



DISEÑO DE UN PROTOTIPO A ESCALA DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA MEDIANTE PANELES SOLARES Y ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA EN EL EDIFICIO DE LOS LABORATORIOS DE LAS UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER REGIONAL BARRANCABERMEJA.

MODALIDAD DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

EDWIN ALBERTO GULLOSO FLOREZ - 1096240405
ALEXANDER SIERRA GARCIA - 13565512

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA
PROGRAMA TECNOLOGÍA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
BARRANCABERMEJA (22-09-2020)**



DISEÑO DE UN PROTOTIPO A ESCALA DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE
ENERGÍA FOTOVOLTAICA MEDIANTE PANELES SOLARES Y ESTUDIO DE
VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA EN EL EDIFICIO DE LOS
LABORATORIOS DE LAS UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER REGIONAL
BARRANCABERMEJA.

MODALIDAD DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO
TECNOLÓGICO

EDWIN ALBERTO GULLOSO FLOREZ - 1096240405
ALEXANDER SIERRA GARCIA - 13565512

Trabajo de Grado para optar al título de
Tecnólogo Electromecánico

DIRECTOR

FREDY ALBERTO ROJAS ESPINOZA

CODIRECTOR

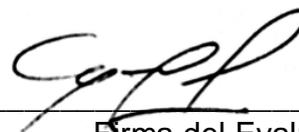
LUIS OMAR SARMIENTO ÁLVAREZ

Proyecto de investigación- DIANOIA

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA
PROGRAMA TECNOLOGÍA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
BARRANCABERMEJA: 22-09-2020

Nota de Aceptación

APROBADO



Firma del Evaluador



Firma del Director

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a Dios primeramente por ser el proveedor de las fuerzas, la sabiduría y paciencia para seguir adelante en este camino, a mis queridos padres y familia los cuales me apoyaron, aconsejaron y estuvieron siempre atentos a cualquier necesidad e inconvenientes que surgieron durante mi ciclo estudiantil, a mis amigos, compañeros de estudio y conocidos que tuvieron fe en mi crecimiento como profesional, del cual recibí un apoyo incondicional.

Edwin Alberto Guloso Florez

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.

Alexander Sierra García

AGRADECIMIENTOS

Inicialmente agradecemos a Dios por bendecirnos y 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, lo cual las convierte en un papel importante en la toma de nuestras decisiones, su apoyo incondicional, las palabras de superación y esfuerzo que son día a día de suma importancia en el proceso de aprendizaje.

Agradecemos a la institución por brindarnos la gran 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.

Gracias a nuestro director del proyecto, el Ingeniero Fredy Alberto Rojas Espinoza por su apoyo incondicional, por su tiempo, conocimientos y experiencias que nos transmitió que fueron de mucha ayuda en todo momento de nuestra carrera, ya que siempre estuvo para orientarnos en las dificultades que se nos fueron presentando en el trayecto del desarrollo de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO.....	12
INTRODUCCIÓN.....	14
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	15
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	17
1.3. OBJETIVOS.....	18
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	18
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
1.4. ESTADO DEL ARTE.....	20
2. MARCO REFERENCIAL	26
2.1. MARCO HISTÓRICO	26
2.2. MARCO TEÓRICO.....	30
2.2.1. LA RADIACIÓN SOLAR	30
2.2.2. ENERGÍA SOLAR COMO REGULADOR DEL CLIMA Y LA TIERRA	34
2.2.3. ÁNGULOS SOLARES Y REPRESENTACIONES.....	38
2.2.4. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	43
2.3. MARCO CONCEPTUAL	51
2.3.1. ENERGÍA FOTOVOLTAICA CONECTADA A LA RED	51
2.3.2. ELEMENTOS QUE COMPONEN LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	54
2.4. MARCO LEGAL.....	58
2.4.1. NTC 2050 (CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO).....	58
2.4.2. ALIMENTADORES Y ACOMETIDAS	59
2.4.3. PUESTA A TIERRA.....	59
2.4.4. PUESTA A TIERRA DE CIRCUITOS Y SISTEMAS ELÉCTRICOS.....	60
2.4.5. CABLE CON AISLAMIENTO MINERAL Y RECUBRIMIENTO METÁLICO.	60

2.5.	MARCO AMBIENTAL	61
2.5.1.	REGLAMENTO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS (RETIE)	61
3.	<u>DISEÑO DE LA INVESTIGACION</u>	64
4.	<u>DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO</u>	67
4.1.	CÁLCULOS DE ESTABILIDAD DE POTENCIAS Y CONFIABILIDAD DEL SISTEMA. 71	
4.1.1.	ENERGÍA SOLAR DISPONIBLE EN EL SITIO EXACTO DEL PROYECTO	71
4.1.2.	ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN	75
4.1.3.	ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A LA UTS.	79
4.1.4.	DIMENSIONADO DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO	83
4.2.	METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES REQUERIDOS PARA LA ETAPA DE CONTROL Y POTENCIA.....	86
4.2.1.	DIMENSIONADO DEL INVERSOR	87
4.2.2.	DIMENSIONADO DE LOS CONDUCTORES.....	90
4.2.3.	APARATOS DE MANIOBRA Y PROTECCIÓN EN UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED.....	96
4.3.	PRESUPUESTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA EN LOS LABORATORIOS DE LAS UTS	97
4.4.	EVALUACIÓN DEL IMPACTO SOCIAL, ECONÓMICO Y AMBIENTAL.....	98
4.4.1.	BENEFICIOS SOCIALES.....	98
4.4.2.	BENEFICIOS TECNOLÓGICOS.....	100
4.4.3.	BENEFICIOS ECONÓMICOS	100
4.4.4.	BENEFICIOS AMBIENTALES.....	101
4.5.	ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD Y RETORNO DE INVERSIÓN.....	102
4.6.	IMPLEMENTACIÓN DE PROTOTIPO A ESCALA DEL SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA.....	107
5.	<u>RESULTADOS</u>	112
6.	<u>CONCLUSIONES</u>	113

<u>7.</u>	<u>RECOMENDACIONES</u>	<u>115</u>
<u>8.</u>	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>116</u>

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Alexandre Edmond Bequerel (1820 – 1891)	27
Figura 2. Efecto fotovoltaico.....	28
Figura 3. Espectro de absorción de la luz visible	32
Figura 4. Ángulo solar	39
Figura 5. Cenit y ángulo acimutal	40
Figura 6. Ángulo de altitud solar.....	40
Figura 7. Ángulo de declinación	41
Figura 8. Ángulo horario	42
Figura 9. Ángulo de incidencia solar	42
Figura 10. Energías de las bandas de valencia y conducción de materiales conductores, semiconductores y aislantes.....	45
Figura 11. Estructura cristalina del Silicio (Si) dopada con fosforo (P) y boro (B) .	48
Figura 12. Celda compuesta de Silicio tipo n y Silicio tipo p.....	50
Figura 13. Conjunto de celdas que conforman un módulo fotovoltaico	51
Figura 14. Esquema facturación fotovoltaica.....	53
Figura 15. Esquema básico de instalaciones fotovoltaicas	54
Figura 16. Instalación solar autosuficiente.	69
Figura 17. Instalación conectada a la red eléctrica.	70
Figura 18. Datos geográficos e irradiación durante los meses del año	72
Figura 19. Irradiación horaria media mensual	73
Figura 20. Rendimiento de un generador fotovoltaico en función de la orientación e inclinación con respecto a la orientación e inclinación optimas.....	76
Figura 21. Instalación fotovoltaica conectada a la red.....	86
Figura 22. Esquema básico de una instalación fotovoltaica conectada a la red de potencia inferior o igual a 5kW.	96

Figura 23. Ejemplo de generación fotovoltaica y demanda eléctrica.....	104
Figura 24. Energía excedente (A1) y energía no comprada (A2).....	104
Figura 25. Paneles solares y especificación.....	108
Figura 26. Motores.	108
Figura 27. Conexión de paneles.....	109
Figura 28. Medición de voltaje vs corriente	109
Figura 29. Medición voltaje vs temperatura.....	110
Figura 30. Prototipo del sistema de generación de energía eléctrica.....	111

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación Köppen	36
Tabla 2. Subdivisión en función de la estación.....	36
Tabla 3. Clasificación grupo B.....	37
Tabla 4. Climas básicos según Köppen	37
Tabla 5. Continuación Climas básicos según Köppen.....	38
Tabla 6. Tipos de instalaciones fotovoltaicas.	68
Tabla 7. Valores límites de las pérdidas por orientación e inclinación y sombras .	75
Tabla 8. Inventario de equipos eléctricos en cada laboratorio.....	79
Tabla 9. Total, de consumo mensual en los laboratorios de la universidad	81
Tabla 10. Datos técnicos de paneles solares	82
Tabla 11. Resumen de fórmulas de la sección en función de la caída de tensión.	90
Tabla 12. Análisis general de costos de instalación.	97
Tabla 13. Pruebas del sistema fotovoltaico a escala.....	111

RESUMEN EJECUTIVO

Se quiere poner en marcha el proyecto con el fin de reducir costos en servicio de energía eléctrica en las Unidades Tecnológicas de Santander sede Barrancabermeja para disminuir el impacto ambiental que contrae la generación eléctrica por métodos convencionales fomentar el uso de energías renovables. El proyecto tiene como objetivo principal el diseño de un sistema eléctrico alimentado mediante energía fotovoltaica a escala para analizar la eficiencia de implementar el sistema y así la institución pueda implementar dicho sistema en un futuro. El tipo de sistema eléctrico alimentado por energía fotovoltaica se desarrollará con paneles fotovoltaicos para aprovecharla radiación solar que brinda el municipio de Barrancabermeja.

La metodología para llevar a cabo el proyecto será de forma descriptiva en el que se realizará la investigación de la radiación solar, el funcionamiento de los paneles solares y los demás componentes necesarios para implementar el sistema con el fin de determinar los números de paneles fotovoltaicos y el tipo de batería que se requiere para abastecer las instalaciones de la universidad. Se realizará un análisis de eficiencia tomando en cuenta los beneficios respecto a costos de inversión y ahorro de energía. Se evaluarán los componentes necesarios en un sistema eléctrico mediante paneles fotovoltaicos para luego construir el sistema a escala en una maqueta de las instalaciones de la universidad teniendo en cuenta las funciones de cada componente eléctrico y consumo por KWh de las instalaciones.

Llevando a cabo el proyecto se busca ampliar los conocimientos adquiridos durante el recorrido en las diferentes temáticas de la tecnología en Operación y Mantenimiento Electromecánico con el fin de ampliar las posibilidades de empleo en el área de energías renovables ya que es una opción de ahorro de energía muy popular entre las grandes empresas.

PALABRAS CLAVE: paneles solares, energía fotovoltaica, radiación.

INTRODUCCIÓN

La energía solar fotovoltaica se caracteriza por generar electricidad a partir de fotoceldas que se exponen a una radiación solar, su importancia se ve enfocada en el aumento significativo de la eficiencia energética y el mínimo impacto ambiental que se puede presentar en comparación con otros sistemas de generación.

Las variables más significativas que necesita un sistema solar fotovoltaico para las UTS sede Barrancabermeja fueron de gran importancia a la hora de definir la factibilidad de diseño y dimensionamiento de una potencial instalación de dicho sistema, por lo cual, se realizó 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 155,09 kWh/m², lo que permitiría un aprovechamiento adecuado de energía eléctrica en la universidad si se colocan aproximadamente 80 paneles solares que soporten la demanda de energía eléctrica mensual aproximada de 1734 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. De este proyecto se puede concluir que en la universidad 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.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El municipio de Barrancabermeja fue altamente afectado por la crisis petrolera que ocurrió en el país hace unos años, desde entonces se encuentra un alto porcentaje de desempleo. El alto costo de los servicios públicos en el municipio afecta a empresas, instituciones y hogares, destacándose el de la energía eléctrica, ya que al ser una ciudad calurosa se requiere como mínimo un sistema de ventilación por familia (Linerós, 2014). La energía eléctrica es producida por métodos no muy amables con el medio ambiente y cada año se ve reflejado en los cambios climáticos que afectan el bienestar y la salud de los ciudadanos de Barrancabermeja.

Las Unidades Tecnológicas de Santander cuenta con una sede en el municipio de Barrancabermeja y al igual que las demás instituciones del municipio también resultó afectada por la crisis de forma indirecta por el decreciente ingreso de estudiantes, por lo que la universidad se vio obligada a cerrar varias de las carreras que ofrecía debido a los costos de servicios públicos.

Celsia (2013) afirma que el valor comercial del MW lo fijan las grandes productoras de energía eléctrica en Colombia, llegando a que el valor del KW/H residencial sea elevado por el trabajo adicional en transporte y distribución. De ahí que las diferentes instituciones presenten quejas debido al alto costo de la energía eléctrica.

El ambiente natural se ha visto afectado últimamente por construcciones de represas en los principales ríos de Colombia disminuyendo su caudal, produciendo grandes inundaciones en épocas de lluvias, disminución en las diferentes especies

nativas de peces y desplazamiento de todas aquellas personas que vivieron por muchos años en los alrededores donde fueron construidas aquellas represas. Producciones como las térmicas ayudan a la contaminación del aire porque, estas funcionan a gas, A.C.P.M o full oíl, siendo grandes contaminantes para el aire afectando la salud respiratoria de los habitantes de un lugar (Valbuena & Cabrera, 2014).

Con lo mencionado anteriormente para el presente proyecto se realiza la siguiente pregunta problema: ¿El diseño de un prototipo a escala de un sistema de generación de energía solar fotovoltaica permitirá generar y construir nuevos conocimientos que permitan a su vez realizar un estudio de viabilidad acerca de la implementación real de este tipo de sistemas en las instalaciones de las Unidades Tecnológicas de Santander?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Las energías renovables se producen de forma continua y son inagotables. La humanidad las ve favorables por la innovación continua que desarrollan, a diferencia de los combustibles fósiles, de los que existen unas determinadas cantidades o reservas agotables en un plazo estimado. Existe una creciente concienciación a nivel mundial en lo que se refiere a la problemática energética, debido fundamentalmente al agotamiento y encarecimiento de los recursos energéticos fósiles. Los recientes descubrimientos sobre el origen antropogénico (causado por el hombre) del cambio climático (Schallenberg, Hernández, & García, 2008).

Por lo mencionado se quiere diseñar un sistema de eléctrico fotovoltaico a escala del edificio de laboratorios con el fin de demostrar la eficiencia y poder ser usado en un futuro para el beneficio de la administración de las Unidades Tecnológicas de Santander sede Barrancabermeja. Implementando un sistema de energía eléctrica fotovoltaico ayudará a disminuir los costos por servicio de energía eléctrica. Reducir el impacto ambiental que produce la generación convencional de energía eléctrica y fomentar el uso de las energías renovables las cuales se están usando cada vez internacionalmente en las grandes empresas por los beneficios que aporta.

Con el desarrollo del presente proyecto se busca ampliar los conocimientos de los estudiantes adquiridos durante el aprendizaje en la carrera de Tecnología en Operación y Mantenimiento Electromecánico con la finalidad de mejorar el perfil profesional y ampliar las posibilidades de empleo en el área de energías renovables.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un prototipo a escala de un sistema de generación de energía fotovoltaica mediante paneles solares y realizar un estudio de viabilidad para la implementación del sistema en el edificio de los laboratorios de las Unidades Tecnológicas de Santander regional Barrancabermeja.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar los respectivos cálculos de estabilidad de potencias y confiabilidad con el que cuenta el sistema de generación y distribución de energía eléctrica fotovoltaica para la prevención de fallos y evaluación de eficiencia ante la presencia de las múltiples cargas eléctricas presentes en los laboratorios de las UTS.

Seleccionar los componentes eléctricos y electrónicos requeridos para la etapa de control y potencia del sistema de generación fotovoltaica mediante el estudio metodológico de la ingeniería de detalle.

Elaborar un presupuesto real de la construcción y montaje del sistema de generación fotovoltaico para determinar la viabilidad y la relación costo beneficio mediante los cálculos de optimización y cotizaciones de diferentes proveedores.

Identificar los principales beneficios sociales, tecnológicos, económicos y ambientales que presenta el desarrollo de un sistema de distribución de energía eléctrica basado en paneles solares y realizar un análisis de sostenibilidad y retorno de inversión con el cual se espera evidenciar la rentabilidad del proyecto.

Implementar un prototipo básico a escala de un sistema de generación fotovoltaica basado en paneles solares para los laboratorios de las Unidades Tecnológicas de Santander Regional Barrancabermeja.

1.4. ESTADO DEL ARTE

Kanters, Wall & Kjellsson(2013) afirman que el entorno urbano existente tiene un potencial significativo para aumentar el uso de energía renovable, principalmente mediante el uso de la radiación solar para el calor y la electricidad. La cuantificación del potencial solar por medio de un mapa solar es el primer paso en el proceso de aceleración para usar más energía solar en los entornos urbanos. Un mapa solar es un sistema que proporciona la irradiación solar anual en las superficies de los edificios, principalmente acompañado de información de la salida de los sistemas solares térmicos o fotovoltaicos.

Las ciudades, hogar de más de la mitad de la población de la tierra, consumen la mayor parte de la energía del mundo. Para volverse más resistentes para el futuro, las ciudades no sólo necesitan reducir la necesidad de energía, sino también comenzar a producir energía propia. Una forma de generar energía renovable dentro del entorno urbano existente es haciendo uso de la energía solar (Kanters, Wall, & Kjellsson, 2013).

Es importante obtener una visión más detallada de la cantidad de energía que se puede producir con energía solar térmica (ST) o fotovoltaica (PV) en edificios existentes. Una forma de analizar el potencial del entorno construido existente es a través de mapas solares. Un mapa o catastro solar es un sistema GIS que proporciona la irradiación solar anual en las superficies de los edificios (techos y / o fachadas), en su mayoría acompañada por la salida de sistemas solares térmicos o fotovoltaicos, y conectado a un sitio web. (Kanters, Wall, & Kjellsson, 2013, pág. 3)

Muchas administraciones municipales de Alemania ya cuentan con mapas solares y principalmente sirven para dos propósitos: como una plataforma frontal para informar a los ciudadanos sobre el potencial del propio techo para que las administraciones de la ciudad puedan basar las decisiones energéticas (Kanters, Wall, & Kjellsson, 2013).

Para sistemas solares activos, como colectores solares y paneles fotovoltaicos, es importante estimar la posible producción de energía térmica o eléctrica. La producción de energía de los dispositivos depende de varios factores. En el trabajo se analizó diferentes modelos para estimar la radiación solar disponible. Los modelos seleccionados para la evaluación fueron Liu-Jordan, Hay y Reindl et al. modelos. Existen estudios que evalúan dichos modelos, pero las evaluaciones no se realizaron para ubicaciones de Europa Central y del Este, solo para regiones con diferentes condiciones climáticas (Horvátha & Csoknyai, 2016).

Horvátha & Csoknyai (2016) mencionan que el estudio se centra en la región de Europa Central y Oriental con el clima continental específico. Para evaluar los modelos, se seleccionó una ciudad importante de la región, Budapest. En Europa del Este, por lo general, solo los valores mensuales y anuales de la radiación solar están disponibles y se aplican en la práctica de la ingeniería. Sin embargo, en muchos casos se requieren datos más detallados. Por lo tanto, el objetivo del documento es también resaltar la importancia de los datos diarios disponibles para el modelado.

Para colectores solares y paneles fotovoltaicos, la orientación óptima es hacia el sur y se supone que el ángulo de inclinación óptimo es de aproximadamente 45° en la región. Los valores diarios calculados se compararon con los datos medidos. La radiación solar se midió en una superficie inclinada hacia el sur de 45° en Budapest. El conjunto de datos utilizado para los cálculos de radiación global fue

proporcionado por el Servicio Meteorológico Húngaro (Horvátha & Csoknyai, 2016).

Bitar & Chamas (2017) afirman que el calentamiento global, los gases de efecto invernadero y el deterioro de la calidad de vida del ser humano a causa del impacto generado por la contaminación producida por el sector industrial son problemas que requieren de medidas a corto y mediano plazo para solucionarlos. Entre las soluciones que se han propuesto e implementado durante los últimos 20 años a nivel mundial es la generación de la energía demandada por los sectores residencial, comercial e industrial a partir de fuentes no convencionales y de carácter renovable que contribuyan significativamente con la disminución de emisiones nocivas para el medioambiente.

Colombia, a pesar de ser uno de los territorios con mayor cantidad de recursos naturales, no solo en términos de biomasa sino también en cantidad horas de sol percibidas al año se encuentra hasta ahora a partir de la firma de la ley 1715 en proceso de abrirle a las energías renovables un espacio de incursión e implementación dentro del parque energético nacional gracias a los beneficios tributarios que entrega dicha Ley y la necesidad de generar una política enfocada al cuidado del medio ambiente en el sector público y el sector privado, existe un alto potencial como oportunidad de negocio el instalar e implementar plantas de autogeneración solar en el sector industrial (Bitar & Chamas, 2017).

Bitar & Chamas (2017) mencionan que en el trabajo se analiza y evalúa dicho potencial de incursión de las plantas solares utilizando distintas herramientas de evaluación financiera de proyectos, percepción de potenciales clientes, evaluación de los recursos en el territorio colombiano y análisis de potencial de ahorros según la ciudad donde se instalen las plantas.

En la actualidad, son bastantes las empresas dedicadas a dar soluciones de energización por medio de sistemas no convencionales. Al interior del mercado nacional, un gran número de proveedores tanto de insumos como de soluciones para las necesidades de energías limpias a nivel industrial y comercial, no cuentan con la presencia de una estación base para la puesta en marcha de los equipos debido a la falta de energía eléctrica; un claro ejemplo se encuentra en la población de San Juan de Lozada, en el departamento del Meta. Dicha población no cuenta con una cobertura de red eléctrica convencional y es la razón que, la instalación y puesta en marcha de una estación base para suplir la falta de comunicación en la población, ha sido prácticamente imposible; debido a la falta de una red eléctrica comercial para suplir la demanda de energía (Castillo, Lozada, & Cuestas, 2017).

Castillo, Lozada & Cuestas (2017) mencionan que teniendo en cuenta la problemática de falta de energía eléctrica que abarca gran parte del territorio nacional, la investigación presenta el análisis de las causas y los factores más relevantes de dicha problemática y plantea una posible solución a partir de métodos no convencionales o energías renovables, con lo que se pretende suplir la necesidad del fluido eléctrico convencional; con el fin de poder dar una solución óptima y amable con el medio ambiente.

Para poder alcanzar los objetivos del proyecto, la investigación se basó en la cantidad de horas promedio de luz día según el reporte del Ideam, para el diseño e implementación de un sistema alternativo por medio de paneles solares. Igualmente, de acuerdo a la zona, se propuso como solución, la adaptación de un sistema mixto entre energía eólica y energía solar, con el fin de suplir la necesidad energética tanto en el día como en la noche, tratando de hacer uso mínimo de la energía almacenada por el banco de acumuladores de corriente (Castillo, Lozada, & Cuestas, 2017).

