



ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN  
FOTOVOLTAICO CON PANELES SOLARES INTEGRADO A LA RED DE  
SUMINISTRO ENERGÉTICO Y EVALUACIÓN DE FACTIBILIDAD PARA LA  
IMPLEMENTACIÓN EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA LICEO AMIGUITOS

GUSTAVO ADOLFO DÁVILA MATUTE– 1.098.659.726  
LUIS ENRIQUE GARCÍA MOJICA – 91.514.005

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA  
PROGRAMA INGENIERIA ELECTROMECHANICA  
Fecha de Presentación: (10-09-2020)



**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN  
FOTOVOLTAICO CON PANELES SOLARES INTEGRADO A LA RED DE  
SUMINISTRO ENERGÉTICO Y EVALUACIÓN DE FACTIBILIDAD PARA LA  
IMPLEMENTACIÓN EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA LICEO AMIGUITOS**

Proyecto de grado

**GUSTAVO ADOLFO DÁVILA MATUTE – 1.098.659.726**  
**LUIS ENRIQUE GARCÍA MOJICA – 91.514.005**

Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero electromecánico

**DIRECTOR**  
**FREDY ALBERTO ROJAS ESPINOZA**

**CODIRECTOR**  
**LUIS OMAR SARMIENTO ÁLVAREZ**

Grupo de investigación – DIANOIA

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER**  
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA**  
**PROGRAMA INGENIERIA ELECTROMECHANICA**  
Fecha de Presentación: (10-09-2020)

Nota de Aceptación

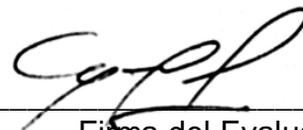
APROBADO

---

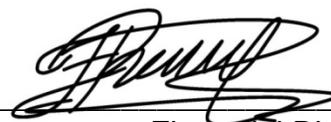
---

---

---



Firma del Evaluador



Firma del Director

## DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor. A mi madre, padre, hermano, tía y demás familiares cercanos por ser mi principal motivación y haberme apoyado en todo momento, por sus consejos y valores. A mis amigos y compañeros de trabajo por aportar de sus conocimientos, paciencia y consejos los cuales permitieron culminar de la mejor forma el desarrollo de este proyecto investigativo.

**GUSTAVO ADOLFO DÁVILA MATUTE**

Agradezco primeramente a Dios que siempre está a mi lado, por permitirme superar cada obstáculo a lo largo de mi carrera, llenarme día a día de sus grandes bendiciones, a mis familiares, en especial a mis padres que gracias a su apoyo, consejos y confianza pude culminar esta etapa de mi vida, de igual modo a mis hermanos, amigos y compañeros de estudio que siempre estuvieron para brindarme su amistad en los momentos más difíciles

**LUIS ENRIQUE GARCÍA MOJICA**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Dios darnos fuerzas para llegar hasta donde hemos llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado. Agradecemos a nuestras familias quienes siempre han estado en nuestros logros.

A las Unidades Tecnológicas de Santander por la oportunidad de formarnos tanto académicamente como personalmente, por proyectarnos hacia un mejor futuro lleno de triunfos, también agradecer a los profesores que con su inmensa paciencia y enseñanza nos guiaron en todo momento para que nuestras metas se hicieran realidad.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN .....	15
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 .....	19
2. MARCO REFERENCIAL .....	29
2.1. MARCO HISTÓRICO .....	29
2.2. MARCO TEÓRICO .....	31
2.3. MARCO CONCEPTUAL .....	35
2.4. MARCO LEGAL .....	40
3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	44
3.1. FASE METODOLÓGICA .....	45
4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO .....	48
4.1. PARÁMETROS DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE POTENCIA Y MEDICIÓN DE LA CARGA .....	48
4.2. ESTUDIO DE IRRADIACIÓN SOLAR Y CUANTIFICACIÓN DE COMPONENTES Y ELEMENTOS DEL SISTEMA DE GENERACIÓN .....	67
4.3. DISEÑO ARQUITECTÓNICO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA .....	85
4.4. INFORME TÉCNICO/EJECUTIVO CON LOS RESULTADOS DE LA CONSULTORÍA CON LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA LICEO AMIGUITOS. ....	95
5. RESULTADOS .....	113

6. CONCLUSIONES .....	116
7. RECOMENDACIONES .....	118
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119
9. ANEXOS .....	121

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Grafica masa de aire atmosférico.....	33
Figura 2. Institución Educativa Liceo Amiguitos .....	48
Figura 3. Medición.....	49
Figura 4. Patio Principal Liceo Amiguitos .....	49
Figura 5. Sistema de cámaras.....	50
Figura 6. Computadores.....	51
Figura 7. Aire con condición de 12000 btu/h .....	51
Figura 8. Sistema de refrigeración de la institución.....	52
Figura 9. Refrigerador .....	53
Figura 10. Ventiladores y televisión de Liceo Amiguitos.....	53
Figura 11. Filtro de agua .....	54
Figura 12. Tejado termo acústico .....	54
Figura 13. Tejado eternit .....	55
Figura 14. Datos de irradiación .....	69
Figura 15. Trayectoria solar.....	69
Figura 16. Descarga del software de simulación de sistema fotovoltaico.....	73
Figura 17. Ventana de inicio del PVSYST .....	74
Figura 18. Importación de datos de clima.....	75
Figura 19. Diseño y analisis del proyecto .....	76
Figura 20. Designación del proyecto .....	77
Figura 21. Parámetros del proyecto .....	78
Figura 22. Variante orientación .....	79
Figura 23. Configuración global del sistema.....	80
Figura 24. Parámetros de la simulación .....	81
Figura 25. Necesidades detalladas del usuario.....	82
Figura 26. Resultados principales .....	83

Figura 27. Diagrama de perdidas .....	84
Figura 28. Distribución del plano primera planta de la institución liceo amiguitos .	86
Figura 29. Distribución del plano segunda planta de la institución liceo amiguitos	86
Figura 30. Resumen de análisis de rentabilidad de los proyectos renovables en Colombia. ....	100
Figura 31. Irradiación solar.....	105
Figura 32. Tasa de retorno de la inversión .....	111
Figura 33. Conexión del sistema fotovoltaico conectado a la red.....	113
Figura 34. Conexión del sistema fotovoltaico aislado e integrado a la red.....	114
Figura 35. Distribución eléctrica sistema fotovoltaico.....	114

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1.Valores del aire acondicionado.....	52
Tabla 2.Dispositivos eléctricos presentes en el salón 1. ....	56
Tabla 3.Dispositivos eléctricos presentes en el salón 2. ....	56
Tabla 4. Dispositivos eléctricos presentes en el salón 3. ....	57
Tabla 5. Dispositivos eléctricos presentes en el salón 4. ....	57
Tabla 6.Dispositivos eléctricos presentes en el salón 5. ....	58
Tabla 7.Dispositivos eléctricos presentes en el salón 6. ....	58
Tabla 8.Dispositivos eléctricos presentes en el salón 7. ....	59
Tabla 9.Dispositivos eléctricos presentes en el salón 8. ....	59
Tabla 10.Dispositivos eléctricos presentes en el baño de los niños (primer piso). 60	
Tabla 11.Dispositivos eléctricos presentes en la bodega de materiales.....	60
Tabla 12.Dispositivos eléctricos presentes en el baño de las niñas (primer piso). 60	
Tabla 13.Dispositivos eléctricos presente en la rampla.....	61
Tabla 14.Dispositivos eléctricos presente en la sala de informática.....	61
Tabla 15.Dispositivos eléctricos presente en el coliseo. ....	61
Tabla 16.Dispositivos eléctricos presente en el punto de hidratación. ....	62
Tabla 17.Dispositivos eléctricos presente en el baño de Niñas (segundo piso). ...	62
Tabla 18.Dispositivos eléctricos presente en el baño de los Niños (segundo piso). .....	62
Tabla 19.Dispositivos eléctricos presentes en la zona de descanso.....	63
Tabla 20.Dispositivos eléctricos presentes en cafetería.....	63
Tabla 21.Dispositivos eléctricos presentes en administración.....	63
Tabla 22. Dispositivos eléctricos presentes en el pasillo principal .....	64
Tabla 23. Dispositivos eléctricos presentes en el pasillo del segundo piso.....	64
Tabla 24. Dispositivos eléctricos presentes en Rectoría. ....	64
Tabla 25. Dispositivos eléctricos presentes en el baño rectoría-coordinación. ....	65

Tabla 26. Dispositivos eléctricos presentes en sala de profesores. ....	65
Tabla 27. Resumen de la potencia de los dispositivos eléctricos de la institución.	66
Tabla 28. Eléctricos de la institución. ....	67
Tabla 29. Requisitos para el sistema solar.....	72
Tabla 30. Distribución eléctrica sistema fotovoltaico .....	87
Tabla 31. Diseño y distribución .....	88
Tabla 32. Costo de instalación de energía solar en Colombia .....	98
Tabla 33. Características del sistema fotovoltaico .....	107
Tabla 34. Descripción y cantidad .....	115

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo 1. Módulo policristalino 340 w .....	121
Anexo 2. características del módulo policristalino .....	122
Anexo 3. Transformadores de aislamiento gela .....	123
Anexo 4. Dimensiones del transformador.....	124
Anexo 5. Batería.....	125
Anexo 6. Características .....	126
Anexo 7. Controladores de carga solares .....	127
Anexo 8. Ficha técnica controladora .....	128
Anexo 9. Ficha técnica sistemas funcionales .....	129

## RESUMEN EJECUTIVO

Este proyecto se enfocó en realizar un estudio de un sistema de generación fotovoltaico, conectado a la red de suministro energético mediante inversores para alimentar cargas fuertemente inductivas con un factor de potencia elevado. Para esto, en el presente planteamiento se implementó una metodología descriptiva que se enfocó en estudiar el comportamiento de un sistema de generación fotovoltaico, conectado a la red de suministro energético mediante inversores para sustentar cargas altamente inductivas.

Por lo cual se realizó un estudio de cargas AC con carácter fuertemente inductivas, de irradiación solar para el diseño de sistemas de generación de energía solar fotovoltaica en la ciudad de Barrancabermeja de las normativas recientes en Colombia para definir la compatibilidad de la interconexión entre los sistemas fotovoltaicos y la red de suministro energético.

Llegando a calcular el número de paneles requeridos para generar la potencia para la carga de la Institución Educativa Liceo Amiguitos. E identificando el tipo de panel más adecuado a las características de la carga; seleccionando el tipo de inversor más conveniente por medio de la ingeniería de detalle. Para de esta manera implementar el sistema de Generación fotovoltaico mediante panel solar, Regulador/controlador, Baterías de almacenamiento, inversor y tablero de distribución para carga inductiva, identificando el funcionamiento del sistema fotovoltaico de forma aislado comparado con el sistema integrado a la red.

**Palabras claves:** Energía, red, suministro, fotovoltaico, sistema.

## INTRODUCCIÓN

La generación de energía eléctrica, es un proceso de alto costo, esto hace que a nivel económico se vea afectado por la utilización de este recurso que es sumamente necesario en la actualidad. El uso de sistemas fotovoltaicos en el mundo ha ido en aumento, principalmente en países desarrollados pese a su alto valor económico porque en los hogares, colegios y empresas se utiliza mucha carga eléctrica.

Al utilizar diferentes métodos de obtención de energía eléctrica da cabida a la disminución económica a largo plazo y ayuda al medio ambiente a dar un respiro porque disminuye la contaminación que se vive en la actualidad por la producción de energía eléctrica.

## 1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La implementación de sistemas fotovoltaicos pese a ser un elemento altamente viable, requiere de una elevada inversión económica debido a que las viviendas y empresas que emplean el uso de motores, generadores y demás maquinas que producen cargas fuertemente inductivas, aumentando las cargas por consumo eléctrico. Según Liliana(2016), la importancia de utilizar diferentes alternativas energéticas, da cabida a la disminución de los costos financieros y ambientales en el consumo de la energía tradicional.

Por otra parte, se conoce que la implementación de sistemas fotovoltaicos conectados a la red para la generación de electricidad es una práctica cada vez más común en países como Estados Unidos, Francia, entre otros, la cual ha venido incrementando en el ámbito internacional, convirtiéndose gradualmente en una alternativa viable en el esquema de generación distribuida (Pereira & Parra, 2017).

El incremento de las redes eléctricas abastecidas por sistemas fotovoltaicos a nivel continental se ha desarrollado aceleradamente con un promedio de 3500 MW instalados en el año 2016. Adicionalmente, en Colombia el uso de la energía solar se ha convertido en una alternativa que cada vez tiene más adeptos, sobre todo para generar electricidad, debido a su radiación la cual equivale a un valor promedio uniforme de 4,5 KWh/m<sup>2</sup> durante el año, superando el promedio mundial equivalente a 3.9 KWh/m<sup>2</sup> (CELSIA, 2016).

¿Cómo se realiza el estudio del comportamiento de un sistema de generación fotovoltaica integrada a la red de suministro energético con el fin de evaluar la factibilidad y viabilidad de implementación?

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

Se establece una propuesta de investigación orientada al estudio del comportamiento de un sistema de generación fotovoltaico con paneles solares integrado a la red de suministro energético y evaluación de factibilidad teniendo en cuenta las normas del reglamento técnico de instalaciones eléctricas requeridas para la implementación en la institución Educativa Liceo Amiguitos en cooperación de consultoría con las UTS. El proyecto es efectuado mediante la elaboración de cálculos analíticos y uso de herramientas de simulación que permitan modelar el circuito de conexión, corroborando el funcionamiento del sistema fotovoltaico en términos de eficiencia y calidad energética.

Finalmente, la implementación de dichos sistemas genera altos costos que son evaluados mediante un análisis de impacto social, ambiental, financiero, entre otros, los cuales ayudan a comprender la inversión, viabilidad y demás indicadores requeridos en la búsqueda de fuentes de financiamiento para la construcción del sistema de interconexión de red fotovoltaico en la Institución Educativa Liceo Amiguitos.

El estudio elaborado permite evaluar no solo la viabilidad del uso de sistemas fotovoltaicos, sino que además brinda un análisis financiero de su implementación, con el fin de establecer como objetivo el desarrollo tecnológico y formativo en zonas que no poseen un fácil acceso a redes para el suministro eléctrico. Al igual, da cabida a los autores no solo colocar en práctica los fundamentos teóricos prácticos adquiridos, sino que además el obtener el título como ingeniero electromecánico en las Unidades Tecnológicas de Santander sede Barrancabermeja.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Estudiar el comportamiento de un sistema de generación fotovoltaico con paneles solares integrado a la red de suministro energético y evaluación de factibilidad para la implementación en la Institución Educativa Liceo Amiguitos mediante un acuerdo de cooperación y ejecución de consultoría con las UTS.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Definir los parámetros del sistema de generación de potencia eléctrica mediante la medición y el análisis de la carga actual de la institución educativa con el fin de identificar la demanda energética.
- Realizar un estudio de irradiación solar y los respectivos cálculos analíticos que determinan la cantidad de paneles solares necesarios para la generación de la potencia requerida por la carga del sistema de distribución de las instalaciones de la institución educativa, mediante la cuantificación y caracterización en términos de eficiencia y calidad energética.
- Realizar los diseños arquitectónicos del sistema de generación fotovoltaica para la implementación integrada a la red eléctrica de la institución, mediante la elaboración de planos eléctricos, localización de paneles solares, instalación del regulador, baterías de almacenamiento, inversor y tablero de distribución.
- Elaborar un informe técnico/ejecutivo con los resultados obtenidos de la investigación basado en el análisis de alternativas no convencionales de generación de energía eléctrica, estudio de cargas, topográfico, financiero, impacto ambiental, social y la normatividad reciente en Colombia, con el fin de lograr el cumplimiento del acuerdo para la ejecución de la consultoría con la Institución Educativa Liceo Amiguitos.

## 1.4. ESTADO DEL ARTE

- **Investigaciones internacionales**

A nivel internacional Bermúdez(2008), realizó una tesis titulada “especificación de un sistema de generación de energía eléctrica usando paneles fotovoltaicos y convertidores DC/AC, de la Universidad central de Venezuela en la ciudad de Venezuela el enfoque del proyecto posee un carácter didáctico para alimentar un motor de inducción monofásico y que además permita conectarse a la red para entregar energía eléctrica a esta o bien absorber energía de la misma para cargar el banco de baterías o alimentar la carga conectada al sistema. En este trabajo se describe un marco aplicado que describe el sistema del montaje. Para el diseño de este sistema y posteriormente a la selección de la topología más adecuada para el sistema se especificaron cada uno de los componentes del mismo en cuanto a cantidad y características, para ser instalado en el laboratorio de máquinas de la escuela de Ingeniería eléctrica de la universidad central de Venezuela.

El autor afirma que este trabajo tiene como objeto especificar el sistema de generación solar más adecuado a las instalaciones del laboratorio de máquinas eléctricas, donde el tipo de convertidor DC/A C, necesario para acoplar el sistema a la red local, así como el banco de baterías a utilizar, “fundamentando ciertas modificaciones y obras nuevas tanto eléctricas como civiles en el edificio de la Escuela de electricidad”(Bermudez, 2008, pág. 5).

Para el desarrollo del proyecto se realizó una metodología de investigación documental y bibliográfica y aplicada en todo el campo del proyecto y a todas las diferentes tecnologías de paneles fotovoltaicos, en baterías, motores y convertidores, así como sus circuitos de sincronismo, de igual forma se llevó a una serie de entrevistas a las personas de la institución para analizar un método

cuantitativo enfocado a un enfoque inductivo de todo el desarrollo del sistema general a intervenir en el marco de este proyecto (Bermudez, 2008).

A partir de la información analizada anteriormente por Bermúdez(2008), se establece un análisis de la importancia que representa en la estructuración del proyecto planteado debido a permite conocer las especificaciones que implica el uso de un sistema de generación de energía eléctrica a través de paneles solares y convertidores. Adicionalmente, da cabida a la identificación topológica de la estructura. Dicha información, permite la conformación del proyecto

A nivel internacional González (2010), menciona en su tesis de grado donde establece la puesta titulada “Prototipo de sistema de bombeo fotovoltaico para proyectos de cooperación al desarrollo con tecnologías apropiadas”. En la universidad de Madrid en la ciudad de Madrid, en el cual se derivan algunos aspectos tales como métodos numéricos de cálculo, aclaraciones sobre funcionamiento y montaje, ensayos en un prototipo, este estudio se plantea a modo de guía para facilitar la implantación de sistemas que contribuyan a mejorar tanto las condiciones de vida como la formación de la población de los países con menor nivel de desarrollo tecnológico en cuanto a materia de abastecimiento de agua.

El generador está compuesto por un conjunto de módulos fotovoltaicos conectados en serie y/o en paralelo hasta alcanzar la potencia necesaria dentro de los márgenes de tensión y corriente de operación. “La tecnología de generador está ampliamente dominada por el silicio mono y poli cristalino”(Gonzalez, 2010, pág. 11).

El autor señala que en el este estudio se han llevo a cabo mediciones con instrumentos de medida sencillos que para nada garantizan unos resultados

precisos. Por otra parte, dichos resultados sirven para comprender mejor el funcionamiento del sistema de modo global e intentar proponer soluciones a problemas que puedan surgir(Gonzalez, 2010).

Basándose en el proyecto realizado por González (2010), se concluye que el estudio de dicho proyecto permite la identificación de métodos numéricos requeridos para el montaje e implantación de un sistema generador compuesto por un conjunto de módulos fotovoltaicos. Lo cual se considera un factor indispensable para la resolución de cálculos de los rangos eléctricos de los elementos inductivos.

A nivel internacional Arias (2012), indica que en el desarrollo de su proyecto de grado titulado “sistema solar fotovoltaico aislado para una estación de bombeo en la universidad Carlos de Madrid en la ciudad de Madrid”. El cual está compuesto por varios módulos fotovoltaicos que pueden estar conectados en serie y/o en paralelo en función de las necesidades hasta obtener la potencia deseada. Este proyecto tuvo como “objetivo el diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica aislada para una estación de bombeo.

En la tesis la postulante describe un método descriptivo y aplicativo en función a todo el sistema de bombeo, especificando cada característica en particular, en todo el desarrollo investigativo del terreno donde se plantió el desarrollo de este trabajo, como de los instrumentos y equipos que hicieron posible progreso de este proyecto(Arias, 2012).

La estudiante concluye que este sistema logro adecuar un nivel de eficacia, en cuanto a los sistemas eléctricos y fotovoltaicos en el ahorro de la energía en todo el territorio establecido. “Se llevó a cabo un sondeo en tiempo, para monitorear los

factores que intervienen en este sistema y llevar a cabo un seguimiento en el desarrollo de este proyecto terminado”(Arias, 2012, pág. 3).

A partir de la tesis realizada por Arias (2012), la cual expone el uso de un sistema solar fotovoltaico para la alimentación de una estación de bombeo se establece que el proyecto permite a los autores de la presente propuesta conocer las conexiones, estructura y funcionamiento de los módulos los cuales pueden estar conectados en serie y/o paralelo en función de las necesidades hasta obtener la potencia requerida.

A nivel internacional Rodríguez (2014) establece en su investigación la instalación solar fotovoltaica. En la Universidad UPC El título del proyecto “estudiar, diseñar, calcular y valorar las instalaciones eléctricas de una Instalación de energía solar fotovoltaica aislada de la red, cuya potencia del inversor es de 3Kw”, así como garantizar las condiciones de seguridad de la instalación, tanto en su fase de montaje como en su futuro mantenimiento y explotación. La solución adoptada, dada la localización aislada de la vivienda y dada la lejanía con la red eléctrica, ha sido la de abastecer de energía eléctrica mediante una instalación fotovoltaica. Se deja la posibilidad de aumentar dicha instalación, bien colocando más módulos fotovoltaicos o incluso añadir un grupo generador auxiliar, sin más que pequeñas variaciones en el sistema.

El principio que se aplica en esta investigación determina la conversión fotovoltaica que se basa en el efecto fotoeléctrico, es decir, en la conversión de la energía lumínica proveniente del sol en energía eléctrica (Rodríguez, 2014). Para llevar a cabo esta conversión se utilizan unos dispositivos denominados células solares, constituidos por materiales semiconductores en los que artificialmente se ha creado un campo eléctrico constante. Se determinó que el funcionamiento de todos los componentes y equipos se establecen en condiciones óptimas al

proceso de trabajo realizado con los módulos de comprobación sin presencia de daño alguno en la estructura.

El proyecto presentado por Rodríguez (2014) da a conocer el cálculo y diseño de la instalación de un sistema de energía solar fotovoltaico, teniendo en cuenta la identificación de equipos mecánicos y eléctricos que intervienen en la generación de energía. Es por esto, que se considera que dicha investigación permite determinar la viabilidad y valoración del proceso de construcción. Lo que se considera un factor fundamental en el estudio del comportamiento de un sistema de generación fotovoltaico conectado a la red de suministro energético mediante inversores.

A nivel internacional Pereira & Parra (2017), mencionan en su proyecto de grado titulado “estudio de pre factibilidad para la implementación de un sistema solar fotovoltaico”. En la Universidad distrital Madrid. Dicho estudio abarca una gran cantidad de ítems que van desde la descripción del lugar de implementación y sus características más relevantes hasta la determinación técnica del potencial con sugerencias de equipos que pueden contribuir a alcanzar esta meta.

Según Pereira & y Parra (2017), Una vez finalizado este proyecto se espera obtener un texto que sirva de guía tanto técnica como legalmente y que incentive a emprendedores, empresas e instituciones que planeen implementar sistemas de generación FV, o realizar mejoras a las mismas. Además de la investigación técnica acerca de las tecnologías disponibles y convenientes, lo que se espera es dar un paso adelante en el aprovechamiento de las figuras legales que prometen beneficiar a los usuarios y generadores de energías no convencionales, que a pesar de estar constituidas hace ya un buen tiempo no se han podido implementar.

Uno de los distintivos de este trabajo fue la manera en que se realiza la cuantificación de la energía generada, ya que, si bien existen muchas investigaciones relacionadas con el diseño de sistemas fotovoltaicos conectados a redes de baja tensión, la mayor parte de estas realizan sus análisis en función de la energía consumida en un periodo de tiempo. En nuestro caso y con el fin de aprovechar las condiciones del sitio, se realizó la cuantificación de la producción energética en función de las áreas disponibles, por tal motivo no se busca el cubrimiento de una demanda específica si no maximizar los recursos espaciales con el fin de lograr producir la mayor energía posibles con el mínimo de costos (Pereira & Parra, 2017).

La recopilación bibliográfica brindada por Pereira & Parra (2017) permite a los autores conocer el proceso llevado a cabo para conocer la factibilidad de implementar un sistema solar fotovoltaico teniendo en cuenta las características técnicas y condiciones de operación del proceso de generación. Adicionalmente se describen las principales fuentes de financiamiento para la construcción de equipos con igual trascendencia al presentado.

- **Estudios nacionales**

A nivel nacional según Leon (2016), establece en su proyecto de grado titulado “caracterización del desempeño de un sistema fotovoltaico interconectado a la red de distribución eléctrica en la sede el bosque de la universidad libre en Bogotá”. Se enfoca en los sistemas fotovoltaicos que son integrados en la estructura de los edificios o edificaciones, por ejemplo, el tejado o la fachada y que son conocidos como sistemas BIPVS, estos utilizan generación de electricidad de manera distribuida (GD) conocida también como generación in situ, la cual busca generar electricidad lo más cerca del lugar de consumo.

Los instrumentos virtuales permiten construir sistemas de medición y automatización que se ajustan exactamente a necesidades definidas por el usuario en lugar de estar limitados por los instrumentos tradicionales de funciones fijas los cuales están definidos por el fabricante. “En este caso se trabajó con el sistema LabView versión 2011, cuya licencia se encuentra registrada para la Universidad Libre”(Leon, 2016, pág. 76).

