.000 veces mayor que la que proporcionan todas las formas de energía que los seres humanos emplean en la Tierra. Se define como constante solar la cantidad de energía solar recibida por unidad de superficie y unidad de tiempo sobre una superficie perpendicular al Sol situada en el límite de la atmósfera, a la distancia media anual Tierra-Sol. Con un valor de 1.353 W/m^2 y representa la energía media que llega a la capa más externa de la atmósfera terrestre (Jarabo, 1988).

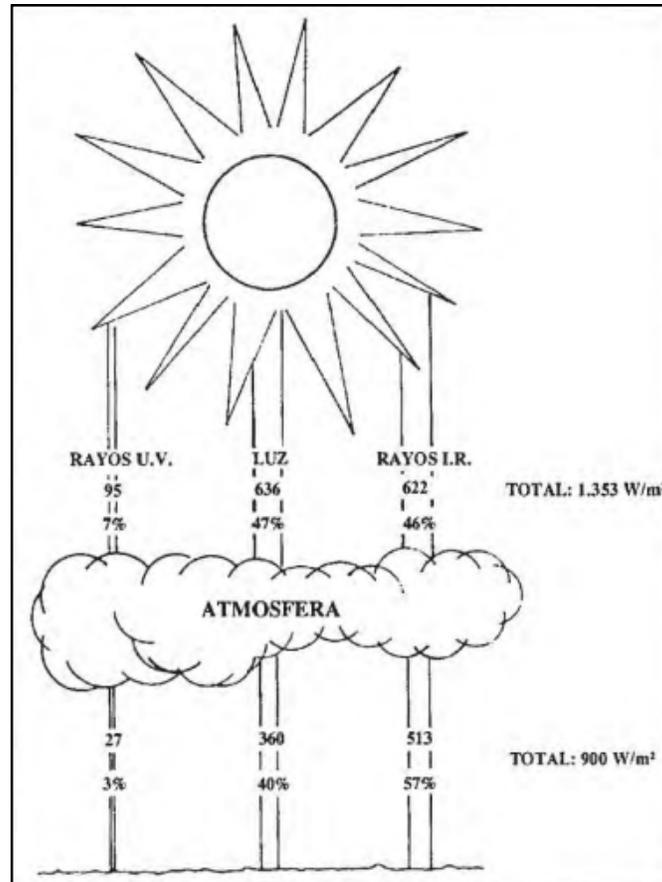


Figura 3. Energía solar que atraviesa la atmósfera

Fuente: Jarabo, F. (1988). El libro de las energías renovables [Figura]. Recuperado de <http://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>

Sistemas de captación de la energía solar. La energía solar presenta dos características específicas muy importantes que la diferencian de las fuentes energéticas convencionales: dispersión e intermitencia. Evidentemente, la energía solar es una forma de energía que presenta gran dispersión, ya que la densidad del mismo, en condiciones muy favorables, difícilmente alcanza $1 \text{ kW} / \text{m}^2$, valor que queda muy por debajo de las densidades con las que se trabaja usualmente

en ingeniería. Lo que significa que para obtener densidades energéticas elevadas se necesitan, o bien grandes superficies de captación, o sistemas de concentración de los rayos solares (Jarabo, 1988).

Así pues, el primer paso para el aprovechamiento de la energía solar es la captación, aspecto dentro del que se pueden distinguir dos sistemas de características muy diferentes: sistemas pasivos y sistemas activos.

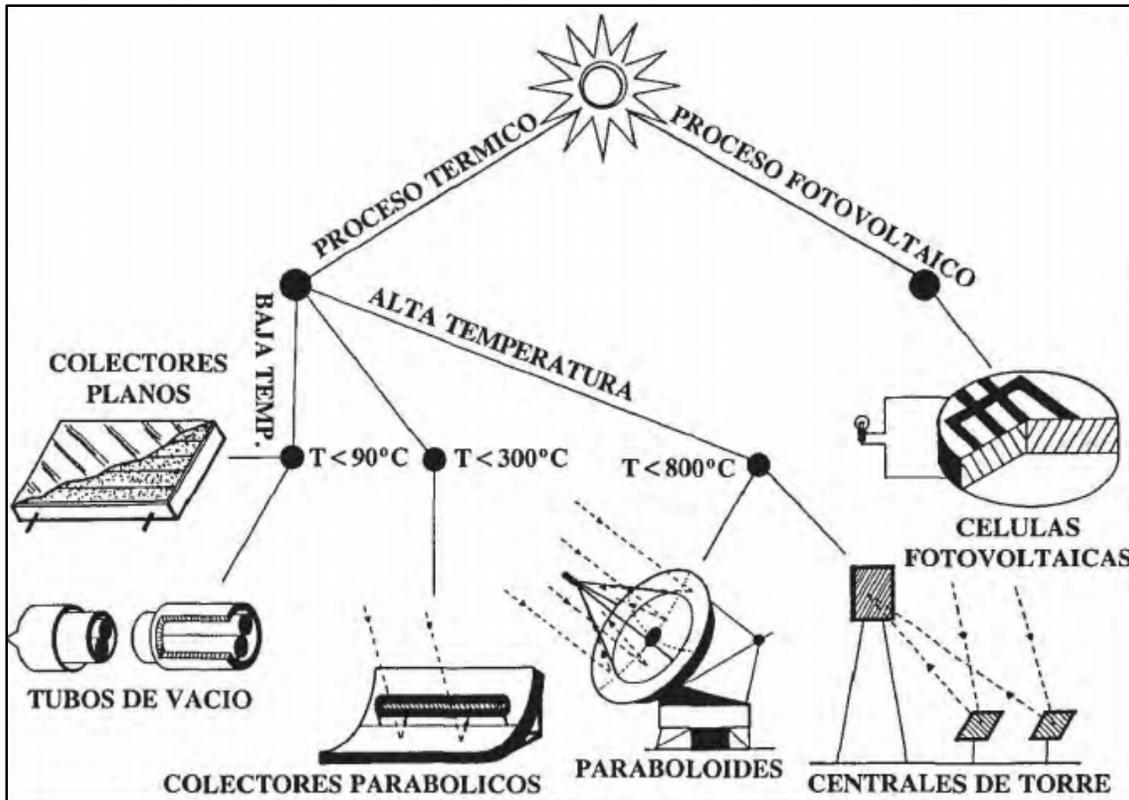
Los sistemas pasivos son aquéllos que no necesitan ningún dispositivo para captar la energía solar, existiendo una íntima relación entre el Sol, el almacenamiento del calor y el espacio, relación que se logra por la aplicación de distintos elementos arquitectónicos.

Los sistemas activos se basan en la captación de la radiación solar por medio de un elemento de unas determinadas características, denominado colector.

Según las características del colector, el aprovechamiento de la energía solar se puede acometer bajo dos puntos de vista bien diferenciados: la conversión térmica, o aprovechamiento del calor contenido en la radiación solar, y la conversión eléctrica, o aprovechamiento de la energía luminosa (fotones) de la radiación solar para generar directamente corriente eléctrica (efecto foto voltaico) (Jarabo, 1988).

Así mismo, la conversión térmica se basa en tres técnicas que difieren entre sí en función de la temperatura que puede alcanzar la superficie captadora. Así, se habla de tecnología de baja temperatura, de temperaturas medias y de altas temperaturas, según que la captación sea directa, de bajo índice de concentración o de alto índice de concentración, respectivamente (Francisco Jarabo, 1988).

Figura 4. Sistemas activos de conversión de la energía solar



Fuente: Jarabo, F. (1988). El libro de las energías renovables [Figura]. Recuperado de <http://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>

2.2. MARCO CONCEPTUAL.

Definición de Energía. El trabajo y la energía se encuentran entre los conceptos más importantes de la física, así como en la vida diaria. En física, una fuerza realiza trabajo cuando actúa sobre un objeto que se mueve a través una distancia y existe una componente de la fuerza a lo largo de la línea de movimiento. Si la fuerza es constante, en una sola dimensión el trabajo realizado es igual a la fuerza

multiplicada por la distancia. (Dicha definición difiere del concepto de trabajo en el uso cotidiano. Cuando un alumno estudia en la preparación de un examen, el único trabajo que realiza desde el punto de vista de la física es el que verifica al mover su lápiz o al pasar la página del libro.) (Tipler, 2005).

Íntimamente asociado al concepto de trabajo se encuentra el concepto de energía. Cuando un sistema realiza trabajo sobre otro, se transfiere energía entre los dos sistemas. Existen muchas formas de energía. La energía cinética está asociada al movimiento de un cuerpo. La energía potencial es energía asociada con la configuración de un sistema, tal como la distancia de separación entre dos cuerpos que se atraen (Tipler, 2005).

Una idea básica es que la energía puede almacenarse dentro de los sistemas en diversas formas macroscópicas. La energía también puede transformarse de una manera a otra y transferirse entre sistemas. Para sistemas cerrados la energía puede transferirse por medio de trabajo y de calor. La cantidad total de energía se conserva en todas las transformaciones y transferencias.

Apoyándose en las contribuciones de Galileo y otros científicos, Newton formuló una descripción general del movimiento de los objetos bajo la influencia de las fuerzas aplicadas sobre los mismos. Las leyes del movimiento de Newton, que proporcionan la base de la mecánica clásica, llevan los conceptos de trabajo, energía cinética, energía potencial, los cuales conducen posteriormente hacia un concepto ampliado de la energía (Moran, 2004).

Definición de energías renovables. Son fuentes que producen constantemente energía, de forma de que la energía consumida se renueva continuamente y, en consecuencia, la utilización es ilimitada. Únicamente se hará referencia, dentro de las energías renovables, a aquellas que se consideren de mayor interés para los

pueblos en vías de desarrollo, que serán las de más fácil uso por necesitar menor bagaje tecnológico y menor inversión para la aplicación (Sardón, La energía).

Máquinas de corriente alterna. Son los generadores que convierten energía mecánica en eléctrica ac y los motores que convierten energía eléctrica ac en energía mecánica (Chapman, 2000).

Campo magnético rotacional. Si un campo magnético es producido en el estator de una maquina ac y el otro es producido por el rotor, el par inducido en el rotor obligará a que gire para alinear los dos campos. Si existe una forma de lograr que el campo magnético del estator rote, efectuando una “persecución” circular contante del campo magnético del estator debido al par inducido en el rotor (Chapman, 2000).

Voltaje inducido en máquinas AC. Así como un conjunto de corrientes trifásicas en el estator puede producir un campo magnético rotacional, un campo magnético rotacional puede producir un conjunto trifásico de voltajes en los devanados del estator (Chapman, 2000).

Acumulador. Los acumuladores son también generadores de corriente continua de origen químico, que se caracterizan por su cualidad de poder ser recargados cuando se agotan. Una vez descargados, se regenera el proceso químico aplicándoles una corriente de carga, con lo cual vuelven a adquirir carga eléctrica. Así, en el proceso de carga se hace una transformación de energía eléctrica en energía química, y en el proceso de descarga la energía química se transforma en energía eléctrica. Los acumuladores suelen ser más voluminosos y de más potencia que las pilas, y con un electrolito líquido (agua destilada con ácido sulfúrico diluido). Algunos tipos de pilas se comportan como acumuladores (las

alcalinas recargables, por ejemplo), ya que permiten ser recargadas (Donate, 1999).

Batería. Es la asociación de varios generadores, pila o acumuladores, con el fin de obtener mayor potencia eléctrica. Aunque puede formarse una batería por medio de pilas no recargables, normalmente se construyen mediante acumuladores lo cual permite obtener baterías recargables. Por ejemplo, las típicas baterías de 12 V que se utilizan en los automóviles se basan en la asociación paralelo de grupo serie de 6 elementos acumuladores de 2V ($6 \times 2V = 12V$) (Donate, 1999).