En el departamento de LA GUAJIRA - Colombia, se conoce de diferentes problemáticas alrededor del suministro energético (información conocida a través de distintos medios de comunicación), en algunos sitios, las instalaciones eléctricas mínimas se encuentran en condiciones deficientes y en otros casos no cuentan con suministro energético, por tal motivo algunos temas relacionados con las necesidades y el confort de las personas que habitan algunas poblaciones del departamento, no son las adecuadas (Gálviz & Gutiérrez, 2013).

Galvis & Gutiérrez (2013) mencionan que, en el trabajo, se analiza una alternativa, de solución, encontrando la instalación de equipos de suministro energético con celdas solares, teniendo en cuenta distintos factores técnicos y económicos. El documento busca desarrollar el análisis y aprovechamiento a la solución, obtenida de la ejecución del proyecto en una pequeña población alejada, donde se suplían las necesidades de las personas, encontradas en el estudio.

Se utiliza una metodología en base a fuentes de información secundaria para dimensionar el alcance y generar la ingeniería de detalle para dar cumplimiento a los objetivos económicos y sociales. De la misma forma los autores buscan incrementar el uso de recursos naturales completos en todo el territorio del país, donde se puedan desarrollar los métodos de sistemas de generación de energía limpia aprovechando altos niveles de radiación gracias al sol (Gálviz & Gutiérrez, 2013).

Díaz (2016) menciona que en la investigación se evaluó la propuesta de implementación de paneles solares para la población veredal Pringamosal los Pasos del Municipio del Guamo Tolima, mediante una investigación exhaustiva de las condiciones climáticas de la región y la población a beneficiar, se procedió a

realizar los diseños correspondientes para el aprovechamiento energético y evaluar los costos beneficios de la implementación de la propuesta tecnológica.

A la hora de realizar los diseños correspondientes de los paneles solares, se tuvieron en cuenta las siguientes condiciones; la radiación solar, fue uno de los ejes fundamentales para evaluar el diseño y las características de funcionamiento del sistema. Con los resultados obtenidos en la investigación, se logra evidenciar el potencial energético de 1643 kW. Teniendo el potencial energético se decide utilizar paneles de 300 Watios, para captar la mayor cantidad de radiación solar y convertirla en energía eléctrica para satisfacer las necesidades de la comunidad (Díaz, 2016).

Díaz (2016) menciona que se realiza el cálculo de Watios que demanda cada vivienda y da un resultado de 2828 Wh/Día, por tal razón se decide implementar 10 paneles solares que dan una capacidad de 3000 Wh/Día. Por lo que da una inversión por vivienda de 23.600.000 mil pesos y para el total de las 93 viviendas da un presupuesto total de 2.198.800.000 que es recuperable a largo plazo. Además, los paneles tienen una vida útil de 30 años sin realizar ninguna clase de mantenimiento, que si se le desarrolla un mantenimiento cada 10 años se puede garantizar una vida útil hasta 50 años de funcionamiento para la población.

2. MARCO REFERENCIAL

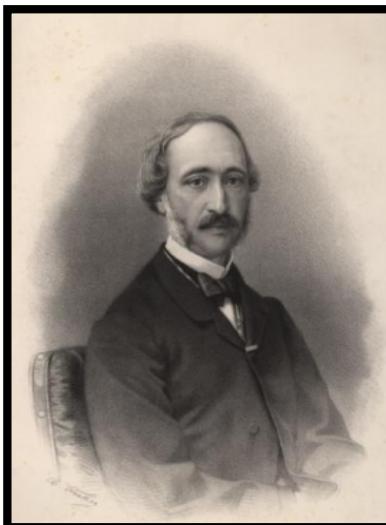
2.1. MARCO HISTÓRICO

Propuesta R-DC-91 "Diseño de un prototipo a escala de un sistema de generación de energía fotovoltaica mediante paneles solares y estudio de viabilidad para la implementación del sistema en el edificio de los laboratorios de las...

Con el reciente aumento en los costos de energía, muchas personas han estado buscando fuentes alternativas de energía. Una de las mayores fuentes de energía (el sol) está disponible para tomar. Se necesita ser capaces de aprovechar la energía solar. A continuación, se presenta una breve historia de cómo surgió la energía solar.

Alexandre Edmond Bequerel (1820 – 1891), físico francés, descubre el efecto fotovoltaico al experimentar con una pila electrolítica con electrodos de platino, en la que observó el incremento de corriente que causaba la exposición a la luz de uno de los electrodos (Montoya, 2011).

Figura 1. Alexandre Edmond Bequerel (1820 – 1891)

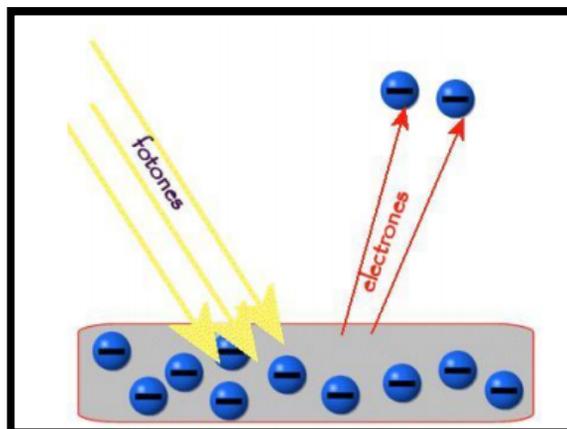


Fuente: Montoya, Carlos. Energía Solar Fotovoltaica. Madrid: Escuela de Organización Industrial, 2011. p.5.

La historia de la energía fotovoltaica (también conocida como células solares) comenzó en 1876. William Grylls Adams, junto con un alumno, Richard Day, descubrió que cuando el Selenio estaba expuesto a la luz, producía electricidad. Un experto en electricidad, Werner Von Siemens, declaró que el descubrimiento era "científicamente de la mayor importancia". Las celdas de selenio no eran eficientes, pero se demostró que la luz, sin calor ni piezas móviles, podía convertirse en electricidad (Contreras, 2017).

Montoya Carlos (2011) menciona que en 1920 Albert Einstein explica el efecto fotovoltaico, hablando de electrones que absorben cuantos de energía de la luz (fotones) de forma linealmente proporcional a la frecuencia de la fuente lumínica. Por la explicación del efecto fotovoltaico recibiría el Premio Nobel de Física en 1921.

Figura 2. Efecto fotovoltaico.



Fuente: Montoya, Carlos. Energía Solar Fotovoltaico. Madrid: Escuela de Organización Industrial, 2011. p.6.

Contreras Victoria (2017) afirma que, en 1953, Calvin Fuller, Gerald Pearson y Daryl Chapin descubrieron la célula solar de Silicio. La celda en realidad producía suficiente electricidad y era lo suficientemente eficiente como para ejecutar pequeños dispositivos eléctricos. El New York Times declaró que el descubrimiento fue "el comienzo de una nueva era, que finalmente llevó a la realización de aprovechar la energía casi ilimitada del sol para los usos de la civilización".

Los Laboratorios Bell producen la primera célula de Silicio con un 6% de rendimiento en 1954, el coste estimado era de 3.000 kW. En 1955 la administración norteamericana solicita a la industria la producción de elementos solares fotovoltaicos para aplicaciones espaciales. (Montoya, 2011, pág. 7)

El año es 1956, y las primeras células solares están disponibles comercialmente. Sin embargo, el costo está lejos del alcance de la gente común. A 300 dólares por una celda solar de 1 vatio, el gasto fue mucho más allá de los medios de todos. 1956 se comenzó a mostrar las primeras células solares utilizadas en juguetes y

radios. Los artículos novedosos fueron los primeros en tener celdas solares disponibles para los consumidores (Contreras, 2017).

Contreras Victoria (2017) afirma que a fines de la década de 1950 y principios de la década de 1960, los satélites en el programa espacial de los EE. UU. y la Unión Soviética fueron impulsados por células solares y, a fines de la década de 1960, la energía solar era básicamente el estándar para alimentar satélites vinculados al espacio.

Se lanza, en 1962, el primer satélite comercial de telecomunicaciones, el Tesla, con una potencia fotovoltaica de 14 W. La producción mundial de células es de 100 kW en 1973, el satélite Skylab llevaba 20 kW de paneles en producción (Montoya, 2011).

A principios de la década de 1970 se descubrió una forma de reducir el costo de las células solares. Lo que hizo que el precio bajara de 100 dólares por vatio a alrededor de 20 dólares por vatio. La investigación fue encabezada por Exxon. La mayoría de las plataformas petrolíferas marinas utilizaban las células solares para alimentar las luces manguantes en la parte superior de las plataformas (Contreras, 2017).

Contreras Victoria (2017) menciona que el período desde la década de 1970 hasta la década de 1990 se logró un cambio considerable en el uso de células solares. Comenzaron a aparecer en los cruces de ferrocarril, en lugares remotos para alimentar hogares, Australia usó células solares en las torres de microondas para ampliar las capacidades de telecomunicaciones. Incluso las regiones del desierto vieron que la energía solar traía agua al suelo donde la energía alimentada por líneas no era una opción.

En el año 2002 se producen más de 500 MW de módulos fotovoltaicos en el año, 1.000 MW en el año 2004 y 2.000 MW en el año 2007. En la actualidad, cerrado el año 2010, la potencia mundial instalada es de 40.000 MW y la producción de células fotovoltaicas en el año fue de 27.200 MW (Montoya, 2011).

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. La radiación solar

Vega & Ramírez (2014) indican que una parte importante de la energía solar se emite a través de los rayos solares que se propagan a través del espacio en forma de energía electromagnética al resto de los planetas y cuerpos del sistema solar. El sol emite radiación en toda la gama del espectro electromagnético; sin embargo, para los fines del aprovechamiento de la energía, es importante la llamada radiación térmica, que incluye: la ultravioleta (UV), la radiación visible (VIS) y la radiación infrarroja (IR).

A la tierra llega una cantidad de energía solar equivalente a $1,7 \times 10^{14}$ KW. El fenómeno físico, más conocido como radiación solar o irradiación, es el responsable que el planeta reciba en el borde superior de la atmosfera un máximo energético continuo de $1368 W/m^2$, valor que recibe el nombre de constante solar. (Vega & Ramírez, 2014, pág. 206)

Vega & Ramírez (2014) menciona que la cantidad total de energía se dispersa y redistribuye en el área total de la esfera terrestre. La cantidad de energía que cae sobre un metro cuadrado de la tierra es máxima en el punto donde la radiación incidente es perpendicular a la superficie terrestre. Dicho punto cambia diariamente ya que el eje terrestre se encuentra inclinado a $\delta = 23,5^\circ$ de la elíptica. El punto más al norte se alcanza el 21 de junio (solsticio de verano), mientras que

el punto más al sur se alcanza el 21 de diciembre (solsticio de invierno). En primavera y otoño el día dura lo mismo que la noche (equinoccio).

La radiación electromagnética se propaga en el espacio en forma de ondas que se caracterizan por los parámetros longitud (λ) y frecuencia (ν), los cuales se relacionan mediante la expresión:

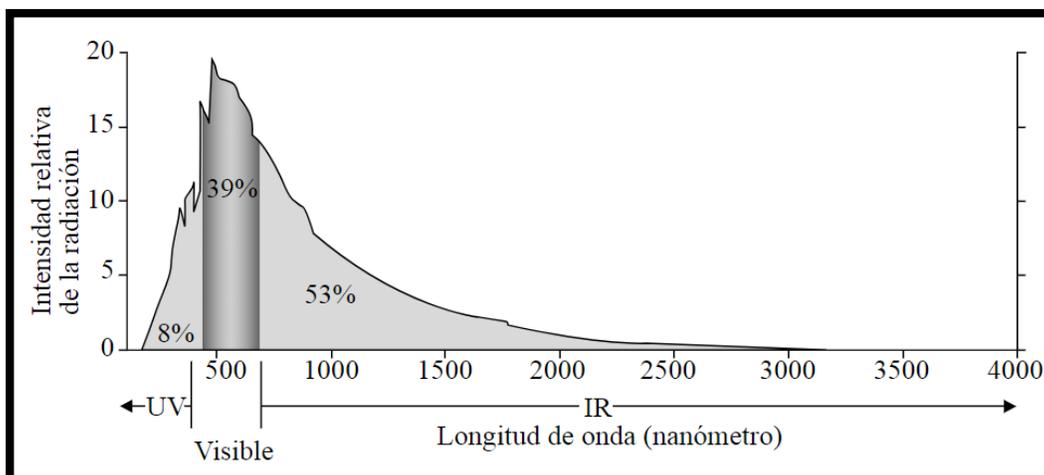
$$\lambda \cdot \nu = c$$

c es la velocidad de la luz en el vacío, 300000 Km/s. Las ondas se extienden desde longitudes de ondas muy cortas, frecuencias muy altas, hasta longitudes de onda largas, frecuencias muy bajas.

La luz, llamada también luz visible o luz blanca, es uno de los componentes del espectro electromagnético que se define como “aquella parte del espectro de radiación que puede percibir el ojo humano”. La radiación del sol se emite en todas las longitudes de onda, pero tiene un máximo en la región de la luz visible. La luz visible está compuesta por varios colores, cada uno tiene una longitud de onda específica y cuando se mezclan forman la luz blanca. Luz que está compuesta por radiación o rayos ultravioleta y rayos infrarrojos (Vega & Ramírez, 2014).

Un conjunto de longitudes de onda constituye una banda y la suma de las bandas forman el espectro de absorción de la luz visible (figura 3). La mayor cantidad de energía radiante del sol se concentra en el rango de longitudes de onda del ultravioleta, visible e infrarrojo, en las siguientes proporciones: rayos UV 8%, Vis 39%, e IR cercano 53% (Vega & Ramírez, 2014).

Figura 3. Espectro de absorción de la luz visible



Fuente: Vega, Juan & Santiago, Ramírez. Fuentes de Energía, Renovables y no renovables. Bogotá: Alfaomega, 2014. p.207.

La energía de la radiación electromagnética, E , está relacionada con la frecuencia (ν) mediante la ecuación:

$$E = h \cdot \nu$$

Vega & Ramírez (2014) afirman que h es la constante de Planck que relaciona ambos parámetros. Para entender mejor como la energía radiante del sol interactúa con la litosfera, hidrosfera y atmósfera, se deben conocer otras características de las radiaciones electromagnéticas que concierne a la absorción y emisión de ellas:

- a) toda la materia emite radiación, como es el caso del sol, la tierra, las personas;
- b) los cuerpos calientes emiten más energía total, por unidad de área, que los cuerpos fríos;
- c) Los cuerpos con mayor temperatura emiten un máximo de radiación en longitudes de ondas más cortas;
- d) Los cuerpos que son buenos absorbentes de radiación son también buenos emisores, por ejemplo, la nieve es absorbentes selectivo porque absorbe mal la luz visible, pero es buen emisor de

radiación IR. Un cuerpo absorbente ideal se denomina cuerpo negro, que se define como un “objeto ideal que absorbe toda la radiación que llega a la superficie”. El sol, la tierra y la nieve, bajo ciertas condiciones, se comportan como un cuerpo negro (Vega & Ramírez, 2014).

En cuanto a los componentes de la radiación solar, Vega & Ramírez (2014) mencionan que conviene distinguir tres tipos: la radiación directa, radiación solar que llega a la superficie de la tierra, en línea recta desde el sol, pero con intensidad disminuida por los componentes de la atmosfera. Radiación difusa, es la absorbida y difundida por la atmosfera, de gran importancia en días nublados, que se dispersa por los componentes de la atmosfera, de modo que llega a la superficie desde diferentes puntos del sistema solar. La radiación, tanto directa como difusa, se refleja en todas las superficies en las que incide, dando lugar a la radiación reflejada. Las tres componentes constituyen la radiación global.

El valor de la irradiancia (G) es una localidad dada debe representar el valor promedio de esta. Para ello se deben considerar las variaciones cíclicas estacionales. Con ese fin, deben realizarse mediciones de la irradiación solar diaria (H) durante un periodo largo, diez años o más. (Vega & Ramírez, 2014, pág. 209)

Los efectos de la atmosfera son determinantes en la intensidad de la irradiación solar, lo que da como resultado una gran variabilidad del parámetro en función del tiempo y de la ubicación geográfica. La cantidad de energía solar disponible puede presentar diferencias importantes, no solo de un día a otro, sino de un año a otro. Asimismo, puede haber variaciones importantes entre sitios relativamente cercanos debido a diferencias en el clima o microclima (Vega & Ramírez, 2014).

2.2.2. Energía solar como regulador del clima y la tierra

La radiación solar es la principal fuente de energía y prácticamente la única para la atmósfera del planeta. Puesto que el estado habitual de la atmósfera constituye el clima, es conveniente revisar algunos conceptos propios de la ciencia del clima, la climatología. En climatología se emplean valores medios para expresar los parámetros. De los varios factores climatológicos, el más importante es la radiación solar, por lo que la latitud de una zona es, en gran medida, una causa determinante del clima. Cuanto más alejado este un lugar del ecuador, menor será el ángulo de la luz incidente sobre y por lo tanto menor será el calor recibido (Vega & Ramírez, 2014).

Según Vega & Ramírez (2014) el clima tiene un carácter estacional como consecuencia de la variación de la tasa de radiación solar incidente. Otros factores que condicionan el clima son:

- La temperatura atmosférica como uno de los elementos constitutivos del clima y que se refiere a la medida del calor específico del aire en un lugar y momentos determinados.
- Las precipitaciones.
- La altitud, puesto que la temperatura disminuye con la altitud.
- La humedad del aire, cantidad de vapor de agua que se encuentra presente en la atmósfera.
- La presión atmosférica, presión que ejerce el aire sobre la tierra.
- Los vientos dominantes como consecuencia de altas y bajas presiones.

La temperatura y presión del aire son dos factores del clima que varían entre si depresión y el aire asciende. Por el contrario, cuando el aire es más frío tiene una tendencia a descender, con lo que la presión atmosférica aumenta por compresión en los lugares donde desciende. Así donde la temperatura del aire aumenta, el tiempo atmosférico tendera a ser inestable y se pueden producir lluvias e incluso tormentas, y donde la temperatura del aire desciende, el tiempo será más estable y se presentaran días soleados sin nubes y con el ambiente seco (Vega & Ramírez, 2014).

Vega & Ramírez (2014) afirman que cada clima se puede caracterizar por los valores más o menos uniformes de los factores climáticos enunciados anteriormente, fundamentalmente, temperatura y las precipitaciones, a lo largo de periodos de tiempo prolongados. Realizando combinaciones entre los factores se puede clasificar el clima; la más utilizada de las clasificaciones es la de W.P. Köppen, propuesta en 1900 y posteriormente modificada, la cual está basada en la división de los climas terrestres dentro de cinco grandes tipos, los cuales están representados por las letras mayúsculas A, B, C, D y E. Cada uno de estos tipos de clima está definido por criterios de temperaturas, excepto el B, que lo está por criterio de humedad. Se establecen también subdivisiones en función del régimen hídrico y del régimen térmico, respectivamente.

Tabla 1. Clasificación Köppen

Los criterios de la clasificación de Köppen			
A	Climas tropicales	temperaturas medias superior a 18 °C todos los meses	Ausencia de invierno.
B	Climas secos o áridos	evaporación superior a la precipitación como media anual	No existen cursos permanentes de agua (ríos).
C	Climas templados	temperatura media del mes más frío entre -3 °C y 18 °C y del mes más cálido superior a 10 °C	Presentan verano e invierno.
D	Climas fríos o de nieve	temperaturas medias del mes más frío inferior a -3 °C y del mes más cálido superior a 10 °C	Isoterma de 10 °C que coincide con el límite septentrional de crecimiento de bosque.
E	Climas de hielo	temperatura media del mes más cálido inferior a 10 °C.	Carecen de verdadero verano.

Fuente: Vega, Juan & Santiago, Ramírez. Fuentes de Energía, Renovables y no renovables. Bogotá: Alfaomega, 2014. p.219.

La subdivisión queda definida en función de la distribución estacional de la precipitación por las siguientes letras minúsculas.

Tabla 2. Subdivisión en función de la estación

f	lluvioso todo el año, sin estación seca. Para los climas A, C y D
s	estación seca en verano. Para los climas A y C.
w	estación seca en invierno. Para los climas A, D y D.
m	precipitación de tipo monzónico. Intensas lluvias todo el año con un corto periodo de sequía.

Fuente: Vega, Juan & Santiago, Ramírez. Fuentes de Energía, Renovables y no renovables. Bogotá: Alfaomega, 2014. p.219.

Para los climas secos del grupo B se definen dos subgrupos propios:

Tabla 3. Clasificación grupo B

s	Estepa de semiárido.	Caracterizado por sus praderas.
w	Desértico o árido, cuya precipitación anual es inferior a 400 mm	También se definen dos subgrupos propios para los climas de tipo E.
t	Tundra.	Temperatura del mes más cálido superior a 0 °C.
f	hielo perpetuo.	Temperatura inferior a 0 °C para todos los meses del año.

Fuente: Vega, Juan & Santiago, Ramírez. Fuentes de Energía, Renovables y no renovables. Bogotá: Alfaomega, 2014. p.219.

De la combinación de grupos y subgrupos se obtienen los 12 tipos de climas básicos según Köppen:

Tabla 4. Climas básicos según Köppen

f	Clima de selva tropical lluviosa precipitación mayor a 600 mm en el mes más seco.
Aw	Clima de sabana tropical. Al menos un mes con precipitación menos a 600 mm.
Am	Clima monzónico. Precipitación menor a 600 mm en el mes más seco.
Bs	Clima de estepa. Clima árido continental.
Bw	Clima desértico. Precipitación anual inferior a 400 mm.
Cf	Clima templado húmedo sin estación seca. Precipitación mayor a 300 mm en el mes más seco.
Cs	Clima templado con verano seco. La precipitación del mes más seco del verano es inferior a 300 mm y la del mes más lluvioso del invierno, tres veces superior.
Cw	Clima templado con estación invernal seca. El mes más húmedo es diez veces superior al más seco del invierno.

Fuente: Vega, Juan & Santiago, Ramírez. Fuentes de Energía, Renovables y no renovables. Bogotá: Alfaomega, 2014. p.220.

Tabla 5. Continuación Climas básicos según Köppen.

Df	Clima boreal de nieves y bosques con inviernos húmedos. No hay estación seca.
Dw	Clima boreal de nieves y bosques con inviernos secos. Con una estación seca en invierno.
Et	Clima de tundra. Temperatura media del mes más cálido es inferior a 10 °C y superior a 0 °C.
Ef	Clima de hielos perpetuos. La temperatura media del mes más cálido es inferior a 0 °C.