En los hallazgos más relevantes asociados a las variaciones de Voltaje y frecuencia, se puede concluir que se encuentran vinculados al funcionamiento de los equipos de laboratorio, ya que en esta edificación se encuentran instalados Tornos, Maquinas soldadoras, UPS, sistemas de cómputo y en general todo tipo de motores en cuyo caso se estaría afectando directamente la calidad de energía de la red de Baja tensión de la Edificación, este comportamiento de cargas no sectorizadas y diversas es un reflejo del escenario real al que se pueden enfrentar los futuros SFVIR. Los hallazgos de variaciones y frecuencias fuera del rango de la Red, son marcados significativamente en un intervalo del periodo de los datos, lo que permite suponer que efectivamente pueden estar asociados a la conexión o uso particular de algún equipo(Leon, 2016).

Con base a la referencia bibliográfica dispuesta por Leon(2016) se logró concluir una relación significativa con la propuesta presentada debido a que permite caracterizar el desempeño de los sistemas fotovoltaicos interconectados a la red para la distribución eléctrica. Adicionalmente, la normativa vigente e instrumentos de medición requeridos para el funcionamiento del sistema.

A nivel nacional Chito & Tovar(2011), realizaron un proyecto de grado titulado “sistema fotovoltaico de 8kW interconectado a la red, donde señalan que las importantes emisiones del gas de efecto invernadero se generan diariamente jugando un papel importante en el cambio climático y el aumento de la

contaminación en la universidad del valle de la ciudad de Cali". Estos análisis llevan a buscar las soluciones más innovadoras de abordar el déficit de energía y limitar el impacto negativo sobre el medio ambiente. Así, el desarrollo de las fuentes limpias y no contaminantes basadas en energías renovables son cada vez más solicitadas por los productores de energía y los gobiernos.

La energía solar en su abundancia en la tierra y su regeneración constante conlleva a un interés de carácter mundial en ser posible aprovecharla, se puede utilizar directamente como térmica o convertida en energía eléctrica por efecto fotoeléctrico. Esta última denominada comúnmente energía fotovoltaica; aunque conocida durante muchos años, como una fuente que puede producir energía no se desarrolla aún en grandes proporciones, sobre todo debido a los costos demasiados altos de los módulos solares.(Chito & Tovar, 2011, pág. 17)

La estrategia de sincronización PLL permite que el factor de potencia tenga una tendencia a la unidad. Al realizar pruebas bajo un disturbio tal como los cambios de irradiación, se demostró que el sistema se recupera muy rápido ya que cuando la nube pasa sobre el conjunto generador, no reduce la irradiación violentamente, lo que permite que el sistema no se demore tanto en responder ante un fenómeno como este(Chito & Tovar, 2011).

Teniendo en cuenta lo expuesto por Chito & Tovar(2011) en su proyecto de grado se relaciona la importancia que representa el uso de sistemas fotovoltaicos debido a que permite disminuir el impacto ambiental generado por la emisión de gases. Adicionalmente, se identifica la viabilidad que representa el uso de energías renovables ya que se considera como una alternativa de solución innovadora para la producción de energía.

A nivel nacional Peña (2003) señala en su tesis titulada “celdas fotovoltaicas para energizar un sistema de bombeo de agua en la universidad UNAB de la ciudad de Bucaramanga”. Estos tipos de sistemas pueden dar solución a los problemas que se presentan en las zonas donde no se dispone de un suministro de energía convencional, o esta no es fiable. También estos sistemas presentan grandes cualidades en su utilización, por ejemplo, tiene una larga vida útil, un mantenimiento reducido, alto rendimiento, fiabilidad y costos de funcionamiento bajos.

El principal objetivo de la realización de esta tesis, es conocer y estudiar el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos, con el fin de realizar una aplicación de la energía solar fotovoltaica, que en este caso será el bombeo solar de agua, ya que uno de los problemas que se presenta para el desarrollo de las áreas rurales aisladas, está estrechamente vinculada a la disponibilidad de energía eléctrica, con el fin, de abastecer las necesidades del productor agrario, ganadero y otras (Peña, 2003). Además, con esta aplicación se podrá realizar un balance energético en un sistema de bombeo fotovoltaico, presentando los principios fundamentales tanto teóricos y prácticos para su realización. Con esta información ayudará a determinar si el bombeo solar de agua representa la solución ideal para el aprovisionamiento de agua en todos los sitios donde la red eléctrica es ausente.

Se analizó que el resto de las energías renovables, la tecnología fotovoltaica es una fuente de energía descentralizada, limpia, inagotable, y además ya es competitiva en la actualidad para electrificar emplazamientos relativamente alejados de las líneas eléctricas, como viviendas rurales, bombeo de agua, señalización. (Peña, 2003, pág. 12)

Conocer los tipos de problemas existentes en las zonas donde no se dispone de suministro de energía es un aspecto fundamental debido a que permite a los

autores conocer no solo los principios teóricos, sino que además el identificar las practicas requeridas para la aplicabilidad de sistemas fotovoltaicos como alternativa a los problemas presentados en el desarrollo de áreas rurales aisladas.

- **Estudio local**

A nivel local Montañez, Vargas, Trujillo y Palacios(2019) realizan un proyecto de grado titulado “análisis de factibilidad del diseño de un sistema solar fotovoltaico en la escuela campo 45 del corregimiento centro de la ciudad de Barrancabermeja” en la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). La investigación abarco una búsqueda exhaustiva de los parámetros climatológicos, un pre-dimensionamiento del sistema en espacio físico libre de instalación, así como, un análisis de costo aproximado para su ejecución.

Para un mejor acercamiento, se obtuvo de dicho análisis que en la zona se pueden obtener un promedio mensual de 155 kWh/m<sup>2</sup>, lo que permitiría un aprovechamiento adecuado de energía eléctrica en la escuela si se colocan aproximadamente 5 paneles solares que soporten la demanda de energía eléctrica mensual aproximada de 649 kWh/mes; de igual forma, se realizó una revisión de sistemas a utilizar con paneles que permite ver las diferentes características que pueden ser necesarias a la hora de un buen funcionamiento del sistema, además, se propone un seguimiento en el mantenimiento, teniendo en cuenta las condiciones del lugar(Montañez, Vargas, Trujillo, & Palacios, 2019).

De este proyecto se puede concluir que en la escuela o en la zona de influencia directa, es factible realizar un diseño y una implementación de un sistema solar fotovoltaico que permita el abastecimiento de la necesidad energética de la población. Asimismo, el proyecto permitió a los autores una guía basada en la recopilación de variables y conceptos tenidos en cuenta para la formulación de la investigación ejecutada.

## 2. MARCO REFERENCIAL

### 2.1. MARCO HISTÓRICO

Rommel Vicini (2012) afirma que el físico francés Alexandre (1839) descubrió el efecto fotovoltaico mientras estudiaba el efecto de la luz sobre celdas electrolíticas. Becquerel observó el efecto fotovoltaico mientras experimentaba con un electrodo sólido dentro de una solución eléctrica y vio que se desarrollaba un voltaje cuando la luz incidía sobre el electrodo. Charles Fritts en el año 1883 inventó la primera celda solar la cual consistía en una muestra de selenio semiconductor recubierta con un pan de oro para formar el empalme, esta celda solo contaba con un 1% de eficiencia. La primera celda solar moderna de silicio fue patentada por Russel Ohl, un investigador de Bell Telephone Laboratories en New York, en 1946.

Rommel Vicini (2012) señala que la primera celda solar comercial, otra vez fabricada en los laboratorios Bell y se lanzó en 1954. Esta tenía una conversión de la energía solar de aproximadamente 6%. Los desarrolladores fueron Daryl Chapin, Calvin Souther Fuller y Gerald Person que luego volvieron a crear otra celda más eficiente, para el año 1957, con una conversión de la energía solar de un 8%. El futuro de las celdas solares se vio asegurado en los proyectos espaciales especialmente en el desarrollo de los satélites para transmitir señales de radio, televisión y teléfono. Para ese mismo año la compañía "Hoffman Electronics" había creado una celda solar con un 9% de eficiencia. Para el siguiente año crearon una celda solar con un 10% de eficiencia y estuvo comercialmente disponible. En 1960 los mismos crearon una celda solar de un 14% de eficiencia.

Burbano(2006), describe la estructura del campo electromagnetismo y su validez se extiende a todo espacio contrariamente a las leyes de tipo eléctrico, que validan solo para aquellos donde haya materia o cargas eléctricas o magnéticas. Mostrará, al resaltar algunos caracteres distintos, con la ayuda de las leyes de la mecánica, teniendo en cuenta la fuerza que actúa entre el sol y la luna. Relaciona el campo eléctrico a sus fuentes, que son las cargas eléctricas. Se demostró que existe una relación similar para el campo magnético, excepto que el campo magnético no tiene fuentes primarias, pues nunca se ha aislado verdaderos polos o cargas magnéticos.

“Los polos magnéticos, en la naturaleza, siempre se presentan a partes iguales y de sentido contrario. Las fuerzas para el campo estacionario son corrientes o cargas móviles. En vista de esto, puede deducirse que la carga eléctrica es la fuente primaria para los campos eléctricos y magnéticos”(Burbano, 2006, pág. 59). De donde el magnetismo es un subproducto de la electricidad; existe solamente como resultado del movimiento de partículas cargadas eléctricamente.

No obstante, los teóricos han fracasado para dar una buena razón del por qué las cargas magnéticas no existen, aunque los experimentalistas todavía no han hallado indicio alguno de la partícula. “Quizás la indicación más grande para la existencia de la carga magnética a veces llamada monopolio magnético. Ecuaciones de maxwell proporcionan un lugar natural donde encajar la carga magnética. Con la adición de la densidad de corrientes magnéticas, las ecuaciones de maxwell serian simétricas”(Burbano, 2006, pág. 60).

Las ecuaciones de maxwell son independientes. Para el caso corriente es el que las fuentes producen campos que varían sinusoidalmente con el tiempo, caso estacionario de la ecuación de continuidad, las ecuaciones de maxwell para el caso de C.A, es más fácil escribir los campos de notación exponencial

en la que especifica la dependencia del tiempo como los multiplicadores se llaman fasores y los operadores se convierten en las ecuaciones de maxwell para el caso de C.A, que pueden escribirse de una forma continuidad(Burbano, 2006).

“Al igual que en el caso de la ley de gravitación universal, que cerró el tajo entre la física terrestre y celeste, las leyes de maxwell permitieron unificar campos tan aparentemente separados como los del electromagnetismo y la óptica. Los procesos de confluencia que, asimismo, habían tenido lugar durante este siglo en las ciencias de la calorimetría y la estructura de la materia, permitían albergar expectativas unificadoras a un más simple”(Burbano, 2006).

## 2.2. MARCO TEÓRICO

### ✓ Constante solar

Marta Bautista (2015) explica que la masa solar que se irradia al espacio cada segundo es de  $5.6 * 10^{35} GeV$ , en forma de partículas de alta energía y radiación electromagnética; en el exterior de la atmósfera se recibe un total de  $1,73 * 10^{14}$  kW, es decir, 1,353 kW/m<sup>2</sup>.

Este valor se denomina constante solar, aunque fluctúa con la distancia entre la tierra y el sol en un  $\pm 3\%$  a lo largo del año. De lo anterior, únicamente el 47% de la energía solar incidente llega a la superficie terrestre. Además, solo el 31% lo hará de forma directa, el 16% restante habrá encontrado obstáculos como polvo, vapor de agua o moléculas de aire, con lo que llegará de forma difusa.

La constante solar, la intensidad de radiación en el límite exterior de la atmósfera, cuyo valor es prácticamente constante, se define como la energía solar por unidad

de tiempo sobre una superficie perpendicular a la radiación de área unidad (Bautista, 2015). En las últimas décadas, al disponer de satélites en el exterior de la atmósfera, ha sido posible determinar la influencia de esta al paso de la radiación por ella, y se ha fijado un valor standard que da como resultado, donde ( $I_0$ ) es la irradiancia normal de la radiación solar.

$$I_0 = 1353W/m^2$$

Es importante conocer la distribución espectral de la radiación solar, ya que su interacción con los diferentes elementos de la atmósfera será función de su longitud de onda. La distribución espectral de la radiación extrarrestre que se toma como standard, se basa en medidas realizadas a gran altitud en el espacio exterior; los valores se presentan en una tabla a continuación; se proporcionan los valores para cada anchura de banda, representada por su valor medio  $\lambda$ .  $E\lambda$  es el promedio de radiación solar comprendido en la anchura correspondiente;  $\Delta\lambda$  representa el porcentaje de la constante solar que se asocia a longitudes de onda menores que  $\lambda$ . (Bautista, 2015, pág. 12)

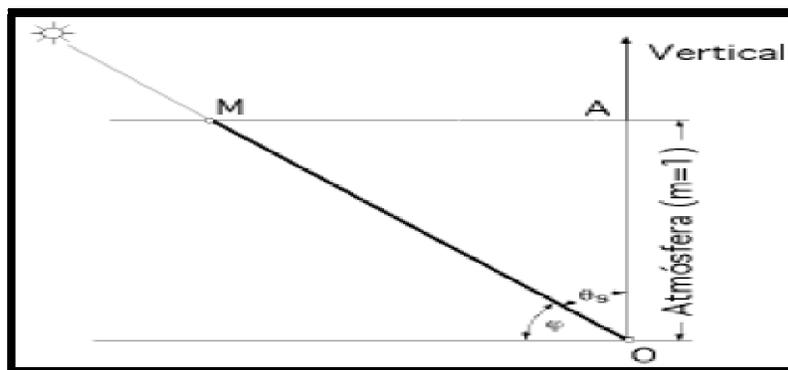
#### ✓ Radiación solar en la superficie de la tierra

Bautista (2015) indica que la radiación procedente del Sol ha de atravesar 9 km de capa atmosférica para llegar a la superficie terrestre. Esta radiación se ve difundida, absorbida o incluso reflejada por las moléculas en suspensión dentro de la atmósfera, por lo que cuanto mayor sea el número de partículas, mayor será la cantidad de radiación que encuentra obstáculo. Sin embargo, existe cierta cantidad de radiación que alcanza la superficie terrestre sin haber sufrido ningún cambio de dirección, se conoce como radiación directa. La radiación difusa es

aquella radiación solar que se recibe en la tierra después de que la reflexión y difusión de la capa atmosférica hayan cambiado su dirección.

El camino recorrido por la radiación depende de la altura cenital del Sol, por ello se introduce el concepto de masa de aire atravesada por la radiación ( $m$ ), definida como la distancia recorrida por la radiación a través de la atmósfera, tomando como valor unidad el paso vertical a nivel del mar cuando el Sol se encuentra en su cenit, su valor viene dado por la expresión:

**Figura 1.** Grafica masa de aire atmosférico.



**Fuente:** BAUTISTA, Marta. Diseño de una planta solar de receptor central. Ingeniería en tecnología industrial. España. Universidad de Catabra, 2015. p. 14.

### ✓ **Coordenadas solares**

Agustín Castejón (2010) señala que para situar la posición del sol en el cielo se utiliza el concepto de esfera celeste, que es una esfera imaginaria de radio arbitrario, entrada en el observador, sobre la que se proyecta la posición del sol. Cada punto de esta esfera celeste es una dirección en el cielo vista desde la tierra. En el sistema de coordenadas de la esfera celeste, que es similar al usado para definir la longitud y latitud terrestres, se especifica la posición del sol mediante dos ángulos que se denominan elevación y acimut.

### ✓ **Célula solar**

Una célula solar básica es una unión PN con un contacto en la región P y otro en la región N que permiten el conexionado con un circuito eléctrico (Castejon, 2010). Si se ilumina la célula, a los electrones y huecos generados los separa la barrera de potencial de la unión PN, acumulando huecos en la región P y electrones en la región N (figura 1.24). La acumulación de cargas produce una diferencia de potencial, que aumenta cuando aumenta la iluminación.

Esta diferencia de potencial se opone a la generada por la barrera de potencial de la unión PN, empujando a los electrones hacia la región P y a los huecos hacia la región N, recombinando los pares electrón-hueco generados. Por lo tanto, la acumulación de electrones y huecos tendrá un límite, que dependerá de la dificultad de las cargas para encontrarse de nuevo en el interior del semiconductor. La diferencia de potencial que se alcanza recibe el nombre de tensión de circuito abierto.

### ✓ **Parámetros característicos de un módulo fotovoltaico**

Un módulo fotovoltaico está constituido por varias células solares conectadas eléctricamente entre sí. Si todas las células son iguales y trabajan en las mismas condiciones de irradiación y temperatura, la tensión, intensidad y potencia que puede proporcionar un módulo fotovoltaico cumplen las siguientes relaciones:  $U_M$ : tensión del módulo (V),  $U_C$ : tensión de una célula solar (v),  $N_S$ ; número de células asociadas en serie:  $U_M = N_S \cdot U_C$ . (Castejon, 2010, pág. 30)

### ✓ **Conexión módulos en serie / paralelo**

La tensión del generador es la tensión de un módulo por el número de módulos en serie y la intensidad del generador es la intensidad de un módulo por el número de

ramas en paralelo. Cada grupo de módulos conectados en serie se denomina rama o cadena.

$$I_G = N_P \cdot I_M$$

$I_G$ : intensidad del generador

$I_M$ : intensidad de un modulo

$N_P$ : Numero de ramas conectadas en paralelo

$$U_G = N_S \cdot U_M$$

$N_S$ : número de módulos conectados en serie

$U_G$ : tensión del generador

$U_M$ : tensión de un modulo

## 2.3. MARCO CONCEPTUAL

### ✓ Paneles solares

Una célula fotovoltaica es una unidad formada por materiales semiconductores capaces de producir, mediante una unión N-P, una batería que haga posible el efecto fotovoltaico. Los materiales tienen la propiedad de comportarse como aislantes o conductores dependiendo de condiciones como la temperatura, energía aplicada (Ramos, 2007). Estos materiales poseen electrones libres cuyos números varían en función de las condiciones mencionadas, pudiendo cambiar la conductividad intrínseca. Entre los conductores más importantes se tiene el arseniuro de galio, el telurio de cadmio y el silicio, este último es el más utilizado ya que posee 14 electrones, de los cuales 4 están en su capa de valencia de forma que son capaces de crear enlaces covalentes con otros átomos.

Castellanos Ramos (2007) indica que podría parecer que los electrones de silicio están ocupados en formar enlaces, aunque esto sería un caso ideal ya que la temperatura normal se estará produciendo vibraciones de los enlaces, lo que tiene como consecuencia que los electrones se liberen en la red cristalina, dejando un hueco. Si aumenta la temperatura aumentara la vibración, multiplicándose el efecto. Los electrones libres hacen que el elemento se vuelva conductor.

### ✓ **Clasificación de las celdas fotovoltaicas**

Existen diferentes materiales semiconductores con los cuales se pueden elaborar celdas solares, pero el que se utiliza comúnmente es el silicio en sus diferentes formas de fabricación. Las celdas fotovoltaicas se clasifican en cristalinos, policristalinos y amorfos.

- **Celdas Fotovoltaicas Monocristalinos**

Las celdas de silicio mono cristalino se obtienen a partir de silicio muy puro, que se refunde en un crisol junto con una pequeña proporción de boro a una temperatura de 1500 °C. “Una vez que el material se encuentra en estado líquido se le introduce una varilla con un cristal germen de silicio, que se va haciendo recrecer con nuevos átomos procedentes del líquido, que quedan ordenados siguiendo la estructura del cristal”(Peña, 2003, pág. 49).

- **Celdas Fotovoltaicas Policristalinas**

Se obtiene a temperaturas más bajas que el anterior con lo que se disminuyen las fases de cristalización(Peña, 2003). Se constituyen básicamente con silicio, mezclado con Arsenio y galio, son agregados de materiales, casi es como un biscocho: en lugar de partir de un mono cristal, se deja solidificar lentamente sobre un molde la pasta de silicio, con lo cual se obtiene un sólido formado por muchos

pequeños cristales de silicio, que pueden cortarse luego en finas obleas poli cristalinas.

- **Celdas fotovoltaicas amorfas**

Este material ha encontrado casi el mismo amplio uso en fotovoltaica que el silicio mono cristalino. La tecnología y los procesos industriales se están implantando a gran escala, aunque el mercado se ha centrado en el uso para equipos electrónicos de consumo. La mayor ventaja del silicio amorfo es él poder depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico de muy bajo costo. Esto permite su abaratamiento y la posibilidad de técnicas de producción en serie, ya que grandes módulos se pueden depositar en un único proceso.(Peña, 2003, pág. 49)

- ✓ **Efecto fotovoltaico**

Las células solares se fabrican con semiconductores. Los semiconductores son elementos sólidos que tienen una conductividad eléctrica inferior a la de un conductor metálico pero superior a la de un buen aislante. El semiconductor más utilizado es el silicio (Castejon, 2010). Cualquier aporte de energía, como una elevación de la temperatura o la iluminación del semiconductor, provoca que algunos electrones de valencia absorban suficiente energía para librarse del enlace covalente y moverse a través de la red cristalina, convirtiéndose en electrones libres.

- ✓ **Módulos fotovoltaicos**

Castejón (2010) declara que la mayoría de los módulos fotovoltaicos tienen entre 36 y 96 células conectadas en serie. En algunos casos pueden incluir la conexión en paralelo de grupos de células conectadas en serie. Además, hay que

proporcionar al conjunto de células una protección frente a los agentes atmosféricos, un aislamiento eléctrico adecuado y una consistencia mecánica que permita su manipulación práctica. Al conjunto de células solares agrupadas en las condiciones descritas se le denomina módulo fotovoltaico.

#### ✓ **Cubierta frontal**

Suele ser de vidrio templado de entre 3 y 4 mm de espesor, con muy buena transmisión de la radiación solar, proporciona protección contra los agentes atmosféricos y los impactos (granizo, actos vandálicos). La superficie exterior del vidrio es antirreflexiva y está tratada para impedir la retención del polvo y la suciedad. La superficie interior generalmente es rugosa, lo que permite una buena adherencia con el encapsulaste de las células, además de facilitar la penetración de la radiación solar. (Castejon, 2010, pág. 28)

#### ✓ **Cubierta posterior**

Se utiliza una capa de polivinilo fluoruro (PVF, comercialmente denominado TEDLAR) o de poliéster. Junto con la cubierta frontal, protege al módulo de la humedad y otros agentes atmosféricos y lo aísla eléctricamente (Castejon, 2010). De naturaleza opaca, es habitual que sea de color blanco para reflejar la luz solar que no recogen las células sobre la cara posterior rugosa de la cubierta frontal, que la refleja de nuevo hacia las células.

Algunos fabricantes ponen esta cubierta de vidrio para aprovechar la radiación solar reflejada que puede re-cogerse por la parte posterior del módulo. Para ello las células solares incluyen capas de silicio amorfo que recoge esta radiación. La mayoría de los fabricantes utilizan aluminio anodizado (Castejon, 2010).

Proporciona rigidez y resistencia mecánica al módulo, además de un sistema de fijación. Puede incorporar una conexión para la toma de tierra. Nunca se debe mecanizar, porque las vibraciones pueden romper el cristal de la cubierta frontal(Castejon, 2010).

#### ✓ **Marco**

La mayoría de los fabricantes utilizan aluminio anodizado. Proporciona rigidez y resistencia mecánica al módulo, además de un sistema de fijación (Castejon, 2010). Puede incorporar una conexión para la toma de tierra. Nunca se debe mecanizar, porque las vibraciones pueden romper el cristal de la cubierta frontal.

#### ✓ **Convertidor**

Su función es alterar la tensión y características de la intensidad que reciben, convirtiéndola a la adecuada para los usos que necesiten (suministro). Existen diferentes clases de convertidores: cc/cc, ca/cc, ac/ac, cc/ca (Ramos, 2007). El más utilizado en una instalación fotovoltaica aislada son las del tipo cc/ca, que convierte la tensión del banco de batería a consumos de 230 voltios de corriente alterna.

#### ✓ **Regulador de carga**

El regulador es el encargado de controlar los procesos de carga y descarga de la batería. Las principales tareas que realiza son: Evita sobrecargas en la batería: que una vez cargada la batería (EDC = 100%) no continúe cargando la batería. Así se evita la generación de gases y la disminución del líquido en el interior de la batería; en consecuencia aumenta la vida de la batería (Sainz, 2005). Impide el sobre descarga de la batería en los periodos de luz solar insuficiente: cuando una vez la batería esté descargada no continúe.

## 2.4. MARCO LEGAL

✓ **Proyecto de ley 09 de 2012. Congreso de Colombia-Por medio de la cual se promueve e incentiva el uso de paneles solares y paneles fotovoltaicos.**

La presente ley tiene por objeto, promover e incentivar el uso de paneles solares y paneles fotovoltaicos; y así obtener la reducción de consumos energéticos y la generación de energías no contaminantes (Ley-09, 2012). Incentivo para constructores. Con el propósito de incentivar la construcción de viviendas en las que se implementen paneles solares y paneles fotovoltaicos, se autoriza al Gobierno para que determine el porcentaje del IVA que se devolverá a las constructoras por la adquisición de paneles solares y paneles fotovoltaicos o por la adquisición de materiales para la fabricación de estos.

La ley -09 (2012) declara que deberá el Gobierno Nacional, deberá expedir la reglamentación, que establezca los requisitos para poder acceder a este beneficio tributario y la forma para su respectiva devolución, dentro de los seis (6) meses siguientes, contados a partir de la expedición de la presente ley.