Estudio de factibilidad. Es un proceso de aproximaciones sucesivas, donde se define el problema por resolver. Para ello se parte de supuestos, pronósticos y estimaciones, por lo que el grado de preparación de la información y la confiabilidad depende de la profundidad con que se realicen tanto los estudios técnicos, como los económicos, financieros y de mercado, y otros que se requieran. (Santos, 2008).

Estructura del estudio de factibilidad. Para llevar a cabo un estudio de factibilidad y obtener el resultado esperado, es fundamental desarrollarlo en cinco etapas: estudio de mercado, estudio técnico, estudio financiero y por último el estudio administrativo y legal. También se puede incluir otros estudios como el plan de marketing o el estudio social y ambiental, con el fin de tener una investigación más completa. Estudio de mercado. El estudio de mercado es la parte inicial del estudio de factibilidad, el cual “consta de la determinación y cuantificación de la demanda y oferta, el análisis de los precios y el estudio de la comercialización.” (Baca, 2010).

Estudio técnico. El estudio técnico analiza: “la determinación del tamaño más conveniente, la identificación de la localización final apropiada y, obviamente, la

selección del modelo tecnológico y administrativo idóneo que sean consecuentes con el comportamiento del mercado y las restricciones de orden financiero” (Miranda, 2005).

Estudio financiero. El estudio financiero tiene como objetivo “ordenar y sistematizar la información de carácter monetario que proporcionan las etapas anteriores y elaborar los cuadros analíticos que sirven de base para la evaluación económica.” (Baca, 2010).

Estudio administrativo. Un estudio administrativo tiene que ver con la definición de la estructura organizativa que se hará responsable del proyecto tanto en la fase de ejecución como en la de operación (Fernández, 2007).

Estudio legal. El estudio legal de un proyecto determina la existencia o inexistencia de normas que puedan restringir la realización del negocio o condicionar su materialización al cumplimiento de algunos requisitos mínimos para poder implementarlo (Sapag, 2007).

2.3. MARCO LEGAL.

- La Ley 788 de 2002 (diciembre 27). Estableció una exención al impuesto de renta sobre los ingresos derivados de la venta de energía eléctrica generada a partir de residuos agrícolas, fuentes eólicas y biomasa. Dicha Ley exige el cumplimiento de 2 requisitos: tramitar certificados de emisión de CO₂ y, que al menos 50,0% de los recursos obtenidos por la venta de dichos certificados se inviertan en obras de beneficio social en la región donde opera el generador (El Congreso de Colombia, 2002).

- La Ley 1215 de 2008 (julio 16). exoneró a los cogeneradores de pagar la contribución de 20,0% sobre la energía que generen para el autoconsumo. Además, se ordenó a la CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas) definir los aspectos técnicos que determinan un proceso de cogeneración. Según la CREG, aspectos que se relacionan con el Rendimiento Eléctrico Equivalente (REE) y la producción mínima de energía eléctrica y térmica (Resolución Creg-005 de 2010 y Creg-047 de 2011). Además, la CREG reglamentó la energía firme a partir del Combustible de Origen Agrícola (COA). Según lo mencionado, los cogeneradores con bioenergía que cumplan algunas condiciones definidas en la Resolución Creg-153 de 2013, podrán acceder al cargo por confiabilidad (El Congreso de Colombia, 2008).
- Ley 1715 de 2014 (mayo 13). Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. La cual tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante la integración al mercado eléctrico, la participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético (El Congreso de Colombia, 2014).
- Decreto 570 de 2018 (marzo 23). Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con los lineamientos de política pública para la

contratación a largo plazo de proyectos de generación de energía eléctrica y se dictan otras disposiciones" y con lo cual se abre un panorama de solidez normativa, de apoyo y de incentivo a la entrada de las energías renovables en Colombia (Ministerio de minas y energías , 2018).

La Carta Constitucional define el carácter social del Estado y se reconoce la protección del medio ambiente como principio fundamental y derecho colectivo. Se establecen y sintetizan los elementos claves que hoy orientan el manejo ambiental del país: protección del ambiente; compromiso con la sostenibilidad y la eficiencia económica; control fiscal; participación ciudadana y respeto por la cultura.

- La Ley 99 de 1993 –Ley del Medio Ambiente, crea el Ministerio del Medio Ambiente (hoy Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT), reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, y organiza el Sistema Nacional Ambiental –SINA-, entre otros.

El MAVDT, conjuntamente con el presidente de la República en Colombia, es el ente encargado de formular la política ambiental, considerando dicho elemento como eje transversal para el desarrollo económico y social, el crecimiento y la sostenibilidad del país. Con una visión que apunta, entre otros, al desarrollo auto sostenible y a la potencialización de las ventajas comparativas de la nación, para lo cual establece como directrices principales la planificación y administración eficiente por parte de las autoridades ambientales, la visión regional para el desarrollo sostenible y la consolidación de espacios de participación.

Asimismo, el Plan Energético Nacional, desarrollado por la Unidad de Planeación Minero-Energética -UPME, entidad adscrita al Ministerio de Minas y Energía,

establece una serie de estrategias y recomendaciones, con visión de largo plazo, que orientan la formulación de políticas para atender las necesidades energéticas del País y enfrentar con éxito las condiciones de productividad y competitividad del entorno internacional. El Plan tiene como objetivo central “maximizar la contribución del sector energético al desarrollo sostenible del país”.

- Resolución ministerio de ambiente 1312 de 2016 (11 agosto). 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 ministerio de ambiente 1283 de 2016 (8 agosto). Por la cual se establece el procedimiento y requisitos para la expedición de la certificación de beneficio ambiental por nuevas inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de energías renovables - FNCER y gestión eficiente de la energía, para obtener los beneficios tributarios de que tratan los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014 y se adoptan otras determinaciones.

3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO.

3.1. Establecimiento de parámetros.

En este numeral se desarrolla el primer objetivo específico del proyecto, el cual indica el establecer los parámetros del sistema de generación de potencia eléctrica mediante la medición y el análisis de la carga actual del centro educativo con el fin de identificar las zonas de mayor consumo y demanda energética.

3.1.1. Medición del potencial energético.

Para establecer el potencial energético de un lugar determinado, es necesario conocer cada una de las áreas que la componen, y a su vez conocer los equipos usados en estas áreas en función del tiempo de uso de los mismos.

De esta manera se establecen las siguientes áreas y los equipos eléctricos usados para el funcionamiento de la escuela primaria Liceo Rafael Núñez:

Tabla 1. Identificación de áreas 1er piso

1er Piso		
Área	Equipos	Cantidad
Salón #1	Ventilador	2
	Aire acondicionado	1
	Bombilla Led	4
Salón #2	Ventilador	2
	Aire acondicionado	1
	Bombilla Led	4
Salón #3	Ventilador	2
	Aire acondicionado	1
	Bombilla Led	4
Salón #4	Ventilador	2
	Aire acondicionado	1
	Bombilla Led	4
Salón #5	Ventilador	2
	Aire acondicionado	1
	Bombilla Led	4
Baño #1	Bombilla Led	2
Baño #2	Bombilla Led	2

Fuente: Autores

Tabla 2. Identificación de áreas 2do piso

2do Piso		
Área	Equipos	Cantidad
Salón #1	Ventilador	2
	Aire acondicionado	1
	Bombilla Led	4
Salón #2	Ventilador	2
	Aire acondicionado	1
	Bombilla Led	4
Salón #3	Ventilador	2
	Aire acondicionado	1
	Bombilla Led	4
Salón #4	Ventilador	2
	Aire acondicionado	1
	Bombilla Led	4
Baño #1	Bombilla Led	2
Baño #2	Bombilla Led	2

Fuente: Autores

Tabla 3. Identificación de áreas zonas comunes

Zonas Comunes		
Área	Equipos	Cantidad
Sala de Informática	Aire Acondicionado	1
	Computador	5
	Ventilador	2
	Bombilla Led	4
Biblioteca	Aire Acondicionado	1
	Ventilador	2
	Bombilla Led	4
Sala de Audiovisual	Pantalla 40"	1
	Ventilador	1
	Bombilla Led	4
Cafetería	Enfriador	1
	Bombilla Led	2
Cuarto Aseo	Bombilla Led	2
Zona Descanso	Ventilador	4
	Bombilla Led	4
Área Administrativa	Aire Acondicionado	2
	Ventilador	4
	Computador	3
	Impresora	2
	Fotocopiadora	1
	Bombilla Led	4

Fuente: Autores

Así mismo se lleva a cabo la identificación de cada uno de los equipos usados en la institución, conociendo así sus datos de placa (potencia [Watts] y voltaje [Volts]),

los cuales se encuentran en cada uno de los equipos, de la misma forma se identificó mediante el uso de una pinza voltiamperimétrica el consumo instantáneo real, tomado los valores de corriente [Amps].

Teniendo en cuenta que para el análisis de cargas de baja potencia se asumen las cargas meramente resistivas, por lo que se pueden conocer diferentes valores como la corriente y la potencia, mediante las ecuaciones establecidas por la ley de Ohm y la ley de Watts.

Ley de Ohm. Básicamente, la ley de Ohm, en circuitos eléctricos de corriente directa, asienta que la intensidad de corriente que fluye en un circuito está en proporción directa con la fuerza electromotriz aplicada y en proporción inversa con la resistencia del propio circuito. De acuerdo con lo anterior se puede establecer que la corriente de un circuito (en amperes) es igual al cociente que resulta de dividir el potencial eléctrico aplicado (en volts) entre la resistencia (en ohms) del circuito, esto es:

Ecuación 6

$$I = \frac{V}{R}$$

Donde:

R: Resistencia eléctrica

I: Corriente eléctrica

V: Voltaje

(Zetina, 2001)

Ley de Watt. La ley de watt, en circuitos de corriente directa, asienta que la potencia de un circuito es directamente proporcional al voltaje y la intensidad de corriente del propio circuito. Lo anterior quiere decir que cuanto mayor sea el voltaje aplicado o cuanto más intensa sea la corriente del circuito, tanto mayor será la potencia; por el contrario, a menor voltaje aplicado o a menor flujo de electrones, menor será la potencia eléctrica.

Ecuación 7

$$P = V * I$$

Donde:

P: Potencia eléctrica

I: Corriente eléctrica

V: Voltaje

(Zetina, 2001)

De tal manera que, una vez conocidos los valores de potencia y voltaje de placa, se pueden obtener los valores de corriente teórica consumida por los equipos. Así mismo una vez conocidos los valores de corriente real, se pueden obtener los valores de potencia real consumida por los equipos.

Tabla 4. Identificación de consumo activo de potencia

Ítems	Potencia [Watts]	Voltaje [Volts]	Corriente Teórica [Amps]	Corriente Real [Amps]	Potencia Real
-------	---------------------	--------------------	-----------------------------	--------------------------	------------------

					[Watts/h]
Aire Acondicionado	171	220	0,78	0,8	176
Bombilla Led	1,6	110	0,01	0,01	1,1
Computador	7	110	0,06	0,42	46,2
Enfriador	52	110	0,47	0,43	47,3
Fotocopiadora	34,2	110	0,31	0,32	35,2
Impresora	21	110	0,19	0,21	23,1
Pantalla 40"	9,2	110	0,08	0,082	9,02
Ventilador	8	110	0,07	0,071	7,81

Fuente: Autores

3.1.2. Cuadro de cargas y demanda energética.

Con base a la información anteriormente relacionada y la información suministrada por la institución relacionada con los usos horarios de cada uno de los equipos, se puede establecer un cuadro de cargas en el en el cual se identifican las zonas de mayor consumo energético, información que al relacionarla con el tiempo de uso de cada equipo se puede determinar la demanda energética necesaria para el funcionamiento de la institución.

