



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y**  
**TELECOMUNICACIONES**  
**PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**AVANCE Y APLICABILIDAD DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS EN  
COLOMBIA.**

**AUTOR:**

**MICHELLE ANDREA BADILLO PRIETO**

**DIRECTOR:**

**LUIS ENRIQUE MENDOZA**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,  
SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
PAMPLONA N. DE S. – COLOMBIA  
20-DICIEMBRE-2022**

**AVANCE Y APLICABILIDAD DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS EN  
COLOMBIA.**

**AUTOR:**

**MICHELLE ANDREA BADILLO PRIETO**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO  
ELÉCTRICO**

**DIRECTOR:**

**LUIS ENRIQUE MENDOZA.**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,  
SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
PAMPLONA N. DE S. – COLOMBIA  
20-DICIEMBRE-2022**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA ELECTRÓNICA SISTEMAS Y  
TELECOMUNICACIONES  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTAR  
TRABAJO PRESENTADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE  
INGENIERO ELÉCTRICO**

**AVANCE Y APLICABILIDAD DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS EN  
COLOMBIA.**

**FECHA DE INICIO DEL TRABAJO:**

**FECHA DE TERMINACIÓN DEL TRABAJO:**

**NOMBRES Y FIRMAS DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTAR**

**AUTOR:** MICHELLE ANDREA BADILLO PRIETO.

**DIRECTOR:** LUIS ENRIQUE MENDOZA

**DIRECTOR DE PROGRAMA:** EDINSON ANDRES CAICEDO PEÑARANDA.

**JURADO CALIFICADOR:**

**PRESIDENTE:** ING. JESUS ABELARDO VELASCO OCHOA

**OPONENTE:** ING MARIA NATHALY BRISEÑO

**SECRETARIO:** ING. LUIS ENRIQUE MENDOZA

**PAMPLONA, COLOMBIA**

**20-DICIEMBRE-2022**

## **DEDICATORIA**

Por medio de estas palabras quiero expresar mi gratitud: A mi madre y hermana, porque han sido el apoyo más importante en esta etapa de mi vida, debido a su esfuerzo he podido dar este paso tan importante en mi vida. A mis familiares y a las personas especiales que me apoyaron durante la carrera y en la medida de lo posible intentaron ser de ayuda de una u otra forma. A la Universidad de Pamplona y a sus docentes, por permitirme ser parte de ella y estar incluida en esta carrera ya que me permitieron crecer no sólo en el ámbito académico sino personal. Gracias a mis compañeros con los cuales compartí tantas experiencias.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	13
1. INTRODUCCIÓN .....	14
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	16
3.2 JUSTIFICACIÓN.....	16
4. MARCO TEÓRICO.....	18
Análisis y cuadros de cargas iniciales .....	34
Cargas lineales .....	34
Carga no lineal .....	35
Factor De Potencia .....	35
Potencia activa: .....	36
Potencia Aparente:.....	36
Potencia reactiva:.....	37
Potencia trifásica: .....	37
Análisis de coordinación de aislamiento eléctrico .....	37
Aislamiento autorregenerable: .....	37
No autoregenerable .....	37
Aislamiento externo: .....	38
Aislamiento interno:.....	38
Nivel de aislamiento normalizado: .....	38
Sobretensión: .....	38
Máxima tensión continua de operación (MCOV):.....	38
Margen de protección: .....	38
Red con neutro aislado:.....	38
Red con neutro puesto directamente a tierra:.....	38
Sobretensión: .....	39
Tensión nominal de una red:.....	39
Tensión máxima del sistema: .....	39
Coordinación de aislamiento.....	39