### Artículo 4°

Promuévase e incentive la instalación de paneles solares y paneles fotovoltaicos en zonas no interconectadas y en zonas rurales del país, que carecen del servicio de energía o que no tienen un servicio confiable, especialmente, en viviendas de interés social, colegios, hospitales, clínicas, centros de salud que les permitan acceder a dicho servicio con calidad. (Ley-09, 2012, pág. 10)

✓ **NTC 5513, dispositivos fotovoltaicos parte 1: medida de la característica intensidad tensión de los módulos fotovoltaicos**

Esta norma describe los procedimientos de medida de la característica corriente-voltaje (I-V) para celdas solares de silicio cristalino, empleando luz natural o simulada (Alvarez, 2012). La norma establece requisitos generales para efectuar las medidas, como la calibración del dispositivo de referencia (aquel con el cual se efectúan las medidas de irradiación), su respuesta espectral, la precisión de  $\pm 1$  °C entre el dispositivo de referencia y la probeta, y las conexiones de ensayo.

✓ **NTC 5512, ensayo de corrosión por niebla salina de módulos fotovoltaicos**

Álvarez (2012) señala que esta norma describe el procedimiento para realizar un ensayo que permite determinar la resistencia de los módulos fotovoltaicos a la niebla salina, lo que puede resultar útil a la hora de evaluar la compatibilidad de los materiales usados en los módulos, así como la calidad y uniformidad de los recubrimientos protectores.

✓ **La NTC 5512 Ensayo De Corrosión Por Niebla Salina De Módulos Fotovoltaicos**

Esta norma describe el procedimiento para realizar un ensayo que permite determinar la resistencia de los módulos fotovoltaicos a la niebla salina, lo que puede resultar útil a la hora de evaluar la compatibilidad de los materiales usados en los módulos, así como la calidad y uniformidad de los recubrimientos protectores.

### **2.4.1. Marco ambiental**

#### **✓ Ley 1715- integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional**

La ley 1715 (2014) tiene como finalidad la promoción del aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, lo mismo que para el fomento de la inversión, investigación y desarrollo de tecnologías limpias para producción de energía, la eficiencia energética y la respuesta de la demanda, en el marco de la política energética nacional.

Implementación de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su 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 (Ley 1715, 2014). Con los mismos propósitos se busca promover la gestión eficiente de la energía, que comprende tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda.

#### **✓ Ley 1753 del 2015 Esquema de incentivos**

La Ley 1753 (2014) establece la implementación de esquemas de incentivos para fomentar la inversión en fuentes no convencionales de energía renovable y eficiencia energética. Estos quedaron establecidos en el Decreto 2143 del 2015 el cual establece el estímulo e incentivo al desarrollo de las actividades de producción y utilización de fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable se declara como un asunto de utilidad pública e interés social, público y de conveniencia nacional, fundamental para asegurar la

diversificación del abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía colombiana, la protección del ambiente, el uso eficiente de la energía y la preservación y conservación de los recursos naturales renovables.

Según la Ley 1753(2014), Esta calificación de utilidad pública o interés social tendrá los efectos oportunos para su primacía en todo lo referente a ordenamiento del territorio, urbanismo, planificación ambiental, fomento económico, valoración positiva en los procedimientos administrativos de concurrencia y selección, así como a efectos de expropiación forzosa.

### 3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

De acuerdo a la finalidad del estudio en el proyecto se emplea una investigación descriptiva que detalla los pasos que se deben seguir para el diseño del proyecto, esta metodología trabaja en la realidad de los hechos es decir en fuentes externas e internas de postulaciones ya realizadas por otros investigadores donde se toman de estos, modelos de sistemas fotovoltaicos, plano de conexiones, cálculos, siendo de gran valor y utilidad para el investigador que toma las teorías existentes para definir, estructurar los elementos los cálculos necesarios y estrategias que abarca el proyecto.

El proyecto requiere un enfoque mixto que establece dos partes primeramente con un enfoque cualitativo, que determina y da a conocer una descripción detallada del proyecto, genera la recolección de datos fundamentales, parámetros vitales cualidades específicas que son obtenidas y deben tenerse en cuenta para la generación de continuas opiniones y datos que permitan el estudio de sistemas fotovoltaicos conectados a la red.

En segunda parte se implementa una metodología cuantitativa que permite conocer evaluar, clasificar, desarrollar y establecer los detalles del proyecto a través de la recopilación de la información recolectada, este enfoque se traza como objetivo para determinar la variabilidad estadística y funcionamiento de un sistema fotovoltaico conectado a la red de suministro energético mediante sistemas de inversores, para alimentar motores de inducción.

Por lo tanto, la función de esta investigación consta en descubrir las bases y conseguir información, permitiendo como resultado de estudio, la formulación de dicha hipótesis. Para finalizar se desarrolla un análisis financiero que permita determinar los costos aproximados, principales indicadores de inversión y posibles

fuentes de financiamiento para la construcción de un sistema de interconexión de red fotovoltaico a cargas inductivas.

### 3.1. FASE METODOLÓGICA

- ✓ **Fase 1.** Revisión del estado del arte y marcos referenciales
  - Actividad 1: Recolectar información a través de la investigación de antecedentes a nivel nacional e internacional con el propósito de obtener información guía en el desarrollo del proyecto.
  - Actividad 2: Conocer las diferentes teorías, conceptos y leyes que rigen la investigación con el fin de tener una idea clara para el cálculo y análisis de los resultados del estudio planteado.
- ✓ **Fase 2.** Estudio de irradiación solar y caracterización del sistema en términos de eficiencia energética.
  - Actividad 1: Realizar un estudio de irradiación solar en la ciudad de Barrancabermeja para la implementación de un sistema de generación de energía solar fotovoltaica.
  - Actividad 2: Cuantificar y caracterizar en términos de eficiencia y calidad energética el sistema de generación solar fotovoltaica.
  - Actividad 3: Determinar la irradiación solar de la ciudad de Barrancabermeja a partir de los mapas de la NASA y empleando la herramienta de software RETS creen Expert.
- ✓ **Fase 3.** Cálculos analíticos para la determinación de la cantidad de paneles solares.
  - Actividad 1: Realizar los cálculos analíticos que determinan la cantidad de paneles solares necesarios para la generación de la potencia requerida por la carga del sistema

- Actividad 2: Determinar la energía generada por un solo módulo solar para calcular la cantidad de paneles requeridos.
- Actividad 3: Revisar las posibles formas de conexión de paneles solares Serie/Paralelo para obtener los niveles de tensión y corriente deseados.
- ✓ **Fase 4.** Diseño del sistema de generación solar fotovoltaico.
  - Actividad 1: Diseñar el sistema de generación fotovoltaico aislado.
  - Actividad 2: Realizar el estudio metodológico para el proceso de selección de componentes y elementos del sistema (Regulador, Baterías de almacenamiento, paneles solares e inversor) a partir de la ingeniería de detalle.
  - Actividad 3: Implementar el sistema de generación solar fotovoltaico integrado a la red de distribución eléctrica.
  - Actividad 4: Realizar un estudio acerca de las posibilidades de carga del sistema.
- ✓ **Fase 5.** Estudio de la normatividad vigente para la implementación de sistemas fotovoltaicos integrados a la red eléctrica.
  - Actividad 1: Revisión literaria de las normas vigentes que rigen la implementación de sistemas fotovoltaicos.
  - Actividad 2: Identificar los requerimientos de la norma a partir de la implementación de sistemas fotovoltaicos integrados a la red eléctrica.
- ✓ **Fase 6.** Observación y Análisis de los resultados.
  - Actividad 1: Realizar pruebas y verificar la funcionalidad del prototipo construido.
  - Actividad 2: Analizar los resultados obtenidos en la investigación con el propósito de evaluar la viabilidad de implementar sistemas de igual magnitud.

- ✓ **Fase 7.** Realizar un informe técnico/ejecutivo de acuerdo a los resultados obtenidos de la investigación.
- Actividad 1: Analizar las alternativas no convencionales de generación de energía eléctrica, estudio de cargas, topográfico, financiero, impacto ambiental, social y la normatividad reciente en Colombia.
  - Actividad 2: Ejecutar la consultoría de la Institución Educativa Liceo Amiguitos.
  - Actividad 3: Documentar los resultados obtenidos de la investigación y gestionar documento que certifique la culminación de la consultoría.

## 4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

### 4.1. PARÁMETROS DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE POTENCIA Y MEDICIÓN DE LA CARGA.

Se realizó un registro del parámetro eléctrico a través de equipos de medición (multímetro) para determinar la distribución y carga total de la institución educativa Liceo Amiguitos.

**Figura 2.** Institución Educativa Liceo Amiguitos



**Fuente:** Autor

En la figura 2 se observa la institución educativa liceo amiguitos a la cual se le hará la medición y análisis de la carga actual para determinar la potencia con el fin de identificar la demanda energética requerida.

**Figura 3. Medición**



**Fuente:** Autor

En la figura 3 se ilustra la medición de parámetros eléctricos mediante la herramienta fluke requeridos para el análisis de carga realizados a continuación.

**Figura 4. Patio Principal Liceo Amiguitos**



**Fuente:** Autor

En la figura 4 se visualiza el patio principal de la institución donde los niños descansan en la hora del recreo. Se visualiza la nevera con filtro para que los niños puedan hidratarse, este equipo consume una potencia de 80 W para su funcionamiento.

**Figura 5. Sistema de cámaras**



**Fuente:** Autor

En la figura 5 se evidencia la sala de administración que cuenta con un televisor de 32 pulgadas el cual consume una potencia de 160 W para su funcionamiento, también se visualiza el Rac el cual su finalidad es alojar equipamiento electrónico e informático, este dispositivo necesita una potencia de 270 W para su funcionamiento. Este dispositivo sirve para visualizar, guardar y recibir la información de las cámaras de seguridad que tiene la institución educativa.

**Figura 6. Computadores**



**Fuente:** Autor

En la figura 6 se observa los computadores de la sala de informática de la institución educativa, el cual cuenta con 18 equipos. Estos dispositivos necesitan un consumo de 250 W cada uno para su funcionamiento.

**Figura 7. Aire con condición de 12000 btu/h**



**Fuente:** Autor

En la figura 7 se visualiza el aire acondicionado de marca LG tipoinverter modelo VM 182CE NC3, utilizado en la institución educativa liceo amiguitos, este dispositivo consume una potencia de 1460 W para su respectivo funcionamiento. Este equipo está en toda la sede y es uno de los que más potencia necesitan. En la tabla 1 se muestra los valores que necesita el equipo para su correcto funcionamiento.

**Tabla 1.** Valores del aire acondicionado

DESCRIPCION	DATOS
Modelo	VM 182CE NC3
Capacidad	12.000 BTU
Corriente mínima	6,8 A
Corriente máxima	9 A

**Fuente:** Autor

**Figura 8.** Sistema de refrigeración de la institución



**Fuente:** Autor

En la figura 8 se observa las unidades exteriores de los aires acondicionados que se encuentran ubicados en una sección del techo de la institución educativa. En la figura 9 se evidencia una nevera con filtro, ubicada en la zona de hidratación de la institución, este equipo consume una potencia de 80 W para su funcionamiento.

**Figura 9. Refrigerador**



**Fuente:** Autor

**Figura 10. Ventiladores y televisión de Liceo Amiguitos**



**Fuente:** Autor

En la figura 10 se observan los ventiladores, el televisor, el aire acondicionado, la cámara de seguridad y las luminarias que se usan en las aulas de la institución educativa Liceo amiguitos.

**Figura 11. Filtro de agua**



**Fuente:** Autor

En la figura 11 se evidencia el filtro de agua marca AcquaOzon utilizado en la sala de profesores, este dispositivo consume una potencia de 10 W para la tarea que es filtrar el agua potable.

**Figura 12. Tejado termo acústico**



**Fuente:** Autor

En la figura 12 se observa el tejado termo acústico que se encuentra en la institución, este tejado no es el escogido para montar el sistema fotovoltaico con

paneles solares porque el material con el que está elaborado este tejado no es el adecuado para instalar este sistema.

**Figura 13.** Tejado eternit



**Fuente:** Autor

En la figura 13 se evidencia el tejado de eternit de la institución educativa, este tejado es el escogido para montar el sistema fotovoltaico porque cuenta con un área de 53,8 metros cuadrados. El material con el cual está hecho este tejado cuenta con las condiciones para instalar este sistema, por el cual este sería el área para trabajar.

Mediante un análisis y medición de las cargas que tiene la institución educativa, se definirán los parámetros eléctricos para identificar la demanda energética que tiene la institución. Este análisis de demanda energética se hizo en todas las secciones de la institución, tales como salones, cafetería, rectoría, coordinación, etc.

**Tabla 2.**Dispositivos eléctricos presentes en el salón 1.

Equipo	Potencia (W)	Cantidad
Ventilador	95	3
Tv	160	1
Aire acondicionado	1460	1
Cámaras	18	2
Luminarias	10	7

Fuente: Autor

En la tabla 2 se observa los equipos eléctricos que están dentro de un salón para el correcto aprendizaje de los niños que estudian en la institución. Del cual está compuesto por ventiladores, televisión para que las clases sean aún más didácticas para los niños, un aire acondicionado, cámaras de seguridad y luminarias. El aire acondicionado es el que más potencia consume dentro del salón de clases.

**Tabla 3.**Dispositivos eléctricos presentes en el salón 2.

Equipo	Potencia (W)	Cantidad
Aire acondicionado	1460	1
Tv	160	1
Cámaras	18	2
Luminarias	10	5
Ventilador	95	4

Fuente: Autor

En la tabla 3 se visualiza los equipos eléctricos que están dentro de un salón para el correcto aprendizaje de los niños que estudian en la institución. Del cual está compuesto por ventiladores, televisión para que las clases sean aún más didácticas para los niños, un aire acondicionado, cámaras de seguridad y

luminarias. El aire acondicionado es el que más potencia consume dentro del salón de clases.

**Tabla 4.**Dispositivos eléctricos presentes en el salón 3.

Equipo	Potencia (W)	Cantidad
Cámara	18	2
Aire acondicionado	1460	1
Tv	160	1
Ventilador	95	3
Luminarias	32	6

Fuente: Autor

En la tabla 4 se observa los equipos eléctricos que están dentro de un salón para el correcto aprendizaje de los niños que estudian en la institución. Del cual está compuesto por ventiladores, televisión para que las clases sean aún más didácticas para los niños, un aire acondicionado, cámaras de seguridad y luminarias. El aire acondicionado es el que más potencia consume dentro del salón de clases.

**Tabla 5.**Dispositivos eléctricos presentes en el salón 4.

Equipo	Potencia (W)	Cantidad
Aire acondicionado	1460	1
Cámaras	18	2
Luminarias	10	4
Ventiladores	95	2

Fuente: Autor

En la tabla 5 se visualiza los equipos eléctricos que están dentro de un salón para el correcto aprendizaje de los niños que estudian en la institución. Del cual está

compuesto por ventiladores, televisión para que las clases sean aún más didácticas para los niños, un aire acondicionado, cámaras de seguridad y luminarias. El aire acondicionado es el que más potencia consume dentro del salón de clases.

**Tabla 6.**Dispositivos eléctricos presentes en el salón 5.

Equipo	Potencia (W)	Cantidad
Ventiladores	95	4
Tv	160	1
Cámaras	18	2
Luminarias	32	9
Aire acondicionado	1460	1

Fuente: Autor

En la tabla 6 se indican los equipos eléctricos que están dentro de un salón para el correcto aprendizaje de los niños que estudian en la institución. Del cual está compuesto por ventiladores, televisión para que las clases sean aún más didácticas para los niños, un aire acondicionado, cámaras de seguridad y luminarias. El aire acondicionado es el que más potencia consume dentro del salón de clases.

**Tabla 7.**Dispositivos eléctricos presentes en el salón 6.

Equipo	Potencia (W)	Cantidad
Cámaras	18	2
Luminarias	32	8
Ventiladores	95	3
Aire acondicionado	1460	1
Tv	160	1

Fuente: Autor

En la tabla 7 se observa los equipos eléctricos que están dentro de un salón para el correcto aprendizaje de los niños que estudian en la institución. Del cual está compuesto por ventiladores, televisión para que las clases sean aún más didácticas para los niños, un aire acondicionado, cámaras de seguridad y luminarias. El aire acondicionado es el que más potencia consume dentro del salón de clases.

**Tabla 8.**Dispositivos eléctricos presentes en el salón 7.

Equipo	Potencia (W)	Cantidad
Ventiladores	95	3
Luminarias	32	9
Aire acondicionado	1460	1
Tv	160	1
Cámaras	18	2

Fuente: Autor

En la tabla 8 se visualiza los equipos eléctricos que están dentro de un salón para el correcto aprendizaje de los niños que estudian en la institución. Del cual está compuesto por ventiladores, televisión para que las clases sean aún más didácticas para los niños, un aire acondicionado, cámaras de seguridad y luminarias. El aire acondicionado es el que más potencia consume dentro del salón de clases.

**Tabla 9.**Dispositivos eléctricos presentes en el salón 8.

Equipo	Potencia (W)	Cantidad
Aire acondicionado	1460	1
Ventiladores	95	4
Cámara	18	2
Luminarias	10	8
Sonidos	100	1
Tv	160	1

Fuente: Autor

En la tabla 9 se indica los equipos eléctricos que están dentro de un salón para el correcto aprendizaje de los niños que estudian en la institución. Del cual está compuesto por ventiladores, televisión para que las clases sean aún más didácticas para los niños, un aire acondicionado, cámaras de seguridad y luminarias. El aire acondicionado es el que más potencia consume dentro del salón de clases.

**Tabla 10.**Dispositivos eléctricos presentes en el baño de los niños (primer piso).

Equipo	Potencia (W)	Cantidad
Luminaria	60	3

Fuente: Autor

En la tabla 10 se observa los equipos eléctricos que están dentro del baño para que los niños puedan tener iluminación.

**Tabla 11.**Dispositivos eléctricos presentes en la bodega de materiales.

Equipo	Potencia (W)	Cantidad
Luminaria	60	1

Fuente: Autor

En la tabla 11 se visualiza los equipos eléctricos que se encuentra en la bodega para tener una buena iluminación.

**Tabla 12.**Dispositivos eléctricos presentes en el baño de las niñas (primer piso).

Equipo	Potencia (W)	Cantidad
Luminaria	60	2

Fuente: Autor

En la tabla 12se observa los equipos eléctricos que están dentro del baño para que las niñas puedan tener una buena iluminación.

**Tabla 13.**Dispositivos eléctricos presente en la rampla.

Equipo	Potencia (W)	Cantidad
Bombillos	35	4
Cámara	18	1

Fuente: Autor

En la tabla 13 se evidencia los dispositivos presentes en la rampla o escaleras para que los estudiantes y profesores puedan transitar por ese sector.

**Tabla 14.**Dispositivos eléctricos presente en la sala de informática.

Equipo	Potencia	Cantidad
Computadores	250	18
Aire acondicionado	1460	1
Ventiladores	95	2
Luminarias	60	2
Cámara	18	1

Fuente: Autor

En la tabla 14 se indica los equipos eléctricos que están dentro del salón de informática para el correcto aprendizaje de los niños que estudian en la institución. Del cual está compuesto por ventiladores, televisión para que las clases sean aún más didácticas para los niños, un aire acondicionado, cámaras de seguridad, computadores y luminarias. Los computadores son los que más potencia consumen en este salón.

**Tabla 15.**Dispositivos eléctricos presente en el coliseo.

Equipo	Potencia (W)	Cantidad
Ventiladores	95	8
Sonido	100	1

Fuente: Autor

En la tabla 15 se observa los dispositivos eléctricos presente en el coliseo para que los estudiantes puedan hacer actividades físicas en coordinación con su profesor.

**Tabla 16.**Dispositivos eléctricos presente en el punto de hidratación.

Equipo	Potencia	Cantidad
Nevera con filtro	80	1

Fuente: Autor

En la tabla 16 se indica el dispositivo eléctrico presente en el punto de hidratación para que los estudiantes puedan descansar y tomar agua.

**Tabla 17.**Dispositivos eléctricos presente en el baño de Niñas (segundo piso).

Equipo	Potencia	Cantidad
Luminaria	32	2

Fuente: Autor

En la tabla 17se observa los equipos eléctricos que están dentro del baño para que las niñas puedan tener una buena iluminación.

**Tabla 18.**Dispositivos eléctricos presente en el baño de los Niños (segundo piso).

Equipo	Potencia	Cantidad
Luminaria	32	2

Fuente: Autor

En la tabla 18se observa los equipos eléctricos que están dentro del baño para que los niños puedan tener buena iluminación.

**Tabla 19.**Dispositivos eléctricos presentes en la zona de descanso

Equipo	Potencia	Cantidad
Sonido	100	1
Cámara	18	1
Nevera con filtro	80	1
Luminarias	60	4

Fuente: Autor

En la tabla 19 se observa los dispositivos eléctricos presentes en la zona donde los niños toman su descanso, el cual cuenta con sonido, luminarias, una nevera con filtro de agua y una cámara de seguridad.

**Tabla 20.**Dispositivos eléctricos presentes en cafetería.

Equipo	Potencia	Cantidad
Bombillo	35	1

Fuente: Autor

En la tabla 20 se visualiza el dispositivo eléctrico presente en cafetería.

**Tabla 21.**Dispositivos eléctricos presentes en administración.

Equipo	Potencia (W)	Cantidad
Aire acondicionado	1460	1
RAC de Comunicación	270	1
Tv	160	1
Computadores	250	3
Impresoras HP	10	3
Luminarias	10	6
Fluorescente	10	4

Fuente: Autor

En la tabla 21 se indican los dispositivos presentes en la sala de administración de la institución, para poder realizar todo lo relacionado con la administración, el cual el aire acondicionado es el que más potencia consume en esta oficina.

**Tabla 22.** Dispositivos eléctricos presentes en el pasillo principal

Equipo	Potencia (W)	Cantidad
Ventilador	95	1
Luminaria	40	3
cámara	18	1

Fuente: Autor

En la tabla 22 se observa los dispositivos eléctricos presente en el pasillo principal de la institución educativa.

**Tabla 23.** Dispositivos eléctricos presentes en el pasillo del segundo piso.

Equipo	Potencia (W)	Cantidad
Reflector	50	1
Luminaria	32	4
cámara	18	1
Bombillos	35	6

Fuente: Autor

En la tabla 23 se observa los dispositivos eléctricos presente en el pasillo principal de la institución educativa.

**Tabla 24.** Dispositivos eléctricos presentes en Rectoría.

Equipo	Potencia (W)	Cantidad
Aire acondicionado	1460	1
Ventiladores	95	2
Luminarias	10	3

Fuente: Autor

En la tabla 24 se visualiza los dispositivos eléctricos que se encuentran en rectoría.

**Tabla 25.** Dispositivos eléctricos presentes en el baño rectoría-coordinación.

Equipo	Potencia (W)	Cantidad
Bombillo	35	1
Ventiladores	95	2
Luminarias	10	6

Fuente: Autor

En la tabla 25 se observa los equipos eléctricos que están dentro del baño de coordinación-rectoría para que el rector, coordinador y personas encargadas de estas oficinas puedan tener buena iluminación.

**Tabla 26.** Dispositivos eléctricos presentes en sala de profesores.

Equipo	Potencia (W)	Cantidad
Tv	160	1
Bombillo	35	1
Ventilador	95	1
Filtro de agua	10	1
Luminaria	40	1

Fuente: Autor

En la tabla 26 se visualiza los equipos eléctricos presentes en la sala de profesores para que puedan revisar, diseñar, planear y organizar las actividades para sus estudiantes.

**Tabla 27.** Resumen de la potencia de los dispositivos eléctricos de la institución.

<b>Equipos</b>	<b>Potencia W</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Potencia W Total</b>
Cámaras	18	22	396
Aire acondicionado LG inverter	1460	11	16060
Tv	160	9	1440
Ventiladores KDK	95	42	3990
Luminarias	32	49	1568
Luminarias	60	8	480
Bombillo	35	13	455
Luminarias	10	40	400
Sonido	100	2	200
Luminarias	40	8	320
Computadores	250	21	5250
Luminarias	35	8	280
Filtro de agua	10	1	10
Nevera con filtro	80	2	160
Reflector	50	1	50
Luminarias	32	8	256
Rac de comunicación	270	1	270
Impresora HP	10	3	30
Fluorescente	10	4	40
<b>TOTAL</b>	<b>2757</b>	<b>253</b>	<b>31655</b>

Fuente: Autor.

Teniendo en cuenta la potencia total generada equivalente a 31655 W representado en el cuadro de carga anterior, se presenta en la tabla 27 la selección de una serie de equipos con el fin de establecer la sumatoria de 2231 W, valor que será generado por los paneles solares instalados.

**Tabla 28.** Eléctricos de la institución.

Equipos	Potencia W	Cantidad	Potencia Total
Cámaras	18	22	396
Impresora hp	10	3	30
Luminarias	60	8	480
Bombillo	35	13	455
Luminarias	10	40	400
Sonido	100	2	200
Rac de comunicación	270	1	270
<b>TOTAL</b>	<b>503</b>	<b>89</b>	<b>2231</b>

Fuente: Autor.

Los equipos evidenciados en la tabla 28 son la carga neta a alimentar por los paneles.

#### 4.2 ESTUDIO DE IRRADIACIÓN SOLAR Y CUANTIFICACIÓN DE COMPONENTES Y ELEMENTOS DEL SISTEMA DE GENERACIÓN

Teniendo en cuenta la potencia estimada en la tabla 27 se procede a calcular la cantidad de paneles solares y accesorios requeridos para la generación de energia mediante calculos analiticos los cuales seran ingresados al software PVSYST con el fin de ejecutar el estudio de irradiación solar teniendo en cuenta terminos de eficiencia y calidad energética del sistema a implementar.

$$Hp = \text{Caballos de fuerza} = 1 Hp = 745 W$$

$$W = \text{Vatios} = 1 W = 0,0013404 Hp$$

$$\text{Demanda de energía} = 3 Hp * 746 W = 2235 W$$

**Para la selección del sistema de energía solar se debe conocer las horas de consumo.**

Horas de trabajo de la institución equivalentes a 10 Horas

**Energía demanda por hora**

$$3 H_p = 2235 W$$

**Energía demanda por día**

$$2235 W * 10 \text{ Horas} = 22.3 \text{ KW/Día}$$

**Localización y recurso disponible**

El lugar donde está ubicado el proyecto cuenta con una irradiación anual de 4.5 – 5.0 kWh/m<sup>2</sup>. La temperatura media anual es de 28,5° C. Estas características hacen de la tecnología fotovoltaica una excelente opción para la producción energética.