Tabla 5. Cuadro de potencias 1er piso

1er Piso

Área	Equipos	Cantidad	Potencia Real [Watts]	Potencia Total Real [Watts]
Salón #1	Ventilador	2	7,81	15,62
	Aire acondicionado	1	176	176
	Bombilla Led	4	1,1	4,4
Salón #2	Ventilador	2	7,81	15,62
	Aire acondicionado	1	176	176
	Bombilla Led	4	1,1	4,4
Salón #3	Ventilador	2	7,81	15,62
	Aire acondicionado	1	176	176
	Bombilla Led	4	1,1	4,4
Salón #4	Ventilador	2	7,81	15,62
	Aire acondicionado	1	176	176
	Bombilla Led	4	1,1	4,4
Salón #5	Ventilador	2	7,81	15,62
	Aire acondicionado	1	176	176
	Bombilla Led	4	1,1	4,4
Baño #1	Bombilla Led	2	1,1	2,2
Baño #2	Bombilla Led	2	1,1	2,2

Fuente: Autores

Tabla 6. Cuadro de potencias 2do piso

2do Piso

Área	Equipos	Cantidad	Potencia Real [Watts]	Potencia Total Real [Watts]
Salón #1	Ventilador	2	7,81	15,62
	Aire acondicionado	1	176	176
	Bombilla Led	4	1,1	4,4
Salón #2	Ventilador	2	7,81	15,62
	Aire acondicionado	1	176	176
	Bombilla Led	4	1,1	4,4
Salón #3	Ventilador	2	7,81	15,62
	Aire acondicionado	1	176	176
	Bombilla Led	4	1,1	4,4
Salón #4	Ventilador	2	7,81	15,62
	Aire acondicionado	1	176	176
	Bombilla Led	4	1,1	4,4
Baño #1	Bombilla Led	2	1,1	2,2
Baño #2	Bombilla Led	2	1,1	2,2

Fuente: Autores

Tabla 7. Cuadro de potencias zonas comunes

Zonas Comunes

Área	Equipos	Cantidad	Potencia Real [Watts]	Potencia Total Real [Watts]
Sala de Informática	Aire Acondicionado	1	176	176
	Computador	5	46,2	231
	Ventilador	2	7,81	15,62
	Bombilla Led	4	1,1	4,4
Biblioteca	Aire Acondicionado	1	176	176
	Ventilador	2	7,81	15,62
	Bombilla Led	4	1,1	4,4
Sala de Audiovisual	Pantalla 40"	1	9,02	9,02
	Ventilador	1	7,81	7,81
	Bombilla Led	4	1,1	4,4
Cafetería	Enfriador	1	47,3	47,3
	Bombilla Led	2	1,1	2,2
Cuarto Aseo	Bombilla Led	2	1,1	2,2
Zona Descanso	Ventilador	4	7,81	31,24
	Bombilla Led	4	1,1	4,4
Área Administrativa	Aire Acondicionado	2	176	352
	Ventilador	4	7,81	31,24
	Computador	3	46,2	138,6
	Impresora	2	23,1	46,2
	Fotocopiadora	1	35,2	35,2
	Bombilla Led	4	1,1	4,4

Fuente: Autores

De acuerdo a la información suministrada por la institución, se puede establecer los tiempos de uso para cada equipo registrado en la identificación por zonas, mediante lo cual se puede conocer la demanda energética necesaria.

Tabla 8. Cuadro de cargas 1er piso

1er Piso						
Área	Equipos	Cantidad	Potencia Real [Watts]	Potencia Total Real [Watts]	Tiempo efectivo [h]	Energía [Wh/día]
Salón #1	Ventilador	2	7,81	15,62	4	62,48
	Aire acondicionado	1	176	176	8	1408
	Bombilla Led	4	1,1	4,4	2	8,8
Salón #2	Ventilador	2	7,81	15,62	4	62,48
	Aire acondicionado	1	176	176	8	1408
	Bombilla Led	4	1,1	4,4	2	8,8
Salón #3	Ventilador	2	7,81	15,62	4	62,48
	Aire acondicionado	1	176	176	8	1408
	Bombilla Led	4	1,1	4,4	2	8,8
Salón #4	Ventilador	2	7,81	15,62	4	62,48
	Aire acondicionado	1	176	176	8	1408
	Bombilla Led	4	1,1	4,4	2	8,8
Salón #5	Ventilador	2	7,81	15,62	4	62,48
	Aire acondicionado	1	176	176	8	1408
	Bombilla Led	4	1,1	4,4	2	8,8
Baño #1	Bombilla Led	2	1,1	2,2	2	4,4
Baño #2	Bombilla Led	2	1,1	2,2	2	4,4
TOTAL						7405,2

Fuente: Autores

Tabla 9. Cuadro de cargas 2do piso

2do Piso						
Área	Equipos	Cantidad	Potencia Real [Watts]	Potencia Total Real [Watts]	Tiempo efectivo [h]	Energía [Wh/día]
Salón #1	Ventilador	2	7,81	15,62	4	62,48
	Aire acondicionado	1	176	176	8	1408
	Bombilla Led	4	1,1	4,4	2	8,8
Salón #2	Ventilador	2	7,81	15,62	4	62,48
	Aire acondicionado	1	176	176	8	1408
	Bombilla Led	4	1,1	4,4	2	8,8
Salón #3	Ventilador	2	7,81	15,62	4	62,48
	Aire acondicionado	1	176	176	8	1408
	Bombilla Led	4	1,1	4,4	2	8,8
Salón #4	Ventilador	2	7,81	15,62	4	62,48
	Aire acondicionado	1	176	176	8	1408
	Bombilla Led	4	1,1	4,4	2	8,8
Baño #1	Bombilla Led	2	1,1	2,2	2	4,4
Baño #2	Bombilla Led	2	1,1	2,2	2	4,4
TOTAL						5925,92

Fuente: Autores

Tabla 10. Cuadro de cargas zonas comunes

Zonas Comunes						
Área	Equipos	Cantidad	Potencia Real [Watts]	Potencia Total Real [Watts]	Tiempo efectivo [h]	Energía [Wh/día]
Sala de Informática	Aire Acondicionado	1	176	176	8	1408
	Computador	5	46,2	231	8	1848
	Ventilador	2	7,81	15,62	8	124,96
	Bombilla Led	4	1,1	4,4	8	35,2
Biblioteca	Aire Acondicionado	1	176	176	8	1408
	Ventilador	2	7,81	15,62	8	124,96
	Bombilla Led	4	1,1	4,4	8	35,2
Sala de Audiovisual	Pantalla 40"	1	9,02	9,02	4	36,08
	Ventilador	1	7,81	7,81	4	31,24
	Bombilla Led	4	1,1	4,4	4	17,6
Cafetería	Enfriador	1	47,3	47,3	8	378,4
	Bombilla Led	2	1,1	2,2	2	4,4
Cuarto Aseo	Bombilla Led	2	1,1	2,2	4	8,8
Zona Descanso	Ventilador	4	7,81	31,24	8	249,92
	Bombilla Led	4	1,1	4,4	2	8,8
Área Administrativa	Aire Acondicionado	2	176	352	8	2816
	Ventilador	4	7,81	31,24	4	124,96
	Computador	3	46,2	138,6	8	1108,8
	Impresora	2	23,1	46,2	4	184,8

	Fotocopiadora	1	35,2	35,2	4	140,8
	Bombilla Led	4	1,1	4,4	2	8,8
	TOTAL					10103,72

Continuacion de la tabla Anterior

Fuente: Autores

Tabla 11. Demanda energética total

Demanda energética	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL
Total	[Wh/día]	[KWh/día]	[KWh/mes]	[KWh/año]
1er piso	7405,2	7,41	222,16	2665,87
2do piso	5925,92	5,93	177,78	2133,33
Zonas comunes	10103,72	10,10	303,11	3637,34
CONSUMO TOTAL	23434,84	23,43	703,05	8436,54

Fuente: Autores

3.1.3. Diseño de tabla característica

Almacenar información acerca de los diferentes sistemas de generación energética alternativa permite caracterizarlos, las cuales se pueden agrupar mediante unas variables de acuerdo a características predominantes en cada uno de estos sistemas, variables que son particularidades comunes en un sistema de generación de energía eléctrica mediante fuentes alternativas, las cuales son susceptibles de comparación y análisis.

Estas variables son:

-Fuente de energía. Este criterio se tiene en cuenta debido a las condiciones del lugar en el cual se hará la consultoría, puesto que, al ser fuentes alternativas, se depende muchas veces de las condiciones ambientales.

-Tipo de generador. Este criterio se tiene en cuenta sabiendo que para la selección o diseño de un generador es necesario conocer los alcances y potencia deseada, de esto depende la potencia y la tensión que se espera obtener.

-Potencia de salida. Este criterio se toma en cuenta pensando en los alcances que se esperan con un sistema de generación, ya que puede ser un sistema de alta, media o baja potencia.

-Tensión generada. Este criterio depende de las características esperadas para cada sistema, usualmente este criterio se representa con valores normalizados ya sea en AC o en DC pero también puede variar de acuerdo a su aplicación.

-Corriente generada. Este criterio es muy importante porque de él depende la carga máxima que tolerará el sistema sin dañarse.

-Capacidad de almacenamiento. Este criterio se toma en cuenta porque garantiza o no la estabilidad del servicio, puesto que la fuente de alternativa usualmente es variable, pero no es una condición fija, debido a que varía de acuerdo al tipo de sistema de generación implementado y sus aplicaciones.

-Potencia del inversor. Este criterio se toma puesto que casi todos los sistemas de generación de mediana y baja potencia se dan en DC para efectuar un sistema de almacenamiento, por lo tanto, si se desea aplicar como conexión a la red infinita de potencia se debe usar un sistema de inversión para cambiar la señal a AC.

-Tensión del inversor. Este criterio varía de acuerdo al tipo de red al que se vaya a conectar puesto que son valores normalizados de acuerdo al uso que se les vaya a dar o al lugar donde se encuentre.

-Corriente máxima del inversor. Este criterio se toma en cuenta porque varía de acuerdo a la carga que se vaya a conectar y se debe seleccionar de acuerdo a los alcances esperados por el sistema de generación.

-Costo. Este criterio basado en el costo total del sistema planteado.

-Costo/Potencia. Este criterio basado en costo por unidad de vatio que implica el sistema de acuerdo a su capacidad de generación, esto con el fin de comparar de manera transversal el costo unitario de cada sistema a evaluar.

Tabla 12. Tabla característica

sistema	Fuente de	Tipo de gener	Potencia de	Tensión Gene	Corriente Gene	Capacidad de almacena	Potencia del	Tensión del	Corriente máxi	Costo [C	Costo/Potencia
---------	-----------	---------------	-------------	--------------	----------------	-----------------------	--------------	-------------	----------------	----------	----------------

	energía	potencia	salida [W]	tensión [Volt]	corriente [Amp]	energía [Ah]	potencia [W]	tensión [Volt]	energía [Ah]	potencia [W]	OP	eficiencia [CO P/W]
1												
2												
3												
4												

Fuente: Autores

3.2. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN.

En este numeral se desarrolla el segundo objetivo específico del proyecto, en el cual se busca seleccionar el sistema de generación de energía eléctrica mediante la aplicación de una matriz de evaluación de eficiencia y rendimiento para establecer la alternativa que mejor se ajuste a las necesidades del centro educativo.

3.2.1. Revisión bibliográfica de documentos de carácter científico.

Teniendo como principio que una base documental es una reserva o almacén donde se gestionan los documentos, se procedió a realizar una búsqueda documental usando herramientas virtuales como los son las bibliotecas interconectadas, repositorios de algunas de las universidades y empresas dedicadas al proceso, de esta búsqueda se obtuvo como resultado un grupo de

sistemas y documentos seleccionados mediante parámetros establecidos bajo un criterio de selección los cuales son:

-Los sistemas deben ser proyectos basados en investigaciones aptas para evaluar, esto con el fin de validar la veracidad de sus resultados, y que a su vez estos resultados sirvan para ser comparados y evaluados entre sí.