Fuente: Vega, Juan & Santiago, Ramírez. Fuentes de Energía, Renovables y no renovables. Bogotá: Alfaomega, 2014. p.220.

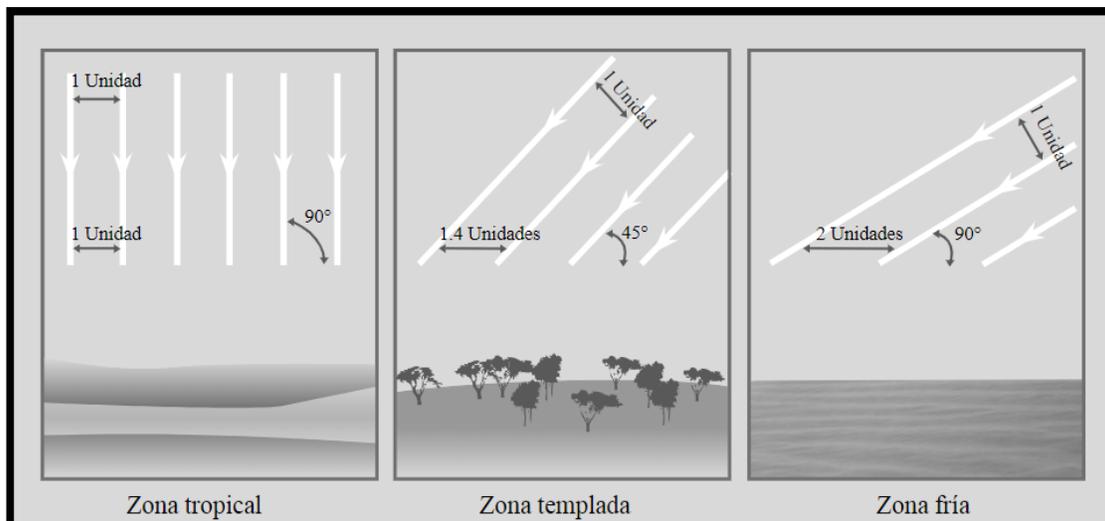
2.2.3. Ángulos solares y representaciones

Según Vega y Ramírez (2014) para estimar la cantidad de energía solar incidente en un punto de la tierra es necesario conocer previamente algunos conceptos y ángulos vinculados con la energía.

Ángulo solar

Ángulo de un rayo de luz incidente sobre un punto de la superficie terrestre. La mayor radiación solar entrante ocurre cuando los rayos solares golpean la tierra en el ángulo más alto, 90° en zona tropical. Durante el verano la tierra se encuentra inclinada y hacia el sol se da a los ángulos altos. Durante el invierno la tierra está orientada lejos del sol, creando ángulos bajos (Vega & Ramírez, 2014).

Figura 4. Ángulo solar



Fuente: Vega, Juan & Santiago, Ramírez. Fuentes de Energía, Renovables y no renovables. Bogotá: Alfaomega, 2014. p.231.

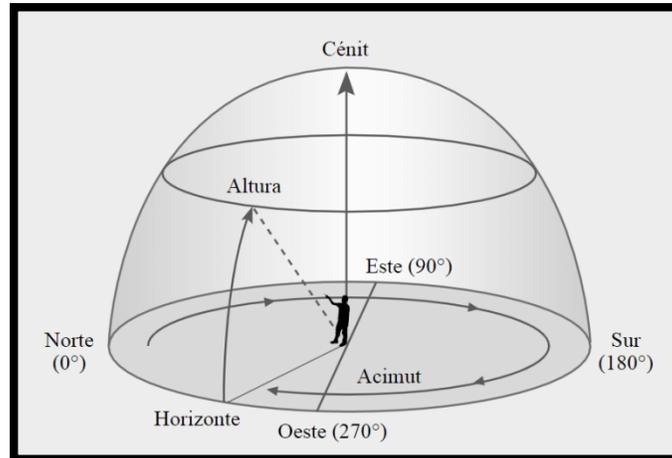
Cenit (ϕz)

Es el punto de la esfera celeste situado en la vertical del observador. Corresponde, en vertical, a un lugar determinado de la tierra. Si se prolonga el radio terrestre desde el lugar donde se encuentra el observador en ambas direcciones, cortaría la esfera celeste en dos partes. Cenit que se encuentra sobre el observador (Vega & Ramírez, 2014).

Ángulo acimutal (y)

Vega y Ramírez (2014) indican que es el ángulo de una dirección contado en el sentido de las agujas del reloj a partir del norte. El acimut de un punto hacia el este es de 90 grados y hacia el oeste, de 270 grados. El termino acimut solo se usa cuando se trata del norte verdadero.

Figura 5. Cenit y ángulo acimutal

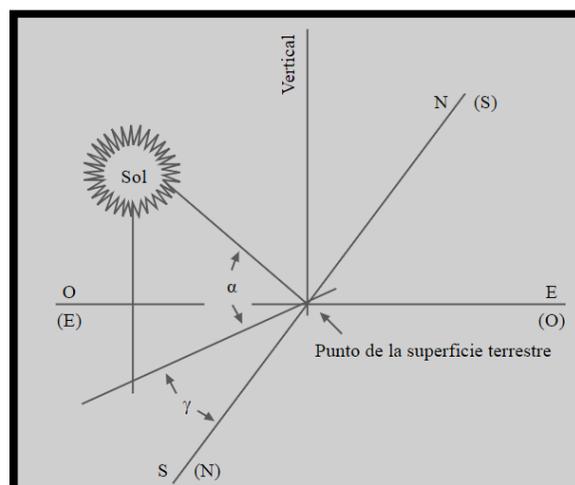


Fuente: Vega, Juan & Santiago, Ramírez. Fuentes de Energía, Renovables y no renovables. Bogotá: Alfaomega, 2014. p.232.

Ángulo de altitud solar (α)

Es el ángulo entre la línea que pasa por el punto y el sol. Es una coordenada absoluta se mide sobre el ecuador celeste hacia el este, en sentido directo. El valor varía en el intervalo: $0 \text{ h} \leq \alpha \leq 24 \text{ h}$ (Vega & Ramírez, 2014).

Figura 6. Ángulo de altitud solar

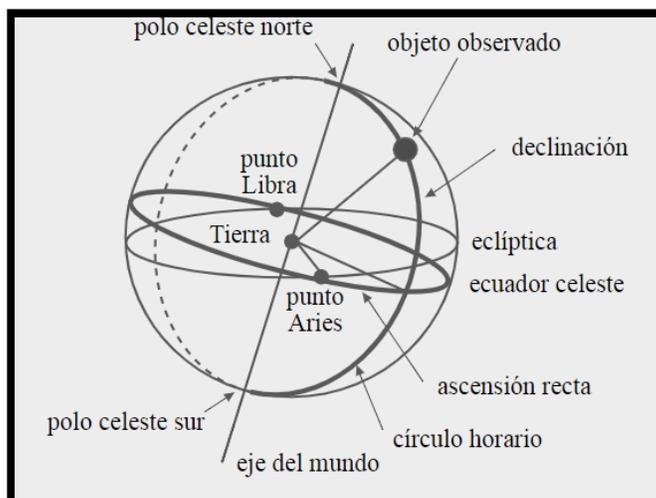


Fuente: Vega, Juan & Santiago, Ramírez. Fuentes de Energía, Renovables y no renovables. Bogotá: Alfaomega, 2014. p.232.

Ángulo de declinación (δ)

Vega y Ramírez (2014) mencionan que el ángulo que forma un astro con el ecuador celeste que determina la época del año. Es una coordenada absoluta, independiente de la posición del observador en la superficie terrestre. Es $< 0^\circ$ hacia el norte celeste y $> 0^\circ$ hacia el sur celeste y máximo ($+23^\circ 27'$) en los solsticios (invierno y verano) y mínimo (0°) en los equinoccios (otoño y primavera).

Figura 7. Ángulo de declinación

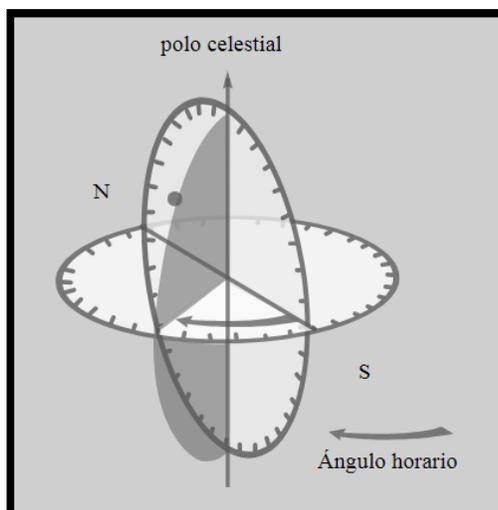


Fuente: Vega, Juan & Santiago, Ramírez. Fuentes de Energía, Renovables y no renovables. Bogotá: Alfaomega, 2014. p.233.

Ángulo horario (ω)

Es el arco de ecuador celeste contado desde el punto de intersección del ecuador celeste con el meridiano del observador hasta el círculo horario del astro en sentido de los punteros del reloj. Especifica el momento del día; al medio día el ángulo de hora es cero. El ángulo de hora incrementa 15° cada hora. $\omega=15(ts-12)$; ts = tiempo solar en horas (Vega & Ramírez, 2014).

Figura 8. Ángulo horario

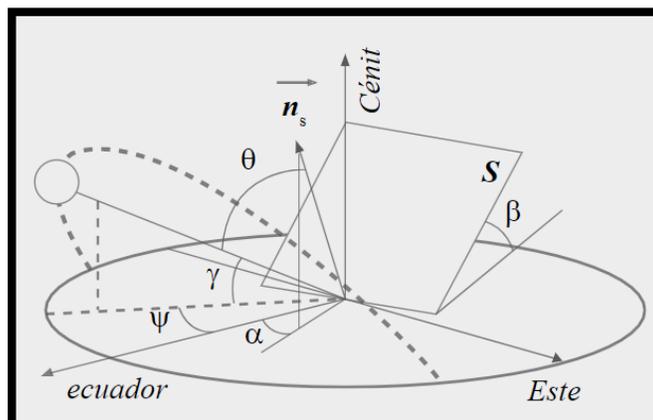


Fuente: Vega, Juan & Santiago, Ramírez. Fuentes de Energía, Renovables y no renovables. Bogotá: Alfaomega, 2014. p.233.

Ángulo de incidencia solar (θ)

Ángulo entre la normal (n) a la superficie plana (s) y el rayo solar. Mientras más pequeño es dicho ángulo mayor intensidad de radiación incide sobre la superficie (Vega & Ramírez, 2014). Se incluyen ángulos anteriores a manera de resumen.

Figura 9. Ángulo de incidencia solar



Fuente: Vega, Juan & Santiago, Ramírez. Fuentes de Energía, Renovables y no renovables. Bogotá: Alfaomega, 2014. p.234.

2.2.4. Energía solar fotovoltaica

Vega & Ramírez (2014) mencionan que el tipo de energía permite convertir directamente la energía solar en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico, que consiste en generar una tensión eléctrica para producir una corriente eléctrica.

Fundamentos de la energía solar fotovoltaica

Previo a presentar el tema es preciso recordar algunos conceptos sobre metales conductores. Los materiales existen en estado cristalino. Los átomos que forman el estado poseen un alto grado de ordenamiento, es decir, ocupan posiciones específicas en el interior del cristal. Por lo que las fuerzas de atracción entre los átomos son máximas. Los enlaces en los cristales metálicos se deben a los electrones de la última capa atómica, o electrones de valencia, los cuales están deslocalizados en todo el cristal (Vega & Ramírez, 2014).

Vega & Ramírez (2014) afirman que los átomos metálicos en un cristal se pueden imaginar como una distribución de iones positivos, cationes, inmerso en un mar de electrones de valencia deslocalizados. Como consecuencia de la deslocalización existe una gran fuerza de cohesión que es responsable de la resistencia del metal; además, la movilidad de los electrones hace que los metales sean buenos conductores del calor y de la electricidad. Entonces, una característica relevante de los metales es su gran conductividad eléctrica, la cual disminuye con el aumento de temperatura.

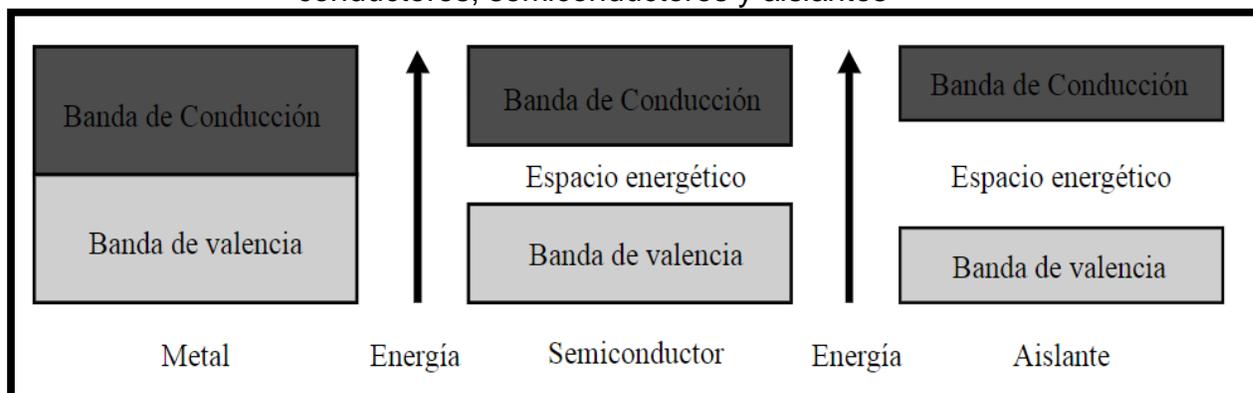
Los electrones de la última capa de los metales conductores tienen energías muy parecidas, cuyo conjunto puede asimilarse a una banda de energía que se denomina banda de valencia porque corresponde a todos los niveles de energía que poseen los electrones de valencia. (Vega & Ramírez, 2014, pág. 276)

Si los electrones son excitados, es decir, adquieren una energía mayor a la que corresponde a la banda de valencia entonces pueden desplazarse libremente a través de todo el cristal solamente con una muy pequeña cantidad de energía sobre la de dicha banda, por lo que el metal será un conductor capaz de conducir la corriente eléctrica. Se dice, en las circunstancias, que los electrones poseen la energía de la banda de conductores (Vega & Ramírez, 2014).

Vega & Ramírez (2014) mencionan que, por otra parte, los materiales semiconductores se comportan como conductores o como aislantes dependiendo de la temperatura del ambiente en el que se encuentren. La conductividad de los semiconductores aumenta con el incremento de temperatura, por lo que los materiales llegan a ser conductores cuando adquieren una energía determinada que puede ser térmica o solar. Una vez adquirida la energía, los electrones de la última capa de los semiconductores pasaran de la banda de valencia a la banda de conducción.

Los semiconductores también conducirán la corriente eléctrica cuando se combinen con otros elementos. En los materiales aislantes, tales como la madera o el vidrio, se requiere de muy alta energía para excitar a los electrones de valencia para que alcancen la banda de conducción, por lo que son incapaces de conducir la corriente (Vega & Ramírez, 2014). La figura 10 muestra los conjuntos de energías de las bandas de valencia y conducción de materiales conductores, semiconductores y aislantes.

Figura 10. Energías de las bandas de valencia y conducción de materiales conductores, semiconductores y aislantes



Fuente: Vega, Juan & Santiago, Ramírez. Fuentes de Energía, Renovables y no renovables. Bogotá: Alfaomega, 2014. p.277.

Sea E_v la energía de la banda de valencia que poseen los electrones con la energía de la capa de valencia. Según Vega & Ramírez (2014) para que el electrón escape de la influencia del núcleo es necesario que adquiera una energía mínima (E_g) para situarse en la banda de conducción (E_c). Por lo tanto:

$$E_g = E_c - E_v$$

Vega & Ramírez (2014) indican que en un material aislante la banda de conducción y la de valencia están muy separadas, por lo que para electrones que contribuyan a la conducción se necesita gran cantidad de energía, $E_g = 6eV$. En un buen conductor las bandas de valencia y conducción se solapan; se necesita muy poca energía para mantener corrientes eléctricas intensas. En materiales semiconductores la E_g es mucho menor que en los aislantes: $E_g = 1 eV$.

En los semiconductores la diferencia de energía entre la banda de conducción y la de valencia puede coincidir con la energía de la luz (o de los fotones). Cuando un semiconductor absorbe luz (radiación solar), se transfiere un electrón de la banda de valencia a la banda de conducción. Para que se produzca absorción, la energía del fotón incidente debe ser igual o superior a la diferencia entre la energía de la banda de conducción y la de la banda de valencia. Los fotones que poseen la energía presentan longitudes de onda comprendidas entre 500 y 1140 nm, que corresponden a los colores verde y azul y están cercanas al infrarrojo de la luz natural (Vega & Ramírez, 2014).

Vega & Ramírez (2014) indican que los semiconductores pueden ser clasificados en intrínsecos y extrínsecos o de impurezas. Los semiconductores intrínsecos se caracterizan por ser materiales puros; un ejemplo típico de estos materiales es el Silicio (Si). El ejemplo de este semiconductor en transistores ha revolucionado la industria electrónica, principalmente en las tecnologías de información y comunicación y en celdas solares, y ha permitido la expansión de las tecnologías de transformación directa de la energía solar en eléctrica.

Los semiconductores extrínsecos son semiconductores intrínsecos que contienen además un pequeño porcentaje de impureza, tal como átomos que pueden perder electrones o captar electrones; se dicen que están dopados. Los átomos constituyentes del dopado ocupan el lugar del átomo de Si en su estructura cristalina y producen una distribución asimétrica de cargas que crean un potencial eléctrico necesario para generar una corriente eléctrica en un circuito externo (Vega & Ramírez, 2014).

La conductividad de los semiconductores con impurezas depende del tipo de semiconductores y la inclusión permite aumentar la capacidad de conducción de la corriente eléctrica. Si el átomo de impureza puede perder electrones al

material se le da el nombre de semiconductor donador o de tipo n, por negativo, ya que proporciona electrones de conducción. (Vega & Ramírez, 2014, pág. 278)

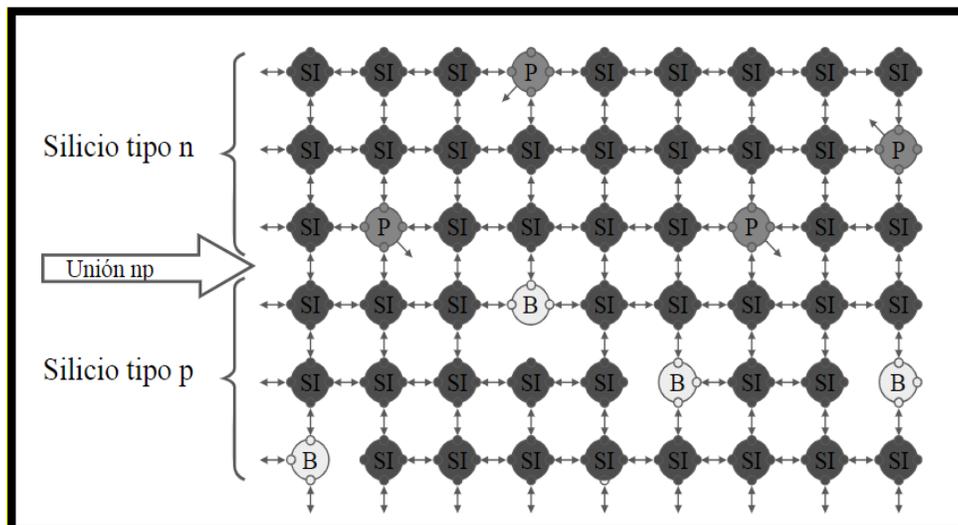
Vega & Ramírez (2014) mencionan que en cada átomo de Silicio (Si), se encuentra unido mediante enlaces a otros cuatro átomos de Si debido a que el átomo tiene cuatro electrones en la última capa, la capa de valencia. Si una pequeña fracción de átomos de Si se reemplaza por átomos de fósforo (P), que tiene cinco electrones en la capa de valencia, cuatro de los electrones formarán cuatro enlaces con sendos átomos de Si, pero en cada átomo de P mediante la aplicación de un potencial aplicado al semiconductor. En consecuencia, el P entrega electrones de conducción y transforma la mezcla en un semiconductor tipo N.

Vega & Ramírez (2014) indican que si el material contiene átomos de impureza que captan electrones el nombre es semiconductor aceptor o tipo p, por positivo. Una buena impureza del tipo, intercalada con cristal de Si, es el boro (B), que posee tres electrones en su última capa. Cada átomo del elemento podrá unirse a tres átomos de Si, pero le faltará un electrón para establecer un enlace con un átomo de Si. Se dice que queda un hueco en el átomo de B. Un electrón de un átomo vecino de Si será atraído hacia el espacio así creado para llenar el hueco.

Producido el traslado se generará un nuevo hueco y desplazamiento electrónico que dejará otro hueco y así sucesivamente. De modo, que los electrones se pueden mover en el cristal en una dirección que será la opuesta a la dirección en que se forman los huecos, como consecuencia del movimiento de los electrones. (Vega & Ramírez, 2014, pág. 279)

La separación de cargas lleva al establecimiento de una diferencia de potencial entre dos zonas del material, electrones y huecos, que si se conectan entre si mediante un conductor externo formaran un circuito, al material al mismo tiempo que la irradiación electromagnética incide sobre el material semiconductor, dando origen a una corriente eléctrica que recorrerá el circuito externo. El fenómeno se conoce como efecto fotovoltaico (Vega & Ramírez, 2014). La figura 11 ilustra la inclusión de impurezas de fósforo (P) y boro (B) en un cristal de silicio.

Figura 11. Estructura cristalina del Silicio (Si) dopada con fósforo (P) y boro (B)



Fuente: Vega, Juan & Santiago, Ramírez. Fuentes de Energía, Renovables y no renovables. Bogotá: Alfaomega, 2014. p.280.