5. ESTADO DEL ARTE.....	39
5.2 Variables técnicas.....	48
5.4 Geotérmica .....	56
6 DISEÑO DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO .....	66
6.13.1 Análisis de cargas en AC .....	87
6.14 Análisis de coordinación de aislamiento eléctrico .....	88
6.15 Análisis de corto circuito y falla a tierra: .....	88
6.16 Análisis de nivel de rayos y medidas para mitigarlos: .....	89
6.17 Matriz de riesgos .....	89
6.18 Análisis de origen eléctrico .....	91
6.19 Análisis.....	91
6.20 Sistema de puesta a tierra .....	92
6.20.1 Método de wenner o cuatro puntos aplicados para medir la resistividad.....	93
6.20.2 Resistividad Aparente:.....	94
Verificación de conductores.....	97
Calculo de ductos .....	98
Análisis de capacidad por ducto.....	99
Calculo por regulación .....	101
Elaboración de diagramas unifilares .....	102
Distancias de seguridad requerida.....	103
Implementación de los planes de mantenimiento para los equipos .....	104

Duración del mantenimiento: .....	105
Máquina parada o en marcha: .....	105
CONCLUSIONES .....	106
REFERENCIAS .....	108

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ángulo de acimut ( $\alpha$ ).....	21
Figura 2 Ángulo de inclinación ( $\beta$ ).....	22
Figura 3 Este sur oeste. ....	22
Figura 4 Unión PN.....	26
Figura 5 Conexión de células de un módulo de silicio mono cristalino. ....	26
Figura 6 Tramos de líneas en un sistema. ....	31
Figura 7 diagrama interno del dps sin sobretensión.....	34
Figura 8 diagrama interno del dps con sobretensión. ....	34
Figura 9 triangulo de potencias.....	36
Figura 10 Caja caliente .....	40
Figura 11 Aumento de producción de células fotovoltaicas.....	42
Figura 12 Fabricación en Alemania.....	42
Figura 13 distribución eólica. ....	45
Figura 14 distribución de costos .....	46
Figura 15 distribución de componentes.....	46
Figura 16 Combustible renovables. ....	58



Figura 17 Porcentajes de energías alternativas .....	58
Figura 18 Tipo de sistema aislado .....	68
Figura 19 Punto de ubicación. ....	69
Figura 20 Ubicación orientada al sur. ....	69
Figura 21 Diagrama de tipos de conexión. ....	81
Figura 22 distancias por tramos. ....	81
Figura 23 distancias por tramos. ....	87
Figura 24 metodo wenner .....	94

## **INDICE DE GRAFICAS**

Grafica 1 rapidez de descarga. ....	33
Grafica 2 forma de onda .....	34
Grafica 3 Evolución de la eficiencia de las células.....	41
Grafica 4 Precio de turbinas eólicas.....	47
Grafica 5 Reducción de costos.....	48
Grafica 6 curva de potencia aerogeneradores. ....	49
Grafica 7 precio de tecnología en módulos.....	52
Grafica 8 costos de generación. ....	53
Grafica 9 Almacenamiento de baterías. ....	56
Grafica 10 Costos de instalación.....	57
Grafica 11 Emisiones de co2. ....	66
Grafica 12 Nivel de radiación en Cúcuta. ....	72

## INDICE DE IMÁGENES

Imagen 1 Radiación solar sobre la superficie .....	24
Imagen 2 Tipo lineal .....	32
Imagen 3 Conexión interior .....	32
Imagen 4 Conexión por tubo o canal .....	33
Imagen 5 primera hidroeléctrica. ....	43
Imagen 6 Primer molino .....	44
Imagen 7 mejor ubicación de terreno.....	50
Imagen 8 Radiación solar en Colombia.....	54
Imagen 9 cantidad de sombreado.....	55
Imagen 10 Transición energética. ....	59
Imagen 11 Proyección de proyectos a nivel nacional.....	60
Imagen 12 Tipos de energía instalada en el país.....	61
Imagen 13 energía tipo hidrogeno. ....	64
Imagen 14 cadena productiva .....	64
Imagen 15 Emisiones de efecto invernadero en el país. ....	65
Imagen 16 Localización del colegio. ....	67
Imagen 17 Ubicación colegio. ....	68
Imagen 19 Medida 1, distancia 1m.....	95
Imagen 20 Medida 2, distancia 2m.....	95
Imagen 21 Medida 3, distancia 3m.....	95
Imagen 22 Medida 4, distancia 4m.....	96
Imagen 23 Medida 5, distancia 5m.....	96