-Los documentos deben sustentar y/o validar el uso de la energía alternativa como fuente de generación de energía eléctrica y sus aplicaciones, tomando en cuenta el contexto del presente trabajo, las evaluaciones realizadas y a sus futuras implementaciones.

Este conjunto de sistemas y documentos fueron almacenadas en una base documental digital, luego se establecieron dos maneras de clasificarlos según el uso que se les iba a dar a las investigaciones y documentos almacenados, la primera trata de las investigaciones que serán empleados para la evaluación y selección, estos fueron organizados de manera numérica, en la segunda clase se encuentran los documentos usados como soportes documentales y bases teóricas para la sustentación del proyecto y fueron organizados de manera alfabética. Esta base documental se encuentra anexada de forma digital.

Además, se realiza una preselección de los sistemas e investigaciones que serán evaluados, para lo cual se clasificaron de acuerdo a la tipología de su fuente primaria de energía.

De lo cual se obtuvieron las siguientes fuentes primarias de energía alternativa:

- Solar
- Eólica

De acuerdo a la publicación realizada el 4 de abril de 2019 por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), la tendencia de una década de fuerte crecimiento de la capacidad de energía renovable continuó en 2018 con adiciones globales de 171 gigavatios (GW), según los nuevos datos publicados por la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA). El aumento anual del 7,9 % se vio reforzado por las nuevas incorporaciones de la energía solar y eólica, que representaron el 84 % del crecimiento. Un tercio de la capacidad energética mundial se basa ahora en energías renovables. (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 2019)

Energía eólica: La capacidad mundial de energía eólica aumentó en 49 GW en 2018. China y EE. UU. han seguido representando la mayor parte de la expansión de la energía eólica, con incrementos de 20 GW y 7 GW respectivamente. Otros países que se expandieron en más de 1 GW fueron Alemania, Brasil, Francia, India y el Reino Unido. (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 2019)

Energía solar: La capacidad de energía solar aumentó en 94 GW el año pasado (un 24 % más). Asia siguió dominando el crecimiento mundial con un aumento de 64 GW (alrededor del 70% de la expansión mundial en 2018). Manteniendo la tendencia del año pasado, China, la India, el Japón y la República de Corea fueron los principales responsables de dicho aumento. Otros aumentos importantes se produjeron en Estados Unidos (+8,4 GW), Australia (+3,8 GW) y Alemania (+3,6 GW). Otros países con importantes expansiones en 2018 fueron Brasil, Egipto, Pakistán, México, Turquía y los Países Bajos. (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 2019)

Siendo las dos, fuentes primarias de energías alternativas en alto grado de crecimiento, es posible establecer criterios mínimos para determinar la aplicabilidad de la fuente misma, es decir, para parámetros inmutables de funcionamiento, en este caso condiciones ambientales que deben estar presentes en el lugar de aplicación de estas tecnologías.

De acuerdo a lo establecido por el departamento de energía de los Estados Unidos en su publicación (Sistemas Eólicos Pequeños para Generación de Electricidad), determinan el funcionamiento y los parámetros o requerimientos necesarios para la aplicación de la energía eólica como fuente primaria de un sistema de generación alternativo. Esta publicación establece que la mayoría de fabricantes en los Estados Unidos clasifican a sus equipos de acuerdo a la potencia que en forma segura operan a cierta velocidad de viento, usualmente entre 24 m.p.h. (10.5 m/s) y 36 m.p.h. (16 m/s). (Departamento de energía, EEUU, sf)

Los “Sistemas interconectados a la red” pueden ser prácticos si se cuenta con las siguientes condiciones:

- Usted vive en una zona donde la velocidad promedio del viento es de al menos 10 m.p.h. (4.5 m/s). (Departamento de energía, EEUU, sf)

De acuerdo con la publicación realizada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), en el Atlas de viento de Colombia, en donde se establecen los mapas que muestra la distribución espacial del viento en superficie y otros análisis complementarios. Para esta versión se presentan los análisis locales de 67 estaciones ubicadas a lo largo de territorio colombiano. Espacialmente, además la velocidad promedio del viento en superficie a nivel mensual y anual, se incluye el análisis del viento estimado entre 2 y 80 metros de altura. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2017)

Estableciendo que en sectores de las regiones que presentan superficies llanas y de menor elevación a nivel nacional, como lo son la Pacífica, Orinoquía y Amazonía, así como en la cuenca baja del Magdalena entre los departamentos de Antioquia, **Santander**, centro y sur de Córdoba, Sucre y Bolívar, predominan vientos de menor velocidad, alcanzando los 3 m/s.(Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2017)

Así mismo según la valoración del viento más probable a 10 m de altura, sobre el territorio colombiano predomina flujo de viento débil con velocidades de hasta 2 m/s en amplios sectores ubicados entre los departamentos de Amazonas, Putumayo, Caquetá, Guaviare, Guainía, Vaupés y Vichada. Este comportamiento también se observa durante gran parte del año en la región Pacífica y en los departamentos de Antioquia, **Santander** y Eje Cafetero –en la región Andina–, así como en Córdoba, centro y sur de Bolívar y Sucre.(Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2017)

El Atlas de Viento de Colombia es un referente nacional para la toma de decisiones climáticamente inteligentes. Contrastando la información presentada por el Departamento de Energía de los Estados Unidos con la publicación realizada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), se puede determinar que, de acuerdo a las condiciones meteorológicas y ambientales presentes en la región, no se reúnen los requerimientos mínimos para la aplicación y funcionamiento de un sistema de generación energética alternativa con una fuente primaria de naturaleza eólica.

De acuerdo con la publicación realizada por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) y la Subdirección Territorial y de Inversiones Públicas de Colombia (Instalación de sistemas solares fotovoltaicos individuales en zonas no

interconectadas), en donde se presenta el PROYECTO TIPO, para facilitar la formulación de un proyecto para la instalación de sistemas solares fotovoltaicos individuales, el único requisito frente a las condiciones ambientales que se debe verificar antes de dimensionar un sistema de generación energética solar, es ubicar el municipio en el mapa de radicación del IDEAM para determinar el recurso solar disponible en kWh/m², esto permitirá saber la cantidad promedio de recurso solar disponible para ubicarlo en la tabla de diseño de la solución solar (Valor rango kWh/m²). (Departamento Nacional de Planeación, 2016)

Por lo que se considera que, de acuerdo a la información validada anteriormente por el Departamento Nacional de Planeación, MINMINAS y la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), se reúnen los requerimientos mínimos para la aplicación y funcionamiento de un sistema de generación energética alternativa con una fuente primaria de naturaleza solar.

3.2.2. Caracterización de los sistemas aplicables.

Para la evaluación metanalítica de los sistemas anteriormente preseleccionados que presentan la propuesta de un sistema acorde a las necesidades y características del plantel educativo, se realizó una caracterización y una tabla para almacenar cada una de sus particularidades de acuerdo a las variables establecidas. A continuación, se muestra la caracterización realizada a las investigaciones.

Sistema 1. Este sistema comercialmente conocido en Colombia con el nombre de (kit energía solar autónomo) tiene la capacidad de entregar desde 15.200w hasta 19.200w, siendo este un sistema de conexión autónomo Off Grid consiste en una instalación desconectada por completo de una red eléctrica pública, es decir, toda

la energía que pueda llegar a ser recolectada entra a ser almacenada en un juego de baterías, las cuales actuarán para alimentar cualquier tipo de carga eléctrica.

Este sistema está compuesto por un juego de 12 paneles Solares Policristalinos 340w - 345w según disponibilidad, un inversor de 48V - 110/220V con una capacidad de 5.000W, cableado Solar (40mts Repartidos así 20mts cable rojo - 20mts cable negro), un controlador MPPT 12/24/48V 100Am, 12 baterías de Ciclo profundo a 12v a 255Ah y un juego de conectores MC4 simple y en Y, una estructura de poste a 3 mts de altura para los 12 paneles y una estructura lineal para instalar en losa o en techo, por un valor total de 54'587.950 COP.

Sistema 2. Este sistema comercialmente conocido en Colombia con el nombre de (kit interconectado a red) tiene la capacidad de entregar desde 123.500 w hasta 156.000 w, siendo este un sistema de interconexión o Conexión On Grid consiste en la producción de energía eléctrica a partir de Paneles Solares Fotovoltaicos los que a diferencia del sistema Off Grid si van conectados a una red pública, es decir, a una red de cualquier compañía eléctrica local, en este sistema la energía para alimentar cualquier carga eléctrica proviene simultáneamente del sistema solar como de la red eléctrica.

Este sistema está compuesto por un juego de 100 paneles solares policristalinos, un inversor a Red 30 Kw monofásico, cableado solar, una estructura de paneles solares tipo terraza, por un valor total de 131'289.599 COP, (descontando el servicio de instalación transporte y accesorios para la puesta en funcionamiento sistema on grid, el cual presentan con un valor de 34'500.000, para un total de 165'789.599 COP).

Sistema 3. Este sistema comercialmente conocido en Colombia con el nombre de (kit energía solar híbrido) tiene la capacidad de entregar desde 17.290 w hasta

21.840 w, siendo este un sistema fotovoltaico solar híbrido es una combinación de la tecnología de la energía solar y la red eléctrica, es decir, si la energía producida a través de generadores fotovoltaicos es suficiente para el consumo de la carga, el inversor utiliza la energía fotovoltaica excedente para la carga de las baterías. Así mismo, si el consumo de la carga es superior a la energía fotovoltaica, el inversor tomara la energía que le falta de la red pública. En ausencia de sol, el inversor, según el consumo de energía, usará la energía exclusivamente a partir de baterías o podrá tomar energía de la red pública.

Este sistema está compuesto por un juego de 14 paneles solares policristalinos, un Inversor híbrido 48v 2500w Salida a 110, un juego de 12 baterías, cableado solar y la estructura rack para sistema de control y baterías, por un valor total de 41´497.499 COP, (descontando el servicio de Instalación de sistema solar, instalación de soporte de paneles, instalación de paneles solares, tendido de cable solar, puesta en marcha y acompañamiento el cual presentan con un valor de 9´650.000, para un total de 51´147.499 COP).

Sistema 4. Este sistema comercializado en Colombia presenta la combinación de un sistema on grid y un sistema de autoconsumo, el cual tiene la capacidad de entregar 14.517 Kwh al año, siendo este un sistema fotovoltaico solar híbrido es una combinación de la tecnología de la energía solar y la red eléctrica, este sistema cuenta con la particularidad de abastecer grandes cargas energéticas y a su vez inyectar el un gran potencial energético en el barraje de red, esto le permite no solo reducir el consumo energético a 0, sino también integrar superficies a los procesos de micro generación.

Este sistema está compuesto por un juego de 30 paneles solares JA PERC de 390 W, 2 inversores Fronius Symo de 10 Kw a 208 Volt, 3 Fronius data Mngr/Smart meter, 4 estructuras de paneles Schletter y 5 juegos de cables, protecciones y

conectores por un valor total de 44'677.100 COP, (descontando el servicio de Instalación el cual presentan con un valor de 17'550.000, para un total de 62'227.100 COP).

Tabla 13. Cuadro característico

Systema	Fuente de energía	Tipo de generador	Potencia de salida [W]	Tensión Generada [Volt]	Corriente Generada [Amp]	Capacidad de almacenamiento [Ah]	Potencia del inversor [W]	Tensión del inversor [Volt]	Corriente máxima del inversor [Amp]	Costo [COP]	Costo/Potencia [COP/W]
1	Solar	Panel of grid	15200	48	316,67	3060	5000	110-220	45,45 - 22,72	\$ 54.587.950,00	\$ 3.591
2	Solar	Panel on grid	13500	48	281,25	NA	30000	220	136,36	\$ 165.789.599,00	\$ 12.281
3	Solar	Panel híbrida	17290	48	360,21	3060	2500	110	22,73	\$ 51.147.499,00	\$ 2.958
4	Solar	Panel direct	39772,60	45,66	871,06	NA	20000	208	96,15	\$ 62.227.100,00	\$ 1.565

Fuente: Autores

3.2.3. Establecimiento del sistema.

Para la selección del sistema que mejor se adapte a las necesidades y que pueda ser objetivo a los recursos que se tienen en la institución, se seleccionó uno de los sistemas evaluados a partir de los resultados de la aplicación de una matriz de priorización, para escoger de manera parcial la opción que mejor se ajusta.