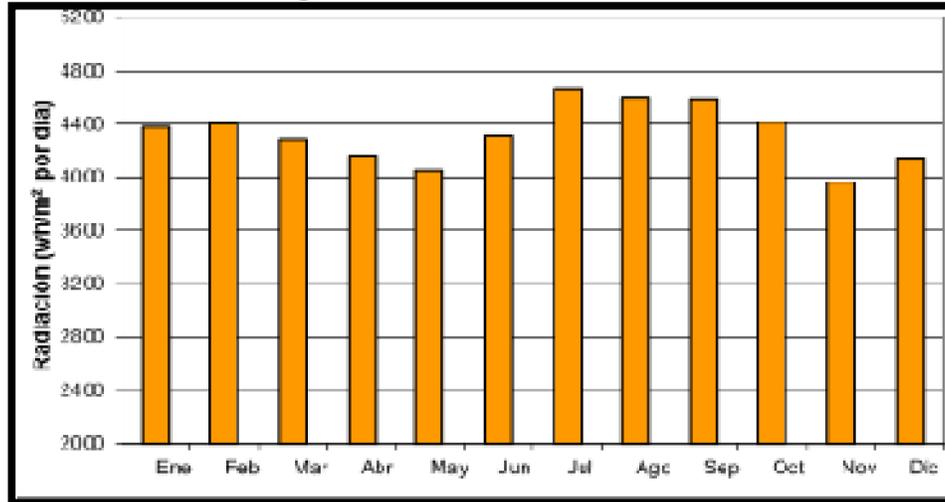
<b>Localización</b>	<b>Barrancabermeja, Santander</b>
<b>País</b>	<b>Colombia</b>
<b>Región</b>	<b>América del Sur</b>
<b>Latitud</b>	<b>7.06° N</b>
<b>Longitud</b>	<b>-73.85° W</b>
<b>Altitud</b>	<b>76 msnm</b>

Se propone la integración de tecnología policristalina. Esta es la tecnología que mejor ratio kWh/kWp ofrece entre todas las tecnologías y supondrá un aumento notable de la producción fotovoltaica.

Esta integración se propone dadas las condiciones geográficas de la localización. Su latitud, hace que la radiación solar incida perpendicularmente sobre la cubierta. Es

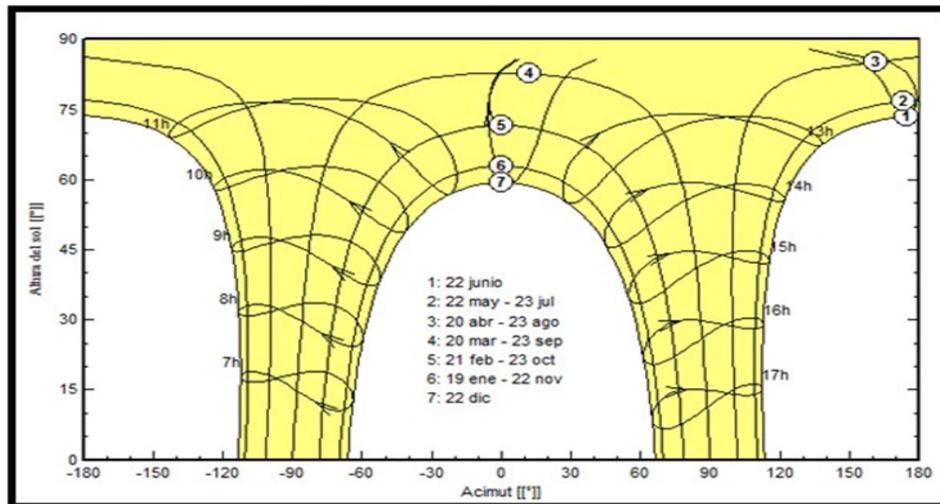
por ello que integrar este tipo de sistema es una opción muy recomendable para este caso en concreto.

**Figura 14.** Datos de irradiación



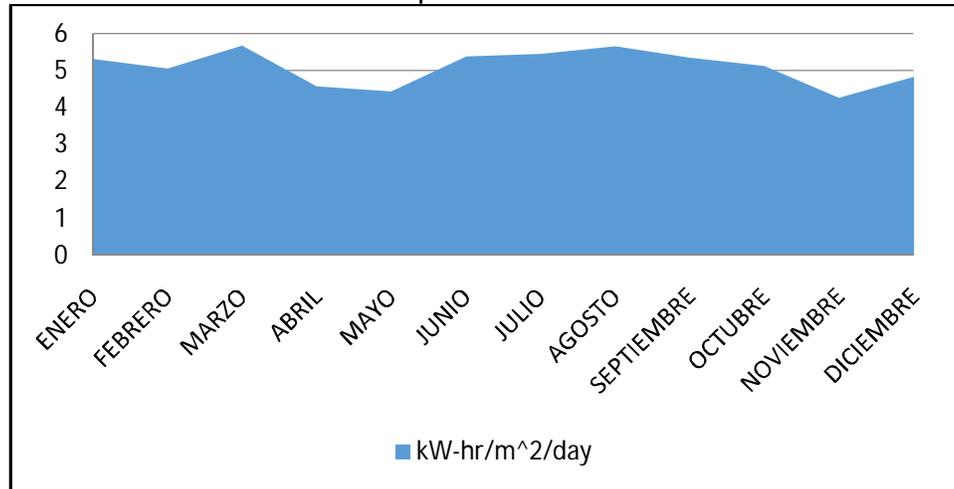
**Fuente:** IDEAM. Cartas climatológicas, medias mensuales. Programa de meteorología aeronáutica. 2013.

**Figura 15.** Trayectoria solar



**Fuente:** IDEAM. Cartas climatológicas, medias mensuales. Programa de meteorología aeronáutica. 2013.

Promedio producción ftv anual



**Fuente:** NASA/POWER SRB/FLASH Flux/MERRA2/GEOS 5.12.4 (FP-IT) 0.5 x 0.5 Degree Daily Averaged Data

La grafica anterior muestra un promedio de producción anual tomado de la base de datos de las estaciones meteorológicas de la Nasa, dichos datos son utilizados para el cálculo del sistema y en base a estos se toman las decisiones del sistema fotovoltaico presentado. Mediante los datos de radiación solar se determina el sistema fotovoltaico requerido. Se distribuye el sistema de la siguiente manera:

- **Calculo analítico de la energía demanda por la institución y sistema solar fotovoltaico**

A continuación, se resalta un estudio de viabilidad en cuanto a la implementación de un sistema solar fotovoltaico para la institución educativa liceo amiguitos. Inicialmente se plantea la identificación de una serie de pautas requeridas para la construcción, óptimo funcionamiento y normativas requeridas para la estructuración del mismo.

*Demanda de potencia = 22.3 KW/Día*

El sistema solar puede suministrar un máximo de 5 horas diarias el restante debe ser guardado en baterías para poder mantener la energía demanda.

$$22,3 \frac{KW}{Día} / 10 \text{ Horas} = 2,79 \text{ KW/h}$$

*Hora de energía solar 5 horas*

$$2,79 \frac{KW}{h} * 5 \text{ h} = 13,95 \text{ KW}$$

*La energía solar en 5 h = 13,95 KW la energía restante en baterías*

$$29,75 \text{ KW} - 13,95 \text{ KW} = 15,8 \text{ KW} \text{ (Energía total almacenada en la batería)}$$

### **Organización de paneles solares 340 W**

$$2238 \text{ W} * 30\% = 671,4 \text{ W}$$

$$2238 \text{ W} + 671,4 \text{ W} = 2909,4$$

$$2909,4 \text{ W} / 340 \text{ W} = 8,55 \text{ Paneles}$$

*Se aproxima a 9 paneles de 340 W*

Se colocan dos juegos de 9 paneles de 340 W en serie y a su vez estos conectados, en serie 9 paneles se encargarían de suministrar la energía de trabajo y los 9 restantes almacenar energía en las baterías.

$$18 \text{ paneles} * 340 \text{ W} = 6120 \text{ W}$$

$$6120 \text{ W} * 5 \text{ h} = 30600 \text{ W} = 30.6 \text{ KW}$$

Para el banco de baterías está calculado para almacenar **15.8 KW** se utilizan baterías de 250 amperios hora a 12 voltios

La corriente almacenada para el sistema fotovoltaico está dada:

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

I= Intensidad (amperios) A

P= Potencia (vatios) W

V= Voltaje (voltios) V

$$I = 15800 \text{ W} / 24 \text{ V}$$

$$I = 658.3 \text{ A}$$

Cantidad de baterías

Baterías = Corriente suministrada / Cantidad de corriente almacenada por batería

$$Baterías = \frac{658.3 \text{ A}}{250 \text{ A}} = 2.63 \text{ A}$$

Se aproxima a 3 baterías, como solo se utiliza el 50 por ciento de las baterías se utilizan el doble y su vez la configuración.

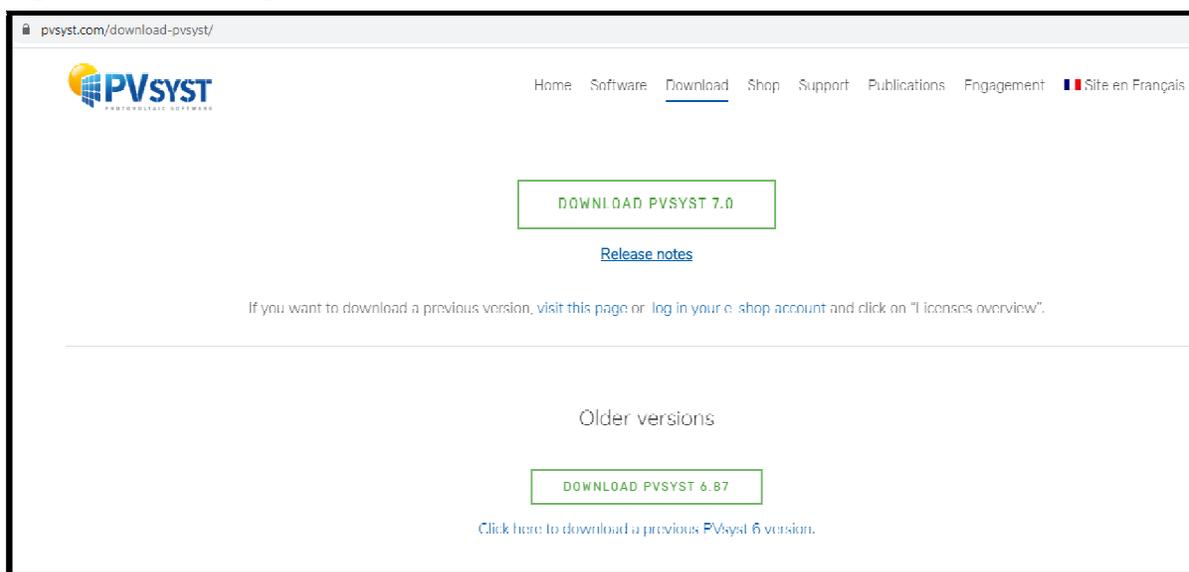
**Tabla 29.** Requisitos para el sistema solar

Ítems	Descripción	Valor
1	Número de módulos fotovoltaicos	18
2	Potencia pico del módulo fotovoltaico	340
3	Numero de baterías	12
4	Potencia de almacenamiento de baterías	15.8 KW
5	Inversor	24 DC a 220 AC

Fuente: Autor

Teniendo en cuenta los parámetros requeridos para la instalación del sistema solar se procede a ingresar las variables en el software de simulación de sistema fotovoltaico PVSYST con el fin de corroborar los datos e información suministrados de forma analítica.

**Figura 16.** Descarga del software de simulación de sistema fotovoltaico



**Fuente:** Autor

En la figura número 16 se observa la ventana que permite la descarga del software de simulación de sistemas fotovoltaicos, para este caso se utilizó el PVSYST 6.87 debido a que es la versión más reciente para el desarrollo de dichos proyectos, de igual forma se debe tener en cuenta el sistema operativo para descargar el programa ayudando a obtener datos rápidamente que pueden ser utilizados para el cálculo de energía renovable.

**Figura 17.** Ventana de inicio del PVSYSY



**Fuente:** Autor

Después de haber descargado e instalado el programa aparece la ventana de inicio como se puede visualizar en la figura número17. Esta base de dato se crea en herramientas y permite la administración de datos básicos como datos de clima y bases de datos de componentes (módulos FV inversores, baterías, etc.). Una vez estando en herramientas se dirige a la opción “importación” de base de clima.

**Figura 18.** Importación de datos de clima

**Fuente:** Autor

Se evidencia en la figura numero 18 los datos del clima de diferentes fuentes para las coordenadas geográficas donde se va a plantear el problema y para la localización de lugar, país, región para los proyectos y anteproyectos. En importación base clima agregar la ubicación en (nasa -sse 1983-1993). y complementar los datos de las coordenadas geográficas, se pulsa el botón “importar” después verificando que todos los datos estén bien puestos luego se oprime “guardar lugar” y “cerrar ventana”.

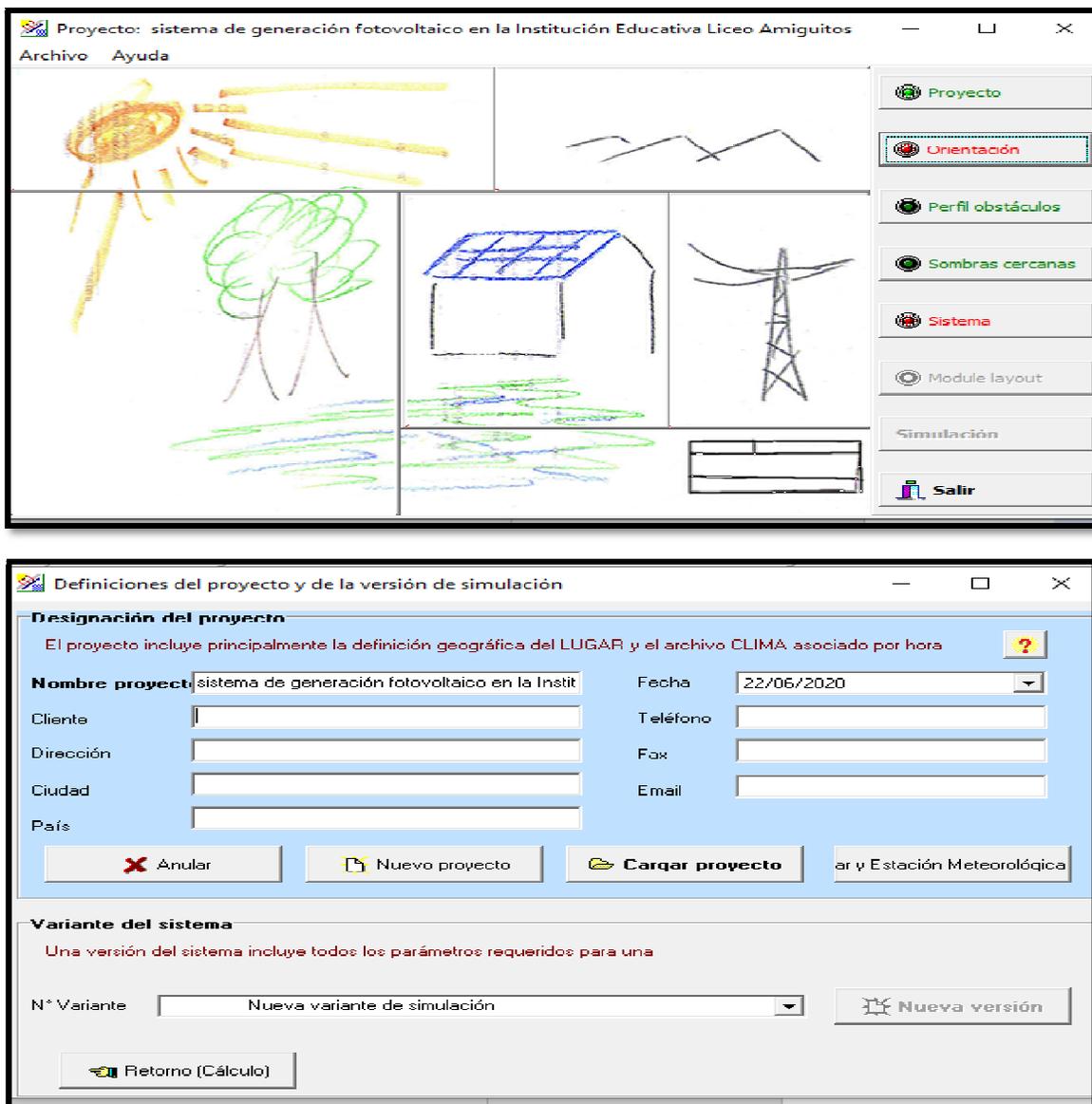
**Figura 19.**Diseño y analisis del proyecto



**Fuente:** Autor

Se evidencia en la figura numero 19 el estudio completo y analisis de un proyecto calculos completos de la produccion del sistema utilizando simulaciones detalladas herramientas 3d y efectos sombreados de diversas variantes de simulacion. Ir directamente al icono “diseño del proyecto” y despues a conectar a la red luego pulsar el boton “ok” despues seleccionar “proyecto”. y aparecera laestacion meteorologica.Y comenzar a llenar los datos como país, región y clima seleccionar “siguiente” y aparecerán todos los datos requeridosdespués oprimir“ok” de nuevo y “save” una vez terminado se regresa al retorno al cálculo.

**Figura 20.**Designación del proyecto



**Fuente:** Autor

Se ilustra en la siguiente tabla al seleccionar “proyecto” la designación del programa para crear el nombre del proyecto escribirlo y seleccionar “estacion meteorologica”. Se pulsa el boton para comenzar a llenar los datos como país región clima y aparecerán todos los datos requeridos oprimir ok de nuevo y “save” una vez terminado se regresa al retorno al cálculo.

**Figura 21.**Parámetros del proyecto

**Parámetro del Proyecto: Albedo para el lugar del proyecto**

**Valores del albedo**

**Valores mensuales**

Ene.	0.20	Jul.	0.20
Feb.	0.20	Ago.	0.20
Mar.	0.20	Sep.	0.20
Abr.	0.20	Oct.	0.20
May.	0.20	Nov.	0.20
Jun.	0.20	Dic.	0.20

**Definir un valor común**

Valor común: 0.20

Albedo por defecto = 0.2

**Definir**

**Valores comunes del albedo**

Zona urbana	0.14 - 0.22
Hierba	0.15 - 0.25
Hierba fresca	0.26
Nieve fresca	0.82
Nieve húmeda	0.55 - 0.75
Asfalto seco	0.09 - 0.15
Asfalto húmedo	0.18
Concreto	0.25 - 0.35
Tejas rojas	0.33
Aluminio	0.85
Acero galvanizado reciente	0.35
Acero galvanizado oxidado	0.08

**Site-dependent Design parameters**

**Reference temperatures for array design by respect to the inverter input voltages**

Lower temperature for VmaxAbs limit: -10 °C  Default

Winter operating temperature for VmppMax design: 20 °C

Usual operating temperature under 1000 W/m: 50 °C

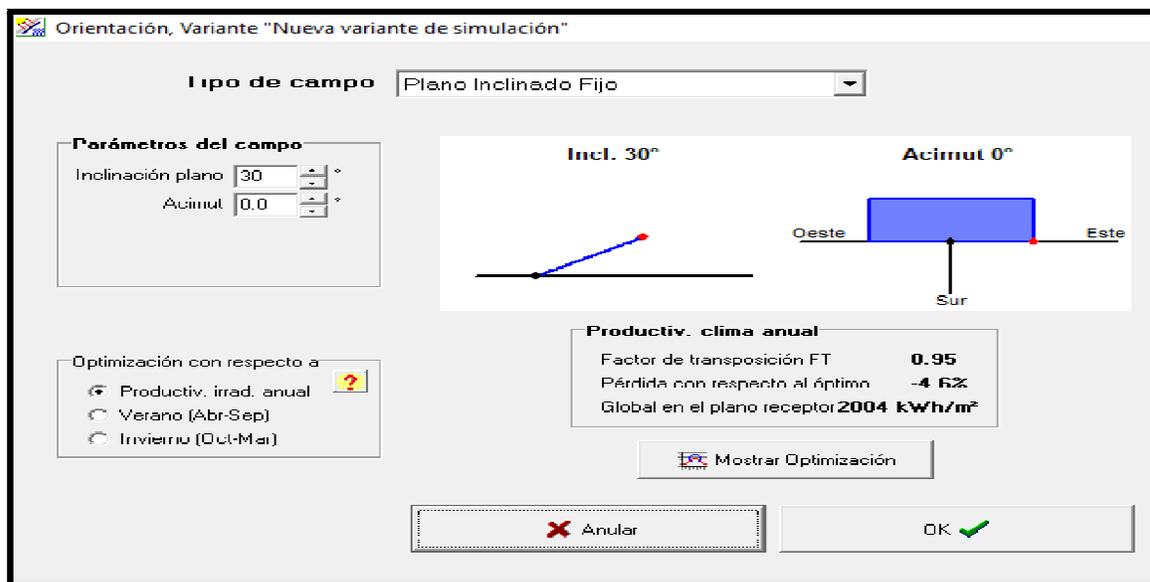
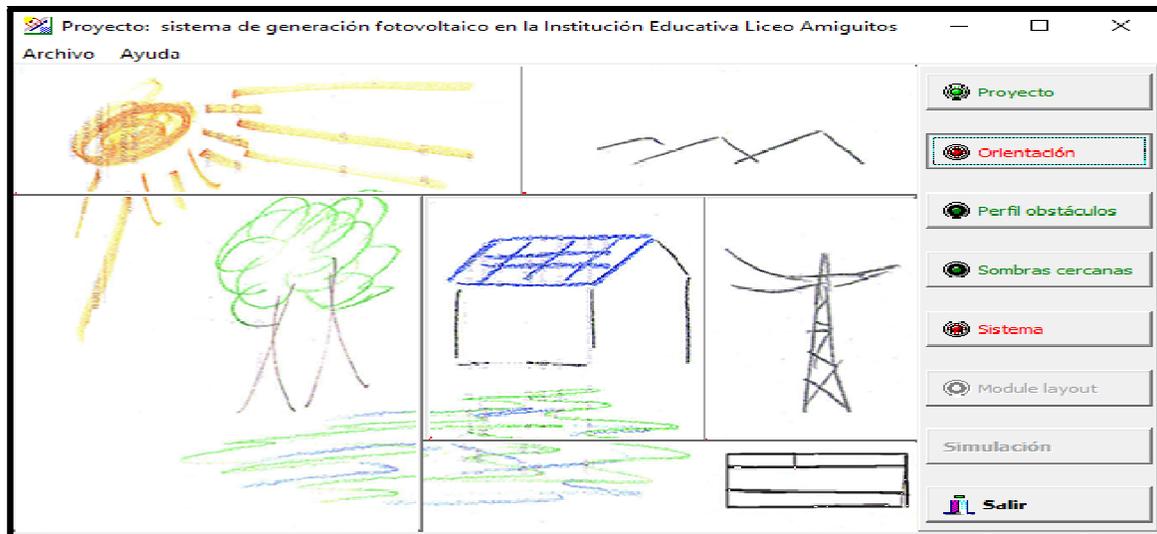
Summer operating temperature for VmppMin design: 60 °C

**Retorno** **Anular** **OK**

**Fuente:** Autor

Se observa en esta imagen todos los parámetros en la parte derecha de la pantalla aparece una serie de valores típicos del coeficiente de albedo. En sí el coeficiente de albedo no tiene una gran incidencia sobre la radiación global recibida, a excepción de planos verticales. Le da "ok" y salvar después retorno para regresar el cálculo. Se elige el grado que se desea: y pulsar "ok" (Ver Figura 21).

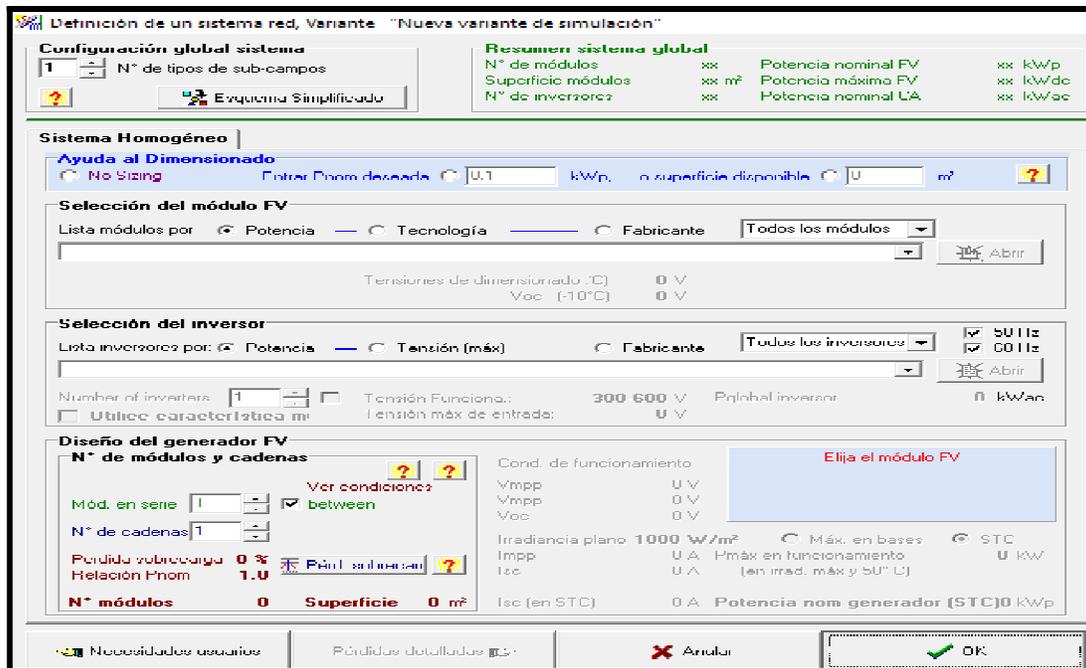
**Figura 22. Variante orientación**



Fuente: Autor

En la siguiente ventana se pulsa el botón "orientación" y se visualiza la orientación variante de simulación. La orientación es que los ángulos de inclinación del panel se recomienda que en invierno se ponga 20° grados para verano y en invierno agregarle 5° grados más y presionar "ok".