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Inclinaciones optimas en función del proceso de captación.....	23
Tabla 2	Las cargas a instalar son .....	70
Tabla 6	sondeo de mercado en precios .....	76
Tabla 7	características del panel. ....	77
Tabla 8	ficha técnica. ....	77
Tabla 12	guía selección de cableado y ductos. ....	84
Tabla 13	guía rápida de selección cableado.....	84
Tabla 14	guía rápida de selección ductos .....	85
Tabla 15	ficha técnica DPS seleccionado .....	86
Tabla 16	cuadro de cargas.....	87
Tabla 17	Coordinación de aislamiento en sistemas de distribución .....	88
Tabla 17	Matriz de riesgos.....	89
Tabla 18	Niveles de Riesgo. ....	90
Tabla 19	Análisis de nivel de riesgo .....	92
Tabla 21	Resistividad promedio .....	96
Tabla 24	Máxima cantidad de conductores por ducto pvc según la NTC 2050 .....	100
Tabla 25	Máxima cantidad de conductores por ducto metálico .....	101
Tabla 26	Regulación en baja tensión. ....	102
Tabla 27	Regulación en baja tensión. ....	102
Tabla 28	Tensión Nominal del sistema.....	103

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue determinar el uso y aplicabilidad de las energías alternativas en Colombia, a través del desarrollo de un estado del arte en relación a su participación, identificando las variables más relevantes que influyen en dicha utilización o implementación con el fin de obtener una caracterización de las mismas.

Inicialmente, se plantea la participación histórica que han tenido las tecnologías alternativas, dejando en evidencia el poco desarrollo de estas en comparación con la antigüedad de su descubrimiento.

Por consiguiente, se definen las variables principales que influyen en cada tipo de energía, obteniendo que una de las principales está asociada al costo, variable que ha sido por mucho tiempo una barrera en la implementación de renovables no convencionales. Además, se realiza un análisis del posicionamiento de cada una de ellas en la actualidad dentro del contexto colombiano y se plantea una comparación de Colombia frente al resto del mundo en temas de renovables y eficiencia energética, con lo que se obtiene un panorama bastante alentador ya que somos el segundo puesto entre los países de América en el índice de transición, además de que con la última subasta realizada se impulsó aún más el uso de renovables para la diversificación de nuestra matriz eléctrica.

Por último, la investigación presenta el diseño del sistema de generación con renovables en el colegio Juan frío ubicado en villa del Rosario que pone en evidencia ahorros económicos significativos, entre las muchas otras bondades que ofrece la implementación de este tipo de sistemas, en conclusión, el uso de energías alternativas seguirá en constante crecimiento para diversificar aún más nuestra matriz eléctrica y contribuir a los acuerdos pactados en cuanto a la reducción de emisiones.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad La energía eléctrica desempeña un papel fundamental en todos los sectores residenciales y productivos, que año tras año ha incrementado su consumo debido a nueva demanda de crecimiento, y a nuevas necesidades de mercados. La creciente demanda de servicios energéticos representa uno de los desafíos más importantes para los sectores en el desarrollo de este estudio estará enfocado en identificar el uso de las energías alternativas en Colombia, entre los cuales encontramos los distintos tipos de energías renovables como: energía eólica, energía solar, energía mareomotriz y la energía biomasa, la mayor cantidad de energía generada en el país corresponde a fuentes renovables, principalmente las hidroeléctricas, todo esto juega un papel en la economía del país por lo que es importante tener a disposición estudios donde se identifiquen como se ha desarrollado este tipo de energías en el país ya que los constantes cambios climáticos que se han presentado a nivel global han obligado a las grandes economías del mundo a pensar en cómo fomentar un equilibrio entre los recursos naturales y el uso desproporcionado que el ser humano está dando a todos estos, junto con ellos. Países se han unido a este llamado para crear y fomentar estrategias de uso de energías limpias para reducir el impacto de los gases de efecto invernadero. El desarrollo sostenible de las personas, el planeta y la prosperidad enfatizando en el objetivo de crear energía asequible y no contaminante a través del aprovechamiento de las energías renovables no convencionales de acuerdo al potencial de nuestro país.