Para el uso de una matriz de priorización por valores ponderados se contrastan dos variables en dos ocasiones, una inversa de la otra, cuando se contrasta se le da un valor que sumado con su valor inverso de como suma 1, es decir cuando una variable es más importante respecto de la otra en el primer contraste se valora con 1 y en el contraste inverso se valora con 0, en el caso que las dos variables se consideren igualmente importante en los dos contrastes se valoran con 0,5 respectivamente a fin de dar una sumatoria igual a 1.

De esta manera se pueden dar diferentes valores de acuerdo al grado de importancia que tengan una respecto de la otra siempre que la suma de los dos sea igual a 1, esto se aplica para el grado de importancia entre variables y para las valoraciones de una alternativa respecto de la otra siendo evaluadas respecto de una variable se les da una valoración de acuerdo a su nivel prioridad respecto de la variable que se esté evaluando.

Una vez valoradas las variables bajo el sistema de ponderación matricial, se desarrolla unacolumna la cual suma aritméticamente los valores de cada fila, así mismo una casilla final en dicha columna en la cual suma aritméticamente los valores de la columna dando un valor total de ponderación. Finalmente se desarrolla una columna en la cual se establecen los porcentajes que representa cada variable de manera ponderada, luego de ser contrastada con las demás.

Lo primero que se realiza es la aplicación de una matriz de priorización en la cual se aplica un cálculo ponderado para establecer cuál de las variables, con las cuales se va a evaluar y seleccionar uno de los sistemas, es la más importante a considerar.

Para dar un ejemplo claro de la aplicación de la matriz de priorización se da inicio con la aplicación de la primera matriz, la cual establece cuál de las variables que

se evaluarán corresponde a la de mayor importancia de acuerdo al concepto de los evaluadores. Inicialmente se contrasta la variable ubicada en la primera fila con cada una de las otras variables relacionadas en cada columna. En este caso de comienza por la variable llamada (Fuente de energía) y se contrasta frente a la segunda variable llamada (Tipo de generador), en donde se considera de mayor importancia la fuente de energía, por lo que se le asigna una valoración máxima de 1, así mismo con la tercera variable llamada (Potencia de salida), en donde se consideró de menor importancia con respecto a la variable, por lo que se le asigna una valoración mínima de 0.

Cuando se contrasta con su valor inverso se le da un valor que sumado de como resultado 1, es decir, el valor asignado en la segunda columna en la segunda fila donde nuevamente se contrastan las variables (Tipo de generador) y (Fuente de energía), se tiene el inverso de la primera valoración y la suma de las dos valoraciones debe dar como resultado 1, por lo que se asigna una valoración de 0, lo cual es consistente con la afirmación anterior en donde se considera de mayor importancia la fuente de energía, por lo que se le asigna una valoración mínima de 0. Así mismo se desarrolla la matriz en su totalidad, teniendo en cuenta que se pueden presentar contrastes en donde una variable es igual de importante que la otra, por lo que las dos obtendrán un valor de 0.5, ella y su inversa, por lo que la suma será igual a 1.

Una vez se finalizan las valoraciones, se realiza una sumatoria aritmética de todos los valores de la fila, dando como resultado de sumar los valores de la primera fila un resultado igual a 4, así mismo se realiza una sumatoria aritmética de todos los valores de la columna llamada (suma), dando como resultado total 55.

$$1 + 0 + 0 + 1 + 0.5 + 0.5 + 1 + 0 + 0 + 0 = 4$$

$$4 + 1 + 8 + 3 + 7 + 6.5 + 5 + 1.5 + 6 + 6 + 7 = 55$$

Una vez se obtienen los valores totales, se procede a obtener los valores porcentuales que representan el valor ponderado de cara variable o su nivel de importancia, lo cual es el resultado de dividir el valor de la suma aritmética de la fila sobre el valor total, en el caso de la primera variable (Fuente de energía).

$$\frac{4}{55} = 0,072727273$$

Para corroborar que el procedimiento se haya realizado de manera correcta, se procede a realizar la suma aritmética de todos los valores ponderados, la cual debe ser en todos los casos un valor igual a 1, que corresponde al 100% de la valoración.

Tabla 14. Matriz de priorización para evaluar las variables

VARIABLES	Fuente de energía	Tipo de generador	Potencia de salida	Tensión Generada	Corriente Generada	Capacidad de almacenamiento	Potencia del inversor	Tensión del inversor	Corriente máxima del inversor	Costo	Costo/Potencia	SUMA	PONDERADO
Fuente de energía		1	0	0	1	0,5	0,5	1	0	0	0	4	0,072727273
Tipo de generador	0		0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	1	0,018181818
Potencia de salida	1	1		1	0,5	0,5	1	1	1	0,5	0,5	8	0,145454545

Tensión Generada	1	1	0		0	0,5	0	0,5	0	0	0	3	0,054545455	
Corriente Generada	0	1	0,5	1		0,5	1	1	1	0,5	0,5	7	0,127272727	
Capacidad de almacenamiento	0,5	1	0,5	0,5	0,5		1	1	0,5	0,5	0,5	6,5	0,118181818	
Potencia del inversor	0,5	1	0	1	0	0		1	0,5	0,5	0,5	5	0,090909091	
Tensión del inversor	0	1	0	0,5	0	0	0		0	0	0	1,5	0,027272727	
Corriente máxima del inversor	1	1	0	1	0	0,5	0,5	1		0,5	0,5	6	0,109090909	
Costo	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,5	1	0,5		0	6	0,109090909	
Costo/Potencia	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,5	1	0,5	1		7	0,127272727	
												TOTAL	55	1

Continuación de la tabla anterior.

Fuente: Autores

Después de realizar la aplicación de la matriz de priorización se logró establecer que la variable más importante a considerar es la potencia de salida, tomando en cuenta que la potencia de salida es la misma potencia eléctrica generada. Así mismo se procede a realizar una matriz de priorización para evaluar a cada una de las alternativas, usando una matriz para cada variable.

Tabla 15. Evaluación por fuente de energía

Fuente	Sistema	Sistema	Sistema	Sistema	SUMA	PONDERADO
--------	---------	---------	---------	---------	------	-----------

de energía	1	2	3	4		
sistema 1		0,5	0,5	0,5	1,5	0,25
sistema 2	0,5		0,5	0,5	1,5	0,25
sistema 3	0,5	0,5		0,5	1,5	0,25
sistema 4	0,5	0,5	0,5		1,5	0,25
				TOTAL	6	1

Fuente: Autores

La fuente de energía se evaluó partiendo de la disponibilidad que esta representa, luego de la caracterización de los documentos, se encuentra que el uso de fuentes térmicas no convencionales, es inadecuado para el sector de aplicación, esto debido a su alto costo para incurrir en la transformación a energía eléctrica y que sus funciones de mayor aplicación son para el proceso de calefacción de agua.

Tabla 16. Evaluación por tipo de generador

Tipo de generador	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	SUMA	PONDERADO
sistema 1		0,5	0,5	0,5	1,5	0,25
sistema 2	0,5		0,5	0,5	1,5	0,25
sistema 3	0,5	0,5		0,5	1,5	0,25
sistema 4	0,5	0,5	0,5		1,5	0,25
					6	1

Fuente: Autores

El tipo de generador se evaluó de acuerdo al método usado para transformar la energía, y su eficiencia para lograrlo, luego de la caracterización de los

documentos, se encuentra que el uso de paneles fotovoltaicos se presenta como la mejor opción y la más usada.

Tabla 17. Evaluación por potencia de salida

Potencia de salida	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	SUMA	PONDERADO
sistema 1		1	0	1	2	0,33
sistema 2	0		0	1	1	0,17
sistema 3	1	1		1	3	0,5
sistema 4	0	0	0		0	0
				TOTAL	6	1

Fuente: Autores

Para la evaluación de potencia de salida se tomó como la mejor opción la mayor cantidad de potencia eléctrica que entregaban los generadores, siendo el sistema 3 con 17.290 W.

Tabla 18. Evaluación por tensión generada

Tensión Generada	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	SUMA	PONDERADO
sistema 1		0,5	0,5	0,5	1,5	0,25
sistema 2	0,5		0,5	0,5	1,5	0,25
sistema 3	0,5	0,5		0,5	1,5	0,25
sistema 4	0,5	0,5	0,5		1,5	0,25
				TOTAL	6	1

Fuente: Autores

Para la evaluación de tensión generado se toma como la mejor opción la mayor cantidad de diferencial de potencial eléctrico que entregaban los generadores, tomando como paridad al sopesar una generación equivalente en los sistemas.

Tabla 19. Evaluación por corriente generada

Corriente Generada	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	SUMA	PONDERADO
sistema 1		1	0	1	2	0,33
sistema 2	0		0	1	1	0,17
sistema 3	1	1		1	3	0,5
sistema 4	0	0	0		0	0
				TOTAL	6	1

Fuente: Autores

Para la evaluación de corriente generado se tomó como la mejor opción la mayor cantidad de corriente eléctrica que fluye desde el generador hacia la carga, siendo el sistema 3 con 360,2 A.

Tabla 20. Evaluación por capacidad de almacenamiento

Capacidad de almacenamiento	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	SUMA	PONDERADO
sistema 1		1	0,5	1	2,5	0,417
sistema 2	0		0	0,5	0,5	0,083
sistema 3	0,5	1		1	2,5	0,417
sistema 4	0	0,5	0		0,5	0,083
				TOTAL	6	1

Continuación de la tabla anterior.

Fuente: Autores

Para la evaluación de capacidad de almacenamiento, se tiene como la mejor opción la mayor cantidad de potencial energético que puede ser almacenado, siendo el sistema 1 y 3 con una capacidad de 3060 Ah.

Tabla 21. Evaluación por potencia del inversor

Potencia del inversor	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	SUMA	PONDERADO
sistema 1		0	1	0	1	0,17
sistema 2	1		1	1	3	0,5
sistema 3	0	0		0	0	0
sistema 4	1	0	1		2	0,33
				TOTAL	6	1

Fuente: Autores

Para la evaluación de la potencia de inversión, se tiene como la mejor opción la mayor cantidad de potencial energético que puede ser invertido por el sistema en su proceso de entrega, siendo el sistema 2 con una capacidad de 30000 W.

Tabla 22. Evaluación por tensión del inversor

Tensión del inversor	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	SUMA	PONDERADO
sistema 1		0,5	1	0,5	2	0,33
sistema 2	0,5		1	0,5	2	0,33

sistema 3	0	0		0	0	0,00
sistema 4	0,5	0,5	1		2	0,33
				TOTAL	6	1

Fuente: Autores

Para la evaluación de tensión del inversor se tomó como la mejor opción la mayor cantidad de diferencial de potencial eléctrico que entregaban los inversores, habiendo paridad entre los sistemas 1,2 y 4.

Tabla 23. Evaluación por corriente máxima del inversor

Corriente máxima del inversor	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	SUMA	PONDERADO
sistema 1		0	0,5	0	0,5	0,083
sistema 2	1		1	1	3	0,5
sistema 3	0,5	0		0	0,5	0,083
sistema 4	1	0	1		2	0,333
				TOTAL	6	1

Fuente: Autores

Para la evaluación de corriente máxima del inversor se tomó como la mejor opción la mayor cantidad de flujo de corriente eléctrica que entregan los inversores, siendo el sistema 2, con 136,36 Amp.