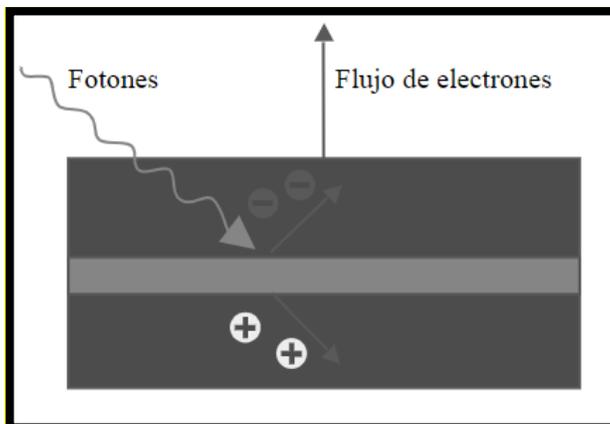
La conversión de la radiación solar en una corriente eléctrica tiene lugar en la celda fotovoltaica, que es un dispositivo formado por una muy delgada lamina de un material semiconductor, frecuentemente de Silicio. Generalmente, una celda fotovoltaica tiene un tamaño de 10 por 10 cm, un grosor que varía entre los 0,25 y 0,35 mm y una forma generalmente cuadrada. Para la fabricación de celdas, el material actualmente más utilizado por la industria electrónica es el Silicio, cuyo proceso de fabricación tiene costos muy altos debido a la alta pureza exigida (Vega & Ramírez, 2014). Por tal motivo se prefieren grados de pureza inferiores.

Un semiconductor tipo N se obtiene llevando a cabo un proceso de dopado añadiendo un cierto tipo de átomos al semiconductor para poder aumentar el número de portadores de carga libres (en este caso negativos o electrones). Cuando se añade el material dopante, aporta sus electrones más débilmente vinculados a los átomos del semiconductor. Este tipo de agente dopante es también conocido como material donante, ya que da algunos de sus electrones (Massieu, 2008).

Un semiconductor tipo P se obtiene llevando a cabo un proceso de dopado, añadiendo un cierto tipo de átomos al semiconductor para poder aumentar el número de portadores de carga libres (en este caso positivos o huecos). Cuando se añade el material dopante libera los electrones más débilmente vinculados de los átomos del semiconductor. Este agente dopante es también conocido como material aceptor y los átomos del semiconductor que han perdido un electrón son conocidos como huecos (Massieu, 2008).

Vega & Ramírez (2014) indican que el Silicio se dopa con los elementos ya nombrados y así se tiene un semiconductor tipo N y otro tipo P, necesarios para fabricar una celda fotovoltaica y que al superponerse forman una unión. La figura 12 muestra la estructura de una celda en la cual los signos menos representan Silicio tipo N y los positivos, el Silicio tipo P.

Figura 12. Celda compuesta de Silicio tipo n y Silicio tipo p



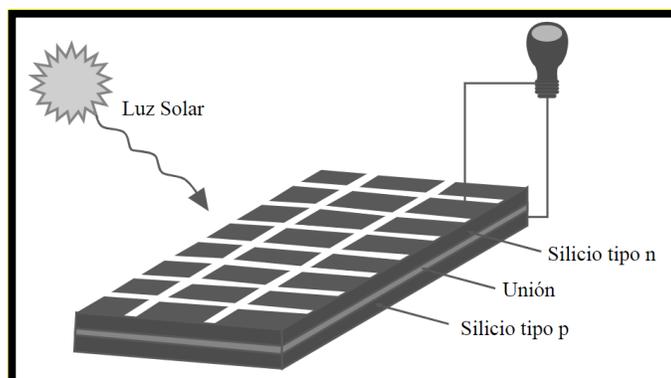
Fuente: Vega, Juan & Santiago, Ramírez. Fuentes de Energía, Renovables y no renovables. Bogotá: Alfaomega, 2014. p.281.

Los transportadores de carga migran fuera de la zona de unión debido a la repulsión de cargas (figura 12), las cargas negativas hacia arriba y las positivas hacia abajo. Por lo tanto, los electrones del semiconductor tipo N son repelidos por las cargas negativas de los átomos de boro del semiconductor de tipo P, mientras que los huecos móviles del semiconductor tipo P son repelidos por las cargas positivas adyacentes de los átomos de fósforo en el semiconductor tipo N. Como resultado del proceso se genera una tensión o potencial eléctrico en la unión, creado por la distribución de cargas positivas y negativas a ambos lados de la unión (Vega & Ramírez, 2014).

La absorción de un fotón en el semiconductor tipo P genera un electrón en la banda de conducción que puede tener la oportunidad acelerarse a través de la unión antes de introducirse en un hueco. Análogamente un hueco generado de un semiconductor tipo P puede acelerarse en la dirección opuesta antes de aceptar un electrón. El movimiento dirigido de las cargas, inducidas por fotones, da lugar a una corriente eléctrica en el circuito externo. Cuando un conjunto de celdas que funcionan según lo explicado se une en serie, se forma un módulo fotovoltaico

cuya energía eléctrica es la que se aprovecha. La figura 13 muestra un módulo y su utilidad como generador de electricidad (Vega & Ramírez, 2014).

Figura 13. Conjunto de celdas que conforman un módulo fotovoltaico



Fuente: Vega, Juan & Santiago, Ramírez. Fuentes de Energía, Renovables y no renovables. Bogotá: Alfaomega, 2014. p.282.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. Energía fotovoltaica conectada a la red

Más de un 90% de los generadores fotovoltaicos están conectados a la red de distribución eléctrica y vierten a ella su producción energética. Por lo que evita que las instalaciones necesiten baterías y constituyen una aplicación más directa y eficiente de la tecnología. Ya hay cientos de miles de sistemas fotovoltaicos conectados a la red que demuestran que la conexión a red es técnicamente factible y muy fiable. En países como Alemania, Japón o EE. UU., hay un número cada vez más de personas y empresas interesadas en instalar un sistema fotovoltaico y conectado a la red (Barbera, 2013).

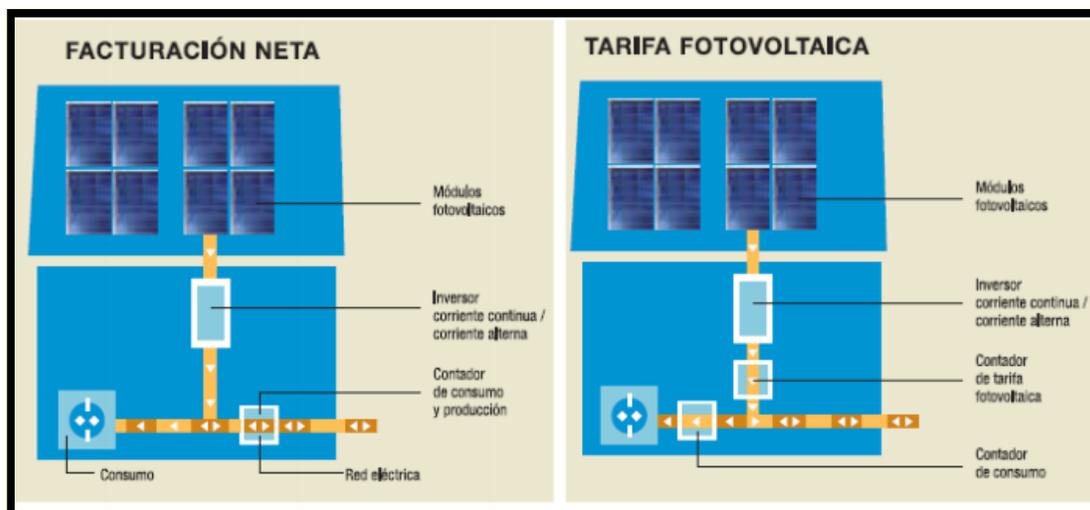
Las motivaciones para dar un paso semejante son diversas, algunos lo hacen para ganar dinero con la venta de la electricidad solar; otros para ahorrar electricidad en

los picos de demanda o para dar estabilidad al consumo si el suministro que reciben es inestable; muchos otros justifican en todo o parte la inversión por conciencia ambiental. En todos los casos existen la motivación de contribuir al desarrollo de la tecnología limpia. Para la conexión a la red se utiliza un inversor que convierte la corriente continua de los paneles en corriente alterna (Barbera, 2013). El inversor cumple además otras funciones, monitoriza el sistema y lo desconecta de la red si hay algún funcionamiento anormal. Hay dos formas de conectarse a la red:

Facturación neta

Barbera (2013) menciona que la electricidad solar se usa primero para consumo propio y los excedentes, si los hay, se inyectan a la red. El sistema fotovoltaico se conecta cerca del contador, pero en el lado del consumidor, reduciendo la necesidad de comprar electricidad; por lo tanto, disminuye la factura de la compañía eléctrica, que suministra sólo la energía que no aportan los paneles. Cuando se produce un excedente, esa producción eléctrica se vierte en la red y puede recibir la tarifa fotovoltaica correspondiente, si lo contempla la regulación.

Figura 14. Esquema facturación fotovoltaica



Fuente: Barbera, Daniel. Introducción a la energía fotovoltaica. España: Universidad de Sevilla, 2013. p.13.

Tarifa fotovoltaica

En los países donde la legislación obliga a las compañías eléctricas a aceptar la generación que conecta a sus redes y existe una tarifa para recompensar el Kwh de origen fotovoltaico, el sistema solar se suele conectar directamente a la red eléctrica, de modo que se inyecta el 100% de la energía producida (Barbera, 2013).

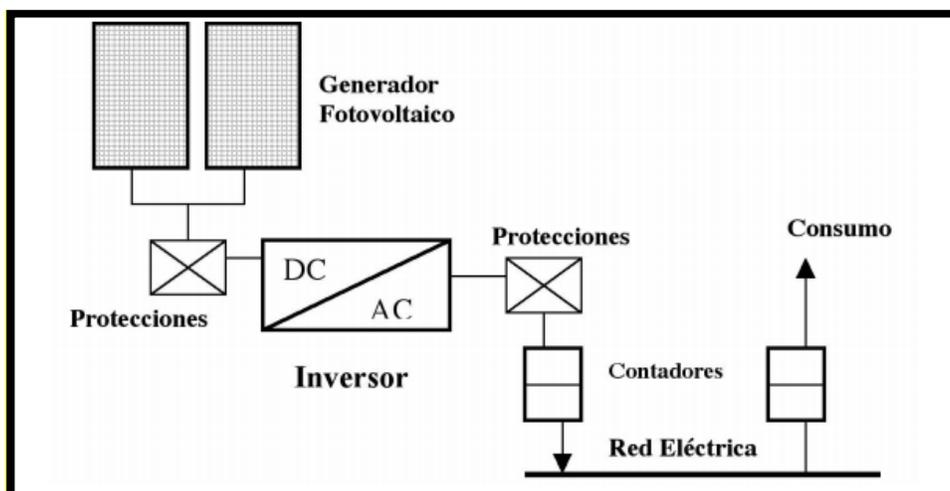
Barbera (2013) menciona que, en la práctica, las dos formas logran que la electricidad generada se consuma en el lugar que se produce, ya sea en el propio edificio que aloja los paneles o por los consumidores cercanos a una instalación sobre suelo o sobre un elemento constructivo; sin embargo, financiera y administrativamente son dos casos muy distintos. En el caso de la tarifa fotovoltaica, mucho más eficaz para promover la fuente renovable, se tiene que emitir una factura y se tiene que llevar una contabilidad (en España, además, hay

que hacer todos los trámites de una actividad económica, con la independencia del tamaño de la instalación), en el caso de la facturación neta, en cambio, se obtiene un ahorro de consumo que no conlleva ninguna carga burocrática.

2.3.2. Elementos que componen la instalación de un sistema fotovoltaico

A continuación, el esquema básico de instalaciones fotovoltaicas conectado a la red de baja tensión y que no contempla la posibilidad de interconectar con los cuadros de distribución de consumo interno.

Figura 15. Esquema básico de instalaciones fotovoltaicas



Fuente: Consejería de economía e innovación tecnológica. Guía de la energía solar. España: Madrid solar, 2006 p.34.

Generador fotovoltaico

Transforma la energía solar en energía eléctrica. Está constituido por paneles solares y

a su vez formados por varias células iguales conectadas eléctricamente entre sí, en serie y/o en paralelo, de forma que la tensión y corriente suministradas por el panel se incrementa hasta ajustarse al valor deseado (San Romualdo, 2006).

San Romualdo (2006) menciona que la mayor parte de los paneles solares se construyen asociando primero células en serie hasta conseguir el nivel de tensión deseado, y luego uniendo en paralelo varias asociaciones de células para alcanzar el nivel de corriente deseado. Además, el panel cuenta con otros elementos a parte de las células solares, que hacen posible la adecuada protección del conjunto frente a los agentes externos; asegurando una rigidez suficiente, posibilitando la sujeción a las estructuras que lo soportan y permitiendo la conexión eléctrica.

Inversor

San Romualdo (2006) afirma que es el equipo encargado de transformar la energía recibida del generador fotovoltaico (en forma de corriente continua) y adaptarla a las condiciones requeridas según el tipo de cargas, normalmente en corriente alterna y el posterior suministro a la red. Los inversores vienen caracterizados principalmente por la tensión de entrada, que se debe adaptar al generador, la potencia máxima que puede proporcionar y la eficiencia, la cual se define como la relación entre la potencia eléctrica que el inversor entrega a la utilización (potencia de salida) y la potencia eléctrica que extrae del generador (potencia de entrada). Aspectos importantes que deben de cumplir los inversores:

- Deberán tener una eficiencia alta, pues en caso contrario se habrá de aumentar innecesariamente el número de paneles para alimentar la carga.
- Estar adecuadamente protegidos contra cortocircuitos y sobrecargas.
- Incorporar rearme y desconexión automáticos.
- Admitir demandas instantáneas de potencia mayores del 150% de su potencia máxima.
- Cumplir con los requisitos, que establece el Reglamento de Baja Tensión.

- Baja distorsión armónica.
- Bajo consumo.
- Aislamiento galvánico.
- Sistema de medidas y monitorización.

Estructura de soporte de placas

El bastidor es el encargado de sujetar el panel solar, y muchas veces puede ser un kit de montaje para instalarlo adecuadamente. En el caso de que no se suministrará en kit el instalador debe realizarlo de acuerdo con la normativa existente, además de tener en cuenta la fuerza del viento entre otras cosas. La estructura deberá soportar como mínimo una velocidad del viento de 150Km/h. La estructura es la que fijará la inclinación de los paneles solares (Barbera, 2013).

Para anclar los paneles se utiliza hormigón y tornillos de rosca (acero inoxidable), siendo tanto la estructura como los soportes de acero inoxidable, hierro galvanizado o aluminio anodinado, de un espesor de chapa 1mm y han de dejar una altura mínima entre el suelo y el panel de 30cm, y en la montaña o lugares donde llueve mucho, algo mayor, para evitar quesean alcanzados o enterrados por la nieve o el agua. (Barbera, 2013, pág. 16)

Caja general de protección

La caja general de protección es la encargada de salvaguardar toda la instalación eléctrica de un posible cortocircuito o punta de intensidad que afectaría a todos los componentes conectados a la red. La caja general de protección puede llevar tanto protecciones térmicas como fusibles (Barbera, 2013).

Puesta a tierra

Barbera (2013) indica que la puesta a tierra de la instalación es muy importante ya que delimita la tensión que pueda presentarse en un momento dado en las masas metálicas de los componentes, asegurando la actuación de las protecciones y eliminando el riesgo que supone el mal funcionamiento o avería de alguno de los equipos. Las tomas a tierra se establecen principalmente a fin delimitar la tensión que puedan presentar en un momento dado las masas metálicas, asegurar la actuación de las protecciones y eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en los materiales eléctricos utilizados.

Cableado de interconexión

Barbera (2013) menciona que es el encargado de conectar los distintos paneles solares con las cajas de interconexión y con otra instrumentación. El cableado de paneles se realiza con materiales de alta calidad para que se asegure la durabilidad y la fiabilidad del sistema a la intemperie. El cableado tiene que cumplir con el reglamento técnico de baja tensión.

Los cables deben tener una última capa de protección con un material resistente a la intemperie y la humedad, de tal forma que no le afecten internamente los agentes atmosféricos. Entre las conexiones eléctricas entre paneles se debe usar siempre terminales. Los terminales de los paneles pueden ser bornas en la parte de detrás del panel o estar situados en una caja de terminales a la caja espalda de este. En el primer caso se tendrá capuchones de goma para la protección de los terminales contra los agentes atmosféricos (Barbera, 2013).

2.4. MARCO LEGAL

2.4.1. NTC 2050 (Código eléctrico colombiano)

La NTC-2050 (1998) tiene como objetivo salvaguardar las personas y los bienes contra los riesgos que pueden surgir por el uso de la electricidad. El código contiene disposiciones que se consideran necesarias para la seguridad. El cumplimiento de ellas y el mantenimiento adecuado darán lugar a una instalación prácticamente libre de riesgos, pero no necesariamente eficiente, conveniente o adecuada para el buen servicio o para ampliaciones futuras en el uso de la electricidad. El código cubre:

- Las instalaciones de conductores y equipos eléctricos en o sobre edificios públicos y privados y otras estructuras, incluyendo casas móviles, vehículos de recreo y casas flotantes, y otras instalaciones como patios, parques de atracciones, estacionamientos, otras áreas similares y subestaciones industriales.
- Instalaciones de conductores y equipos que se conectan con fuentes de suministro de electricidad.
- Instalaciones de otros conductores y equipos exteriores dentro de la propiedad.
- Instalaciones de cables y canalizaciones de fibra óptica.
- Instalaciones en edificaciones utilizadas por las empresas de energía eléctrica, como edificios de oficinas, almacenes, garajes, talleres y edificios recreativos que no formen parte integral de una planta generadora, una subestación o un centro de control.

2.4.2. Alimentadores y acometidas

Los conductores del alimentador deben tener una capacidad de corriente suficiente para alimentar las cargas conectadas. Los conductores del alimentador deben tener una capacidad de corriente suficiente para alimentar las cargas conectadas, en ningún caso la carga calculada para un alimentador debe ser menor a la suma de las cargas de los ramales conectados, tal como se establece en la norma (NTC-2050, 1998).

Según la NTC-2050 (1998) cuando un alimentador suministra corriente a cargas continuas o a una combinación de cargas continuas y no continuas, la capacidad de corriente del dispositivo de protección contra sobre corriente no debe ser menor a la carga no continua más el 125% de la carga continua. El calibre mínimo de los conductores del alimentador, sin aplicar ningún factor de ajuste o corrección, debe permitir una corriente máxima igual o mayor que la de la carga no continua más el 125 % de la carga continua.

2.4.3. Puesta a tierra

Esta sección trata de los requisitos generales de puesta a tierra y de conexiones equipotenciales de las instalaciones eléctricas y de los requisitos específicos que se indican a continuación (NTC-2050, 1998).

- Sistemas, circuitos y equipos que se exige, se permite o no se permite que estén puestos a tierra.
- El conductor del circuito que debe ser puesto a tierra en los sistemas puestos a tierra.
- Ubicación de las conexiones de puesta a tierra.

- Tipos y calibres de los conductores de puesta a tierra, de los conductores de conexión, equipotencial y de los electrodos de puesta a tierra.
- Métodos de puesta a tierra y de conexión equipotencial.
- Condiciones en las cuales los encerramientos de protección, distancias de seguridad eléctrica o aislamiento hacen que no se requiera puesta a tierra.

2.4.4. Puesta a tierra de circuitos y sistemas eléctricos.

Características sistemas de corriente continua son: Un sistema equipado con un detector de puesta a tierra y que alimente sólo equipos industriales en áreas limitadas, un sistema que funcione a 50 V o menos entre conductores, (NTC-2050, 1998). Un sistema que funcione a más de 300 V entre conductores y en los sistemas trefilares, se debe poner a tierra el conductor neutro de todos los sistemas de c.c. trefilares que alimenten a los predios.

2.4.5. Cable con aislamiento mineral y recubrimiento metálico.

La NTC-2050 (1998) explica que un cable con aislamiento mineral y recubrimiento metálico de tipo MI es un cable ensamblado en fábrica, de uno o más conductores aislados con mineral refractario de alta compresión y encerrado en un blindaje continuo de cobre o de aleación de acero hermético a los líquidos y a los gases.

2.5. MARCO AMBIENTAL

2.5.1. Reglamento de instalaciones eléctricas (RETIE)

El objeto

La RETIE (2008) tiene como objeto fundamental de este reglamento establecer las medidas tendientes a garantizar la seguridad de las personas, de la vida animal y vegetal y la preservación del medio ambiente; previniendo, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico. Estas prescripciones parten de que se cumplan los requisitos civiles, mecánicos y de fabricación de equipos” (RETIE, 2008, pág. 24).

Adicionalmente señala, las exigencias y especificaciones que garanticen la seguridad de las instalaciones eléctricas con base en su buen funcionamiento, la confiabilidad, calidad y adecuada utilización de los productos, es decir, fija los parámetros mínimos de seguridad para las instalaciones eléctricas. (RETIE, 2008, pág. 5)

Para cumplir estos objetivos legítimos, el presente Reglamento Técnico se basa en los siguientes objetivos específicos: fijar las condiciones para evitar accidentes por contactos eléctricos directos e indirectos, establecer las condiciones para prevenir incendios y explosiones causados por la electricidad (RETIE, 2008). Fijar las condiciones para evitar quema de árboles causada por acercamiento a líneas de energía. Establecer las condiciones para evitar muerte de animales causada por cercas eléctricas. Establecer las condiciones para evitar daños debidos a sobre corrientes y sobretensiones.

Adoptar los símbolos de tipo verbal y gráfico que deben utilizar los profesionales que ejercen la electrotecnia. Minimizar las deficiencias en las instalaciones eléctricas. Establecer claramente las responsabilidades que deben cumplir los diseñadores, constructores, interventores, operadores, inspectores, propietarios y usuarios de instalaciones eléctricas, además de los fabricantes, distribuidores o importadores de materiales o equipos y las personas jurídicas relacionadas con la generación, transporte, distribución y comercialización de electricidad (RETIE, 2008).

Campo de aplicación

La RETIE (2008) señala que, para efectos del reglamento, se consideran como instalaciones eléctricas los circuitos eléctricos con sus componentes tales como conductores, equipos, máquinas y aparatos que conforman un sistema eléctrico y que se utilicen para la generación, transmisión, transformación, distribución o uso final de la energía eléctrica, dentro de los límites de tensión y frecuencia establecidos en el presente reglamento.

El programa de Salud ocupacional consiste en la planeación, organización, ejecución y evaluación de las actividades de Medicina Preventiva, Medicina del Trabajo, Higiene Industrial y Seguridad Industrial. Cada empresa debe tener su propio programa y solo es permitido compartir recursos, pero nunca un programa puede comprender a dos empresas (RETIE, 2008). Establecer y ejecutar las modificaciones en los procesos u operaciones, sustitución de materias primas peligrosas, encerramiento o aislamiento de procesos, operaciones u otras medidas, con el objeto de controlar en la fuente de origen y/o en el medio, los agentes de riesgo.

Sobrecargas

La RETIE (2008) indica cuando se presentan corriente supera los límites nominales del conductor, aparato o equipo, por aumentos de carga sin revisar la capacidad de la instalación, por conductores inapropiados, conexiones con malos contactos y por corrientes parásitas no consideradas en los diseños.