**Figura 23.**Configuración global del sistema



**Fuente:** Autor

En la figura 23 se visualiza como solventar una demanda Luego ir a sistema y se llenan los módulos en series y número de cadenas y potencias. Escoger el tipo de panel y seleccionar el inversor dependiendo de lo que hay que solventar una vez terminado observar cuantos paneles se van a agregar y pulsar “ok”. Y Después simulación y de nuevo “ok” y se mostrara todo el informe y se pulsa el botón para ver el informe.

- **Informe derivado del software PVSYS**

De acuerdo al procedimiento realizado se originó el siguiente informe de todos los datos para el colegio liceo amiguitos de los parámetros y características requeridas en los equipos para la instalación de un sistema fotovoltaico que permite suplir la carga eléctrica determinada para el colegio.

**Figura 24. Parámetros de la simulación**

PVSYST V5.74			05/04/20	Página 1/4
<b>SISTEMA FOTOVOLTAICO BARRANCABERMEJA, SANTANDER</b> Potencia 3 HP				
Sistema Aislado: Parámetros de la simulación				
<b>Proyecto :</b>	<b>SISTEMA DE GENERACIÓN INSTITUCION LICEO AMIGITOS</b>			
<b>Lugar geográfico</b>	<b>Barrancabermeja</b>	<b>País</b>		
	<b>Colombia</b>	<b>Ubicación</b>	Latitud 7.06528	
	Longitud	-73.85472.		
Hora definido como	Hora Legal	Huso hor. UT-5	Altitud 76 m	
	Albedo	0.20		
<b>Datos climatológicos :</b>	Barrancabermeja Síntesis datos por hora			
<b>Variante de simulación: SISTEMA FTV BARRANCABERMEJA, SANTANDER</b>				
	Fecha de simulación	05/04/20 18h42		
<b>Parámetros de la simulación</b>				
<b>Orientación Plano Receptor</b>	Inclinación	15°	Acimut	0°
<b>Características generador FV</b>				
<b>Módulo FV</b>	Si-poly	Modelo	<b>AS_6P_330</b>	
		Fabricante	Amerisolar	
Número de módulos FV		En serie	3 módulos	
N° total de módulos FV		N° módulos	En paralelo	6 cadenas
Potencia global generador		Nominal (STC)	Pnom unitaria	330 Wp
Caract. funcionamiento del generador (50°C)		V mpp	En cond. funciona.	5.69 kWp (50°C)
Superficie total		Superficie módulos	1 mpp	55 A
			Superficie célula	30.8 m²
<b>Factores de pérdida Generador FV</b>				
Factor de pérdidas térmicas	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (viento)	0.0 W/m²K / m/s
=> Temp. Opera. Nom. Cél. (G=800 W/m², Tamb=20°C, Viento=1m/s)			TONC	56 °C
Pérdida Óhmica en el Cableado	Res. global generador	0.000 mOhm	Fracción de Pérdidas	0.0 % en STC
Pérdida Calidad Módulo			Fracción de Pérdidas	0.0 %
Pérdidas Mismatch Módulos			Fracción de Pérdidas	0.0 % en MPP
Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Parámetro bo	0.01
<b>Parámetro del Sistema</b>				
<b>Batería</b>	Tipo de sistema	<b>Sistema Aislado</b>		
	Modelo	<b>GELA_250</b>		
	Fabricante	GELA		
Características del banco de baterías	Tensión	48 V	Capacidad Nominal	1000 Ah
	N° de unidades	4 en serie x 4 en paralelo		
	Temperatura	Fijo (20°C)		
<b>Regulador</b>	Modelo	Generic Default with MPPT converter		
	Tecnología	MPPT converter	Coef. temp.	-5.0 mV/°C/elem.
Convertidor	Eficiencias Máx. y EURO	96.0/94.0 %		
Umbral de Regulación Baterías	Carga	54.0/52.3 V	Descarga	47.0/50.4 V
	Comando de Generador Auxiliar	47.3/51.6 V		
<b>Necesidades de los usuarios :</b>	Cons. domésticos diarios	Constante durante el año		
	media	21.9 kWh/Día		
Traducción sin garantía, solo el texto inglés está garantizado.				

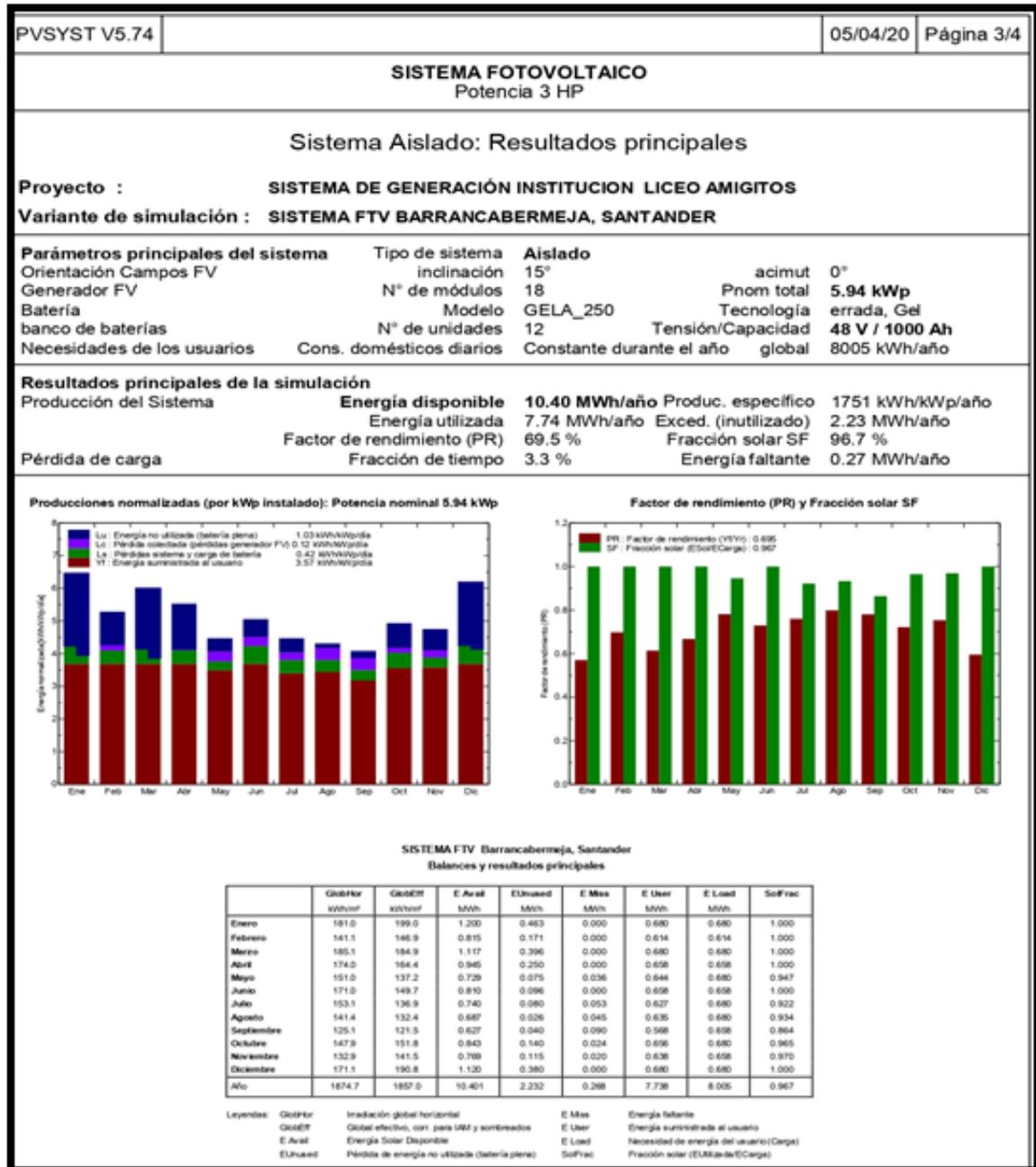
Fuente: Autor

**Figura 25. Necesidades detalladas del usuario**

PVSYST V5.74		05/04/20	Página 2/4	
<b>SISTEMA FOTOVOLTAICO BARRANCABERMEJA, SANTANDER</b> Potencia 3 HP				
Sistema Aislado: Necesidades detalladas del usuario				
<b>Proyecto :</b>		<b>SISTEMA DE GENERACIÓN INSTITUCION LICEO AMIGITOS</b>		
<b>Variante de simulación :</b>		<b>SISTEMA FTV BARRANCABERMEJA, SANTANDER</b>		
<b>Parámetros principales del sistema</b>	<b>Tipo de sistema</b>	<b>Aislado</b>		
Orientación Campos FV	inclinación	15°	acimut 0°	
Generador FV	N° de módulos	18	Prom total <b>5.94 kWp</b>	
Batería	Modelo	GELA_250	Tecnología errada, Gel	
banco de baterías	N° de unidades	12	Tensión/Capacidad <b>48 V / 1000 Ah</b>	
Necesidades de los usuarios	Cons. domésticos diarios	Constante durante el año	global <b>8005 kWh/año</b>	
<b>Cons. domésticos diarios, Constante durante el año, media = 21.9 kWh/día</b>				
<b>Valores anuales</b>				
	Número	Potencia	Utilización	Energía
Otras utilizaciones	1	2238 W total	10 h/día	21932 Wh/día
Energía total diaria				21932 Wh/día

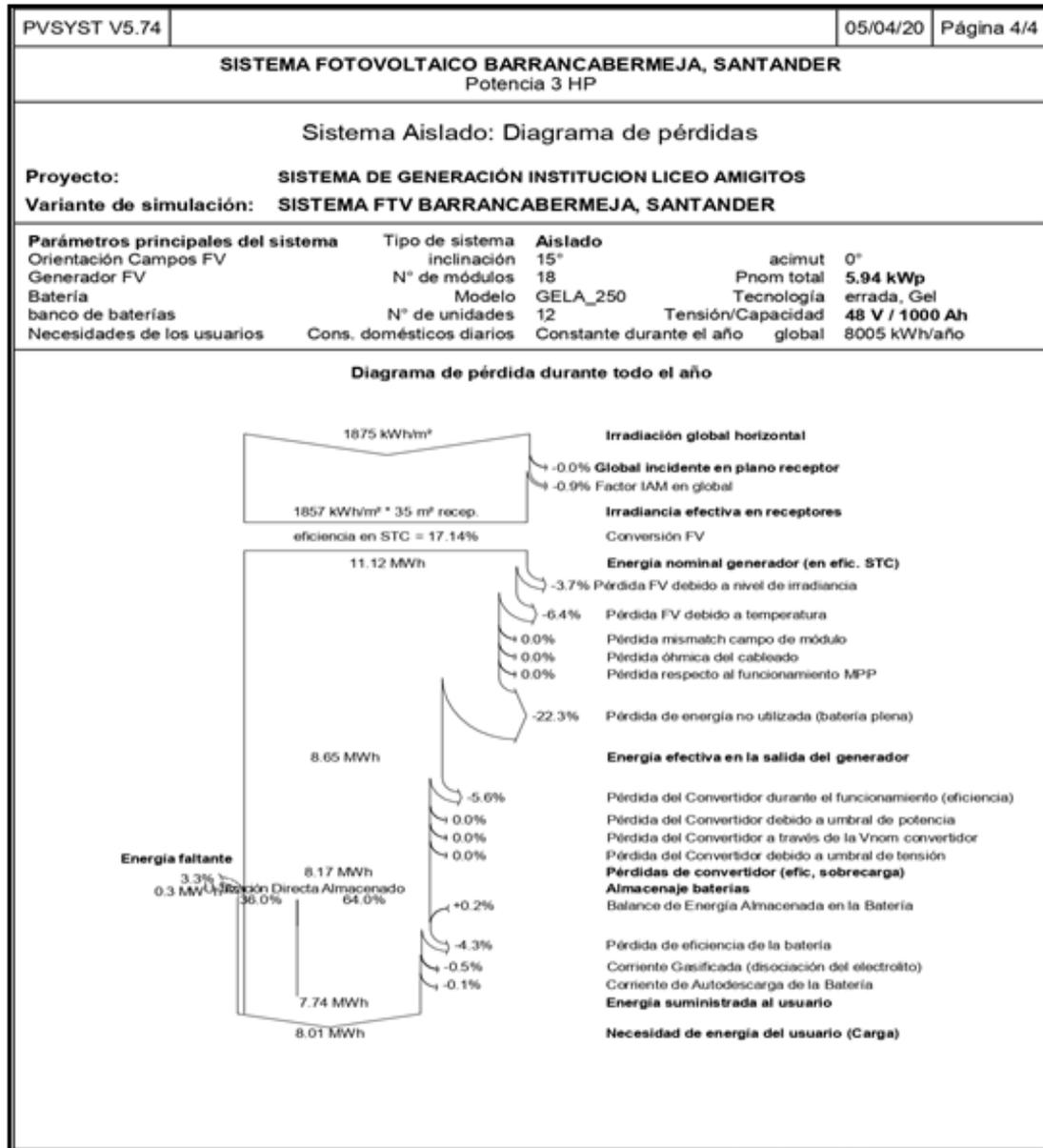
**Fuente:** Autor

Figura 26. Resultados principales



Fuente: Autor

**Figura 27.**Diagrama de pérdidas



Fuente: Autor

Mediante un análisis de carga realizado en la institución educativa liceo amiguitos, se detectó un consumo total de 31.655 KW, del cual si se instalara una red de paneles solares a esta institución se generaría un costo económico bastante grande, por lo que se creó un resumen de los dispositivos eléctricos que se

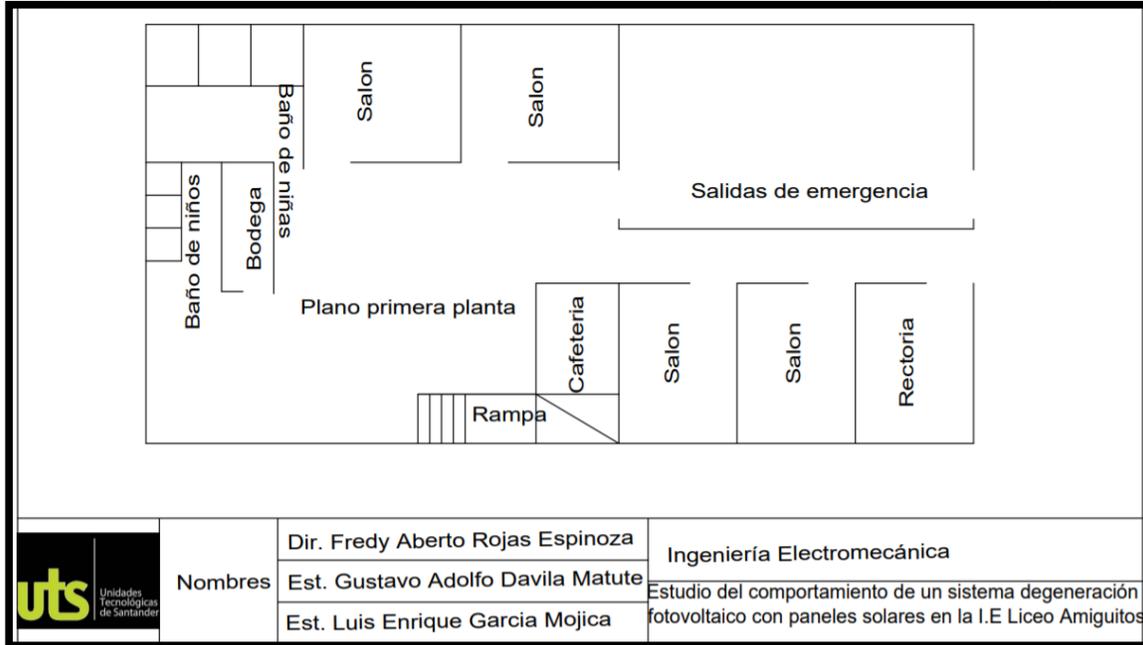
encuentran actualmente en la institución y se llevó a una reducción de 3 Hp que equivalen a 2235 W. Después de haber determinados los equipos se procedió a realizar una simulación a la cual permitió mediante un informe de cuantos paneles solares y baterías se necesitan para poder alcanzar los 2235 W que se necesitaran para estos equipos seleccionados.

En el informe da como resultado que, para poder obtener los 2235 W, se necesitaran 18 paneles fotovoltaicos solares del cual ocuparían un espacio de 35.9 metros cuadrados para realizar dicha instalación de los paneles. También se necesitarían un total de 12 baterías para que tengan una Tensión/Capacidad de 48 V/1000 Ah y una inclinación de los paneles de 15°.

#### **4.3. DISEÑO ARQUITECTÓNICO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA**

En primer lugar, a partir de la Figura número 28 se observa la primera planta la cual se compone de cuatro salones, rectoría, salida de emergencia, cafetería, bodega, baño para niños y niñas.

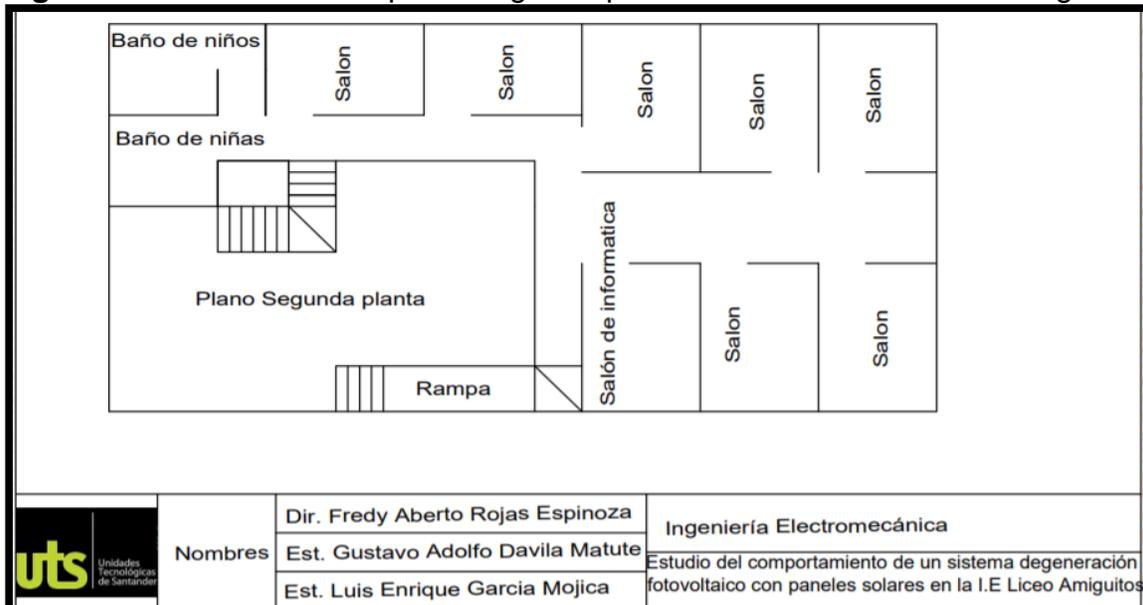
**Figura 28.** Distribución del planoprimeraplanta de la institución liceo amiguitos



fuelle: Autor

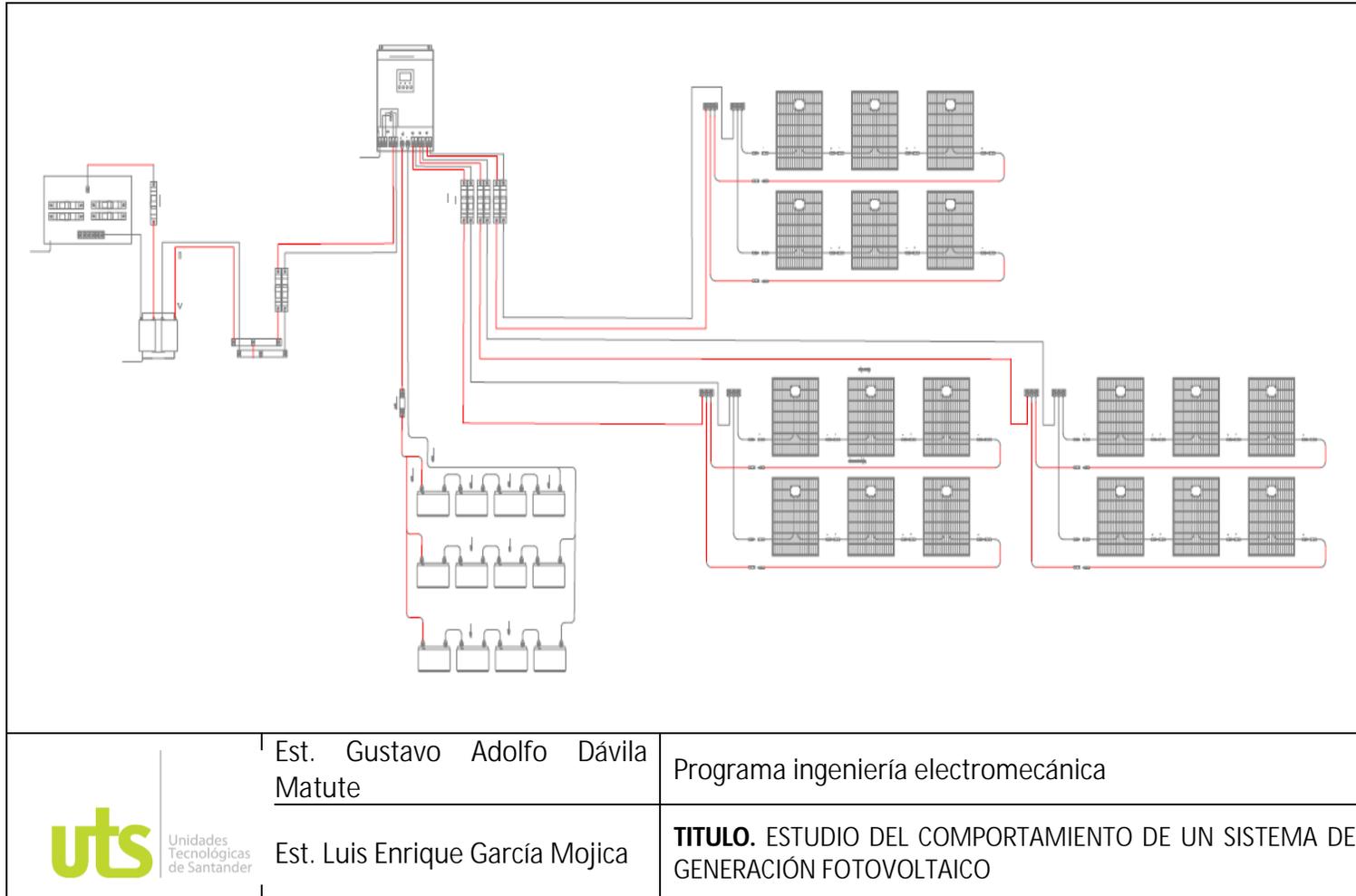
Asimismo, la institución cuenta con una rampa que permite acceder a la segunda planta (Figura 29) la cual se compone de ocho salones, baños para niños y niñas.