Tabla 24. Evaluación por costo

Costo	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	SUMA	PONDERADO
sistema 1		1	0	1	2	0,33

sistema 2	0		0	0	0	0
sistema 3	1	1		1	3	0,5
sistema 4	0	1	0		1	0,17
				TOTAL	6	1

Fuente: Autores

Para la evaluación de costo se tomó como la mejor opción la menor cantidad de dinero por sistema, siendo el sistema 3, con un costo total de 51´147.499 COP.

Tabla 25. Evaluación por costo / potencia

Costo/ Potencia	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	SUMA	PONDERADO
sistema 1		1	0	1	2	0,33
sistema 2	0		0	0	0	0
sistema 3	1	1		1	3	0,5
sistema 4	0	1	0		1	0,17
				TOTAL	6	1

Fuente: Autores

Para la evaluación de costo / potencia se tomó como la mejor opción la menor cantidad de dinero por sistema, siendo el sistema 3, con 2.958,21 COP.

Una vez se obtienen los valores ponderados de todas las alternativas evaluadas entre sí, se asignan los valores obtenidos frente a cada una de las variables, de esta manera se logra conocer la valoración de cada sistema respecto de un criterio en particular.

Nuevamente se inserta una columna Suma, en donde se realiza una suma aritmética de cada fila, resultado que presenta una valoración preliminar de sistema que presenta la ponderación más alta.

$$0.25 + 0.25 + 0.333 + 0.25 + 0.33 + 0.416 + 0.166 + 0.33 + 0.33 + 0.33 + 0.33 = 3.08$$

Tabla 26. Ponderación

	Fuente de energía	Tipo de generador	Potencia de salida	Tensión Generada	Corriente Generada	Capacidad de almacenamiento	Potencia del inversor	Tensión del inversor	Corriente máxima del inversor	Costo/ Potencia	Costo Potencia	SUMA
sistema 1	0,25	0,25	0,333333	0,25	0,333333	0,416667	0,166667	0,333333	0,083333	0,333333	0,333333	3,08
sistema 2	0,25	0,25	0,166667	0,25	0,166666	0,083333	0,5	0,333333	0,5	0	0	2,5
sistema 3	0,25	0,25	0,5	0,25	0,5	0,416667	0	0	0,083333	0,5	0,5	3,25
sistema 4	0,25	0,25	0	0,25	0	0,083333	0,333333	0,333333	0,333333	0,166667	0,166666	2,17

Continuación de la tabla anterior

Fuente: Autores

Después de tener las ponderaciones resultantes de cada una de los sistemas evaluados, se proceder a multiplicar las dos ponderaciones obtenidas, la ponderación de cada alternativa y la ponderación de cada variable, esto debido a que cada criterio tiene una ponderación diferente, las cuales serán multiplicadas entre sí.

$$0.07272 * 0.25 = 0.01818182$$

Donde:

Ponderación de la variable Fuente de energía: 0.07272

Valoración del sistema N°1 respecto de la variable Fuente de energía: 0.25

Ponderación del sistema N°1 respecto de la variable Fuente de energía:
0.01818182

Finalmente se suman aritméticamente los valores de cada fila para así obtener la ponderación total de cada sistema, de esta manera se obtiene que la alternativa que obtenga la ponderación de mayor valor será la alternativa seleccionada como el sistema que se puede aplicar.

$$0.01818182 + 0.00454545 + 0.07272727 + 0.01363636 + 0.06363636 \\ + 0.049242424 + 0 + 0 + 0.00909091 + 0.05454545 + 0.06363636 \\ = 0.34924242$$

Tabla 27. Selección de la alternativa

	Fuente de energía	Tipo de generador	Potencia de salida	Tensión de Generación	Corriente de Generación	Capacidad de almacenamiento	Potencia de salida	Tensión de salida	Corriente máxima	Costo	Costo/Potencia	TOTAL

	ía	ador		rada	rada	namient	invers	invers	ma		cia	
						o	or	or	del			
									invers			
									or			
siste	0,018	0,004	0,048	0,013	0,042		0,015	0,009	0,009	0,036	0,042	0,288
ma	1818	5454	4848	6363	4242	0,04924	1515	0909	0909	3636	4242	6363
1	2	5	5	6	4	2424	2	1	1	4	4	6
siste	0,018	0,004	0,024	0,013	0,021		0,045	0,009	0,054			0,200
ma	1818	5454	2424	6363	2121	0,00984	4545	0909	5454			7575
2	2	5	2	6	2	8485	5	1	5	0	0	8
siste	0,018	0,004	0,072	0,013	0,063				0,009	0,054	0,063	0,349
ma	1818	5454	7272	6363	6363	0,04924			0909	5454	6363	2424
3	2	5	7	6	6	2424	0	0	1	5	6	2
siste	0,018	0,004		0,013			0,030	0,009	0,036	0,018	0,021	0,161
ma	1818	5454		6363		0,00984	3030	0909	3636	1818	2121	3636
4	2	5	0	6	0	8485	3	1	4	2	2	4

Fuente: Autores

Luego de comparar las ponderaciones finales para cada una de los sistemas se obtiene que el sistema N 3 (sistema de energía solar híbrido) presenta la ponderación más alta, y se establece como la alternativa que mejor se ajusta a las variables y condiciones del centro educativo liceo Rafael Núñez de la ciudad de Barrancabermeja. Este sistema se encuentra caracterizado en el numeral 3.2.2 y su descripción, fundamentación, montaje y resultados se encuentran adjuntos digitalmente en la base documental.

3.3. ESTUDIO DE BENEFICIOS.

En este numeral se desarrolla el tercer objetivo específico del proyecto, en el cual se busca establecer los beneficios económicos, ambientales y sociales mediante una matriz comparativa del sistema de generación independiente respecto a las fuentes de energía tradicional, con el fin de evaluar el impacto que tendría el centro educativo en la región del Magdalena Medio

3.3.1. TIR (Tasa Interna de Retorno).

De acuerdo a los valores extraídos de sistema N 3 (sistema de energía solar híbrido) se requiere de una inversión de 51´147.499 de pesos colombianos para la producción anual de 37.865,1 Kwh. Teniendo en cuenta que el valor promedio de la energía eléctrica en el centro educativo de acuerdo a las facturas de energía registradas es de 537,93 COP/Kwh, se requiere de una producción energética total de 95.082,07 Kwh para obtener un retorno de la inversión, este potencial energético será generado en un periodo de 30,55 meses de acuerdo a su generación energética promedio diario de 103,74 Kwh, bajo un tiempo efectivo de 6 horas diarias de aprovechamiento energético.

Tabla 28. Tasa interna de retorno

Costo medio de la energía [Cop/KWh]	Potencia generada [Watt]	Tiempo de generación [Horas]	Energía generada [Wh/día]	Energía generada [KWh/día]	Energía generada [KWh/mes]	Energía generada [KWh/año]	Inversión [Cop]	Energía necesaria [KWh]	Tiempo de generación [días]	Tiempo de generación [mes]
537,93	1729	6	1037	103,74	3112,2	37865,	\$	9508	916,54	30,55

	0		40			1	51.147.	2,07		
							499,00			

Fuente: Autores

3.3.2. Determinar el impacto ambiental que lograría la implementación del sistema mediante el cálculo del CO₂ mitigado.

De acuerdo con la publicación de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos en su página oficial, calcular los efectos de la emisión de eficiencia energética (EE) y energía renovable (RE) sobre la red de electricidad requiere calcular la cantidad de emisiones y generación con combustibles fósiles desplazadas por EE y RE. Un factor marginal de emisiones es la mejor representación para calcular qué unidades con combustibles fósiles EE/RE están desplazando en toda la flota de fósiles.

Por lo general, no se considera que los programas de EE y RE afecten las centrales eléctricas de carga básica que funcionan todo el tiempo, sino las centrales eléctricas marginales que se ponen en línea como necesarias para satisfacer la demanda. Por lo tanto, AVERT proporciona un factor marginal nacional de emisiones para la calculadora de equivalencias. (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, s.f.).

Factor de emisión

$$1.559 \left[lb * \frac{CO_2}{MWh} \right] * 4.536 * 10^{-4} \left[\frac{ToneladasMetricas}{lb} \right] * 0.001 \left[\frac{MWh}{KWh} \right]$$

$$= 7.07 * 10^{-4} \left[\frac{ToneladasMetricasCO_2}{KWh} \right]$$

(Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, s.f.)

Factor mediante el cual se puede estimar la reducción de toneladas de CO2 que se ven generadas mediante la producción tradicional de energía eléctrica, por lo tanto, al tener una producción anual de 37865,1 8 Kwh de manera alternativa y limpia, se estarían mitigando 26,770 toneladas de CO2.

Tabla 29. Toneladas de CO2 mitigadas

Factor de emisión (Toneladas de CO2 eq/kWh)	Generación anual [Kwh]	Toneladas CO2 Anuales
0,000707	37865,1	26,7706257

Fuente: Autores

De acuerdo con el informe (Energy Supply Situation in Colombia) presentado por el Departamento nacional de planeación, el cual se encuentra almacenado en la base documental, se estableces tres variables susceptibles te comparación entre las fuentes de energía alternativas y las energías convencionales, las cuales son: naturaleza, sostenibilidad y Huella ecológica generada o mitigada.

Tabla 30. Matriz comparativa

Fuente de energía	Naturaleza	Sostenibilidad	Huella ecológica
Solar	Ilimitada	Alta	Reducida
Petróleo	Limitada	Baja	Aumentada
Carbón	Limitada	Baja	Aumentada
Gas	Limitada	Baja	Aumentada

Fuente: Autores

Al comparar estas cuatro fuentes primarias de energía se puede contrastar rápidamente su principal característica y quizás la más notable, su naturaleza, esta haciendo referencia a su capacidad de regenerarse al mismo tiempo que se es consumida, por lo que salta a la vista la particularidad de aquella que es de naturaleza inagotable o ilimitada debido a su rápida regeneración en contraposición con su consumo frente a las llamadas fuentes de energía de naturaleza limitada, llamadas así por su desaparición progresiva.

La teoría de Hubbert indica que la producción mundial de petróleo llegará a su cenit y después declinará tan rápido como creció. Así mismo, señala que el factor que limita la extracción de petróleo es la energía requerida para extraerlo y no su coste económico. Es decir, cuando se necesita consumir una energía equivalente a un barril de petróleo o más para obtener ese mismo barril, la producción ya no es rentable y el yacimiento en cuestión se abandona.

Económicamente se puede presentar a las fuentes de energía tradicionales como el petróleo, gas y carbón como la mejor opción respecto de su economía en comparación con las fuentes alternativas, el banco mundial de inversión afirma que ha habido dos sentencias comunes en el debate energético en los últimos meses: 1) que el petróleo barato asestará un duro golpe a las energías renovables, y 2) que el petróleo y las energías renovables rara vez compiten en el sector de la energía, por lo que el impacto será menor. Y ambas afirmaciones no son estrictamente verdaderas, según el banco.

A pesar de que la caída precio del petróleo y del gas asociado al mismo han podido poner en un aprieto a las renovables, serán estas las que realmente se alcen con la victoria final por cuestiones económicas, medioambientales y de seguridad de suministro.

Tanto es así que las renovables son la forma más barata de sustituir la energía térmica de carbón. A esto se suman que los esfuerzos climáticos generales tendrán que centrarse de alguna manera en reducir el uso de carbón en los países en desarrollo; la forma más barata de hacer esto en muchos casos será la de sustituir las energías renovables por la térmica de carbón.

Finalmente, las energías renovables poco a poco están ganando la batalla en cuanto a rentabilidad cuando se las compara con las energías fósiles. Tanto es así, que los países más concienciados y que más investigación han desarrollado sobre las nuevas tecnologías renovables apuestan decididamente por un consumo más responsable y a la larga más económico.