Esta propuesta pretende desarrollar un diseño que le permita a la institución educativa Juan Frio obtener un suministro de manera alternativa en donde ellos se ven beneficiados y de esta manera podemos promover el uso de las energías renovables.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

- Determinar el uso y aplicabilidad en energías alternativas en Colombia.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Desarrollar un estado del arte en relación al uso de energías alternativas en Colombia.
- Identificar las variables más relevantes para el uso de energías alternativas en Colombia con el fin tener una caracterización.
- Presentar un diseño para el colegio Juan frío ubicado en villa del Rosario basado en un sistema de energías alternativas para mejorar la calidad de vida de los estudiantes.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En Colombia, la generación de energías renovables no convencionales (solar, geotérmica, eólica y biomasa) representa menos del 1%. A pesar del gran potencial que puede tener el país en este campo, la poca explotación se explica por la baja competitividad económica que tienen este tipo de energías en comparación con las convencionales (hidráulica y térmica). En medio de dificultades en materia energética en el país, las energías renovables recobran importancia y trascendencia ya la demanda de energía para el año 2040 será aproximadamente 80% más alta que la actual en la región latinoamericana.

#### **3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

¿cómo podrá enfrentar Colombia los nuevos retos de incremento de demanda en los años posteriores y los compromisos adquiridos de reducción de emisiones mediante la diversificación de la matriz eléctrica a partir de renovables no convencionales y cuáles son las principales variables a considerar al querer incursionar en este tipo de tecnologías?

#### **3.2 JUSTIFICACIÓN**

El estudio realizado sobre cómo podrá enfrenta Colombia los nuevos retos de incremento de demanda en los años posteriores y los compromisos adquiridos de reducción de emisiones mediante la diversificación de la matriz eléctrica a partir de renovables no convencionales y cuáles son las principales variables a considerar al querer incursionar en este tipo de tecnologías, es de gran importancia en la actualidad ya que con toda la cantidad de información que se encuentra dispersa alrededor de este tema y del bombardeo publicitario que se hace hoy en día sobre este tipo de energías asegurando ser la opción más amigable con el ambiente entre otras cosas, que se hace preciso brindar un panorama claro de este tipo de tecnologías, en donde se encuentra el país realmente alrededor de este tema y si es en realidad este tipo de tecnologías tan atractivas como se presume en la actualidad y que tipo de beneficios trae consigo su

implementación. Además de que se pone en evidencia cuál de las diferentes tecnologías presenta una mayor competitividad en el mercado y así poder incursionar en esta con mayor seguridad.

Por otro lado, esta investigación brinda un acercamiento práctico más preciso a como este tipo de proyectos de generación con energías no convencionales aportan o no realmente beneficios significativos tras su implementación como se afirma en la teoría.

Por lo tanto, el lector podrá tener una visión del panorama no solo global de este tipo de tecnologías y todo lo que rodea a estas, sino también un caso práctico donde se defina finalmente que tan viable es realmente su implementación en contraste con todas las bondades que se presentan de las mismas en la actualidad a nivel mundial.



#### 4. MARCO TEÓRICO

En el diseño de cualquier instalación eléctrica, ya sea residencial, comercial o industrial, es fundamental el conocimiento de los distintos componentes que intervienen en las mismas. De hecho, en la construcción de una instalación eléctrica se puede decir que intervienen cientos de componentes que están diseñados y ensamblados en una forma segura para entregar la potencia eléctrica requerida, parte de este estudio de las componentes es su selección y la forma como están interconectadas o relacionadas. La mejor forma de estar seguros de esto es revisar sus características y darle el adecuado uso sobre todo cuando se analizaron cálculos para aplicaciones específicas. (Harper, 2004)

Por otro lado, debe decirse que en la actualidad no basta con conocer a detalle todo lo relacionado con instalaciones eléctricas, sino que se ha hecho esencial debido al cambio climático y los diferentes acuerdos pactados sobre reducción de emisiones (COP21), el estudiar la fuente utilizada para la producción de dicha energía eléctrica para consumo final. Por lo anterior, a lo largo de los años diversas organizaciones se han formado para incursionar en fuentes más amigables con el medio ambiente y hacerlas cada vez más atractivas para su implementación o en otros casos recopilar información del estado global de dichas fuentes haciendo seguimiento de sus avances o posicionamiento en el mundo.