**Figura 29.** Distribución del plano segunda planta de la institución liceo amiguitos



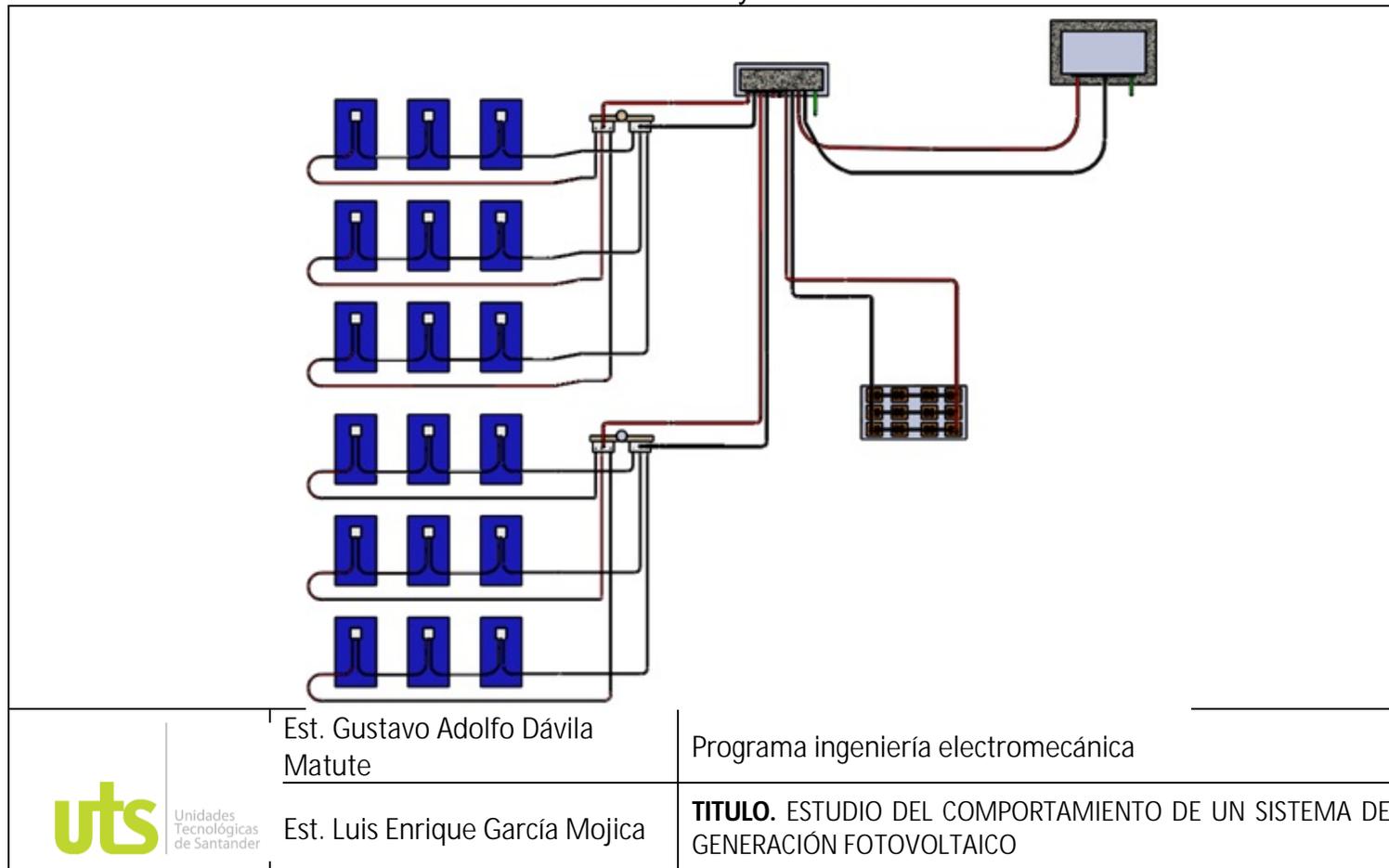
fuelle: Autor

**Tabla 30.** Distribución eléctrica sistema fotovoltaico



Fuente: Autor

**Tabla 31. Diseño y distribución**



Fuente: Autor

En segunda instancia, la Tabla 30 (Distribución eléctrica sistema fotovoltaico) y 31 (Diseño y distribución sistema fotovoltaico) permite evidenciar los planos presentados con relación a las conexiones del sistema solar para la generación de energía con potencia equivalente a  $3 \text{ Hp} = 2235 \text{ W}$ . El sistema propuesto se compone de los siguientes equipos:

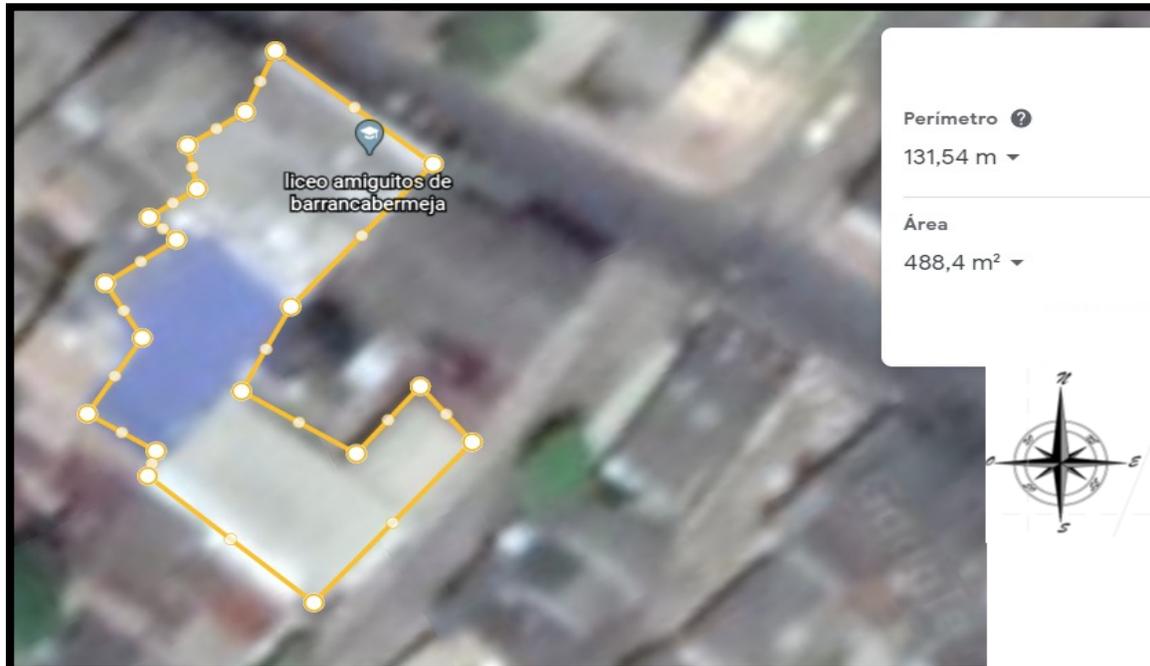
- 18 paneles solares.
- 12 acumuladores de energía (Baterías), los cuales se encuentran conectados en serie para la generación y posterior acumulación de la energía cuando no haya luz solar.
- 1 inversor de energía encargado de convertir la corriente continua que proviene del sistema en corriente alterna permitiendo así, la alimentación directa a los usuarios de la institución educativa liceo amiguitos.

#### 4.3.1 Ubicación de paneles solares

**Coordenadas de la Institución Liceo Amiguitos:**  $7^{\circ}03'43''\text{N } 73^{\circ}50'12''\text{ W}$

La instalación del sistema fotovoltaico abarca el uso de 18 módulos cada uno con un área de  $2\text{m}^2$ . Por lo que el sistema a instalar demanda de un espacio en el centro educativo equivalente a  $36 \text{ m}^2$ , distribuido en la parte superior de los salones de la segunda planta de la institución. Teniendo en cuenta la dimensión requerida se establece la viabilidad topográfica ya que actualmente la institución cuenta con un área de  $488,4 \text{ m}^2$  como se evidencia en la Figura 30. De igual forma, el contar con los planos de la institución permiten identificar el área efectiva para la implementación del sistema en los techados del centro educativo.

**Figura 30. Análisis topográfico**



Fuente: Autor

#### 4.3.2 Instalación del regulador

Con la tecnología MPPT incorporada y el control SDP, SCC-MPPT convertirá el mejor voltaje para cargar la batería según la variación de temperatura. En comparación con el controlador de carga solar tradicional (PWM), permite que los paneles solares operen a su voltaje de operación, proporcionando una mayor eficiencia hasta en un 98% con una menor pérdida de potencia.

Integrando GELA SCC-MPPT con inversor, panel solar y bancos de baterías externas, se convertirá en un sistema de energía solar independiente para generarenenergíaeléctricaimpiaparasuselectrodomésticos.GELASCC–MPPT convertiráalaenergíasolarparacargarbateríasexternasy luego proporcionará energía a los electrodomésticos a través del inversos que se incluya en el sistema. La ficha técnica del sistema se logra evidenciar en el Anexo 8.

### 4.3.3 Baterías de almacenamiento

El anexo 5 evidencia la ficha técnica de la batería de almacenamiento. Se seleccionó el modelo OT25-12 L con una capacidad hasta de 250 Ah. La Batería es instalada en un lugar ventilado, porque todas las baterías a base de plomo siempre producen hidrógeno, un gas explosivo. Por lo tanto, se sugiere la instalación en un cuarto ubicado en el primer piso, por la puerta de ingreso y salida de estudiantes. El sitio consta de un espacio aislado y con una alta disponibilidad de aire natural para lograr la refrigeración necesaria del sistema a instalar.

**Figura 31.** Batería de almacenamiento



**Fuente:** INDUSTRIA SOLAR TERMOELÉCTRICA. (Sitio web). España: Batería de almacenamiento. (Consultado: 19 febrero 2017). Disponible en: <http://www.prosolar.com/>

Mediante el regulador se controlan los procesos de carga y descarga de la batería. Las principales tareas que realiza son:

- Evita sobrecargas en la batería es decir una vez cargada la batería (EDC = 100%) no continúe cargando la batería.
- Evita la generación de gases y la disminución del líquido en el interior de la batería; en consecuencia aumenta la vida de la batería (Sainz, 2005).

- Impide el sobre descarga de la batería en los periodos de luz solar insuficiente: cuando una vez la batería esté descargada no continúe

#### 4.3.4. Inversor

El módulo fotovoltaico permite transformar la luz solar en energía eléctrica este proceso se realiza a través de la capacidad que tiene la celda solar de convertir fotones en electrones los cuales son capturados para generar energía eléctrica, para estos casos se debe tener en cuenta que la energía generada por los módulos debe ser transformada **por un inversor** para suministrar electricidad.

**Figura 32.** GEMKS Inversor Duo/Tri Off - Grid



**Fuente:** INDUSTRIA SOLAR TERMOELÉCTRICA. (Sitio web). España: Sistema inversor. (Consultado: 19 febrero 2017). Disponible en: <http://www.prosolar.com/>

En la Figura 31, se logra evidenciar un inversor, encargado de convertir la corriente directa a corriente alterna y de este modo poder utilizar la energía para el funcionamiento del sistema. Un inversor tiene un funcionamiento muy particular este recibe una corriente de entra de forma directa a un transformador que suaviza su onda convirtiéndola en una onda senoidal la cual se conoce desde este punto como corriente de salida corriente alterna.

Se plantea el uso de un inversor (GEMKS Inversor Duo/Tri Off - Grid)de onda purasenoidal. Encargado de controlar la carga solar. Con cargador de CA

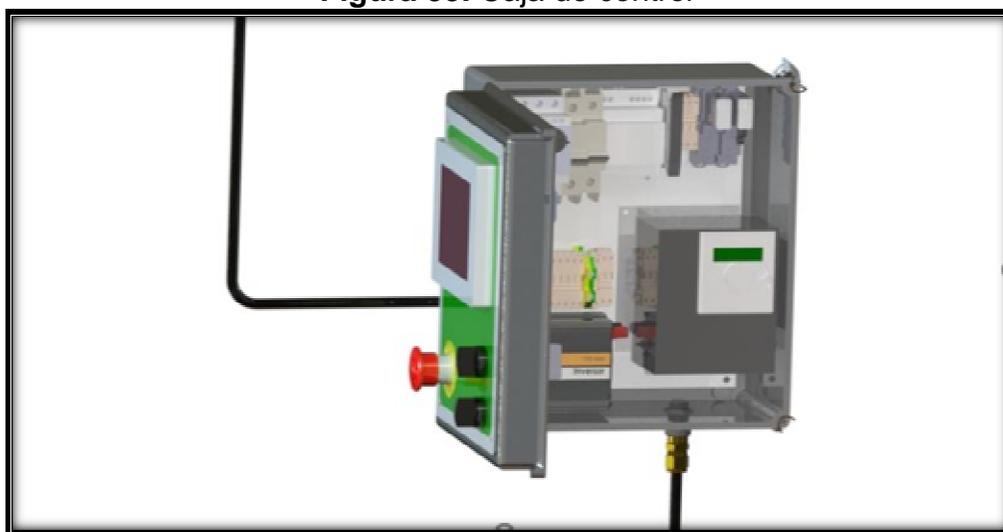
mejorado a 60Amp y un rango de voltaje de entrada seleccionable para electrodomésticos y computadoras personales. Asimismo, cuenta con una corriente de carga seleccionable de alta potencia con prioridad configurable de entrada de AC/Solar a través de la configuración de LCD.

El equipo cuenta con una protección de sobrecarga y cortocircuito. El diseño de cargador de batería inteligente permite optimizar el rendimiento de la batería. Cuenta con arranque en frío y opción SNMP Card para 3KDUO. El sistema admite una entrada de fuente auxiliar de energía (Red o planta) con función de respaldo.

#### 4.3.5 Tablero de distribución

Consta de un sistema de protecciones acorde al RETIE para los paneles e inversor. El cual será instalado en la primera planta, junto al tablero de distribución eléctrica ubicado actualmente en la institución. Este abarca el uso de una caja de combinación de los arreglos de los paneles con protecciones en DC y AC cable solar certificado con conectores MC4 y demás elementos de conexión del campo solar hasta los inversores, y de los inversores al centro de distribución.

**Figura 33.** Caja de control



**Fuente:** Autor

En la Figura 32, se observa una caja de control encargada de controlar los estados de funcionamiento como inicio, paros de emergencia y apagados para finalizar el trabajo, determinada caja de control cuenta con un inversor que eleva la tensión suministrada y del mismo modo la energización y desconexión del circuito a través de elementos de accionamiento tales como pulsadores e interruptores. Asimismo, permite identificar las etapas del inversor y estados en la energización eléctrica.

**Tabla 32.** Características de componentes y caja de control

ÍTEM	CARACTERÍSTICAS	PRECIO
Caja metálica P-33-5-19	50x50x20cm	\$68.000
Switch star stop	220V 10A	\$64.000
Voltiampermetro digital	330V 100A	\$48.000
Interruptor termomagnético bipolar	Protección de 10A	\$27.000
Contactador	2 polos 220V 30A	\$43.900

**Fuente:** VÍA INDUSTRIAL. [sitio web]. Bogotá: VI. [Consulta: 3 diciembre 2017]. Disponible en: <http://www.viaindustrial.com/>

La caja con dimensiones de 50x50x20 cm está compuesta en su interior por un Switch On-off Start Stop con capacidad para 240V 10A, adicionalmente un Voltiampermetro digital con medición máxima de 300V 100A. Posee un interruptor termomagnético bipolar para riel con protección de 10A. En la Tabla 32, se detalla minuciosamente cada componente del sistema, con sus características más representativas y precios correspondientes. También incluye el inversor encargado de convertir la energía de los paneles solares en corriente alterna para la alimentación del sistema.

#### **4.4 INFORME TÉCNICO/EJECUTIVO CON LOS RESULTADOS DE LA CONSULTORÍA CON LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA LICEO AMIGUITOS.**

Se establecen mediciones en cuanto a sistemas encargados de apoyar o estimular la participación de empresas o población que desee establecer procesos de investigación, implementando bases tecnológicas que tiene que ver con energía solar. Se analizan variables de inversión en cuanto a acuerdos brindados por el Estado de Gobierno de Colombia.

Se brinda un aporte en consecuencia a los principales indicadores de inversión a nivel nacional, mediante una integración esquemática de las zonas no interconectadas. Se identifican la aplicación en todos los agentes públicos y privados que intervengan en definiciones políticas sectoriales e cada sector del país, donde haya una viabilidad, para el desarrollo y aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía renovable para el país para su posterior inversión.

##### **Sistema de análisis en energías renovables**

La implementación de energías renovables, será determinante para la mitigación de los efectos del cambio climático en el país, así lo hizo saber el Viceministro de Ambiente, Carlos Alberto Botero López, durante el lanzamiento solar Decathlon 2018 (Minambiente, 2017). El funcionario destacó la importancia de articular las áreas metropolitanas con el plan nacional de desarrollo y con las políticas públicas de ambiente sostenible, movilidad pública, paz y posconflicto, para trazar una ruta que contribuya a tener ciudades inteligentes y sostenibles.

También mencionó la experiencia del sistema de monitoreo y evaluación de las políticas de incentivos para la eficiencia energética y energías renovables. Un proyecto que ya culminó y arrojó como resultado insumos para la parte normativa y un estudio que propone otros incentivos, además de los tributarios, para las

personas y empresas que hagan cambios de tecnologías y reconversiones tecnológicas en materia energética en diferentes sectores, como por ejemplo el transporte o la industria.

La implementación de energías renovables le permitirá al país contar con las tecnologías y capacidades necesarias para cumplir con los compromisos adquiridos en el acuerdo de París (Minambiente, 2017), los cuales incluyen: reducir los gases de efecto invernadero (GEI), adaptarse al cambio climático y cumplir tareas específicas sobre medios de implementación que fortalezcan el desarrollo y la transferencia de tecnología y de este modo permitir el intercambio de información.

### **Legislación integral de energía renovable (Ley 1715-2014)**

La presente ley tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos (Ley-1715, 2014).

Energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético. Con los mismos propósitos se busca promover la gestión eficiente de la energía, que comprende tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda.

Se crean mecanismos orientadas a políticas y definir los instrumentos tributarios, arancelarios, contables y de participación en el mercado energético colombiano que garanticen el cumplimiento de los compromisos señalados. Se incentiva la penetración de las fuentes no convencionales de energía, “principalmente aquellas de carácter renovable en el sistema energético colombiano. La eficiencia

energética y la respuesta de la demanda en todos los sectores y actividades, con criterios de sostenibilidad medioambiental, social y económico”(Ley 1715, 2014, pág. 3).

Se estimula la inversión, la investigación y el desarrollo para la producción y utilización de energía a partir de fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, mediante el establecimiento de incentivos tributarios, arancelarios o contables y demás mecanismos que estimulen desarrollo de tales fuentes en Colombia(Ley 1715, 2014). Se establecen criterios y principios que complementen el marco jurídico, que otorgue una estabilidad al desarrollo sostenible de las fuentes no convencionales de energía.

#### **4.4.1 Evaluación de proyectos de energía solar**

El modelo solar desarrollado permite analizar tres categorías distintas de instalaciones: residencial, comercial y a gran escala (Mancera, 2015). Las categorías se distinguen por la escala de los proyectos y los costos, en tanto que los proyectos de energía solar a gran escala incluyen el costo de interconexión considerando líneas de alto voltaje.

Para efectos de los análisis que conducen a los resultados presentados, la generación eléctrica bruta anual, se determina utilizando irradiación solar promedio de 4,5 kWh/m<sup>2</sup>/d y capacidades instaladas de 3 kWp, 500 kWp y 5MWp para las tres escalas consideradas, y correcciones por pérdidas y otros con un factor de rendimiento de 0,84.

Actualmente, la tecnología solar no es competitiva en Colombia, pues los costos de estas instalaciones son aún más altos comparados con la mayoría de países que tienen una industria solar desarrollada, como es el caso de los países europeos. Los costos de instalación de energía solar son similares a los de

Estados Unidos de América. De acuerdo con las escalas consideradas, los costos utilizados en los análisis para este caso corresponden a los promedios, los cuales fueron obtenidos a partir de cotizaciones nacionales.

**Tabla 33.** Costo de instalación de energía solar en Colombia

Tamaño	Mínimo (USD/W instalado)	Promedio(USD/W instalado)	Máximo(USD/W instalado)	EE.UU. (USD/W instalado, Berkeley, 2014)
Residencial	2,6	4,8	7,2	4,7
Comercial	2,7	3,4	4,8	3,9
Gran escala	2,7	3,2	3,8	3,0

**Fuente:** MANCERA, Camilo. Integración de las energías no convencionales en Colombia: UPME, 2015. 146p.

En la tabla 32, se describe el costo nivelado de energía calculado para las tres categorías de instalación en Colombia, sin incentivos. Como comparación, se presentan también los valores globales de la base de datos del Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL) de Estados Unidos. Como se puede observar, los niveles de costos en Colombia son en general más altos que los valores globales, pero se encuentran dentro de rangos comparables.

### **Empresas que aportan o subsidian proyectos de generación de energías a partir de recursos renovables**

Para incentivar el uso de energías renovables en Colombia, el gobierno nacional a través de entidades del Estado, cuenta con líneas crediticias que brindan aportes desde proyectos residenciales hasta empresariales en las cuales se hace mención de estas empresas que son:

- **Empresa Findeter**

Findeter (2016) señala que la financiera de desarrollo territorial S.A., FINDETER, creada mediante la Ley 57 de 1989, es una sociedad pública, anónima, del orden nacional, constituida con la participación exclusiva de entidades públicas de conformidad con lo dispuesto por los artículos 38 y 68 de la Ley 489 de 1998, dotada de personería jurídica, quien dispone de un presupuesto de 100 mil millones para el patrocinio de dichos proyectos. FINDETER es una entidad financiera de redescuento, donde su capital es público y se integra con participación de la nación en un 92.53%, los departamentos con el 7.47% (no son accionistas Cauca y Arauca), Bolívar con el 0.24%, los demás departamentos participan con el 0.25%.

- **Empresa Bancoldex**

Es el banco de desarrollo para el crecimiento empresarial en Colombia, apalancando compañías de todos los tamaños, todos los sectores y todas las regiones de Colombia indistintamente de su tiempo de existencia, con servicios de conocimiento e instrumentos financieros (Bancoldex, 2017). A las empresas colombianas de todos los tamaños (micro, pequeñas, medianas y grandes), ya sean de la cadena exportadora o del mercado nacional. Bancóldex también atiende a los compradores de productos colombianos en el exterior; las entidades públicas o privadas -nacionales o internacionales- y establece alianzas con entes territoriales de Colombia y organismos multilaterales.

- **Empresa Finagro**

El fondo para el financiamiento del sector agropecuario (Finagro), es una entidad que promueve el desarrollo del sector rural colombiano, con instrumentos de financiamiento y desarrollo rural, que estimulan la inversión (Finagro, 2017). Es una sociedad de economía mixta del orden nacional, organizada como

establecimiento de crédito, con régimen especial, vinculada al ministerio de agricultura y desarrollo rural y vigilado por la superintendencia financiera de Colombia. Actúa como entidad de segundo piso, es decir, otorga recursos en condiciones de fomento a las entidades financieras, para que éstas a su vez otorguen créditos a proyectos productivos.

**Figura 34.** Resumen de análisis de rentabilidad de los proyectos renovables en Colombia.

Tecnología	¿Rentable sin incentivos?	¿Rentable con incentivos?	¿Rentable con externalidades?	Sensibilidades
Eólica	x	~	✓	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad del viento</li> <li>• Costo de conexión</li> </ul>
Solar residencial	x	~	✓	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precio de compra de energía</li> </ul>
Solar gran escala	x	x	✓	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo de conexión</li> <li>• Precio de energía</li> </ul>
Geotermal	x	x	✓	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exploración y confirmación</li> <li>• Costo de conexión</li> </ul>
Biomasa	x	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Producción de calor</li> <li>• Costo de bagazo</li> </ul>
Biogás	x	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Producción de calor</li> <li>• Costo de tratamiento de POME</li> <li>• Costo de instalación</li> </ul>

**Fuente:** ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE LA INDUSTRIA SOLAR TERMOELÉCTRICA. (Sitio web). España: Protermo solar. (Consultado: 19 febrero 2017). Disponible en: <http://www.prosolar.com/honorificos/el-sector-en-cifras>.

Se determinó con la presente figura 31, donde se observa en cuanto a las tecnologías analizadas para alcanzar su rentabilidad necesita de los incentivos patrimoniales del estado, que están plasmados en el acuerdo de ley 1715 (2014). Dado el caso particular de la energía eólica, lo incentivos son los adecuados por su costo bajo de inversión y estabilidad en su montaje estructural. Sin embargo lo suficientemente favorable en el mercado nacional (UPME, 2014). De igual forma en la implementación de la energía solar residencial, es considerada como una fuente atractiva para la inversión asequible en la población media.

### Propuesta técnico-ejecutiva

A continuación, se describe una propuesta Técnico – Ejecutiva para el proyecto

de Energía Solar fotovoltaica para la institución educativa liceo amiguitos, diseñada con el fin de ofrecer servicios de aprovechamiento energético. Así, se procedió a calcular y diseñar un sistema Fotovoltaico para brindar la mejor solución.

Adicionalmente, se pone bajo su conocimiento los beneficios económico y tributarios que ofrece la ley 1715 de 2014, los cuales conllevan a la gestión de trámites necesarios para su solicitud. En búsqueda de satisfacción, la propuesta incluye el acompañamiento integral en conjunto con el inversionista/propietario contratante, gestionar y hacer el mejor esfuerzo para la obtención de dichos beneficios.

Para ello el inversionista/propietario deberá suministrar toda la información jurídica y financiera necesaria para poder presentar el proyecto ante las entidades pertinentes (UPME, ANLA, DIAN). Cabe descartar por ser este tipo de procesos un trámite que debe hacerse en conjunto con el beneficiario/inversionista del proyecto, no se garantiza la obtención de uno o todos los beneficios de la ley 1715 de 2014.

Principales beneficios:

- Deducción especial en la determinación del impuesto sobre la renta de hasta el 50% hasta por 5 años.
- Exención de gravámenes arancelarios.
- Exclusión de bienes y servicios del IVA.

Los sistemas solares fotovoltaicos transforman la energía proveniente del Sol en energía eléctrica haciéndola aprovechable, en el caso colombiano durante todo el año. Su principal ventaja es que es un sistema económico y con una vida útil que supera los 25 años, además, su mantenimiento es sencillo y rápido, esto hace de

la energía solar un excelente sistema de respaldo para una vivienda o empresa.

Estos sistemas se dividen en tres tipos, conectados a la red (On Grid), desconectados de la red (Off Grid) y los MIXTOS que son una composición de los dos anteriores a continuación se explica.

- **ON - GRID (conectado a la red, de inyección a red, Grid - Tie)**

Típicamente consisten en un arreglo de paneles y un inversor Grid-Tie que es capaz de “inyectar” la energía generada por los paneles a la red y a la carga del domicilio, cuenta también con un sistema de monitoreo en tiempo real que le permite conocer los detalles de su instalación.

La energía generada se consume primeramente en las cargas que se encuentren en funcionamiento, y en caso de haber exceso de generación, ésta se inyecta a la red provocando que el medidor genere un consumo negativo, o en cuestión de montaje de un contador bidireccional la suma a la energía entregada a la red, que posteriormente deberá ser devuelta monetariamente o balanceada con la energía consumida en los horarios donde no hay sol por la electrificadora responsable del abastecimiento eléctrico de la vivienda (Peña, 2003).