Cortocircuito

Se origina por fallas del aislamiento, impericia del personal que manipula las instalaciones, vientos fuertes, choques con estructuras que soportan conductores energizados, o daños de soportes de partes energizadas (RETIE, 2008). Son los causantes de la mayoría de los incendios de origen eléctrico.

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

Para el desarrollo del presente proyecto, se analizará el impacto económico, social y ambiental que podría tener la instalación de los paneles solares y demás elementos en el edificio de los laboratorios de las Unidades Tecnológicas de Santander sede Barrancabermeja. La presente investigación se realizará con una metodología descriptiva y se llevó a cabo en un tiempo de 4 meses y contemplará 6 fases.

FASE 1. CÁLCULOS DE ESTABILIDAD DE POTENCIAS Y CONFIABILIDAD DEL SISTEMA.

1. Investigar los datos geográficos del sitio exacto (Barrancabermeja), para determinar las condiciones base en las que se diseña el sistema de energía renovable.
2. Realizar un listado de los equipos eléctricos que se encuentra en cada laboratorio de la universidad.
3. seleccionar el panel a usar, se toma de referencia cuatro tipos de paneles comúnmente usados para la generación de energía eléctrica.

FASE 2. METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES REQUERIDOS PARA LA ETAPA DE CONTROL Y POTENCIA.

1. Dimensionar el inversor realizando los respectivos cálculos tomando los datos técnicos de diferentes fuentes.

2. Seleccionar los aparatos de maniobra y protección en un sistema fotovoltaico conectado a la red

FASE 3. PRESUPUESTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA EN LOS LABORATORIOS DE LAS UTS

1. Cotizar los equipos y componentes necesarios para la construcción del sistema fotovoltaico.

FASE 4. EVALUACIÓN DEL IMPACTO SOCIAL, ECONÓMICO Y AMBIENTAL

1. Identificar los principales beneficios en los diferentes aspectos la cual conlleva el desarrollo de un sistema de energía solar en Colombia con el fin de promover el uso de las nuevas tecnologías para fines ambientales.

FASE 5. ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD Y RETORNO DE INVERSIÓN

1. Proponer métodos de recuperación ya sean, periodo de recuperación del capital actualizado y valor actual neto (VAN).
2. Realizar un análisis económico teniendo en cuenta el horario de la mayor demanda de energía en los laboratorios de la UTS
3. Especificar los precios a los que los autogeneradores podrían vender la energía, según la resolución CREG 030 de 2018

FASE 6. IMPLEMENTACIÓN DE PROTOTIPO A ESCALA DEL SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA

1. Establecer los componentes necesarios para la construcción del sistema fotovoltaico que pueda abastecer el edificio de los laboratorios de la institución en todo momento que se encuentre funcionando, tomando en cuenta valores de operación a escala.
2. Ensamblar los componentes del sistema de energía fotovoltaica.
3. Evaluar el sistema de generación de energía basado en paneles solares realizando pruebas de generación a diferentes horas del día en la ciudad de Barrancabermeja.

4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

La electricidad es una de las formas de energía más utilizada, versátil y que mejor se adapta a las diferentes necesidades de la humanidad. El uso está tan extendido que difícilmente podría concebirse una sociedad tecnológicamente avanzada que no hiciese uso de ella. Hoy día existen miles de aparatos que, bien en forma de corriente continua o de corriente alterna, utilizan la electricidad como fuente de energía, y su uso ha provocado un gran aumento de la demanda de consumo eléctrico. Este hecho ha propiciado la búsqueda de nuevas fuentes de energía y nuevos sistemas de producción eléctrica, basado, fundamentalmente, en el uso de energías renovables.

Los sistemas tradicionales de producción de electricidad tienen una problemática asociada que hace necesario intentar desarrollar otro tipo de fuentes energéticas (Díaz & Carmona, 2010).

Centrales hidráulicas: el efecto invernadero y el cambio climático hacen que cada vez las sequías sean más prolongadas y, por tanto, no se pueda asegurar la producción estable de electricidad a través de estas centrales.

Centrales térmicas: tienen el problema de que los combustibles fósiles son un recurso limitado en el tiempo. Además, provocan una gran emisión de gases contaminantes perjudiciales para el efecto invernadero.

Centrales nucleares: tienen el problema de la eliminación de los residuos generados, además del potencial riesgo de un accidente nuclear.

Díaz y Carmona (2010) mencionan que las instalaciones solares fotovoltaicas (ISF) se pueden clasificar en función de la aplicación a la que están destinadas. Así, se distinguirán entre aplicaciones autónomas y aplicaciones conectadas a la red.

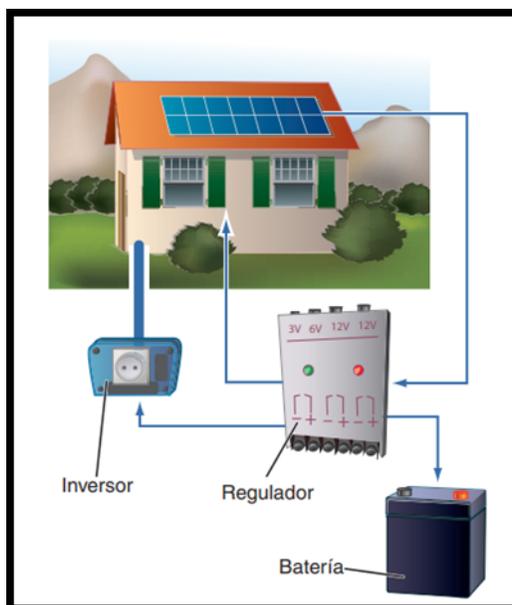
Tabla 6. Tipos de instalaciones fotovoltaicas.

Aplicaciones	Función	Uso
Autónomas	Producen electricidad sin ningún tipo de conexión con la red eléctrica, a fin de dotar de este tipo de energía al lugar donde se encuentran ubicadas.	<ul style="list-style-type: none"> • Satélites de comunicación. • Estaciones satélites. • Telecomunicaciones. • Electrificación de zonas rurales y asiladas. • Señalización. • Alumbrado público. • Bombeo de agua. • Redes VSAT. (redes privadas de comunicación satelital). • Telemetría.
Conectadas a la red	El productor no utiliza la energía directamente, sino que es vendida al organismo encargado de la gestión de la energía en el país. Tienen el ventaja de que la producción de electricidad se realiza precisamente en el periodo de tiempo en el que la curva de demanda de electricidad aumenta, es decir, durante el día, siendo muy importante los kilovatios generados de esta forma.	<ul style="list-style-type: none"> • Centrales fotovoltaicas. • Huertos solares. • Edificios fotovoltaicos.

Fuente: Díaz, Tomas & Carmona, Guadalupe. Instalaciones Solares Fotovoltaicas. España: Mc Graw Hill, 2010. p.11.

A continuación, se ilustran la representación de las aplicaciones de las instalaciones solares fotovoltaicas. La figura 16 es un claro de ejemplo de una vivienda que es autosuficiente usando un sistema de energía solar autónomo conformado por un panel, inversor, regulador y una batería que guarda toda la energía sobrante durante la producción de energía para luego usarse en la noche cuando la fuente de energía (el sol) se encuentra ausente.

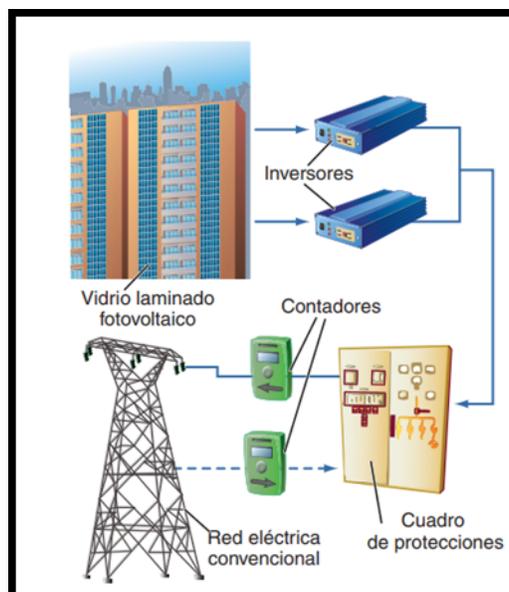
Figura 16. Instalación solar autosuficiente.



Fuente: Diaz, Tomas & Carmona, Guadalupe. Instalaciones Solares Fotovoltaicas. España: Mc Graw Hill, 2010. p.9.

Por otro lado, el sistema de energía solar conectada a la red es usada comúnmente en los edificios, la energía producida por ellas no es consumida directamente, sino vendida a la red eléctrica al precio fijado para tales instalaciones. Por esa razón en estas instalaciones siempre aparecen dos contadores los cuales reemplazan a la batería: uno para la energía producida, y otro para la energía que se consume en el edificio.

Figura 17. Instalación conectada a la red eléctrica.



Fuente: Diaz, Tomas & Carmona, Guadalupe. Instalaciones Solares Fotovoltaicas. España: Mc Graw Hill, 2010. p.9.

Basado en la información anterior sobre las aplicaciones del sistema de energía fotovoltaica para el presente proyecto se estableció realizar un prototipo básico a escala de un sistema de generación fotovoltaica conectada a la red debido a que las UTS se encuentra ubicada en la zona urbana de la ciudad por lo que fácilmente se puede conectar a la red reduciendo gastos de compra de batería; además de obtener posibles ganancias al contribuir energía eléctrica a la red cuando los laboratorios no se encuentren en funcionamiento.

Los objetivos se realizan en base a un sistema de generación fotovoltaica conectada a la red para manejar una estandarización durante todo el proyecto. Se evidenciará con ilustraciones, especificaciones y describiendo cada proceso y/o actividad a realizar para el desarrollo de cada objetivo hasta la culminación de los mismos.

4.1. CÁLCULOS DE ESTABILIDAD DE POTENCIAS Y CONFIABILIDAD DEL SISTEMA.

Para llevar a cabo el presente objetivo se investiga los datos geográficos del sitio exacto (Barrancabermeja), para determinar las condiciones base en las que se diseña el sistema de energía renovable. Estableciendo la factibilidad de acuerdo a la irradiancia, se procede a calcular el consumo total por mes de los laboratorios de la universidad, el cual se llevó a cabo realizando un inventario de los equipos eléctricos de cada laboratorio.

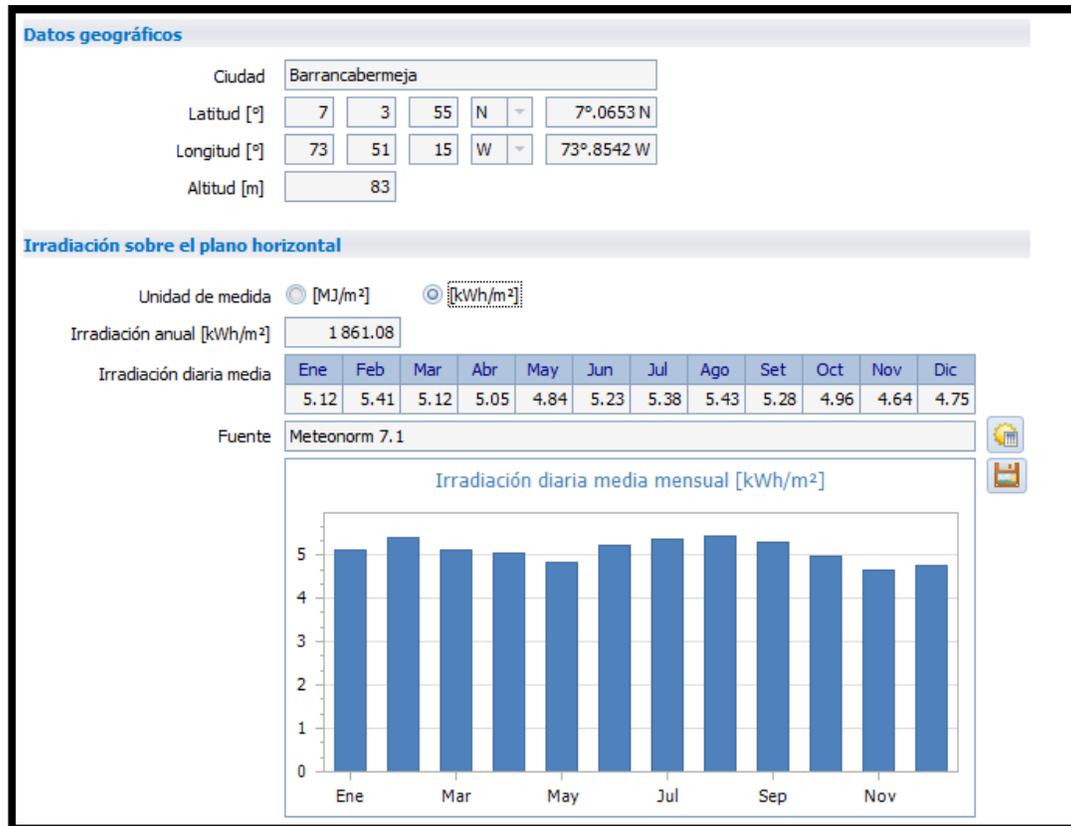
4.1.1. Energía solar disponible en el sitio exacto del proyecto

Según la ubicación exacta del sitio a implementar el proyecto (Unidades Tecnológicas de Santander sede Barrancabermeja) y de acuerdo a los datos suministrados por el programa Solarius PV (Ver Figura 18) se puede determinar que la irradiación anual en esta zona es de 1861,08 kWh/m², esto quiere decir que al mes se está obteniendo una irradiación de 155,09 kWh/m², además otro dato que se determina son los meses en donde se recibe más radiación diaria, los cuales son febrero y agosto, en donde se logra más provecho solar, supliendo adecuadamente la energía requerida por los laboratorios.

Irradiación anual: 1861.08 *Kwh/m²*

$$\text{Irradiación mensual: } \frac{\text{Irradiación anual}}{12 \text{ meses}} = \frac{1861.08 \text{ kwh/m}^2}{12} = 155.09 \text{ Kwh/m}^2$$

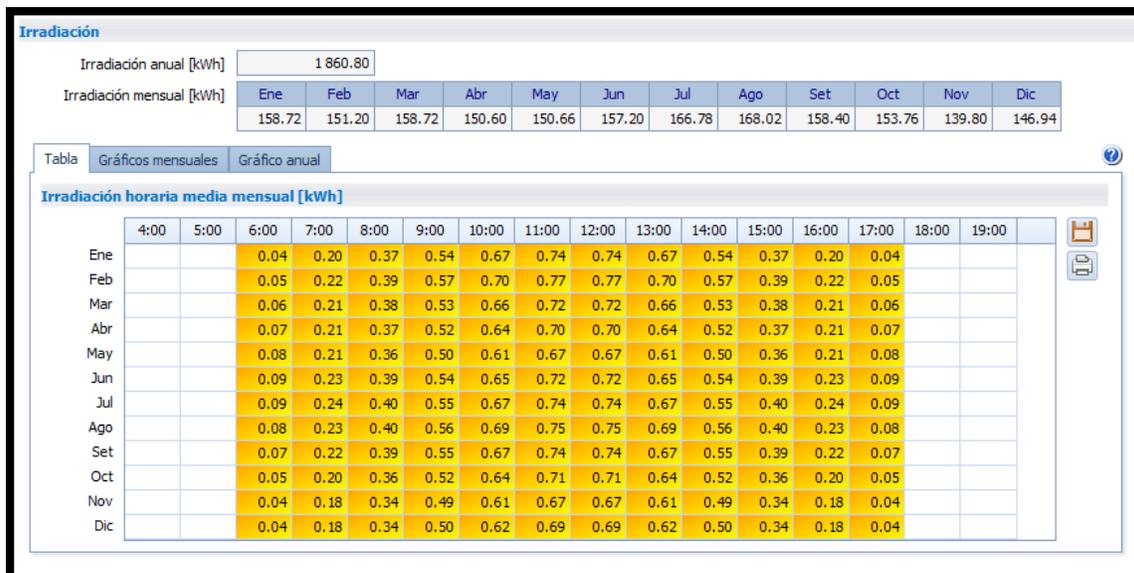
Figura 18. Datos geográficos e irradiación durante los meses del año



Fuente: Solarius PV.

El promedio de la irradiación solar o potencia solar diaria mensual obtenida en la ciudad de Barrancabermeja (zona a implementar el proyecto) es de 5,1kWh/día (Ver Figura 19), lo que permitió dar a conocer que es una zona factible para montar una instalación solar fotovoltaica en comparación de otros lugares donde la irradiancia es inferior al 50% de las condiciones estándar, las cuales trabajan con 1Kwh/m².

Figura 19. Irradiación horaria media mensual



Fuente: Solarius PV.

Promedio de irradiación en Barrancabermeja diaria en cada mes:

Enero: $0.04 + 0.20 + 0.37 + 0.54 + 0.67 + 0.74 + 0.74 + 0.67 + 0.54 + 0.37 + 0.20 + 0.04 = 5.12Kwh/dia$

Febrero: $0.05 + 0.22 + 0.39 + 0.57 + 0.70 + 0.77 + 0.77 + 0.70 + 0.57 + 0.39 + 0.22 + 0.05 = 5.4Kwh/dia$

Marzo: $0.06 + 0.21 + 0.38 + 0.53 + 0.66 + 0.72 + 0.72 + 0.66 + 0.53 + 0.38 + 0.21 + 0.06 = 5.12Kwh/dia$

Abril: $0.07 + 0.21 + 0.37 + 0.52 + 0.64 + 0.70 + 0.70 + 0.64 + 0.52 + 0.37 + 0.21 + 0.07 = 5.02Kwh/dia$

Mayo: $0.08 + 0.21 + 0.36 + 0.50 + 0.61 + 0.67 + 0.67 + 0.61 + 0.50 + 0.36 + 0.21 + 0.08 = 4.86Kwh/dia$

Junio: $0.09 + 0.23 + 0.39 + 0.54 + 0.65 + 0.72 + 0.72 + 0.65 + 0.54 + 0.39 + 0.23 + 0.09 = 5.24Kwh/dia$

Julio: $0.09 + 0.24 + 0.40 + 0.55 + 0.67 + 0.74 + 0.74 + 0.67 + 0.55 + 0.40 + 0.24 + 0.09 = 5.38Kwh/dia$

Agosto: $0.08 + 0.23 + 0.40 + 0.56 + 0.69 + 0.75 + 0.75 + 0.69 + 0.56 + 0.40 + 0.23 + 0.08 = 5.42Kwh/dia$

Septiembre: $0.07 + 0.22 + 0.39 + 0.55 + 0.67 + 0.74 + 0.74 + 0.67 + 0.55 + 0.39 + 0.22 + 0.07 = 5.28Kwh/dia$

Octubre: $0.05 + 0.20 + 0.36 + 0.52 + 0.64 + 0.71 + 0.71 + 0.64 + 0.52 + 0.36 + 0.20 + 0.05 = 4.96Kwh/dia$

Noviembre: $0.04 + 0.18 + 0.34 + 0.49 + 0.61 + 0.67 + 0.67 + 0.61 + 0.49 + 0.34 + 0.18 + 0.04 = 4.66Kwh/dia$

Diciembre: $0.04 + 0.18 + 0.34 + 0.50 + 0.62 + 0.69 + 0.69 + 0.62 + 0.50 + 0.34 + 0.18 + 0.04 = 4.74Kwh/dia$

El promedio de la irradiación solar diaria mensual:

$$\frac{5.12 + 5.4 + 5.12 + 5.02 + 4.86 + 5.24 + 5.38 + 5.42 + 5.28 + 4.96 + 4.66 + 4.74}{12} = 5.1Kwh/dia$$

El panel solar trabaja a condiciones óptimas con una estimación de $1Kwh/m^2$ y temperatura hasta $30^{\circ}C$, condiciones en las que no cumple la ciudad de Barrancabermeja, y en que se ve directamente afectada la generación de energía. A pesar de no cumplir las condiciones óptimas para la generación, se puede sacar provecho a una producción de 5.1Kw cada día.

4.1.2. Orientación e inclinación

La orientación e inclinación del generador fotovoltaico y las posibles sombras sobre el mismo serán tales que las pérdidas sean inferiores a los límites establecidos en la tabla 7, Se consideran tres tipos de instalación según (Oliva & Santamaria Herranz, 2010) para los módulos y diferentes porcentajes de pérdidas para cada caso:

- **General:** Módulos instalados con la única función de generar energía.
- **Integración arquitectónica:** Cuando los módulos fotovoltaicos cumplen una doble función, energética y arquitectónica.
- **Superposición de modulo:** Colocación de los modulo paralelos a la envolvente del edificio sin la doble funcionalidad.

Tabla 7. Valores límites de las pérdidas por orientación e inclinación y sombras

Tipo de instalación de los módulos	Orientación e inclinación (OI)	Sombras (S)	Total (OI + S)
General	10%	10%	15%
Superposición	20%	15%	30%
Integración arquitectónica	40%	20%	50%

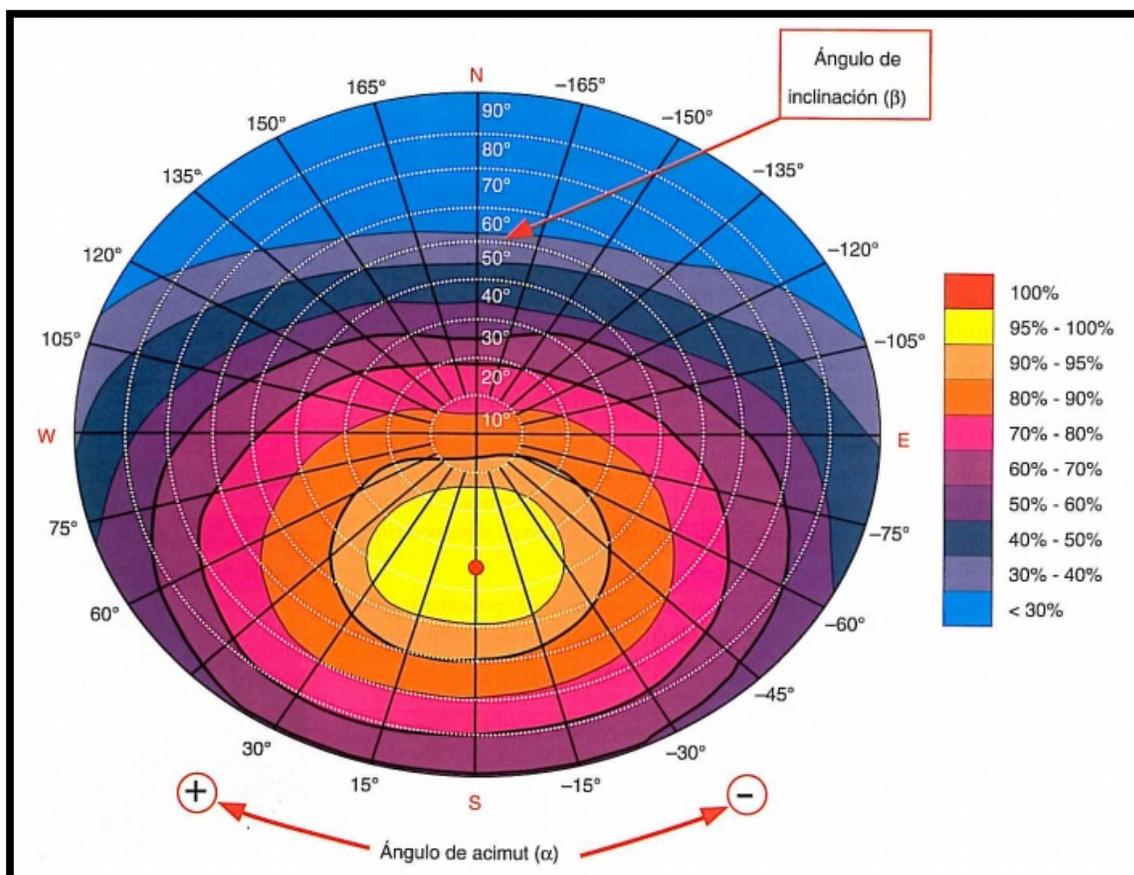
Fuente: Castejón Oliva, Agustín & Santamaria Herranz, Germán. Instalaciones Solares Fotovoltaica. España: Editorial Editex. 2010. p.174.