3.4. EVALUACIÓN DE APLICACIÓN Y DESARROLLO DEL SISTEMA.

En este numeral se desarrolla el cuarto objetivo específico del proyecto, en el cual se busca evaluar la perspectiva de la ejecución y desarrollo del sistema de generación independiente mediante el análisis de la inversión, capital de trabajo, fuentes de financiación y costos para establecer los recursos requeridos para la puesta en marcha.

3.4.1. Definir los alcances técnicos de generación y producción energética del sistema.

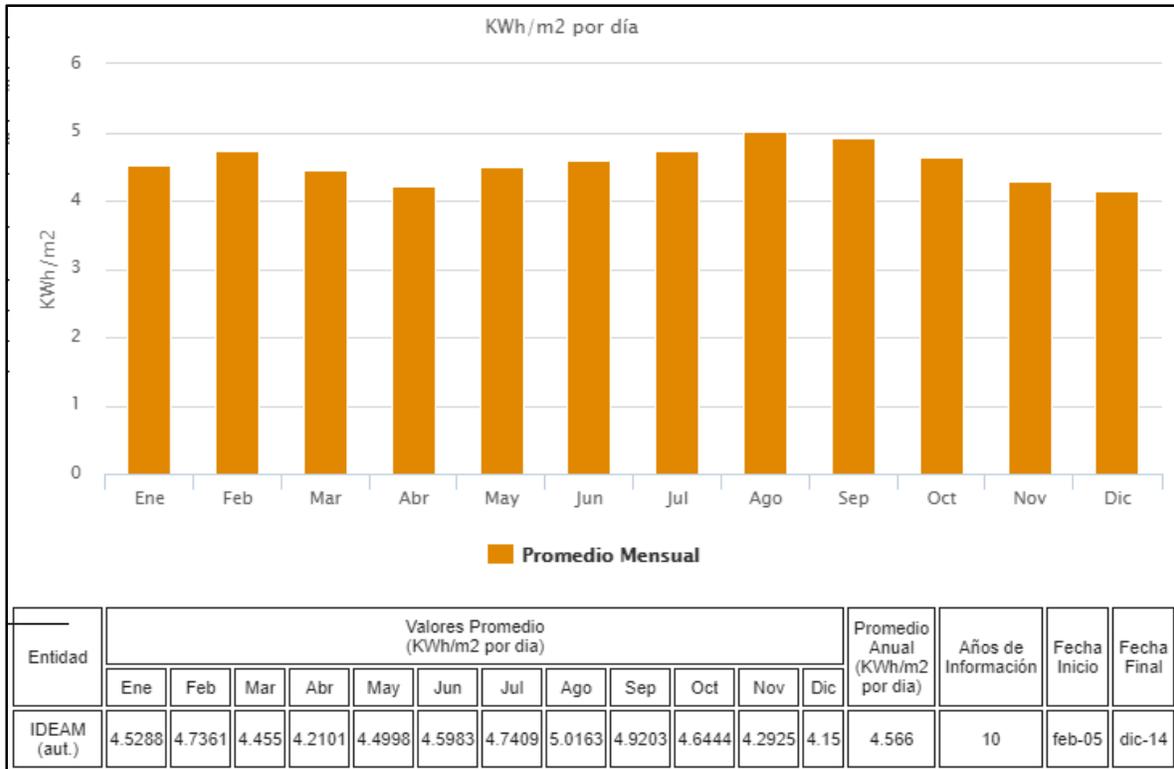
De acuerdo al Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia, la cual es una herramienta del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) para la valoración de la disponibilidad de la energía solar en el territorio nacional y para conocer el comportamiento de la radiación ultravioleta, el ozono y sus relaciones, que contribuyen a entender sus efectos en la salud humana.

Colombia se encuentra en la zona ecuatorial y recibe abundante energía solar, cuya distribución presenta grandes variaciones durante el año en su territorio, razón por la cual, para utilizar esa energía es indispensable conocer con suficiente detalle su distribución espacial y temporal.

Así mismo Barrancabermeja, distrito especial de Colombia que se encuentra ubicado a orillas del río Magdalena, en la parte occidental del departamento de Santander, no solo es sede de la refinería de petróleo más grande del país y la capital de la Provincia de Yarigües. sino que también cuenta uno de los índices de irradiación solar mas altos del país.

De acuerdo a información obtenida durante 10 años por Altas de radiación solar del IDEAM y de ENERGIE. Repowering the future, Barrancabermeja cuenta con un promedio anual de 4,566 (KWh/m²) por día.

Figura 5. Estaciones del Atlas de Radiación Solar en Barrancabermeja



Fuente: ENERGIE. Repowering the future (2019). Estaciones del Atlas de Radiación Solar en Colombia [Figura]. Recuperado de <https://www.energie.ws/datos-radiacion-solar-colombia-atla>

Para el presente atlas se realizó la calibración in situ de cerca de 110 sensores de radiación, que pertenecen a la red de estaciones automáticas del IDEAM y cuya instalación empezó en el año 2005. Lo anterior garantiza que los datos históricos y los que actualmente se están capturando, sean confiables (IDEAM, 2019).

Para entender mejor los alcances técnicos del sistema se deben establecer dos frentes de análisis, unos en el cual se establezcan los valores de consumo y otro en el cual se establezcan los valores de generación.

Tabla 31. Alcances técnicos de consumo

Consumo de energía por día [Kwh]	Consumo de energía por mes [Kwh]	Consumo de energía por año [Kwh]	Tipología del trabajo	Radiación solar [Kwh/m2]
23,43484	703,0452	8436,5424	Autoconsumo y Conexión a la red	4,566

Fuente: Autores

Tabla 32. Alcances técnicos de generación

Tiempo de generación [Horas]	Potencia generada [Watt]	Energía generada [KWh/año]	Porcentaje de autogeneración	Porcentaje de entrega a la red
6	17290	37865,1	22%	78%

Fuente: Autores

Consumo anual de energía 8436,5 Kwh
 Generación anual de energía 37865,1 Kwh
 Energía suplida 8436,5 Kwh
 Energía restante 29428,6 Kwh
 Porcentaje de energía suplida 22%
 Porcentaje de energía inyectada 78%

3.4.2. Establecer la inversión, capital de trabajo, inversión total, fuentes de financiación y costos del desarrollo y aplicación del sistema seleccionado.

3.4.2.1 Inversión fija.

El cálculo de la inversión fija se realizó a partir de cotizaciones de los bienes a utilizarse en la ejecución y puesta en marcha del sistema seleccionado. Para determinar los precios más convenientes se realizaron diferentes alternativas de cotizaciones.

Tabla 33. Tabla inversión fija

Inversión fija			
Descripción	Unidad	\$/u	Valor Total
Paneles Solares Policristalinos	14	\$ 925.000	\$ 12.950.000
Inversor híbrido 48v 2500w	1	\$ 22.332.000	\$ 22.332.000
Batería	12	\$ 375.000	\$ 4.500.000
Cableado Solar	1	\$ 1.115.499	\$ 1.115.499
Estructura RACK	1	\$ 600.000	\$ 600.000
Instalación o desarrollo	1	\$ 9.650.000	\$ 9.650.000
Total inversión fija			\$ 51.147.499

Fuente: Autores

3.4.2.2 Inversión diferida.

Dentro de este rubro se incluyen los derechos legales y servicios necesarios para iniciar las actividades del sistema de generación energética, debido a su naturaleza no hay inversión diferida ya que no se generaron gastos de constitución, a menos que se requieran para inyección a la red como micro generador.

3.4.2.3 Capital de trabajo.

Este rubro corresponde a los recursos necesarios para la operación normal del proyecto durante su ciclo productivo, el cual se evalúa mensualmente, debido a la naturaleza autónoma del sistema no requiere de personal dedicado al funcionamiento del mismo, por lo que no se generan gastos de nómina ni de funcionamiento mensual.

3.4.2.4 Inversión total.

Tabla 34. Inversión total

Inversión total	
Inversión fija	\$ 51.147.499
Inversión diferida	\$ -
Capital de trabajo	\$ -
TOTAL	\$ 51.147.499

Fuente: Autores

3.4.2.5 Fuentes de financiación.

El sistema de generación híbrido inicialmente dependerá económicamente del centro educativo liceo Rafael Núñez, por lo cual deberá asumir la inversión inicial de \$51´147.499. El sistema de generación no generará ingresos, debido a que esta no es su finalidad inicial, pero se espera que, al cumplir el tiempo de retorno, este comience a recibir recursos del Estado o de entidades que incentiven el uso y micro generación mediante fuentes alternativas.

El centro educativo a su vez podrá recuperar el 50% de la inversión en pago de impuestos, de acuerdo a la Ley 1715, una vez haya obtenido los permisos de UPME y ANLA que le permitan constituirse legalmente como generador.

3.5. INFORME EJECUTIVO PARA EJECUCIÓN DE CONSULTORÍA.

En este numeral se desarrolla el quinto objetivo específico del proyecto, en el cual se busca elaborar un informe ejecutivo con los resultados obtenidos de la investigación basada en la alternativa más viable de solución con fines de lograr un acuerdo para la ejecución de una consultoría con el centro Educativo Liceo Rafael Núñez, informe el cual se encuentra adjunto de manera digital.

4. RESULTADOS.

Después de realizar la caracterización y evaluación ponderada de los sistemas, de acuerdo a los principios fundamentales de la generación y transformación energética, se logró establecer un sistema que, bajo condiciones desfavorables de acuerdo a su rango de operatividad, logra abastecer en su totalidad la demanda energética del centro educativo, este a su vez logra un potencial energético residual el cual puede ser aprovechado para abastecer otros sectores, acumular en bancos energéticos o celdas de carga para un bypass interno, o en su defecto inyectarlo a la red y obtener los beneficios legales y económicos que esto implica.

El sistema seleccionado lograría establecer una generación de un potencial energética de 37865,1Kwh / anual, la cual, al ser contrastada con el costo promedio de la energía eléctrica en Barrancabermeja, le permitirá obtener un retorno de la inversión en un plazo de 30,55 meses, lo que equivale a un periodo de tres años y siete meses, tiempo en el que el centro educativo vería retornado el dinero de la inversión basado en el ahorro energético y el flujo eléctrico inyectado a la red.

Al comparar los resultados que se pueden obtener con el sistema seleccionado, se puede evidenciar como este sistema logra superar en términos de generación y flexibilidad a los demás sistemas evaluados, esto debido a su doble funcionalidad híbrida, la cual permite un alto flujo energético que puede ser distribuido para la acumulación, el uso directo y la inyección al barraje de red.

Teniendo en cuenta que el sistema presenta un rango de generación mínima y máxima, se puede presentar una generación mayor a la calculada, esto debido a que, para la realización de los cálculos, se tomaron las condiciones menos

favorables para la generación energética, lo cual permite manejar un buen factor de seguridad.

5. CONCLUSIONES

Los sistemas solares fotovoltaicos están teniendo gran acogida en colegios e institutos que quieren reducir su huella de carbono, generar espacios de conocimiento, creación de nuevas ideas y reducir los costos de electricidad principalmente por el hecho de que su jornada usualmente es diurna. Estos motivos justifican para dichas instituciones los costos más altos de la instalación solar.

El análisis de carga juega un papel fundamental, ya que detectando las áreas donde hay un mayor consumo y la cantidad de este es que se puede generar un informe sobre que sistemas es el mas conveniente para el centro educativo como lo es en este caso, permitiendo brindar una solución energética.

Los sistemas de energía que se plantean en esta investigación demuestran un beneficio respecto al costo en comparación con el sistema que ya tenía la institución educativa lo que a su vez generaría un impacto de aceptación por parte de todos los beneficiarios de este, al tener una relación positiva de costo-beneficio.