- **OFF – GRID (aislado)**

Contando con el arreglo de paneles y el inversor, este sistema está diseñado para suplir la demanda de energía de una carga específica por un tiempo determinado y por esto cuenta con un sistema de baterías que brinda este soporte para consumo nocturno, la energía generada en los paneles abastece la vivienda en el día y el restante de energía es acumulado en las baterías para posteriormente ser entregado en horas sin sol (Bautista, 2015).

- **MIXTO**

Este sistema cuenta con las bondades de los dos sistemas anteriores y a su vez

cuenta con un mayor grado de confiabilidad y ahorro pues al contar con el banco de baterías puede suplir la demanda para la cual fue diseñado y a su vez generar excedentes entregados a la red que aportan para la reducción de la facturación eléctrica en caso de que se dé, también puede ser configurado para abastecer la carga a un porcentaje inferior al 100 % y el restante será tomado de la red eléctrica, este sistema garantiza que en caso que uno de los dos sistemas falle el otro entraría como respaldo (Alvarez, 2012).

#### **4.4.1 Análisis de la propuesta de generación fotovoltaica**

Conocedores de la importancia que representa para el medio ambiente el uso racional y eficiente de la energía y el aumento constante del costo de la energía eléctrica, se presenta el siguiente objetivo dentro de la propuesta:

##### **Objetivo de la propuesta**

Servicios y gestión de eficiencia energética con soluciones reales y verificables, cuyo objetivo es usar la energía para abastecer o reducir el consumo eléctrico.

##### **Dimensión del sistema fotovoltaico**

A continuación, se presenta la propuesta para la implementación de diferentes sistemas fotovoltaicos.

Los equipos a instalar son:

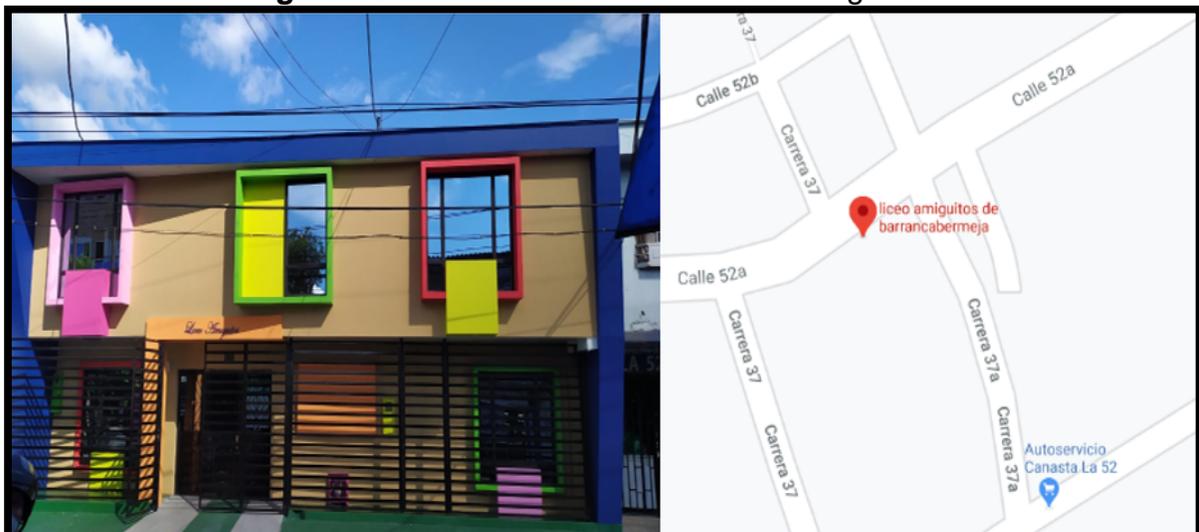
- Generadores fotovoltaicos policristalinos
- Inversor.
- Cable solar, conectores, accesorios, etc.

#### 4.4.2 Informe técnico

- **Análisis topográfico**

El lugar donde está ubicado el proyecto cuenta con una irradiación anual de 4.0 – 5.0 kWh/m<sup>2</sup>. La temperatura media anual es de 28.5° C y con una elevación sobre el nivel del mar de 76msnm. Estas características hacen de la tecnología fotovoltaica una excelente opción para el ahorro energético.

**Figura 35. Institución Educativa Liceo Amiguitos**



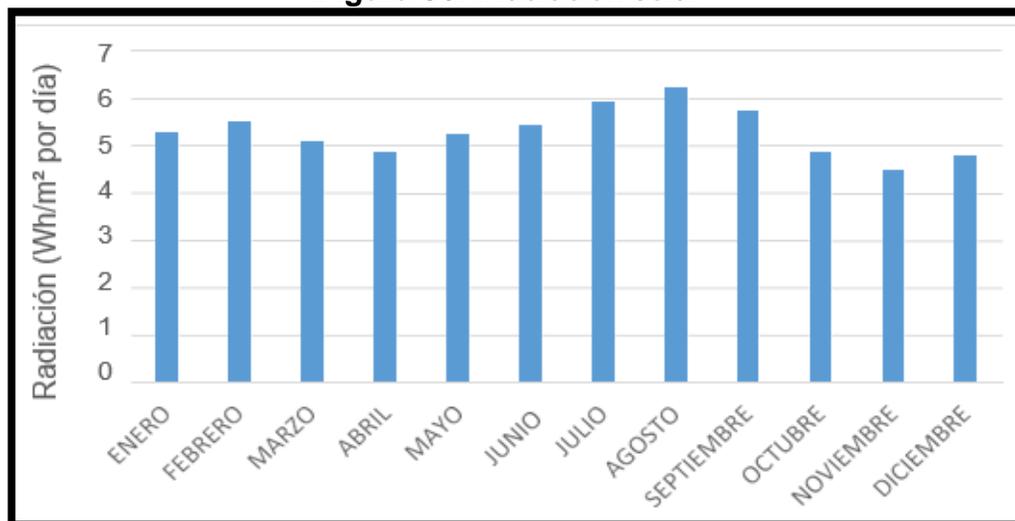
**Fuente:** Autor

El análisis topográfico abarca la identificación geográfica de la institución liceo amiguitos, la cual se encuentra localizada en Colombia, Barrancabermeja Santander específicamente en la dirección 37-66, Cl. 52a #37-42.

Se propuso la integración de tecnología policristalina. Esta es la tecnología que mejor ratio kWh/kWp ofrece entre todas las tecnologías y supondrá un aumento notable de la producción fotovoltaica. Esta integración se propone dadas las condiciones geográficas de la localización. Su latitud, cercana al Ecuador, hace que la radiación solar incida perpendicularmente sobre la cubierta. Es por ello que

integrar este tipo de sistema es una opción muy recomendable para este caso concreto.

**Figura 36. Irradiación solar**



#### 4.4.3 Descripción de la instalación

Mediante la instalación de un número apropiado de generadores fotovoltaicos conectados entre sí y éstos a su vez a un sistema de inversores, se capta la energía eléctrica originada en los módulos en corriente continua (DC) y la transforma en corriente alterna (AC).

A continuación, se describen los datos pertenecientes a la solución energética a implementar.

#### Opción seleccionada: SISTEMA ON-GRID

##### Caso De Estudio: Integración

En el domicilio en la cual se quiere implementar la instalación de energía solar fotovoltaica, se realizará una intervención con el fin de instalar un total de **22.3 KW/día = 2.79 KW/hora** correspondiente al uso de un área total de **36 m<sup>2</sup>**.

La instalación tendrá las siguientes características:

- Potencia pico instalada 22.3 KW/día
- Número de módulos fotovoltaicos 18 unidades
- Potencia pico del módulo fotovoltaico 340W
- Área del módulo PV 2m<sup>2</sup>
- Área intervenida 36m<sup>2</sup>

Se necesitará aproximadamente 4 m<sup>2</sup> para instalar el tablero de protecciones, el inversor y la batería, el espacio se definirá en el sitio de trabajo. El arreglo fotovoltaico estará integrado por un inversor trifásico ABB 10 TL.

Considerando los parámetros de instalación se caracteriza en la Tabla 33 los equipos y accesorios requeridos. La ficha técnica de cada elemento se evidencia a partir del anexo 1.

**Tabla 34.** Características del sistema fotovoltaico

ITEM	DESCRIPCIÓN		CANT	UNIDAD
1		Modulo Solar Fotovoltaico fabricado en silicio, poli cristalino, potencia 340 W/h, garantía de 10 años por manufactura y 25 años por desempeño. (Excento de IVA)	18	UNID
2		Inversor ABB - PVI 10 TL	1	UNID
3		Cableado y Protecciones del sistema fotovoltaico incluye (cableado de conexión AC, protecciones para los módulos fotovoltaicos, protecciones para conexión a la Red eléctrica, cofre de almacenamiento de los elementos de protección, y demás materiales eléctricos necesarios para la instalación del sistema eléctrico).	1	SISTM

**Fuente:** Elaboración propia

(Continuación)

4		Transformador de aislamiento puro reductor (440-220) V	1	UNID
5		Diseño, suministro e instalación de la estructura para el sistema de captación de energía fotovoltaica. (la estructura es para techo o placa disponible, consta de un sistema metálico diseñado a la medida y unas terminaciones superficiales en aluminio para la instalación de los paneles y la presentación de la misma,)	18	PANEL
6		Legalización del sistema solar Fotovoltaico al ente prestador del servicio de energía eléctrica, documentación necesaria para aceptación del sistema de energía solar.	1	DOCUMT
7		Ingeniería, programación del sistema, capacitación en el funcionamiento del mismo y puesta en marcha del sistema de energía solar	1	GLB

Fuente: Elaboración propia

• **Análisis de costos de equipos y materiales mediante APU (Análisis de Precios Unitarios)**

CAPITULO	1	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE SISTEMA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA		
ITEM	1,1	Unidad		Unidad
<b>1. Equipo y Herramienta</b>				
Descripción	Cantidad (a)	Tarifa día 1 equipo (b)	Rendimiento Unidad/día c	VR parcial (axb)/c
Herramientas menores	1	\$ 172.000	1,00	172.000
Equiposelectricos	1	\$ 120.000	0,20	600.000
			<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 772.000</b>

<b>2. Materiales</b>				
Descripción	Unidad	Cantidad (d)	VR unitario (e)	VR parcial (dxe)
Modulo Fotovoltaico de silicio policristalino modelo, de potencia 330 W/h, tolerancia positiva +/- 5w, garantía de 10 años por manufactura y 25 años por desempeño		18	\$ 745.000	\$ 13.410.000
Inversor GELA entrada PV 6000W- Onda Pura, Salida 5000 VA, Monofásico Bifilar, operaciones múltiples ON-GRID, OFF-GRID, MPPT 60A cargador solar.		1	\$ 7.334.492	\$ 7.334.492
CONTROLADOR SOLAR MPPT 60A - 12/24/48 VDC – MAX PV ARRAY 145V – 3000W		1	\$ 1.995.000	\$ 1.995.000
Batería de AGM en GEL 12 voltios 250 A/h		12	\$ 2.028.436	\$ 24.341.232
Sistema de protecciones para los paneles y para el inversor, contiene caja de combinación de los arreglos de los paneles protecciones en DC y AC cable solar certificado conectores MC4 y demás elementos de conexión del campo solar hasta los inversores, y de los inversores al centro de distribución, accesorios (incluye caja de distribución con sus respectivas protecciones acorde al retie para interconectar el arreglo de inversores.		1	\$ 7.696.141	\$ 7.696.141
Transformador 230 VAC/ 115 VAC 1 kVA		1	\$ 996.282	\$ 996.282
Diseño, suministro e instalación de la estructura para el sistema de captación de energía fotovoltaica. (la estructura cotizada consta de un sistema metálico diseñado a la medida y unas terminaciones superficiales en aluminio para la instalación de los paneles y la presentación de la misma,)		18	\$ 120.000	\$ 2.160.000
			<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 57.933.147</b>

<b>3. Mano de obra</b>				
Descripción	Cantidad (f)	Jornada integral/día (g)	Rendimiento unidad/día (h)	VR parcial (fxg)/(h)
Ayudante	2	\$ 45.250	0,07	\$ 1.371.212
Tecnologo electromecanico	1	\$ 120.000	0,06	\$ 2.000.000
Tecnologo electrico	1	\$ 120.000	0,06	\$ 2.000.000
			<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 5.371.212</b>

<b>4. Varios</b>				
Descripción	Cantidad (f)	Tarifa	Rendimiento unidad/día (h)	VR parcial (fxgxh)
Transporte (Equipo menor y herramienta)	1	\$ 455.000	0,33	\$ 1.378.788
			<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 1.378.788</b>

<b>TOTAL COSTO DIRECTO (1+2+3+4)</b>	<b>\$ 65.455.147</b>
<b>IVA 19%</b>	<b>\$ 12.436.478</b>
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 77.891.625</b>

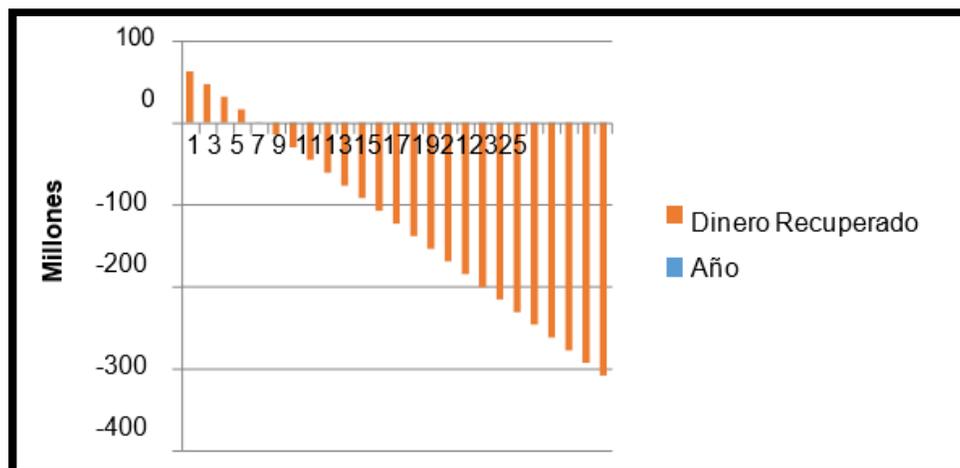
En la tabla anterior, se pueden observar los diferentes índices y costos nominales respecto mano de obra, accesorios y equipos del bloque de potencia requeridos para la construcción del sistema fotovoltaico. Se concluye con un valor total de costo más IVA de aproximadamente \$ 77.891.625

La propuesta está basada en el suministro de energía para un consumo diario de 22.3kW, debido a la capacidad del transformador al cual está conectada el colegio se puede inyectar a la red hasta un máximo de 11.25 kVA a la red, por tanto, el sistema sugerido entrega una potencia de 10.2 kWhp, con base en la información suministrada el consumo sería de 2.79kWh, esto indica una reducción en el costo del recibo mensual de la luz de un aproximado 30%.

**Ahorro mensual promedio:** (basados en el recibo de luz)

Producción kWh/ Mes Solar	Tarifa \$ x kWh/mes INCLUYENDO(alumbradopúblico)	Ahorro Mensual Aprox.
1.060	1.216,22	\$1'289.193,20

**Figura 37.**Tasa de retorno de la inversión



**NOTA:** Los equipos ofertados incluyen las certificaciones de conformidad con la RETIE exigidos por el estado colombiano, sin embargo, la planta no está certificada bajo la norma y la presente propuesta no incluye dicha certificación puesto que es un ente externo quien la realiza, en caso de ser necesaria dicha certificación debe ser asumida por el cliente.

**Garantía:** El proyecto tiene 1 año de garantía por instalación al igual que las baterías, los módulos fotovoltaicos tienen 10 años de garantía por manufactura y 25 años por funcionamiento, y el inversor tiene 2 años de garantía por defectos de fábrica.

### **Excepciones de la garantía:**

- ✓ El uso incorrecto del producto, alteración de sus condiciones originales o mantenimiento por personal no calificado.
- ✓ Daños o desperfectos que no sean defabricación.
- ✓ No cubre partes y accesorios consumibles o de desgaste por uso normal.
- ✓ Daños ocasionados por accidentes, transporte, maltrato o fenómenos naturales.
- ✓ Retiro de sellos de seguridad de los equipos.

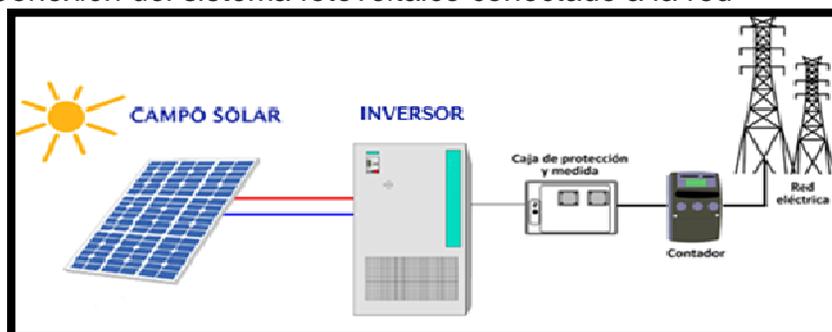
**Tiempo de Entrega:** Se estima una duración de ejecución no superior a 45 días Hábiles.

## 5. RESULTADOS

En el desarrollo del proyecto se entregó una investigación detallada de cargas AC con carácter fuertemente inductivas, también se elaboró un completo estudio de irradiación solar fotovoltaica y la reglamentación colombiana vigente tenida en cuenta para definir la compatibilidad de la interconexión entre los sistemas fotovoltaicos y la red de suministro energético.

Mediante la resolución de ecuaciones matemáticas se calculó el número de paneles requeridos para generar la potencia demandada, determinando el tipo de panel más adecuado a las características de la carga.

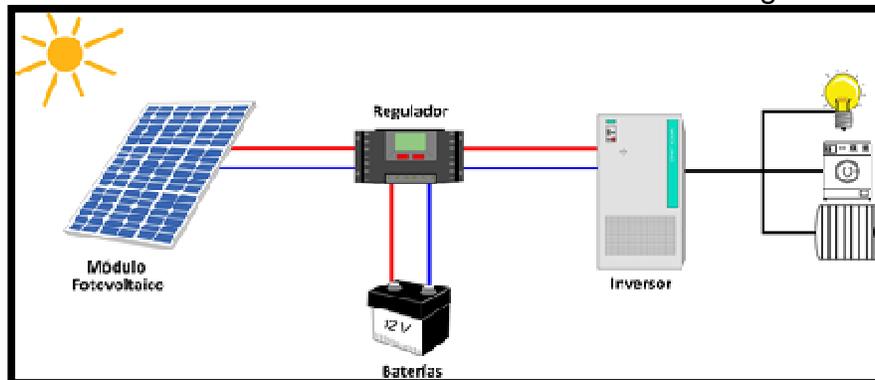
**Figura 38.** Conexión del sistema fotovoltaico conectado a la red



**Fuente:** Pereira, L. E., & Parra, J. E. (2017). Estudio de prefactibilidad y dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico para las instalaciones del jardín botánico de Bogotá Jose Celestino Mutis. Bogotá: Universidad distrital Francisco Jose de Caldas.

Con el objeto de identificar el funcionamiento del sistema fotovoltaico, se estableció la implementación de un sistema de generación fotovoltaico mediante panel solar, regulador/controlador, baterías de almacenamiento, inversor y tablero de distribución para carga inductiva. Esto se realiza bajo una comparación con el sistema integrado a la red como se logra evidenciar en la figura 35.

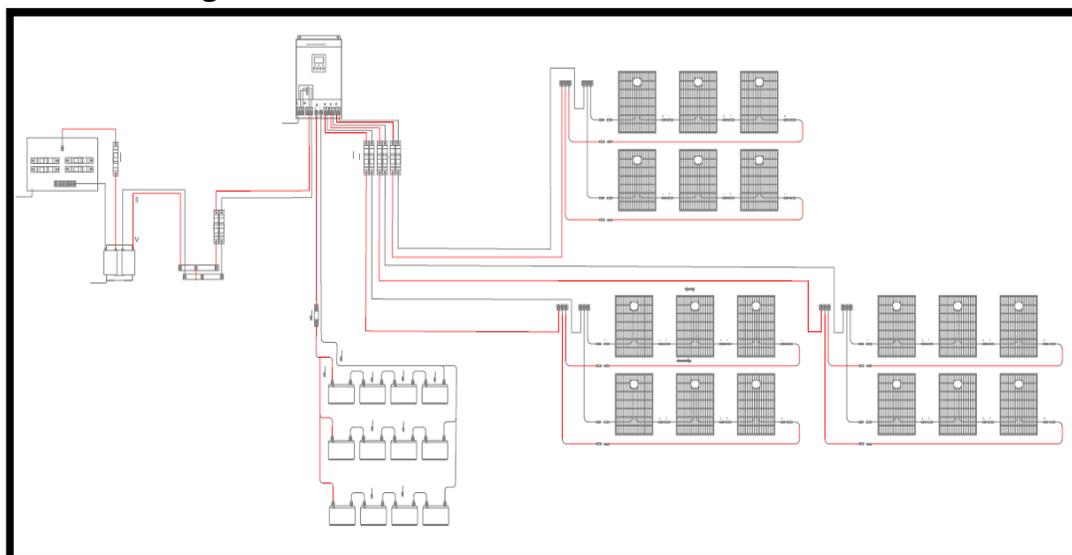
**Figura 39.** Conexión del sistema fotovoltaico aislado e integrado a la red



**Fuente:** Pereira, L. E., & Parra, J. E. (2017). Estudio de prefactibilidad y dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico para las instalaciones del jardín botánico de Bogotá Jose Celestino Mutis. Bogotá: Universidad distrital Francisco Jose de Caldas.

El sistema fotovoltaico aislado e integrado a la red, hace referencia a la energía que no se logra utilizar por la carga, es suministrado a la red, esto se hace con un medidor bidireccional el cual envía energía que se utiliza en la zona de carga y la otra a la red, de dicha manera las empresas que abastecen de energía eléctrica están en la obligación de reducir los costos en la factura eléctrica.

**Figura 40.** Distribución eléctrica sistema fotovoltaico



**Fuente:** Autor

La distribución evidenciada en la Figura 37 permite observar las conexiones eléctricas requeridas para la implementación y correcto funcionamiento del sistema solar fotovoltaico. Del mismo modo, en la tabla 34 se menciona la descripción y cantidad de los equipos utilizados.

**Tabla 35.** Descripción y cantidad

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Módulos fotovoltaicos	18
Potencia pico del módulo fotovoltaico	340 W
Baterías	12
Potencia de almacenamiento de baterías	15.8 KW
Inversor	24 DC a 220 AC

**Fuente:**Autor

## 6. CONCLUSIONES

En base a la investigación realizada se concluyó en prima instancia la definición de los parámetros del sistema de generación de potencia eléctrica mediante la medición y el análisis de la carga actual de la institución educativa, lo cual permitió el resumen de la demanda energética. Posteriormente, se elaboró un estudio de irradiación solar, con los respectivos cálculos analíticos con el propósito de estimar la cantidad de paneles solares requeridos para la generación de potencia demandada por la carga del sistema de distribución de las instalaciones de la institución educativa, mediante la cuantificación y caracterización en términos de eficiencia y calidad energética.

Se realizaron los diseños arquitectónicos del sistema de generación fotovoltaica para la implementación integrada a la red eléctrica de la institución, considerando la ejecución de planos eléctricos, localización de paneles solares, instalación de regulador, baterías de almacenamiento, inversor y tablero de distribución.

Se elaboró un informe técnico/ejecutivo con los resultados obtenidos de la investigación basado en el análisis de alternativas no convencionales de generación de energía eléctrica, estudio de cargas, topográfico, financiero, impacto ambiental, social y la normatividad reciente en Colombia, con el fin de lograr el cumplimiento del acuerdo para la ejecución de la consultoría con la Institución Educativa Liceo Amiguitos.

Se concluyó las ventajas de participar de los beneficios garantizados por la ley 1715 en el uso de energías no convencionales, generando así mayor rentabilidad en sus compañías al ser exonerada de pagos de impuestos y aranceles. Al igual el hacer uso de entidades que promueven y patrocinan el uso de energías limpias con la factibilidad de créditos financieros que son de gran utilidad a la hora de compras de los materiales que se utilicen en la construcción de la planta.

Se realizó el estudio de factibilidad energética con el propósito de saber cuál es la carga eléctrica que presenta la institución liceo amiguitos para la implementación de un sistema fotovoltaico con panel solar, a partir de la toma de datos adquiridos durante la investigación se percibió que la institución educativa cuenta con lo necesario para la implementación de este sistema que ayudara a disminuir costos y ayudar al medio ambiente.

Mediante la selección de las fuentes de información, se logró conocer los componentes eléctricos y mecánicos que requirió el diseño del sistema, donde además se determinó la tensión, intensidad, potencia, partes, modo de operación entre otros. Del sistema fotovoltaico, donde se da a conocer el proceso que conlleva el uso de la energía eficiente y se crea nuevas ideas en cuanto a optar por nuevas propuestas sobre la energía limpia.

## 7. RECOMENDACIONES

En esta sección se realizan todos los comentarios pertinentes para la realización de trabajos futuros relacionados con el tema del trabajo de grado, ya sea tomando como base el trabajo presentado para mejorarlo, o aplicando otras estrategias para la solución del mismo. También se pueden realizar recomendaciones requeridas para la apropiación del conocimiento generado con este trabajo de grado, por ejemplo, la implementación de laboratorios acreditados, compra de equipos y software, adecuación de infraestructura, entre otros.

Se recomienda realizar investigaciones alternas a la presentada con el fin de estudiar otros métodos de generación eléctrica para poder emplear un diseño experimental y con esto ayudar al medio ambiente. Se recomienda optar por otros sitios para futuras investigaciones de este ámbito y así seguir aprovechando la energía producida por el sol.

Motivar a la población colombiana en la creación de empresas donde se dediquen a la fabricación e instalaciones de materiales para el uso de energías renovables y de esta manera aumentar la demanda y sea más asequibles a empresas que deseen implementar este tipo de energías.