En todos los casos se han de cumplir tres condiciones, las cuales son las pérdidas por orientación e inclinación, pérdidas por sombreado y pérdidas totales inferiores a los límites estipulado en la tabla anterior respecto a los valores óptimos.

- **Perdidas por orientación e inclinación diferente de las óptimas.**

Se parte del dato ángulo de acimut (α) del generador fotovoltaico y se calculan los límites de inclinación aceptables de acuerdo a las perdidas máximas respecto a la inclinación óptima fijadas en la tabla 7 para ello se utiliza el diagrama de la figura 20 que es válido para una latitud de 41° .

Figura 20. Rendimiento de un generador fotovoltaico en función de la orientación e inclinación con respecto a la orientación e inclinación óptimas.



Fuente: Castejón Oliva, Agustín & Santamaría Herranz, Germán. Instalaciones Solares Fotovoltaica. España: Editorial Editex. 2010. p.175.

Oliva & Santamaria Herranz(2010) afirman que para determinar las inclinaciones límite, sobre la línea o eje radial que coincide con el ángulo de acimut (α) se buscan las intersecciones con los bordes del área que indica las perdidas máximas admisibles por orientación e inclinación según sea el tipo de instalación de los módulos (ver tabla 7).

Dichas intersecciones corresponden con los valores límite de inclinación. Si no hay intersecciones las pérdidas son superiores a las permitidas y la instalación estará fuera de los límites admitidos (Oliva & Santamaria Herranz, 2010). Sí la latitud del lugar es diferente de 41° , los valores obtenidos se corrigen utilizando las siguientes expresiones:

Inclinación máxima: $\beta_{m\acute{a}x} = \beta_{m\acute{a}x\phi=41^{\circ}} - (41 - \phi)$

Inclinación mínima: $\beta_{min} = \beta_{min\phi=41^{\circ}} - (41 - \phi)$; con un mínimo de 0°

$\beta_{m\acute{a}x\phi=41^{\circ}}$: Inclinación máxima para latitud 41° (0°)

$\beta_{m\acute{a}x}$: Inclinación máxima para latitud ϕ (0°)

$\beta_{min\phi=41^{\circ}}$: Inclinación mínima para latitud 41° (0°)

β_{min} : Inclinación mínima para latitud ϕ (0°)

ϕ : latitud del lugar (0°)

Cuando el resultado de la inclinación obtenida está muy cerca del límite establecido se puede comprobar con las expresiones:

$$P\acute{e}rdidas (\%) = 100 \times [1.2 \times 10^{-4}(\beta - \phi + 10)^2 + 3.5 \times 10^{-5} \times \alpha^2]; \text{ para } 15^{\circ} < \beta < 90^{\circ}$$

$$P\acute{e}rdidas(\%) = 100 \times [1.2 \times 10^{-4}(\beta - \phi + 10)^2]; \text{ para } \beta \leq 15^{\circ}$$

- **Perdidas por orientación e inclinación diferente de las óptimas en el sitio del proyecto (Barrancabermeja).**

Generador fotovoltaico instalado sobre el tejado de las UTS sede Barrancabermeja, latitud 7° , con una orientación de 74° , hacia el oeste.

Una orientación de 74° hacia el oeste corresponde con un acimut $\alpha = +74^{\circ}$

El montaje de tipo general sobre el tejado, según la tabla 7, implica un límite de pérdidas del 10%. Según esto, los límites de inclinación hay que buscarlos en el diagrama de la figura 20 en los bordes de la región de rendimiento del 90-95%.

El eje radial de $\alpha = +74^{\circ}$ corta a la región de rendimiento del 90-95% en los ángulos de inclinación de 25° y 15° . Luego los límites de inclinación para una latitud de 41° son: $\beta_{m\acute{a}x\phi=41^{\circ}} = 25^{\circ}$ y $\beta_{m\acute{i}n\phi=41^{\circ}} = 15^{\circ}$.

Se corrigen los valores de inclinación para latitud del lugar que es 7° .

$$\beta_{m\acute{a}x} = \beta_{m\acute{a}x\phi=41^{\circ}} - (41 - \phi) = 25^{\circ} - (41 - 7) = -9^{\circ}$$

$$\beta_{m\acute{i}n} = \beta_{m\acute{i}n\phi=41^{\circ}} - (41 - \phi) = 15^{\circ} - (41 - 7) = -19^{\circ}$$

Corrección con rendimiento del 80-90% en los ángulos de inclinación de 45° y 0° .

Luego los límites de inclinación para una latitud de 41° son: $\beta_{m\acute{a}x\phi=41^{\circ}} = 45^{\circ}$ y

$$\beta_{m\acute{i}n\phi=41^{\circ}} = 0^{\circ}.$$

Se corrigen los valores de inclinación para latitud del lugar que es 7° .

$$\beta_{m\acute{a}x} = \beta_{m\acute{a}x\phi=41^{\circ}} - (41 - \phi) = 45^{\circ} - (41 - 7) = 11^{\circ}$$

$$\beta_{m\acute{i}n} = \beta_{m\acute{i}n\phi=41^{\circ}} - (41 - \phi) = 0^{\circ} - (41 - 7) = -34^{\circ}$$

Si se calculan las pérdidas con la expresión para menores de 15° y con una inclinación de 10° :

$$\text{Pérdidas}(\%) = 100 \times [1.2 \times 10^{-4}(\beta - \phi + 10)^2]$$

$$\text{Pérdidas}(\%) = 100 \times [1.2 \times 10^{-4}(10 - 7 + 10)^2] = 1.23\%$$

4.1.3. Abastecimiento de energía eléctrica a la UTS.

Primeramente, se realiza un listado de los equipos eléctricos que se encuentra en cada laboratorio de la universidad, especificando la cantidad y tomando los datos de potencia de nominal de cada uno.

Tabla 8. Inventario de equipos eléctricos en cada laboratorio

Lab. de accionamientos eléctricos	Lab. de medidas eléctricas	Lab. de refrigeración	Lab. de neumática	Lab. de maquinas
Ventiladores (3)	Lámparas 10	Aires acondicionados (10)	Motor trifásico (1)	Motor trifásico (8)
Lámparas (6)	Ventiladores (3)	Ventiladores (3)	Lámparas (8)	Bombillos (3)
Motores trifásicos (8)	Portátil	Bombillos (8)	Ventiladores (2)	Lámparas dobles (2)
Aires acondicionados (1)	Video Beam	Lampara doble (1)	Aire acondicionado (1)	Ventiladores (2)
	Aire acondicionado (1)	Moto bomba (1)	Compresor 220v (1)	Aires acondicionados (1)
		Nevera convencional (1)		

Fuente: Autor.

Para hallar el consumo total, se toma la potencia nominal para luego multiplicarlos por las horas de trabajo, los días de uso en el mes y por la cantidad de equipos.

Se realiza la operación para cada equipo eléctrico para al final sumar los consumos y el resultado sería igual a lo mínimo que debe generar mensualmente el sistema de energía fotovoltaica.

$$Total\ consumo\ mensual = P.\ nominal * Hrs\ uso/dia * dias\ uso/mes * \#equipos$$

Ventilador de techo

$$Total\ consumo\ mensual = 0.078 \times 3 \times 25 \times 13 = 76.05\ Kw/mes$$

Lámparas sencillas

$$Total\ consumo\ mensual = 0.060 \times 4 \times 25 \times 24 = 144\ Kw/mes$$

Lámparas dobles

$$Total\ consumo\ mensual = 0.1 \times 4 \times 25 \times 3 = 30\ Kw/mes$$

Bombillos

$$Total\ consumo\ mensual = 0.020 \times 4 \times 25 \times 11 = 22\ Kw/mes$$

Motores Trifásicos

$$Total\ consumo\ mensual = 0.14 \times 2 \times 25 \times 17 = 119\ Kw/mes$$

Computador (laptop)

$$Total\ consumo\ mensual = 0.03 \times 3 \times 25 \times 1 = 2.25\ Kw/mes$$

Video Beam

$$Total\ consumo\ mensual = 0.610 \times 3 \times 25 \times 1 = 45.75\ Kw/mes$$

Aires Acondicionados

$$Total\ consumo\ mensual = 1.950 \times 5 \times 25 \times 5 = 1218.75\ Kw/mes$$

Aires Acondicionados prácticos

$$Total\ consumo\ mensual = 1.950 \times 1 \times 4 \times 9 = 70.2\ Kw/mes$$

Nevera

$$Total\ consumo\ mensual = 0.3 \times 1 \times 4 \times 1 = 1.2\ Kw/mes$$

Motobomba

$$\text{Total consumo mensual} = 0.4 \times 1 \times 4 \times 1 = 1.6 \text{ Kw/mes}$$

Compresor

$$\text{Total consumo mensual} = 0.4 \times 1 \times 8 \times 1 = 3.2 \text{ Kw/mes}$$

Tabla 9. Total, de consumo mensual en los laboratorios de la universidad

Equipos eléctricos	Potencia nominal (Kw/h)	Hrs uso/día	Días uso/mes	Consumo mensual de energía Kw/mes	Cantidad de equipos	Total, consumo mensual potencial (Kw/mes)
Ventilador de techo	0.078	3	25	5.85	13	76.05
Lámparas sencillas	0.060	4	25	6	24	144
Lámparas dobles	0.1	4	25	10	3	30
Bombillos	0.020	4	25	2	11	22
Motores Trifásicos	0.14	2	25	7	17	119
Computador (laptop)	0.03	3	25	2.25	1	2.25
Video Beam	0.610	3	25	45.75	1	45.75
Aires Acondicionados	1.950	5	25	243.75	5	1218.75
Aires Acondicionados prácticos	1.950	1	4	7.8	9	70.2
Nevera	0.3	1	4	1.2	1	1.2
Motobomba	0.4	1	4	1.6	1	1.6
Compresor	0.4	1	8	3.2	1	3.2
Total						1734

Fuente: Autor.

Estableciendo el consumo total el paso a seguir es seleccionar el panel a usar, se toma de referencia cuatro tipos de paneles comúnmente usados para la generación de energía eléctrica, por sus características resulta eficiente ante las condiciones de irradiancia y temperatura de la ciudad.

Tabla 10. Datos técnicos de paneles solares

Datos	ZNSHINE Monoperc - ZXM6 72-375/M	Amerisolar - AS-6M-365	Amerisolar - 310W	AE Solar - AE M6-72 380W
Precio Un.	489.000	534.600	459.300	524.000
Potencia Max	375	365	310	380
Eficiencia	18.96%	18.81%	19,05 %	19,58%
NOCT (°C)	45±2 °C	45±2 °C	45±2 °C	45±2 °C
STC	Masa de aire AM 1,5, radiación 1000W/m2, temperatura de célula 25°C,	Masa de aire AM 1,5, radiación 1000W/m2, temperatura de célula 25°C	Masa de aire AM 1,5, radiación 1000W/m2, temperatura de célula 25°C,	Masa de aire AM 1.5, irradiancia 1000W / m 2, temperatura de la celda 25 ° C
Peso	15kg	22,5 kg	18,5 kg	21 kg
Dimensiones	1956x992x40 mm	1956x992x40 mm	1640x992x40 mm	1956x992x40 mm
Material	Monocristalino	Monocristalino	Monocristalino	Monocristalino
Células por módulo	72	72	60	72
Garantía del producto	10 años	12 años	12 años	12 años
Garantía del rendimiento	10 años / 90% 30 años / 80.68%	12 años / 91.62% 30 años / 80.6%	12 años / 91.62% 30 años / 80.6%	12 años / 90% 30 años / 80%

Fuente:Znshine, Amerisolar& AE Solar

Se selecciona el panel AE Solar – AE M6-72 380W, debido a que sus características son más eficientes a comparación de los otros tres referenciados para la generación a gran escala, el panel cuenta con mayor pico de potencia, mayor eficiencia y económico comparando la generación que este ofrece.

4.1.4. Dimensionado del generador fotovoltaico

El dimensionado del generador fotovoltaico se realiza en función del consumo eléctrico de la instalación y la radiación solar que se recibe en el lugar.

Se obtiene el dato de la latitud de Barrancabermeja, $\phi = 7.0653^{\circ}$, y el valor medio mensual de irradiación global diaria sobre una superficie horizontal es $G_{dm}(0) = 5.1Kwh/(m^2 dia)$.

La orientación del generador, al estar en el hemisferio norte, debe ser $\alpha = 0^{\circ}$. En este caso el sitio de instalación tiene esa orientación.

Inclinación óptima: $\beta_{opt} = \phi + 10 = 10 + 10 = 20$

Constante para el periodo de diseño: $K = 1.7$

Como la inclinación que se va a dar al generador es de 10° , diferente de la óptima, el factor de irradiación $F1$ vale:

$$F1 = 1 - [1.2 \times 10^{-4}(\beta - \beta_{opt})^2 + 3.5 \times 10^{-5} \times \alpha^2] =$$

$$= 1 - [1.2 \times 10^{-4}(10 - 20)^2 + 3.5 \times 10^{-5} \times 0^2] = 0.988$$

En ausencia de sombras, el factor de sombreador FS vale 1.

Con los factores, el valor medio mensual de irradiación global diaria sobre la superficie del generador es:

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = G_{dm}(0) \times K \times F1 \times FS = 5.1 \times 1.7 \times 0.988 \times 1 = 8.566kWh/m^2$$

Una vez determinada la irradiación solar sobre el generador se calcula la potencia del mismo, teniendo en cuenta que una parte de la energía eléctrica que va a generar se queda por el camino antes de llegar a la carga.

Para facilitar el cálculo de la potencia del generador, estas pérdidas se agrupan en un coeficiente que recoge el rendimiento energético de la instalación denominado *PR* (Performance Ratio).

Los valores típicos de *PR* que se recomienda utilizar son:

- Sistemas con inversor: $PR = 0.7$
- Sistemas con inversor, batería y regulador de carga: $PR = 0.6$
- Sistema con batería y regulador de carga (sin inversor): $PR = 0.7$

El valor mínimo de potencia del generador fotovoltaico $P_{Gmin} = \frac{W_d * G_{CEM}}{G_{dm}(\alpha, \beta) * PR}$

P_{Gmin} : potencia del generador (W)

G_{CEM} : irradiancia en condiciones CEM (constante de valor $1000W/m^2$).

W_d : consumo de energía diario (Wh)

$G_{dm}(\alpha, \beta)$: Valor medio mensual de irradiación diaria sobre la superficie del generador inclinada un ángulo β y orientada un acimut α (Wh/m^2).

PR: rendimiento energético de la instalación. Expresado en tanto por uno.

Una vez calculada la potencia mínima que tiene que tener el generador fotovoltaico hay que seleccionar los módulos fotovoltaicos que lo forman y cómo tienen que ir conectados para cumplir con las necesidades de conexión a la red.

La selección de un módulo fotovoltaico adecuado implica elegir modulo con la tensión nominal adecuada para un sistema conectado a la red y una potencia que conectando un numero adecuado de módulos proporcione como mínimo la

potencia mínima calculada P_{Gmin} . Con el fin de no sobredimensionar el generador se comprobará que con la potencia máxima del módulo elegido no se sobrepasa el 20% del valor P_{Gmin} , es decir, la potencia nominal del generador fotovoltaico debe cumplir:

$$P_{Gmin} \leq P_G \leq 1.2 * P_{Gmin}$$

Como la instalación es un sistema con inversor, se estima el rendimiento energético de la instalación $PR = 0.7$. Con este dato la potencia mínima del generador fotovoltaico será:

$$P_{Gmin} = \frac{W_d * G_{CEM}}{G_{dm}(\alpha, \beta) * PR} = \frac{15.954 \times 1000}{8566 \times 0.7} = 2.66W$$

$$P_{Gmin} \leq P_G \leq 1.2 * P_{Gmin} \rightarrow 2.66W \leq P_G \leq 1.2 \times 2.66 = 3.192W$$

Para el diseño de instalaciones se debe escoger el mes con menos irradiación en el año (Noviembre $4.64 Kwh / m^2$) media diaria $139.80 Kwh / mes$

Potencia del inversor a utilizar PT 30000 multicable. Se averigua la potencia de utilización que será igual a la potencia del inversor dividido por las pérdidas por conexas que son de un 10%

$$\frac{30000w}{10} = 3000w$$

$$Potencia total = 30000 + 3000w = 33000w$$

Numero de placas solares fotovoltaicas

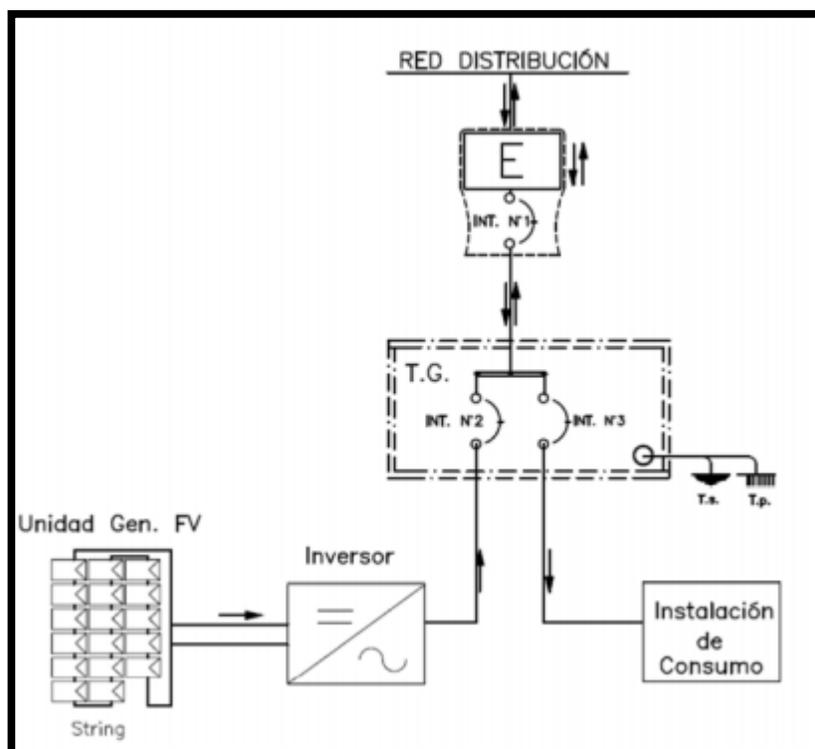
Numero de placas = Potencia utilización / Potencia pico del panel

$$\# placas = \frac{33000w}{380w} = 86.84 \approx 87$$

4.2. METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES REQUERIDOS PARA LA ETAPA DE CONTROL Y POTENCIA.

Se seleccionará los componentes del sistema fotovoltaico de acuerdo al consumo total de los laboratorios de las UTS. Una instalación solar fotovoltaica (ISF) conectada a la red se ajusta a un esquema como el mostrado en la Figura 21. A lo largo del presente proyecto se detallará el funcionamiento de cada elemento y se especificará el componente seleccionado.

Figura 21. Instalación fotovoltaica conectada a la red.



Fuente: Montañez, Jefferson Alexander; Vargas, Jineth Lorena; Trujillo, Eliana Marcela & Palacios, Sergio Suárez. Análisis de factibilidad del diseño de un sistema solar fotovoltaico en la escuela campo 45 del corregimiento centro de la ciudad de Barrancabermeja. Colombia: Revista de investigación formativa, 2019.p.27.

4.2.1. Dimensionado del inversor

Las características de los inversores se obtienen de la siguiente figura. Las características de un inversor tipo PT30k, son:

Tabla 11. Datos técnicos de inversores para sistemas fotovoltaicos.

Modelo	NT6000	NT5000	NT4000	NT2600	NT8000	NT10000	PT30K
Tipo de inversor	Cadena				Multicadena		Central
Entrada CC							
Potencia máxima de generador solar (W)	6.250	5.000	4.625	3.125	9.600	12.000	31.000
Corriente máxima (A)	18	13	11	7,5	8A por entrada MPP	10 ^a por entrada MPP	75
Rango de tensión MPP (V)	350... 750				350... 750		420... 800
Tensión de vacío máxima (V)	850				850		1.000
Número de entradas por cada MPP	2				1		1
Número de MPP	1				3		1
Salida CA							
Potencia nominal (W)	5.000	4.200	3.700	2.500 8.000		10.000	30.000
Potencia máxima (W)	5.000	4.200	3.700	2.500	8.000	10.000	30.000
Corriente nominal (A)	21,7	18,3	16,1	10,9	11,6A por fase	14,5A por fase	43,5A por fase
Corriente máxima	25	22,8	20,1	13,6	15,0A por fase	18,2A por fase	50,0A por fase
Frecuencia nominal (Hz)	50				50		50
Margen de tolerancia de frecuencia	49... 51 Hz (R.D. 1663/2000, R.D. 661/2007)						
Tensión de red (V)	230V (monofásicos)				400V (trifásica)		
Rango de tensión	-15%...+10% (R.D. 1663/2000)						
Factor de	<3%				<3%		<3%

distorsión con Pn							
Rendimiento							
Consumo en *estandy* (W)	9				4		<4
Consumo nocturno	<0,15				<0,3		Aprox. 0
Eficiencia máxima	97,5%	97,5%	97,5%	97,4%	96,8%	96,8%	97,5%
Eficiencia europea	97%	97,1%	97,1%	97,1%	96,3%	96,4%	97%
Eficiencia MPP	>99%				>99%		99.9%

Fuente: Castejón Oliva, Agustín & Santamaría Herranz, Germán. Instalaciones Solares Fotovoltaica. España: Editorial Editex. 2010. p.125.