El sistema seleccionado permite dos divisiones de estudio, la primera es la encargada de la generación o transformación del potencial energético la cual tiene como única función la carga continua de la batería y la segunda es la encargada de la entrega desde el inversor a la carga, por consiguiente, la energía entregada por el sistema no depende únicamente de la generada, sino también de la energía almacenada en las baterías.

El sistema desarrollado logró presentar un potencial energético con la capacidad de abastecer el 100% de la demanda total actual del centro educativo y presentó

un 78% de energía residual que puede ser usada para proyectar un crecimiento de la carga eléctrica actual mientras una parte sigue siendo inyectada a la red.

Al plantear todas las variables que se pueden presentar en la ejecución del proyecto se determina que tiene un impacto positivo en la comunidad educativa del Magdalena Medio ya que las condiciones de esta zona permiten que los sistemas que se proponen tengan un correcto funcionamiento que a su vez tendrá un impacto económico positivo.

Dados los constantes cambios ambientales y el crecimiento poblacional la generación de energía para poder cubrir toda la demanda es un tema muy crítico tanto así que si la demanda llega a ser más grande que la oferta los precios de la energía estarían muy altos y no todos tendrían acceso a este servicio. Con la generación de energía solar se incrementa la oferta y así se puede disminuir los costos. Estas disminuciones de costos se pueden ver reflejados en mayores utilidades para las empresas y los hogares una disminución en sus gastos.

6. RECOMENDACIONES

Debido a que en la selección del sistema de generación se llevó a cabo con sistemas patentados y actualmente comercializados, se puede ampliar el parámetro de selección a proyectos universitarios que demuestren la viabilidad y factibilidad de su proyecto, de esta manera en caso de ser seleccionado, tendrá la capacidad de soportar y permitir el desarrollo del mismo.

En caso de ser instalado el sistema buscando lograr una mayor eficiencia, se recomienda que se mantengan las fases y subsistemas mencionados, realizando únicamente modificaciones en los elementos como primarios del mismo, debido a que mediante la mejora de estos elementos se podría lograr una mayor cantidad de potencial acumulado y entregado.

En caso de ser implementado con una mayor proyección, el sistema seleccionado podría verse acompañado de diferentes pruebas, desarrolladas bajo diferentes escenarios que garanticen ambientes controlados donde se pueda medir la eficiencia real de los mismos, esto les daría una mayor relevancia a algunos subsistemas, así mismo tomando en cuenta con mayor relevancia aspectos en el área ambiental brindando un estudio más detallado de impactos positivos por el uso masificado del sistema.

Realizar el estudio teórico que permita conocer la vida útil del sistema, de tal manera que se pueda conocer el stock necesario para garantizar la mantenibilidad y el correcto funcionamiento, así mismo establecer los tiempos de mantenimiento preventivos y definir las variables que permitan realizar una inspección eficaz del sistema, de esta manera conocer con claridad las mejoras que se pueden realizar en el mismo garantizando que sea la mejor opción.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Abraham Carmona. (2012). *Generación de energía eléctrica por pedaleo*. CDMX: UNAM.
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (s.f.). EPA. Obtenido de <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/calculadora-de-equivalencias-de-gases-de-efecto-invernadero-calculos-y>
- Agudelo, F. (2016). *Sistema de microgeneración de energía a través del ejercicio humano*. Santiago de Cali: Pontificia Universidad Javeriana.
- Alvarado, A. (2014). *Análisis, diseño y simulación de un sistema solar fotovoltaico*. Bogotá: Universidad Libre .
- Angel Zetina, Ángel Zetina M., Ángel Zetina C. (2001). *Electronica Basica*. Limusa.
- Angel Zetina, Ángel Zetina M., Ángel Zetina C. (2001). *Electronica Basica*. Limusa.
- Anthony Bedford. (2000). *Mecánica para ingeniería: dinámica*. Addison-Wesley Longman de México S.A.
- Antonio Donate. (1999). *Principios de electricidad y electronica II*. barcelona (españa).
- Antonio Donate. (1999). *Principios de electricidad y electronica II*. barcelona (españa).
- Banco Mundial. (29 de 11 de 2017). *Banco Mundial*. Obtenido de <http://www.bancomundial.org/es/topic/energy/overview#1>
- Bosch. (s.f.). *Manual de alternadores*.
- Camila Villagómez. (2019). *Modelo comparativo de evaluación técnica - económica de la generación eléctrica ejecutada en Ecuador entre 2008 y 2017 versus el incremento de energía proveniente de fuentes renovables no convencionales*. Quito: USFQ.
- Chapman, S. (2000). *Máquinas eléctricas*. Mc Graw Hill.
- Cindy Guevara. (2015). *Análisis de viabilidad del suministro de energía eléctrica a la granja la fortaleza ubicada en Melgar-Tolima mediante la implementación de un sistema solar fotovoltaico*. Bogota: Universidad Libre.
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (4 de Abril de 2019). *CMNUCC*. Obtenido de <https://unfccc.int/es/news/la-energia-renovable-representa-ya-un-tercio-de-la-capacidad-energetica-mundial-segun-irena>
- Departamento de energía, EEUU. (s.f.). Obtenido de <https://www.energy.gov/>
- Departamento Nacional de Planeación. (2016). *DNP*. Obtenido de <https://www.dnp.gov.co/>
- El Congreso de Colombia. (2002). *Ley 788*. Obtenido de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0788_2002.html
- El Congreso de Colombia. (2008). *Ley 1215*. Obtenido de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1215_2008.html
- El Congreso de Colombia. (2014). *Ley 1715*. Obtenido de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html
- Estefania, C. (2011). *Diseño de dispositivos para el aprovechamiento de energía*. Loja.
- Fernández, J. (2011). *Eko-spinning, una iniciativa de generación*. Vitoria-Gasteiz: Centro Educativo Jesús Obrero de Vitoria-Gasteiz.
- Francisco Jarabo. (1988). *Libro de las energías renovables*. Madrid: S.A. de Publicaciones Técnicas.
- Francisco Jarabo. (1988). *Libro de las energías renovables* . Madrid: S.A. de Publicaciones Técnicas.

- Francisco Roldán. (2013). *El impacto social económico y ambiental de la energía solar renovable dentro del Ecuador y su matriz energética*. Quito: USFQ.
- IDEAM. (2019). *ATLAS*. Obtenido de <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Presentacion.pdf>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2017). *IDEAM*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/>
- Jair Samuel Velasquez Villareal, Miris Plata Navas y Wilmar Javier Ortiz Reynel. (2017). *Valoración del potencial energético producido por las actividades de desplazamiento diarias en las UTS, 2017*. Bucaramanga: UTS.
- Jair Velasquez . (2017). *Valoración del potencial energético producido por las actividades de desplazamiento diarias en las UTS, 2017*. Bucaramanga: UTS.
- Javier Vargas. (2008). *Física mecánica conceptos básicos y problemas*. ITM.
- Jhon Gálviz. (2013). *Proyecto para la implementación de un sistema de generación solar fotovoltaica para la población wayuu en Nazaret corregimiento del municipio de Uribia, departamento de la Guajira – Colombia*. Unad.
- Johon Vasquez. (2019). *Desarrollo de un sistema de generación de energía eléctrica empleando energía mecánica proveniente de una bicicleta estática en espacio cerrado para el aprovechamiento del recurso en las Unidades Tecnológicas de Santander*. Bucaramanga: UTS.
- José Jácome. (2014). *Plan de negocios sistema de energía solar aplicado al calentamiento de agua*. Quito: USFQ.
- Karl Von, T. M. (2012). *Diseño de un sistema de generación de energía eléctrica a partir de bicicletas estáticas*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Katsuhiko Ogata. (s.f.). *Ingeniería de control moderna*. Minessonta: Pearson.
- Laura Camargo. (2018). *Evaluación de la implementación de energía solar fotovoltaica en la ganadería sostenible en Toca, Boyacá*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Lopez, R. (2015). *Desarrollo de un sistema de generación eléctrica eficiente a partir de propulsión humana con base en una bicicleta estática*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Manuel Aponte, O. M. (2014). *Diseño e implementación de un dispositivo generador de energía eléctrica a partir de energía cinética en el gimnasio san luis fitness center*. Caracas: Universidad Nueva Esparta.
- Michael J. Moran, H. N. (2004). La energía y la primera ley de la termodinámica. En H. N. Michael J. Moran, *Fundamentos de termodinámica técnica 2da Edición* (pág. 35). REVERTÉ.
- Ministerio de Ambiente. (2016). *Resolución 1283*. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/8b-res%201283%20agost%202016.pdf>
- Ministerio de Ambiente. (2016). Resolución 1312. http://www.mintrabajo.gov.co/el-ministerio/institucional/administracion-de-personal/resoluciones-y-circulares/-/document_library/Q3QJtyMvn3ry/view_file/307556.
- Ministerio de minas y energías . (23 de marzo de 2018). Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=85659>
- Montgomery, D. C. (s.f.). *Diseño y análisis de experimentos*. Universidad estatal de Arizona.
- Muhammad Rashid. (1996). *Electronica de potencia*.

- Mur, J., & García, M. (2012). *Experiencias de funcionamiento de una microrred eléctrica con generación renovable*. Zaragoza.
- Nassir Sapag . (2007). *Proyectos de inversión: formulación y evaluación*. Pearson.
- Paul Tipler. (1991). *Física preuniversitaria. I*. Reverte.
- Pedro Ricaurte. (2015). *Análisis de las energías renovables no convencionales (ERNC), situación actual y costos de producción con énfasis en los tipos de generación más comunes energía solar fotovoltaica, energía hidroeléctrica, energía eólica y biomasa*. Quito: USFQ.
- Peña, W. (2016). *Diseño de un sistema de conversión de energía mecánica a eléctrica a partir de dos maquinas de gimnasio (elíptica y bicicleta estática)*. Bogotá: Fundación Universidad de America.
- Santiago García. (2009). *Ingeniería de Mantenimiento*.
- Santos. (2008). *Estudio de factibilidad de un proyecto de inversión: etapas en su estudio*. Obtenido de <http://www.eumed.net/ce/2008b/tss.htm>
- Saul Fernandez. (2007). *Los proyectos de inversión: evaluación financiera*. Costa Rica: Editorial tecnológica de Costa Rica.
- Sergio Jiménez. (2008). *Proyecto de instalación de energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria en una vivienda*. CDMX: Tecnológico de Monterrey.
- Stephen Chapman. (2000). *Máquinas eléctricas*. Mc Graw Hill.
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2018). *Informe mensual de variables de generación y del mercado eléctrico colombiano – marzo de 2015*. Bogotá: UPME.
- USAID (Agencia de los Estados Unidos para el desarrollo internacional) . (1969). *metodología de marco lógico (MML)*.
- Vasquez, J., & Jimenez, H. (2017). *Alternativas para la conversión de energía mecánica en eléctrica para el aprovechamiento del recurso en las Unidades Tecnológicas de Santander*. Bucaramanga: UTS.
- WEG. (8 de abril de 2019). *Motores - Aplicações Industriais*. Obtenido de https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Motores-EI%3%A9ctricos/Trif%3%A1sico---Baja-Tensi%C3%B3n/Eficiencia-Energ%C3%A9tica/W22-Magnet-IR5-Ultra-Premium/W22-Magnet-IR5-Ultra-Premium/p/MKT_WMO_BR_3PHASE_LV_TEFC_W22MAGNET_IR5
- Zabala, L., & Peñaranda , L. (s.f). *Prototipo de Generación y Almacenamiento de Energía Eléctrica*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

8. LISTA DE ANEXOS.

- Informe ejecutivo

8.1. ANEXOS DIGITALES.

- Matrices de cálculo para la selección (Archivo .xlsx)
- Tablas de caracterización (Archivo .xlsx)
- Hoja de cálculo para cuadro de cargas y demanda energética (Archivo .xlsx)
- Artículo científico
- Informe ejecutivo de consultoría