Promover el uso de las energías renovables haciendo énfasis en la reducción de gases emitidos y disminución de los costos asociados a su uso. Aprovechar que Colombia es un país que tiene excelentes condiciones climáticas, las cuales son la fuente principal de producción de energía y así mismo contribuir a la creación de más plantas donde su recurso principal sea el otorgado por la naturaleza ya que un recurso inagotable.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, A. (2012). Normativa sobre energía solar termica y fotovoltaica. Colombia: Icontec.
- Bancoldex. (06 de febrero de 2017). [www.Bancodex.com](http://www.Bancodex.com).
- Bautista, M. (2015). Diseño de una planta termosolar con receptor central. España: UYTU.
- Burbano, E. (2006). Física general. Madrid: Tebar.
- Castejon, A. (2010). Instalaciones solares fotovoltaica. Madrid: Editex.
- Finagro. (07 de Enero de 2017). [www.Finagro.com.co](http://www.Finagro.com.co).
- Findeter. (11 de marzo de 2016). [www.findeter.gov.co](http://www.findeter.gov.co).
- Ley 1715. (2014). Regulacion de la integracion de las energias renovables no convensionales al sistema energetico nacional. Colombia: Ministerio de Ambiente.
- Ley 1715. (2014). Regulacion de la integracion de las energias renovables no convensionales al sistemas energetico nacional. Colombia: Congreso republica.
- Ley 1753. (2014). Esquema de incentivos. Colombia: DNP.
- Ley-09. (2012). Promue ve incentiva el usos de paneles solares. Colombia: CCR.
- Ley-1715. (2014). Legislacion de regulacion integral de energias renovables no convensionales. Bogota: Ministerio de minas y energia.
- Mancera, C. (2015). Integracion de las energias no convecionales en Colombia. Bogota: Ministerio de minas y energia.
- Minambiente. (27 de febrero de 2017). Implementacion de energias renovables. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co>.
- Montañez, A., Vargas, L., Trujillo, M., & Palacios, S. (2019). Análisis de factibilidad del diseño de un sistema solar fotovoltaico en la escuela campo 45 del corregimiento centro de la ciudad de Barrancabermeja. Barrancabermeja: UNAD.

Peña, I. (2003). Celdas fotovoltaicas para energizar un sistema de bombeo de agua. Bucaramanga: UNAB.

Ramos, C. (2007). Uso eficiente y sostenible de los recursos naturales. España: PRINTED.

Sainz, S. (2005). Tecnología para la sostenibilidad. España: EOI.

UPME. (2014). Formulación de un programa básico de normalización para la aplicación de energías alternativas y difusión. Bogotá: Icontec-AENE.

## 9. ANEXOS

### Anexo 1. Módulo policristalino 340 w



Amerisolar | New Energy New World®





# AS-6P

## MÓDULO POLICRISTALINO- 72 CELDAS



Apasionados  
Por ofrecer una  
Solución Energética  
Innovadora

RENDIMIENTO AVANZADO & VENTAJAS COMPROBADAS

- Módulo de alta eficiencia de conversión hasta 17.52% mediante el uso de células solares de alta eficiencia y tecnología de fabricación avanzada.
- Baja degradación y excelente rendimiento en condiciones de alta temperatura y poca luz.
- El robusto marco de aluminio garantiza que los módulos soporten cargas de viento de hasta 2400 Pa y cargas de nieve de hasta 5400 Pa.
- Alta confiabilidad contra condiciones ambientales extremas (pasando pruebas de salinidad, amoníaco y granizo).
- Resistencia a la degradación inducida (PID)
- Tolerancia de potencia positiva de 0 ~ +3 %.

CERTIFICACIONES

- IEC61215, IEC61730, IEC62716, IEC61701, CE, CQC, CGC, ETL(USA), JET(Japan), J-PEC(Japan), Kemco(South Korea), KS(South Korea), MCS(UK), CEC(Australia), FSEC(FL-USA), CSI Eligible(CA-USA), Israel Electric(Israel), InMetro(Brazil), TSE(Turkey)
- ISO9001:2008: Sistema de manejo de calidad
- ISO14001:2004: Sistema de Gestion Ambiental
- OHSAS18001:2007: Sistema de Gestion de Salud y Seguridad en el Trabajo

GARANTÍA ESPECIAL

- 12 años de garantía limitada del producto.
- Garantía limitada de potencia lineal: 12 años 91.2% de la potencia nominal de salida, 30 años 80.6% de la potencia nominal de salida.





Valor adicional de garantía

■ Garantía de rendimiento lineal de Amerisolar  
■ Garantía de rendimiento estándar

Fuente: Autor

## Anexo 2. características del módulo policristalino

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS EN TEC									
Potencia Maxima ( $P_{max}$ )	300W	305W	310W	315W	320W	325W	330W	335W	340W
Voltaje de Circuito Abierto ( $V_{oc}$ )	45.3V	45.4V	45.5V	45.6V	45.7V	45.8V	45.9V	46.0V	46.1V
Corriente de Corto Circuito ( $I_{sc}$ )	8.68A	8.76A	8.85A	8.93A	9.04A	9.15A	9.26A	9.38A	9.50A
Voltaje a Potencia Maxima ( $V_{mp}$ )	36.7V	36.8V	36.9V	37.0V	37.1V	37.2V	37.3V	37.4V	37.5V
Corriente a potencia Maxima ( $I_{mp}$ )	8.18A	8.29A	8.41A	8.52A	8.63A	8.74A	8.85A	8.96A	9.07A
Eficiencia del Módulo. (%)	15.46	15.72	15.98	16.23	16.49	16.75	17.01	17.26	17.52
Temperatura de funcionamiento	-40°C to +05°C								
Voltaje Maximo del Sistema	1000V DC								
Clasificación de Resistencia al Fuego	Tipo 1 (De acuerdo con UI 1703)/Clase C (IFC61730)								
Máxima Clasificación de Fusibles de la Serie	15A								
TFC: Irradiancia 1000W/m <sup>2</sup> , Temperatura de las celdas 25°C, AM1.5									
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS EN TNOC									
Potencia Maxima ( $P_{max}$ )	221W	224W	228W	232W	236W	239W	243W	247W	251W
Voltaje de Circuito Abierto ( $V_{oc}$ )	41.7V	41.8V	41.9V	42.0V	42.1V	42.2V	42.3V	42.4V	42.5V
Corriente de Corto Circuito ( $I_{sc}$ )	7.03A	7.10A	7.17A	7.23A	7.32A	7.41A	7.50A	7.60A	7.70A
Voltaje a Potencia Maxima ( $V_{mp}$ )	33.4V	33.5V	33.6V	33.7V	33.8V	33.9V	34.0V	34.1V	34.2V
Corriente a Potencia Maxima ( $I_{mp}$ )	6.62A	6.69A	6.79A	6.89A	6.98A	7.05A	7.15A	7.25A	7.34A
TNOC: Irradiancia 800W/m <sup>2</sup> , Temperatura Ambiente 20°C, Velocidad del viento 1 m/s									
CARACTERÍSTICAS MECANICAS		CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA							
Tipo de Célula	Policristalino 5UB 156x156mm (6x6pulg)								
Numero de Celdas	72 (6x12)								
Dimensiones del Modulo	1956x992x40mm (77.01x39.06x1.57pulg)								
Peso	22.5kg (49.6lbs)								
Cubierta frontal	3.2mm (0.13pulg) vidrio templado con recvaticimiento AR								
Marco	Aleación de aluminio anodizado								
Caja de Conexiones	IP67, 3 diodos								
Cable	4mm <sup>2</sup> (0.006pulg <sup>2</sup> ), 1000mm (39.37pulg)								
Conector	MC4 o compatible con MC4								
Temperatura Nominal de Operación de Celda (TNOC)	45°C/12°C								
Coefficientes de temperatura de $P_{max}$	-0.41%/°C								
Coefficientes de temperatura de $V_{oc}$	-0.31%/°C								
Coefficientes de temperatura de $I_{sc}$	0.05%/°C								
EMBALAJE									
Embalaje Estandar	26 und/pallet								
Cantidad de modulos por contenedor de 20'	280 Und								
Cantidad de modulos por contenedor de 40'	572und(GP)616und(HQ)								
PLANOS DE INGENIERIA		IV CURVAS							
<p>Unidades. mm</p> <p>Vista Trasera</p> <p>Sección A-A</p>		<p>Corriente-Voltaje y Potencia-Voltaje Curvas en diferentes irradiancias</p> <p>Corriente-Voltaje Curvas en diferentes temperaturas</p>							

Las especificaciones en esta hoja de datos están sujetas a cambios sin previo aviso

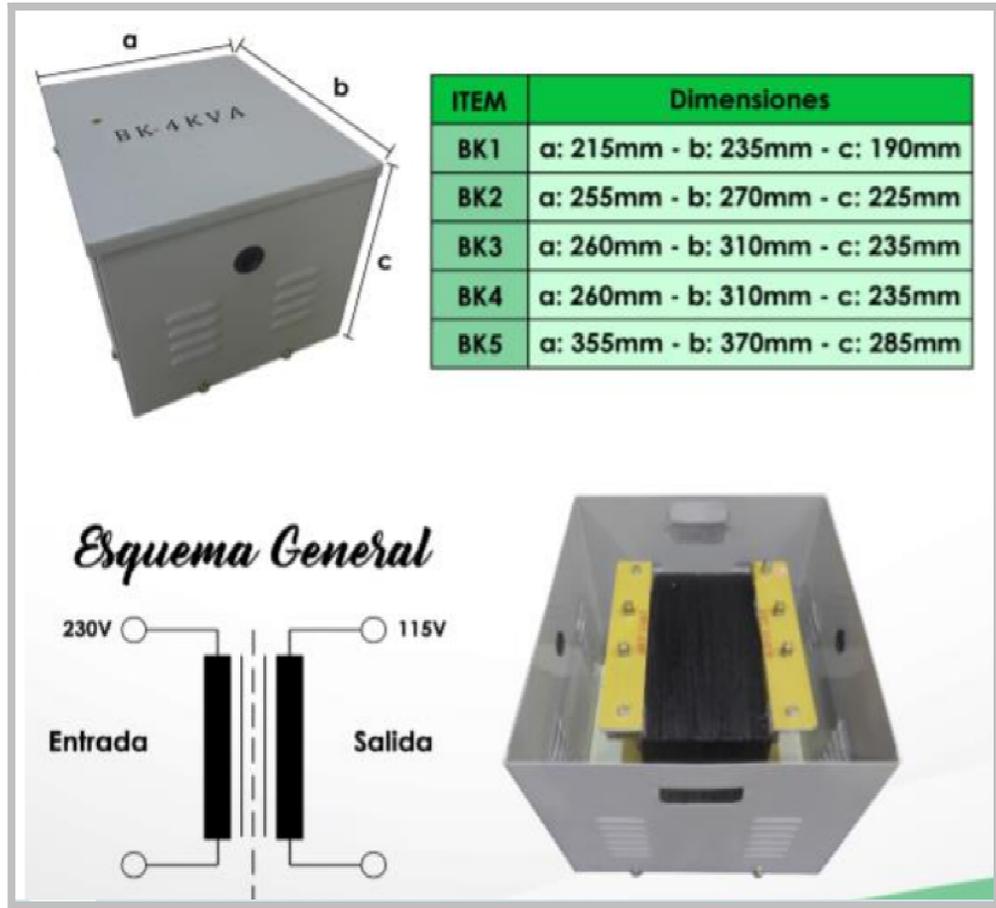
Fuente: Autor

### Anexo 3. Transformadores de aislamiento gela

Datos Técnicos	
Tipo de Transformador	Transformador de aislamiento monofásico
Capacidad (Potencia en KVA)	1KVA, 2KVA, 3KVA, 4KVA, 5KVA
Voltaje de Entrada (Primario)	230VAC, Monofásico
Corriente de Entrada	1KVA: 4.5 A                      3KVA: 13.6 A 2KVA: 9.1 A                      4KVA: 18.2 A 5KVA: 22.7 A
Voltaje de Salida (Secundario)	115VAC, Monofásico
Corriente de Salida	1KVA: 9.1 A                      3KVA: 27.3 A 2KVA: 18.2 A                      4KVA: 36.4 A 5KVA: 45.5 A
Corriente de Trabajo	60Hz
Cableado de Entrada y Salida	Tuerca y tornillo para terminal de anillo
Material de Bobinado	Cobre
Enfriamiento	Seco, ANAN (Aire Natural).
Clase de Aislamiento	F
Resistencia de Aislamiento	≥5MQ
Eficiencia	≥98%
Ciclo de trabajo	Continuo
Temperatura Ambiente	-15 hasta + 45 °C
Humedad Relativa	0-95% (Sin condensación)
Altitud Recomendada	≤1000m
Grado de Protección (Clasificación IP)	IP20
Instalación	Interior
Cobertura	Incluye caja de protección

Fuente: Autor

### Anexo 4. Dimensiones del transformador



Fuente: Autor

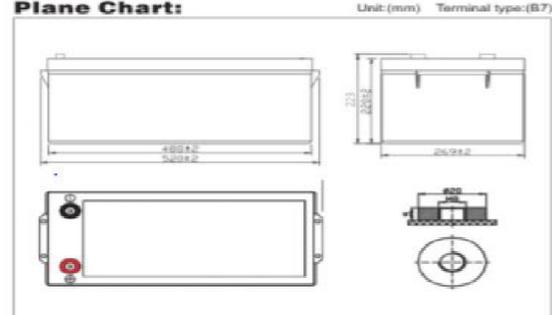
### Anexo 5. Batería

**MODEL: OT250-12L @C10**
**NO.: 302010005-00135**



Container Color  
 Black C  
 Grey 3 C

**Plane Chart:** Unit:(mm) Terminal type:(B7)






ISO 9001  
ISO 14001  
OHSAS18001

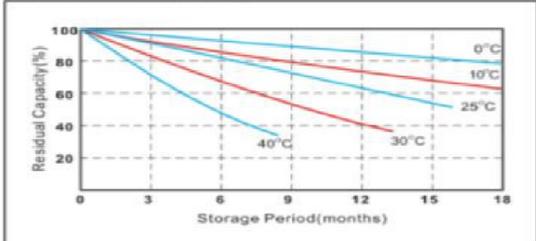



**Parameter Chart:**

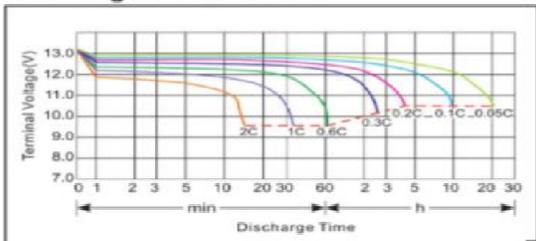
Volts		12V
Capacity(25°C)	10 hours rate (25A)	250Ah
Discharge Current Testing (25°C)	1 hours rate (137.5A)	138Ah
	3 hours rate (62.5A)	188Ah
Internal Resistance	Full Charged Battery 25°C	2.4mΩ
Capacity Affected By Temperature	40°C	104%
	25°C	100%
	0°C	83%
	-15°C	65%
Residual Capacity (25°C)	Capacity After 3 Months Storage	91%
	Capacity After 6 Months Storage	82%
	Capacity After 12 Months Storage	65%
Charge (Constant Voltage)	Cycle (25°C)	Initial Charging Current Less Than 75A Voltage 14.5~14.9V
	Float (25°C)	Charge Voltage 13.6~13.8V
Weight (Approx)		71.2Kg

★The above are average and data obtained from the first 3 charge/discharge cycles. These are not minimum values.

**Residual Capacity**



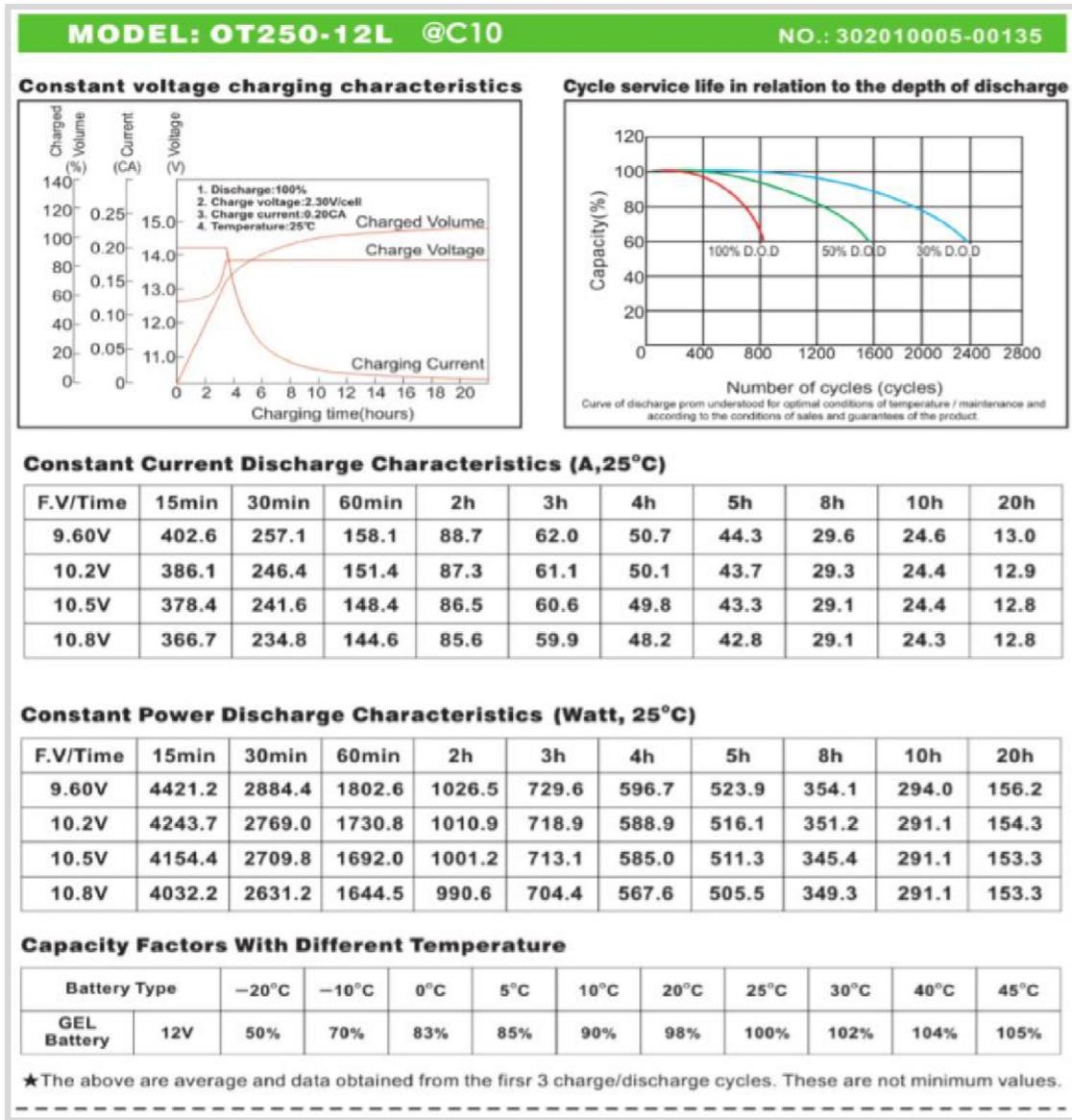
**Discharge Current 25°C**





Fuente: Autor

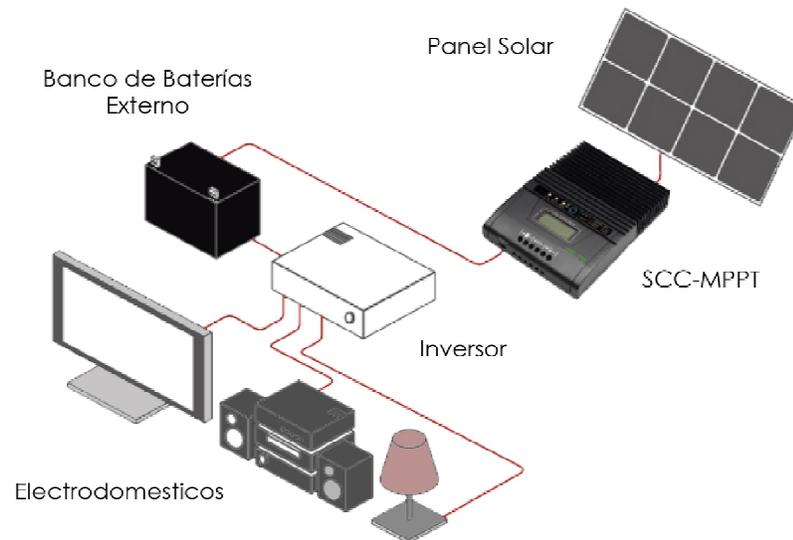
### Anexo 6. Características



Fuente: Autor

## Anexo 7. Controladores de carga solares

# Sistema de energía solar independiente



## GELA / SCC-MPPT

<p>SCC-MPPT 300W</p> <p>SCC-MPPT 600W / SCC-MPPT 950W</p> <p>SCC-MPPT 3KW</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Tecnología de seguimiento de punto de máxima potencia inteligente.</li> <li>* Controlador DSP incorporado con alto rendimiento.</li> <li>* Detección automática de voltaje de la batería (solo para 600W y 3kW)</li> <li>* El sensor de temperatura de la batería (BTS) proporciona automáticamente compensación de temperatura (solo para 3kW)</li> <li>* La carga en tres etapas optimiza el rendimiento de la batería.</li> <li>* auto detección de carga.</li> <li>* La pantalla LCD multifunción muestra información detallada.</li> <li>* Protección de polaridad inversa para panel solar y batería.</li> <li>* Sobrecarga y protección de sobrecarga.</li> <li>* Adecuado para diferentes tipos de batería.</li> </ul>
---	---

**Fuente:**Autor

### Anexo 8. Ficha técnica controlador/regulador

MODEL	SCC-MPPT 300W	SCC-MPPT 600W	SCC-MPPT 3KW		
<b>INPUT</b>					
MPPT Range @ Operating Voltage	15 VDC ~ 33 VDC	30 VDC ~ 66 VDC	60 VDC ~ 115 VDC		
Maximum PV Array Open Circuit Voltage	50 VDC	75 VDC	145VDC		
Maximum PV Array Power	300 W	600 W	800W	1600W	3200W
Maximum Current	18 A		50 A		
<b>OUTPUT</b>					
Nominal Battery Voltage	12 VDC	24 VDC	12 VDC	24 VDC	48 VDC
Connected Battery Type	Sealed lead acid, vented, Gel, NiCd battery			Sealed lead acid, AGM or Gel	
Maximum Charging Current	25 A		60 A		
Maximum Efficiency	98%				
Charging Method	Three stages: bulk, absorption, and floating				
<b>PROTECTION</b>					
Overload Protection	> 110% : audible alarm				
Overcharge Protection	Yes				
Polarity Reversal Protection @ Solar Cell & Battery	Yes				
<b>INDICATORS</b>					
LCD Panel	LCD panel indicating solar power, load level, battery voltage/capacity, charging current, and fault conditions				
LED Display	Three indicators for solar, charging, and load status				
<b>PHYSICAL</b>					
Dimension, D x W x H (mm)	135 x 170 x 57.5	220 x 170 x 57.5	315 x 165 x 128		
Net Weight (Kgs)	0.92	1.85	4.5		
Type of Mechanical Protection	IP 43			IP 31	
<b>ENVIRONMENT</b>					
Humidity	0 ~ 100% RH (No condensing)			5 ~ 95% RH (No condensing)	
Operating Temperature	-20°C to 55°C			0°C to 55°C	
Storage Temperature	-40°C to 75°C			-15°C to 60°C	
Altitude	0 ~ 3000 m				

Fuente: Autor

### Anexo 9. Ficha técnica sistemas funcionales

MODEL	GEMKS Duo 3K-24	GEMKS Duo 3K-48	GEMKS Duo 5K	GEMKS Tri 5K
Rated Power	3000VA/2400W		5000VA/4000W	
<b>INPUT</b>				
Voltage	230 VAC			
Selectable Voltage Range	170-280 VAC (For Personal Computers) 90-280 VAC (For Home Appliances)			
Frequency Range	50 Hz/60 Hz (Auto sensing)			
<b>OUTPUT</b>				
AC Voltage Regulation (Batt. Mode)	230VAC ± 5%			
Surge Power	6000VA		10000VA	
Efficiency (Peak)	90% ~ 93%			
Transfer Time	10 ms (For Personal Computers) 20 ms (For Home Appliances)			
Waveform	Pure sine wave			
<b>BATTERY</b>				
Battery Voltage	24 VDC	48 VDC	48 VDC	48 VDC
Floating Charge Voltage	27 VDC	54 VDC	54 VDC	54 VDC
Overcharge Protection	32 VDC	62 VDC	60 VDC	60 VDC
<b>SOLAR CHARGER &amp; AC CH</b>				
Maximum PV Array Power	2000W	2000 W	6000W	9000W
MPPT Range @ Operating Voltage	30-80 VDC	60 - 90 VDC	80-115Vdc	
Maximum PV Array Open Circuit Voltage	100 VDC		145 VDC	
Maximum Solar Charge Current	80A	40A	120A	180A
Maximum AC Charge Current	60A			
Maximum Charge Current	140 A	100 A	180 A	240 A
Maximum Efficiency	98%			
<b>PHYSICAL</b>				
Dimension, D x W x H (mm)	124 x 272 x 400		194 x 295 x 455	
Net Weight (kgs)	8.0		16	17
<b>OPERATING ENVIRONMENT</b>				
Humidity	5% to 95% Relative Humidity(Non-condensing)			
Operating Temperature	-20°C to 55°C			
Storage Temperature	-30°C to 60°C			

Fuente:Autor