Potencia del generador fotovoltaico:

$$P_{Gm\acute{a}x} = N_s * N_p * P_{m\acute{a}x} = 20 \times 4 \times 380 = 304000$$

Se comprueba tensiones rango de entrada del seguidor MPP del inversor (350...750v)

Se calcula parámetros del módulo fotovoltaico en el rango de temperatura $-10^{\circ}C \dots 70^{\circ}C$

- Valor mínimo del rango:

$$U_{mpp}(70^{\circ}C) = U_{mpp} + \beta \times (T - 25) = 40.5V + (-0.29 \times 10^{-3}) \times (70 - 25) = 40.48V$$

- Valor máximo del rango

$$U_{mpp}(-10^{\circ}C) = U_{mpp} + \beta \times (T - 25) = 40.25 + (-0.29 \times 10^{-3}) \times (-10 - 25) = 40.51V$$

- Tensión máxima en vacío del módulo fotovoltaica

$$U_{oc}(-10^{\circ}C) = U_{oc} + \beta \times (T - 25) = 48.9 + (0.29 \times 10^{-3}) \times (-10 - 25) = 48.91V$$

- Intensidad máxima del módulo fotovoltaico

$$I_{sc}(70^{\circ}c) = I_{sc} + a \times (T - 25) = 9.75 + 0.05 \times 10^{-3} \times (70 - 25) = 9.75A$$

Parámetros generadores fotovoltaico por cada inversor (4 ramas de 20 módulos)

- Valor mínimo del rango

$$UG_{mpp}(-10^{\circ}c) = N_s \times U_{mpp} = 20 \times 40.48 = 809.6V$$

- Valor máximo del rango

$$UG_{mpp}(70^{\circ}c) = N_s \times U_{mpp} = 20 \times 40.52 = 810.2V$$

- Tensión máxima en vacío del generador fotovoltaico

$$UG_{oc}(-10^{\circ}c) = N_s \times U_{oc} = 20 \times 48.9 = 978V$$

- Intensidad máxima del generador fotovoltaica por cada inversor.

$$IG_{sc}(70^{\circ}c) = N_p \times I_{sc} = 4 \times 9.75 = 39A$$

Se comprueba que cumple condiciones:

- Rango de tensiones de entrada del seguidor MPP del inversor (420... 800).

$$U_{inv_{min}} \leq UG_{mpp}(70^{\circ}c) \rightarrow 1000 \leq 809.6V$$

$$U_{inv_{máx}} \geq UG_{mpp}(-10^{\circ}c) \rightarrow 1000 \geq 486.12V$$

- Tensión máxima en vacío (1000)

$$U_{max_{vacío}} \geq UG_{oc}(-10^{\circ}c) \rightarrow 1000 \geq 978V$$

- Intensidad máxima

$$Inv_{m\acute{a}x} \geq IG_{sc}(70^{\circ}c) \rightarrow 75 \geq 39A$$

4.2.2. Dimensionado de los conductores

Se aplica la fórmula de cálculo correspondiente teniendo en cuenta si la línea es trifásica, monofásica o de c.c.

Tabla 12. Resumen de fórmulas de la sección en función de la caída de tensión.

	En función de P	En función de I y cos φ
Monofásica y c.c	$S = \frac{200 \times I \times P}{\Delta U\% \times U^2 \times y\theta}$	$S = \frac{200 \times I \times L \times \text{Cos}\phi}{\Delta U\% \times U \times y\theta}$
Trifásica	$S = \frac{100 \times I \times P}{\Delta U\% \times U^2 \times y\theta}$	$S = \frac{\sqrt{3} \times 100 \times I \times L \times \text{Cos}\phi}{\Delta U\% \times U \times y\theta}$

Fuente: Castejón Oliva, Agustín & Santamaría Herranz, Germán. Instalaciones Solares Fotovoltaica. España: Editorial Editex. 2010. p.147.

S: Sección conductor (mm^2)

$y\theta$: Conductividad del conductor a la temperatura de servicio previsto ($S \times m/mm^2$)²

L: longitud de la línea en (m)

$\Delta U\%$: Caída de tensión máxima permitida en porcentaje de la tensión de la línea (v)

P: potencia activa transportada por la línea (W)

U: Tensión de la línea (400v en trifásica)

I: Intensidad prevista en la línea (A)

$\text{Cos}\phi$: Factor de potencia de la carga al final de la línea

Se toma de referencia un sistema de energía fotovoltaica de 4 ramas y 20 módulos, para la selección se tiene en cuenta dos tramos, siendo el tramo 1 el cableado del generador fotovoltaico al inversor y el tramo 2 del inversor a la caja de protecciones y medidas.

En todos los tramos se debe multiplicar el valor de la intensidad considerado por 1.25 en cumplimiento de la instrucción ITC BT 40 que se refiere a las instalaciones generadoras de baja tensión. Los cables de conexión deberán estar dimensionados para una intensidad no inferior al 125% de la máxima intensidad del generador (Oliva & Santamaria Herranz, 2010).

Tramo de línea 1, conectado de los módulos con los inversores. La intensidad de cortocircuito de un módulo en condiciones CEM es $I_{sc} = 9.75A$. Aplicando el coeficiente 1.25 a la intensidad se obtiene:

$$I_1 = 1.25 \times 9.75A = 12.187A$$

Tensión máxima de la rama:

$$UG_{mpp} = 20 \times 40.48V = 809.6V$$

Longitud del tramo: $I_1 = 20m$

Tramo de línea 2, conectado de los inversores con el cuadro de protecciones y medida. La potencia nominal del es 30kW. El sistema de corriente alterna es trifásico de 400V de tensión nominal.

Con los datos, la intensidad nominal de salida de los inversores:

$$I_{invca} = \frac{P_{ninv}}{\sqrt{3} \times 400} = \frac{30000}{\sqrt{3} \times 400} = 43.30A$$

Aplicando coeficiente 1.25 a la intensidad:

$$I_2 = 1.25 \times 43.30A = 54.125A$$

Longitud tramo 2 = 15m

Calculo por caída de tensión: La máxima caída de tensión de 1.5%, se reparte equitativamente entre los dos tramos dejando 0.75% de caída para cada uno.

Tramo de línea 1:

$$S1 = \frac{200 \times L1 \times I1}{\Delta U\%1 \times U \times y\theta} = \frac{200 \times 20 \times 12.137A}{0.75 \times 809.6 \times 45} = 1.776mm^2$$

Tramo de línea 2:

$$S2 = \frac{\sqrt{3} \times 100 \times I2 \times L2}{\Delta U\%2 \times U \times y\theta} = \frac{\sqrt{3} \times 100 \times 54.115 \times 15}{0.75 \times 400 \times 45} = 10.41mm^2$$

Calculo por calentamiento: Las intensidades de cada tramo, multiplicadas por el coeficiente 1.25 según la ITC BT 40, son:

a. $I_1 = 12.187A$

$I_2 = 54.125A$

Factores de corrección:

En el tramo 1, según los datos del sitio del proyecto, la temperatura ambiente puede alcanzar 50⁰c. Según la siguiente figura, se aplica el factor de corrección 0.89 a la intensidad I1.

Tabla 13. Factor de corrección para instalaciones al aire y temperatura distinta de 40⁰ C

Aislamiento	Temperatura ambiente (°C)														
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
PVC (Termoplástico)	1,41	1,35	1,29	1,22	1,15	1,08	1,00	0,91	0,82	0,71	0,58	-	-	-	-
XÑLPE, EPR (Termoestable)	1,26	1,22	1,18	1,14	1,10	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71	0,63	0,55	0,45

Fuente: Castejón Oliva, Agustín & Santamaría Herranz, Germán. Instalaciones Solares Fotovoltaica. España: Editorial Editex. 2010. p.149.

En el tramo 1, de conexionado de los módulos fotovoltaicos, hay cuatro circuitos dentro del mismo consultando la siguiente figura, se obtiene un factor de corrección de 0.70 que hay que aplicar a la intensidad I_1 .

Tabla 14. Factor de corrección por agrupamiento de conductores.

Punto	Disposición de los cables	Numero de circuitos o de cables multiconductores								
		1	2	3	4	6	9	12	16	20
1	Agrupados sobre una superficie al aire, empotrados o embutidos (dentro de un mismo tubo, canal o conducto)	1,00	0,80	0,70	0,70	0,55	0,50	0,45	0,40	0,40
2	Capa única sobre pared, suelo o bandejas sin perforar	1,00	0,85	0,80	0,75	0,70	0,70	-	-	-
3	Capa única fijada bajo techo	0,95	0,80	0,70	0,70	0,65	0,60	-	-	-
4	Capa única sobre bandeja perforada horizontal o vertical	1,00	0,90	0,80	0,75	0,75	0,70	-	-	-
5	Capa única sobre escaleras de cable, abrazaderas, etc.	1,00	0,85	0,80	0,80	0,80	0,80	-	-	-

Fuente: Castejón Oliva, Agustín & Santamaría Herranz, Germán. Instalaciones Solares Fotovoltaica. España: Editorial Editex. 2010. p.149.

El tramo de línea 1 está expuesto a la radiación solar, se aplica el factor de corrección 0.9 a la intensidad I_1 .

Se calcula la nueva intensidad del tramo 1, aplicando los factores de corrección:

$$I_1 = \frac{12.187}{0.70 \times 0.89 \times 0.9} = 21.73A$$

Al tramo de línea 2 no le afecta ningún factor de corrección. Con las intensidades de cada tramo corregidas se determinan las secciones utilizando la siguiente imagen.

Tabla 15. Intensidades admisibles en conductores de instalaciones al aire y enterradas.

Método de instalación	Número de conductores cargados y tipo de aislamiento												
		PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2							
A1		PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2							
A2	PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2								
B1				PVC3	PVC2		XLPE3		XLPE2				
B2			PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2						
C					PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2			
E						PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2		
F							PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2	
Columna 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Sección (mm ²)													
cobre	1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	16,5	19	20	21	24	
	2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	23	26	26,5	29	33	
	4	20	21	23	24	27	30	31	34	36	38	45	
	6	25	27	30	32	36	37	40	44	46	49	57	
	10	34	37	40	44	50	52	54	60	65	68	76	
	16	45	49	54	59	66	70	73	81	87	91	105	
	25	59	64	70	77	84	88	95	103	110	116	123	140
	35	-	77	86	96	104	110	119	127	137	144	154	174
	50	-	94	103	117	125	133	145	155	167	175	188	210
	70	-	-	-	149	160	171	185	199	214	224	244	269
	95	-	-	-	180	194	207	224	241	259	271	296	327
	120	-	-	-	208	225	240	260	280	301	314	348	380
150	-	-	-	236	260	278	299	322	343	363	404	438	
185	-	-	-	268	297	317	341	368	391	415	464	500	
240	-	-	-	315	350	374	401	435	468	490	552	592	

Fuente: Castejón Oliva, Agustín & Santamaría Herranz, Germán. Instalaciones Solares Fotovoltaica. España: Editorial Editex. 2010. p.148.

Tabla 16. Métodos de instalación de referencia.

Modelo de Instalación	Descripción
A1	Conductores aislados en un conducto en una pared térmicamente aislante
A2	Cable multiconductor en un conducto en una pared térmicamente aislante
B1	Conductores aislados en un conducto sobre una pared de madera
B2	Cable multiconductor en un conducto sobre una pared de madera
C	Cable mono o multiconductor fijado sobre una pared de madera
D	Cable multiconductor en conductos enterrados
E	Cable monoconductor al aire libre
F	Cable multiconductor al aire libre
G	Conductores desnudos o aislados sobre aisladores

Fuente: Castejón Oliva, Agustín & Santamaría Herranz, Germán. Instalaciones Solares Fotovoltaica. España: Editorial Editex. 2010. p.149.

Tramo de línea 1: método de instalación E, circuito bipolar con cables con conductor de cobre y aislamiento termoestable (XLPE2). En la columna 12 de dicha figura se obtiene:

$$I1 = 21.73A \rightarrow S1 = 1.5mm^2$$

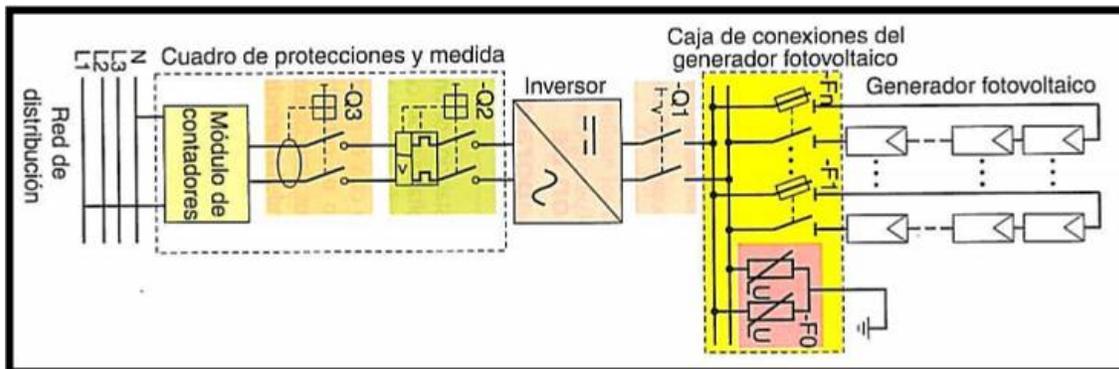
Tramo de línea 2: método de instalación A1, circuito tripolar con cables con conductor de cobre y aislamiento termoestable (XLPE3). En la columna 6 de dicha figura se obtiene:

$$I2 = 21.65A \rightarrow S2 = 2.5mm^2$$

4.2.3. Aparatos de maniobra y protección en un sistema fotovoltaico conectado a la red

La figura 27. muestra el esquema básico de una instalación fotovoltaica conectada a la red. Si la potencia de la instalación es inferior o igual a 5kW la salida del inversor es monofásica, si la potencia es superior a 5kW la salida del inversor es trifásica.

Figura 22. Esquema básico de una instalación fotovoltaica conectada a la red de potencia inferior o igual a 5kW.



Fuente: Castejón Oliva, Agustín & Santamaría Herranz, Germán. Instalaciones Solares Fotovoltaica. España: Editorial Editex. 2010. p.193.

En cuadro de protecciones y medida está sujeto a las normas de la compañía eléctrica con la que se contrate el servicio. En general debe incluir un interruptor automático magnetotérmico (Q2) que debe ser accesible para la compañía eléctrica, un interruptor diferencial (Q3) y un módulo de contadores que cumple la misión de medir tanto la energía eléctrica saliente como la entrante.

4.3. PRESUPUESTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DEGENERACIÓN FOTOVOLTAICA EN LOS LABORATORIOS DE LAS UTS

Para llevar a cabo la presente actividad del proyecto, se realizó una cotización de los equipos y materiales de diferentes entidades de producción, venta y comercialización de energía solar por medio de paginas internet y locales de la ciudad, que nos brindaron la información únicamente con fines educativos.

Tabla 17. Análisis general de costos de instalación.

Descripción		Cantidad	Precio unitario	Precio parcial	
Equipos y materiales	Panel Solar	80	\$760.000	\$60.800.000	
	Inversor 30kw	1	\$35.000.000	\$35.000.000	
	Medidor 30Kw	1	\$2.300.000	\$2.300.000	
	Tablero de distribución	1	\$1.500.000	\$1.500.000	
	Instalación eléctrica	1	\$3.000.000	\$3.000.000	
	Valor total equipos y materiales				\$102.600.000
Montaje e instalación	Paneles solares	80	\$120.000	\$9.600.000	
	Inversor 30kw	1	\$1.070.000	\$1.070.000	
	Medidor 30Kw	1	\$180.000	\$180.000	
	Tablero de distribución	1	\$1.250.000	\$1.250.000	
	Instalación eléctrica	1	\$1.500.000	\$1.500.000	
	Valor total montaje y construcción				\$13.600.000
	Total				\$116.200.000

Fuente: Autor.

4.4. EVALUACIÓN DEL IMPACTO SOCIAL, ECONÓMICO Y AMBIENTAL

La energía solar aparte de ayudar al medio ambiente, la instalación de la comúnmente conocidas como “paneles solares” tiene multitud de beneficios que sitúan esta energía renovable no contaminante como una de las más prometedoras, ya que el sol es prácticamente inagotable. Los beneficios de usar energía solar son muchos y muy variados, van desde beneficios medioambientales, económicos, sociales hasta educativos. A continuación, se identificarán los principales beneficios en los diferentes aspectos la cual conlleva el desarrollo de un sistema de energía solar en Colombia con el fin de promover el uso de las nuevas tecnologías para fines ambientales.

4.4.1. Beneficios sociales

- Las energías renovables generan más puestos de trabajo que otras energías más contaminantes. Por cada 2.3 mil millones de pesos invertidos en energía solar se crean entre 4 y 6 nuevos empleos. La misma inversión en energía procedente del petróleo sólo crearía 0,6 puestos de trabajo (D FORCE SOLAR, 2007).
- Los puestos generados por la inversión en energía solar no son estacionarios (ligados a la construcción de una central, etc.), y se distribuyen a pequeña escala por todo el territorio.
- La utilización de energía solar en zonas rurales o aisladas, permite la creación de pequeñas empresas, lo que favorece el desarrollo económico de comarcas poco favorecidas.

- La humanidad está consciente de que el futuro depende de la calidad educativa y humana de los alumnos. Ellos son los que con el entusiasmo empujan a las demás personas hacia un futuro visto con otros ojos; a ellos no se les resisten las nuevas tecnologías ni las tendencias ambientales que a los demás se les puedan escapar.
- Mejora la calidad de vida, incrementa el valor de las viviendas y no contamina acústicamente ya que las placas solares son silenciosas y de amplia vida útil entre 20 y 30 años (D FORCE SOLAR, 2007).
- La sociedad tiene la ilusión de iniciar un nuevo milenio lleno expectativas favorables. Uno de los retos que se pretende abordar es el de mejorar las condiciones de vida en el entorno, en la comunidad, en fin, en el planeta tierra, creando una conciencia de que las generaciones venideras hereden lo que se hizo en los últimos años.
- Países europeos tales como Holanda, Alemania, Austria y Suiza, son pioneros en la utilización de la energía solar y el consiguiente descenso del uso de energías contaminantes, con el fin de reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Colombia es un país privilegiado, en lo que al sol se refiere, y se quiere educar en valores ambientales a los niños (Sánchez, 2012).
- Se tiene la intención de "enchufarse al sol" en los siguientes años y se pretende en poco tiempo la instalación de tejados solares en edificios, los cuales reportaría beneficios económicos y sobre todo abriría un abanico de posibilidades pedagógicas y curriculares.

4.4.2. Beneficios tecnológicos

- Educación de los alumnos en las tecnologías ecológicas y en la cultura del respeto al Medio Ambiente.
- Posibilidad de formación de un Club Solar que recoja, estudie y elabore trabajos sobre temas relacionados con la energía solar.
- Programación de actividades educativas relacionadas con la energía solar y la ecología: Semana Solar, concursos solares, exposiciones con los resultados de los trabajos, los concursos, etc.
- Contacto e intercambio con otros centros incluidos en el estudio de energía solar en Universidades e Instituciones educativa de Colombia (y América latina).

4.4.3. Beneficios económicos

- Los equipos elementos, maquinaria y servicios nacionales o importados que se destinen a la preinversión e inversión, para la producción y utilización de energía a partir de las fuentes no convencionales estarán excluidos de IVA y aranceles (VATIA, 2015).
- La CREG (2018) menciona que los generadores de energía renovable en pequeña y gran escala podrán vender a la red eléctrica el excedente de energía que ellos no consuman (esquema de créditos de energía).
- Se puede deducir de la base gravable para calcular el impuesto de renta, hasta el 50% del valor de la inversión realizada, en proyectos de energías renovables no convencionales. Esta deducción se puede aplicar en el primer

año, o hasta en 5 años siguientes al año gravable en el que hayan realizado la inversión (VATIA, 2015).

- Una instalación de 5 Kw. de potencia puede producir al año entre 5.000 y 7.500 Kwh.
- Sánchez (2012) afirma que una instalación de 5 Kw. de potencia cuesta aproximadamente unos 120 o 140 millones de pesos y puede producir entre 150.000 y 187.500 Kwh. en 25-30 años, es decir de 220 a 280 millones de pesos.
- El beneficio total de la instalación solar es de 3.5 a 6.4 millones de pesos al año y entre 104 y 160 millones a lo largo de los 25-30 años de funcionamiento (Sánchez, 2012).

4.4.4. Beneficios ambientales

- Disminución de las emisiones de CO₂. Por cada 20 Kwh. de electricidad producidos a partir de la energía solar se dejan de emitir unos 10 Kg. de CO₂ al año, en 25 años se evitan 250 Kg. de CO₂ (Sánchez, 2012).
- Reducción de la contaminación atmosférica, del "efecto invernadero" producido por las emisiones de CO₂ y del "cambio climático" provocado por el efecto invernadero.

4.5. ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD Y RETORNO DE INVERSIÓN

El análisis de inversión de la instalación de un sistema de generación solar es muy importante para el usuario, ya que determinará si el proyecto es conveniente económicamente o no. Para realizar el análisis se proponen dos métodos: periodo de recuperación del capital actualizado y valor actual neto (VAN).

El primero consiste en determinar en cuántos años se recupera la inversión inicial, considerando una determinada tasa de descuento. El criterio para aceptar el proyecto es que el periodo de recuperación sea menor que un periodo máximo definido por el inversionista (Valdenegro & Palma, 2016). Matemáticamente se expresa usando la siguiente ecuación.

$$I_0 \leq \sum_{t=1}^N \frac{FC_t}{(1+r)^t}$$

Donde I_0 es el costo de inversión, r es la tasa de descuento y FC_t son los flujos de caja o entradas y salidas de dinero percibidas por el usuario debido a la compra o venta de electricidad, y los periodos t serán en años, por lo que se debe calcular el flujo equivalente anual, a partir de los datos de consumo y generación mensual, debido a que la facturación del consumo eléctrico se realiza mensualmente.

El método del VAN mide el aumento o disminución de la riqueza de los inversionistas que produce la realización del proyecto que se evalúa, y para calcularlo se necesitan los flujos de caja futuros del proyecto y su vida útil. En caso que el resultado sea mayor que cero, el proyecto se acepta; si es menor a cero se rechaza; y si es igual a cero, es indiferente hacerlo o no (Valdenegro & Palma, 2016).

$$VAN = \sum_{t=1}^N \frac{FC_t}{(1+r)^t}$$

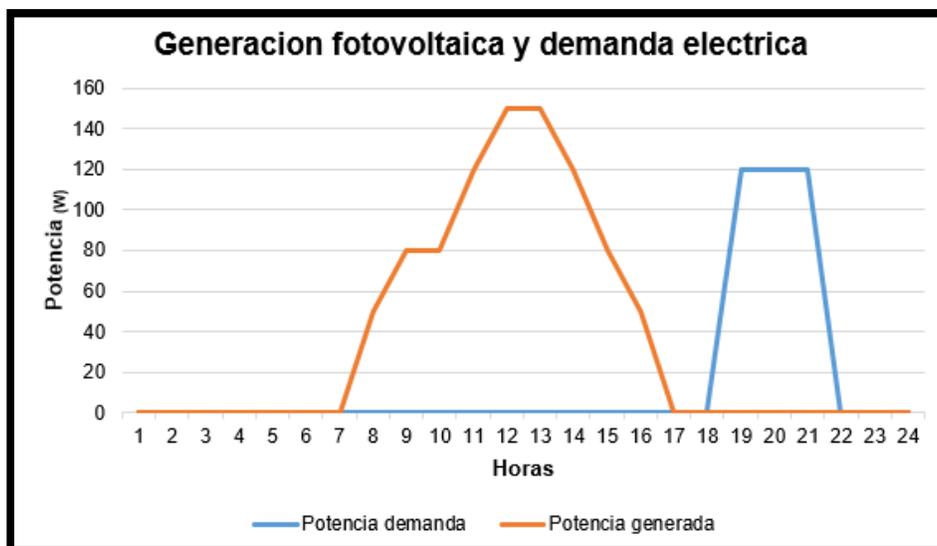
El cálculo del VAN parte del periodo cero, que corresponde al periodo en que se realiza la inversión, por lo que $FC_0 = I_0$.

Valdenegro y Palma (2016) mencionan que la vida útil de una instalación de generación fotovoltaica suele ser entre 20 y 25 años, por lo que se considerará un horizonte de evaluación de 20 años y una tasa de descuento del 10%, valor ampliamente aceptado para evaluar proyectos.

Los costos de inversión incluyen la mano de obra, que debe ser de un profesional. En este punto se comparará el desempeño de la instalación cuando se usan paneles monocristalinos o policristalinos, y se escogerá el más conveniente económicamente.

Para hacer un análisis económico se debe tener en cuenta que la mayor demanda de energía en los laboratorios de la UTS se da entre las 18 y las 22 horas, mientras que la generación de energía fotovoltaica se da entre las 7 y las 17 horas aproximadamente; en otras palabras, la ocurrencia de la demanda y la generación no coinciden a lo largo del día (ver Figura 28). Esta discrepancia de horario se traduce en que habrá horas en las que haya excedentes de energía que se inyecten a la red, mientras que habrá otras horas en las que se consumirá más energía que la generada en ese instante.

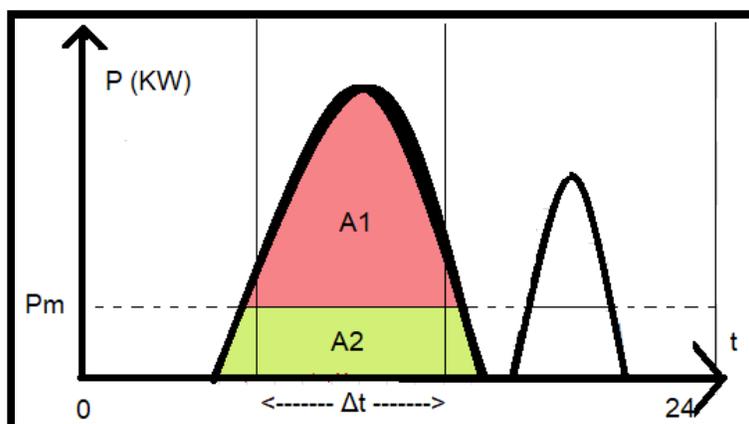
Figura 23. Ejemplo de generación fotovoltaica y demanda eléctrica.



Fuente: Autor.

Entonces, para calcular los beneficios económicos que le reporta la instalación Fotovoltaica al cliente, se procede como sigue, para los días típicos de cada mes:

Figura 24. Energía excedente (A1) y energía no comprada (A2).



Fuente: Autor

No obstante, para facilitar el cálculo de estas energías, se puede considerar que en el intervalo Δt , la potencia generada tiene los mayores valores, la potencia consumida por el laboratorio solo es en las horas de la noche, con un valor por encima de la potencia promedio por un lapso de 4 horas en un día típico del mes. Se concluye que la potencia promedio representada en la figura 29 es básicamente el consumo en el lapso de las 4 horas que se encuentran funcionando los laboratorios de las UTS. Δt puede ser alrededor de 14 horas en meses de verano, y alrededor de 9 horas en meses de invierno, de esta forma:

- Energía vendida a la distribuidora:

$$E_v = A1$$

- Energía no-comprada a la distribuidora:

$$E_{nc} = E_{gen\ diaria} - E_v$$

los precios a los que los autogeneradores podrían vender esa energía tiene tres categorías, entendiéndose que la resolución CREG 030 de 2018 aplica para usuarios autogeneradores de hasta 1.000 kW. Los dos primeros son para aquellos que tengan hasta 100 kW de potencia instalada y utilicen fuentes no convencionales de energía renovable, como lo es la energía fotovoltaica (Castro, 2018).

1. Cuando la cantidad de energía que se entrega a la red durante las horas de un período se compensa con los consumos de otras horas en el mismo período, se remunera a un precio aproximado al 90% del costo de cada kilovatio consumido.

2. Cuando la cantidad de energía que se entrega a la red excede los consumos, la diferencia de esa energía se paga, aproximadamente, a un 40% del precio del costo del servicio de energía. Estos valores varían según la ubicación en las distintas regiones del país.

3. Se presenta para los autogeneradores con capacidad instalada mayor a 100 kW y a los que utilicen fuentes distintas a las no convencionales de energía renovable independientemente de su tamaño. El precio de cada kilovatio entregado a la red es aproximadamente el 40% del precio del costo del servicio de energía.

Para llevarse a cabo el proyecto del sistema de energía fotovoltaica para las UTS sede Barrancabermeja se considerará la segunda opción debido a que las horas de producción de energía de los paneles son diferentes a las horas de consumo; además que la producción se excede al consumo diario en los laboratorios por lo que esa energía sobrante será transferida al Sistema Interconectado Nacional (SIN), obteniendo así ganancias que podrán suplir otros gastos de la Universidad.

4.6. IMPLEMENTACIÓN DE PROTOTIPO A ESCALA DEL SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA

Una vez establecido la factibilidad y viabilidad del sistema, los beneficios y equipos componentes que hacen parte del sistema de energía solar, es indispensable describir la serie de materiales y equipos necesarios para llevar a cabo el presente proyecto. Se presenta una lista de materiales y equipos básicos que se usan para el desarrollo del objetivo.

Tabla 18. Componentes para la construcción del sistema de generación.

Componentes	Cantidad	Especificaciones
Panel solar	4	
Motor	4	
Leds	4	Blancos
Cableado	1	2 m
Base metálica	4	40cm
Base de madera de triple	1	50*50cm

Fuente: Autor.

Primeramente, se da una ilustración y la descripción al respaldo de los paneles solares a usar. Es el componente principal del sistema de energía fotovoltaico ya que se encarga de transformar la luz solar en energía eléctrica gracias a las células fotoeléctricas. Los paneles evidenciados a continuación son comúnmente usados para practicas y proyectos con el fin de evidenciar de forma practica el funcionamiento del componente.

Figura 25. Paneles solares y especificación



Fuente: Autor.

Al ser conectados los paneles solares de forma correspondiente, se va obtener energía eléctrica mediante la luz solar. Los paneles solares van alimentar diferentes componentes eléctricos con el fin de representar el consumo de energía eléctrica de los laboratorios, destacándose los motores eléctricos ya que se puede encontrar por lo menos uno en cada laboratorio de las Unidades Tecnológicas de Santander.

Figura 26. Motores.



Fuente: Autor.

Figura 27. Conexión de paneles



Fuente: Autor.

Luego de mencionar los materiales y componentes básicos se realizan las conexiones correspondientes de los paneles conectados en paralelo, tal como lo muestra la Figura 34, tomando pruebas a tiempo real de un voltaje y evidenciando el comportamiento de la energía por cada componente conectado.

Figura 28. Medición de voltaje vs corriente



Fuente: Autor.

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR: Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

Al haber conectado todos los componentes eléctricos se prosigue a evaluar el sistema de generación realizando, pruebas de estabilidad midiendo el voltaje, corriente y temperatura como se puede evidenciar en la Figura 36 y 37, a diferentes horas del día con el fin de demostrar que el sistema funcione de forma correcta con la luz solar con la que cuenta la ciudad.

Figura 29.Medición voltaje vs temperatura



Fuente: Autor.

Para finalizar se toman los datos y se ordenan en la siguiente tabla, donde se puede encontrar el voltaje, corriente de fuente, temperatura de las células y la corriente de cada componente eléctrico a diferentes horas del día. Dentro de la tabla se puede destacar que la mayor generación de energía se da entre las 11am y 2pm, lo que concluimos que en ese momento es cuando el sistema trabaja cerca al voltaje máximo.

Tabla 19. Pruebas del sistema fotovoltaico a escala

Horas Prueba	Corriente Fuente (mA)	Temperatura de la célula	Volt	Corriente Motor 1 (mA)	Corriente Motor 2 (mA)	Corriente Motor 3 (mA)	Corriente Motor 4 (mA)
09.50	220	50	18	50	50	50	60
10.50 (Nublado)	0	0	0	0	0	0	0
11.45	160	50	12	40	40	40	40
12.50	220	48	18	50	50	50	60
13.30	220	54	16	50	50	50	60
14.30	220	47	15	50	50	50	60
15.40	180	50	12	40	40	40	40

Fuente: Autor

Al realizar las diferentes pruebas de estabilidad y confiabilidad del sistema de generación, se procede a organizar y estructurar la maqueta donde quedará funcionando con la finalidad de entregarse para las Unidades Tecnológicas de Santander.

Figura 30. Prototipo del sistema de generación de energía eléctrica



Fuente: Autor

5. RESULTADOS

En términos generales se incrementa el uso de energías alternativas en el departamento, esto ayuda a concientizar un poco a la población del uso energético renovable y amigable con el medio ambiente que a su vez afecta directamente en la reducción del calentamiento global uno de los fines de proyectos de esta índole, este proyecto genera empleos en el momento de instalación, da una mejora energética de la zona y ayuda a la productividad de la zona. Quizás al ser un tema no tan conocido en las zonas apartadas de las grandes ciudades, el nuevo conocimiento conllevara a una masificación de todos los tipos de energías renovables no solo energía solar, y de dejar de depender de los combustibles fósiles y de generadores hidráulicos garantizando un mejor futuro.

Se diseñó técnicamente un sistema fotovoltaico de 15 kWp de potencia instalada con sistemas de interconexión de generación diurna para usar en especialmente en la noche, esto reduce la emisión de gases de efecto invernadero producidas con combustibles fósiles.

La distancia entre paneles teórica nos indica la distancia mínima de 2.04 m para evitar problemas de sombras, se sugiere una distancia de 2.5 m ya que esta distancia garantiza movilidad entre los paneles para limpieza e inspecciones de los mismos

6. CONCLUSIONES

Con la iniciativa y desarrollo de este proyecto, se encontró la problemática que se vive en las UTS sede Barrancabermeja, actualmente la universidad se encuentra arrendada en el colegio Diego Hernández de Gallegos que se encuentra ubicada en el centro urbano, lo que facilita la venta de energía eléctrica a la red, al poder ejecutar el presente diseño del proyecto de energía renovable, será una fuente energética sostenible para una mejor calidad de vida y educación para los estudiantes de la institución.

El diseño del proceso de generación de energía eléctrica a partir de paneles fotovoltaicos de la UTS, se plantea como un sistema conectado a la red de doble función, durante el día se genera y se acumula en la red para en la noche ser utilizada.

El sistema diseñado para las UTS de Barrancabermeja, ofrece resultados de innovación, bienestar y posibles prácticas, el cual se beneficia para los laboratorios, salas de informática y aprovechamiento en el conocimiento del sistema de energía renovable.

Las horas de sol de la ciudad de Barrancabermeja permiten llevar a cabo con mayor seguridad el desarrollo de este proyecto, pues la mayoría de los meses se encuentra en verano la ciudad, son muy pocos los meses lluviosos que se dan y por consiguiente días despejados y sin radiación difusa que disminuya la eficiencia del sistema.

Desde una perspectiva económica, la respuesta es que los costos son elevados por concepto de electricidad y que representan el mayor gasto energético en la universidad. A la luz de este hecho, la continua baja en los precios de los sistemas solares y la adopción de modelos de financiación innovadores ofrecen la oportunidad de reducir drásticamente su gasto de energía, siendo el periodo de retorno de inversión más corto y obteniendo un sistema de generación de energía que pueda abastecer la necesidad durante un tiempo prolongado.

7. RECOMENDACIONES

En el diseño del proyecto, se observó la importante de la etapa de investigación para el éxito de cada una de las fases del ciclo del proyecto, esta misma provee en insumo para el dimensionamiento adecuado para el cumplimiento de los objetivos.

Siendo el Municipio de Barrancabermeja tan rico en recursos de energía natural renovable, es evidente el desinterés y la falta de apoyo del gobierno a las comunidades. La falta de inversión en investigación y desarrollo tecnológico termina por dejar subdesarrollo y recursos inexplorados que traerían muchos beneficios.

Es un desafío para los profesionales, tecnólogos y técnicos de hoy buscar desarraigar los modelos de generación de energía convencionales, los cuales conllevan a grandes inversiones y a altos índices de contaminación: es por esto que los sistemas integrales de soluciones deben abarcar todas las necesidades que poseen sus proyectos, con soluciones sustentables e innovadoras.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barbera, D. (2013). Introducción a la energía fotovoltaica. España: Universidad de Sevilla.
- Bitar, S., & Chamas, F. (2017). Estudio de Factibilidad para la Implementación de Sistemas Fotovoltaicos como Fuente de Energía en el Sector Industrial de Colombia. Bogotá: Colegio de Estudios Superiores de Administración .
- Castillo, N., Lozada, W., & Cuestas, A. (2017). Implementación de sistema de Energía Fotovoltaica para Estaciones Base. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.
- Castro, G. (2018). Regulación que permite a cualquier persona producir energía y venderse al Sistema Interconectado Nacional (SIN). Colombia: Portafolio.com.
- Contreras, V. (2017). La Historia de La Energía Solar. experience TM by symplicity.
- CREG. (2018). Autogeneración a pequeña escala y generación distribuida. Colombia: CREG.
- D FORCE SOLAR. (2007). Los Beneficios de la Energía Solar. Colombia: D FORCE SOLAR.
- Díaz, J. (2016). Aprovechamiento de Energía Fotovoltaica para la Población Veredal Pringamosal. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Díaz, T., & Carmona, G. (2010). Instalaciones Solares Fotovoltaicas. España: McGraw Hill.
- Gálviz, J., & Gutiérrez, R. (2013). Implementación de un sistema de generación de energía solar fotovoltaica para la población WAYUU. Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

- Horvátha, M., & Csoknyai, T. (2016). Evaluacion de los metodos de calculo de energia solar para superficies inclinadas al sur, orientadas a 45 grados. Hungría: Universidad de Tecnologia y Economía de Budapest.
- Kanters, J., Wall, M., & Kjellsson, E. (2013). El mapa solar como base de conocimientos para el uso de la energia solar. Alemania: Universidad de Lund.
- Massieu, W. (2008). Guia de Aprendizaje: Electronica de Potencia. Mexico: Instituto Politecnico Nacional.
- Montoya, C. (2011). Energia Solar Fotovoltaica. Madrid: Escuela de Organizacion Industrial.
- NTC-2050. (1998).Codigo electrico colombiano. Bogota: Icontec.
- Oliva, C., & Santamaria Herranz, G. (2010). Instalaciones Solares Fotovoltaica. España: Editorial Editex.
- RETIE. (2008). Reglamento tecnico de instalaciones electricas. Colombia.
- San Romualdo. (2006). Guia de la energia solar. España: Madrid solar.
- Sánchez, J. (2012). Beneficios de la Energia Fotovoltaica. España: Platea.pntic.
- Valdenegro, A., & Palma, R. (2016). Diseño de sistema de generacion fotovoltaica para viviendas conectadas a la red de distribucion . Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- VATIA. (2015). Beneficios economicos de la energia solar en Colombia. Colombia: VATIA.
- Vega, J., & Ramírez, S. (2014). Fuentes de energias renovables y no renovables. Aplicaciones. Bogota: Alfaomega.

ANEXOS.

Previsión de producción

$$W_d = \frac{G_{dm}(\alpha, \beta) \cdot P_{Gm\acute{a}x} \cdot PR}{G_{CEM}}$$

ENERO

$$W_d = \frac{8,686Kwh/(m^2 \cdot dia) \cdot 30400W \cdot 0,7}{1000w/m^2} = 184.838Kwh/dia$$

$$G_{dm} = G_{dm}(0) \cdot K \cdot F_1 \cdot F_5 = 5,12 \cdot 1,7 \cdot 0,998 \cdot 1 = 8.686Kwh/m^2$$

FEBRERO

$$W_d = \frac{9,178Kwh/(m^2 \cdot dia) \cdot 30400W \cdot 0,7}{1000w/m^2} = 195.307Kwh/dia$$

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = 5,41Kwh/m^2 \cdot 1,7 \cdot 0,998 \cdot 1 = 9.178Kwh/m^2$$

MARZO

$$W_d = \frac{8,686Kwh/(m^2 \cdot dia) \cdot 30400W \cdot 0,7}{1000w/m^2} = 184.838Kwh/dia$$

$$G_{dm} = 5,12Kwh/m^2 \cdot 1,7 \cdot 0,998 \cdot 1 = 8.686Kwh/m^2$$

Abril

$$W_d = \frac{8,567Kwh/(m^2 \cdot dia) \cdot 30400W \cdot 0,7}{1000w/m^2} = 182.305Kwh/dia$$

$$G_{dm} = 5,05Kwh/m^2 \cdot 1,7 \cdot 0,998 \cdot 1 = 8.567Kwh/m^2$$

Mayo

$$W_d = \frac{8,211Kwh/(m^2 \cdot dia) \cdot 30400W \cdot 0,7}{1000w/m^2} = 174.730Kwh/dia$$

$$G_{dm} = 4,84Kwh/m^2 \cdot 1,7 \cdot 0,998 \cdot 1 = 8.211Kwh/m^2$$

Junio

$$W_d = \frac{8,873Kwh/(m^2 \cdot dia) \cdot 30400W \cdot 0,7}{1000w/m^2} = 188.817Kwh/dia$$

$$G_{dm} = 5,23Kwh/m^2 * 1,7 * 0,998 * 1 = 8.873Kwh/m^2$$

Julio

$$W_d = \frac{9,127Kwh/(m^2 \cdot dia) * 30400W \cdot 0,7}{1000w/m^2} = 194.222Kwh/dia$$

$$G_{dm} = 5,38Kwh/m^2 * 1,7 * 0,998 * 1 = 9.127Kwh/m^2$$

Agosto

$$W_d = \frac{9,212Kwh/(m^2 \cdot dia) * 30400W \cdot 0,7}{1000w/m^2} = 196.031Kwh/dia$$

$$G_{dm} = 5,43Kwh/m^2 * 1,7 * 0,998 * 1 = 9.212Kwh/m^2$$

Septiembre

$$W_d = \frac{8,958Kwh/(m^2 \cdot dia) * 30400W \cdot 0,7}{1000w/m^2} = 190.626Kwh/dia$$

$$G_{dm} = 5,28Kwh/m^2 * 1,7 * 0,998 * 1 = 8.958Kwh/m^2$$

Octubre

$$W_d = \frac{8,415Kwh/(m^2 \cdot dia) * 30400W \cdot 0,7}{1000w/m^2} = 179.071Kwh/dia$$

$$G_{dm} = 4,96Kwh/m^2 * 1,7 * 0,998 * 1 = 8.415Kwh/m^2$$

Noviembre

$$W_d = \frac{7,872Kwh/(m^2 \cdot dia) * 30400W \cdot 0,7}{1000w/m^2} = 167.516Kwh/dia$$

$$G_{dm} = 4,64Kwh/m^2 * 1,7 * 0,998 * 1 = 7.872Kwh/m^2$$

Diciembre

$$W_d = \frac{8,058Kwh/(m^2 \cdot dia) * 30400W \cdot 0,7}{1000w/m^2} = 171.474Kwh/dia$$

$$G_{dm} = 4,75Kwh/m^2 * 1,7 * 0,998 * 1 = 8.058Kwh/m^2$$

Generador $P_{Gm\acute{a}x} = 30.400Kw_{pico}$, orientado al sur α e inclinacion β

Anexo A. Resumen de energía diaria

Mes	$G_{dm}(0) \left[\frac{Kwh}{m^2 \cdot dia} \right]$	$G_{dm}(\alpha = , \beta =) \left[\frac{Kwh}{m^2 \cdot dia} \right]$	$W_d(Kwh / dia)$
Enero	5,12	8.686	184.838
Febrero	5,41	9.178	195.307
Marzo	5,12	8.686	184.838
Abril	5,05	8.567	182.305
Mayo	4,84	8.211	174.730
Junio	5,23	8.873	188.819
Julio	5,38	9.127	194.222
Agosto	5,43	9.212	196.031
Septiembre	5,28	8.958	190.626
Octubre	4,96	8.415	179.071
Noviembre	4,64	7.872	167.516
Diciembre	4,75	8.058	171.474
Promedio anual	61,21	103.873	2209.075

Fuente: Autor

Multiplicando la energía diaria por los días de cada mes y sumando se obtiene la producción anual (W_a)

Anexo B. Resumen de producción anual

Mes	W_d (Kwh/dia)	Días por mes	Producción mensual (Kwh)
Enero	184.838	31	5729.978
Febrero	195.307	28	5468.596
Marzo	184.838	31	5729.978
Abril	182.305	8.567	5469.15
Mayo	174.730	8.211	5416.63
Junio	188.819	8.873	5664.57
Julio	194.222	9.127	6020.882
Agosto	196.031	9.212	6076.961
Septiembre	190.626	8.958	5718.78
Octubre	179.071	8.415	5551.201
Noviembre	167.516	7.872	5025.48
Diciembre	171.474	8.058	5315.694
Producción anual (W_a)			67187.9

Fuente: Autor

Como la potencia máxima o de pico del generador es de 30.400Kw, la productividad anual del generador es igual a:

$$V_F = \frac{W_a}{P_{Gm\acute{a}x}} = \frac{67187.9}{30.400v} = 2.2101 \text{ Kwh/Kwp}$$