La agencia internacional de energías renovables (IRENA por sus siglas en inglés) es una asociación es una organización intergubernamental que apoya a los países en su transición hacia un futuro energético sostenible, promoviendo la implementación de energías renovables en los países. Es una entidad clave para el desarrollo de este trabajo debido a que tiene un alto bagaje en todo lo relacionado con renovables y provee entre otras de estadísticas de capacidad de

energía renovable, estudios de costos, Atlas Global que mapea el potencial de recursos por fuente y por ubicación, estudios de beneficios de energías renovables resúmenes de tecnología de energía renovable, entre otros estudios claves para la investigación (IRENA, 2021).

Por otro lado existen también investigaciones realizadas por organismos colombianos entre los que se destaca, la unidad de planeación minero energética (UPME), que brinda asesoramiento al ministerio de minas y energía en Colombia en todo el tema del manejo del uso eficiente de los recursos minero energéticos (UPME, 2021) y por ende es clave para la obtención de información relevante sobre el estado del país en materia de renovables y futuras proyecciones para así brindar un contexto general del panorama actual de dichas tecnologías de generación, para la construcción del diseño se tuvo en cuenta los siguientes conceptos.

#### **Energía Fotovoltaica:**

La energía solar fotovoltaica: este tipo de energía es la transformación de manera directa de la energía que proviene del sol en energía eléctrica, es generada mediante generadores fotovoltaicos que se encuentran compuestos por unidades básicas denominadas células fotovoltaicas. (Castejon Oliva, Agustin; Santamaria Herranz, German; Editorial Editex S.A.)

#### **Coordenadas y movimientos de la tierra:**

Mediante las coordenadas geográficas como lo son la longitud y la latitud podemos obtener la precisión en cualquier superficie, tienen su punto de referencia el cual es el meridiano de Greenwich y la línea del ecuador (Adler , Berardi , Garcia Pedrosa , Monteceli , & Morquecho , 2013).

**El meridiano de Greenwich:** “es la semicircunferencia imaginaria que enlaza los polos y pasa por Greenwich, son las circunferencias definidas sobre la superficie terrestre por planos perpendiculares al eje de rotación de la tierra, son paralelas a l ecuador”

**Línea del ecuador:** “es la circunferencia definida sobre la superficie terrestre por un plano perpendicular al eje de rotación de la tierra que la divide en dos partes llamadas hemisferio norte y hemisferio sur”. (Castejon Oliva, Agustin; Santamaria Herranz, German; Editorial Editex S.A.)

**Latitud:** “la latitud ( $\phi$ ) es la distancia angular que existe entre un punto cualquiera de la superficie terrestre y el ecuador, medida sobre el meridiano que pasa por dicho punto, la línea del ecuador es por definición  $0^\circ$  todos los puntos ubicados sobre el mismo paralelo tienen la misma latitud, los puntos que se encuentran al norte del ecuador reciben denominación (n) y los que se encuentran al sur reciben denominación sur (s), dependiendo de esto se miden según sus ángulos son van de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  los del lado Norte ( $-90$ ) y lado Sur ( $-$ )” (Adler , Berardi , Garcia Pedrosa , Monteceli , & Morquecho , 2013).

### **Longitud**

“la longitud es la distancia angular que existe entre un punto cualquiera de la superficie terrestre y el meridiano de Greenwich, medida sobre el paralelo que pasa por dicho punto El meridiano de Greenwich divide a la Tierra en dos hemisferios llamados Este (oriental) y Oeste (occidental). Al meridiano de Greenwich, por el ser el meridiano de referencia, le corresponde la longitud cero. También se denomina meridiano cero o meridiano base. La longitud se mide de  $0^\circ$  a  $180^\circ$  y se define como positiva hacia el Oeste (hemisferio occidental) y negativa hacia el Este (hemisferio oriental)” (Adler , Berardi , Garcia Pedrosa , Monteceli , & Morquecho , 2013).

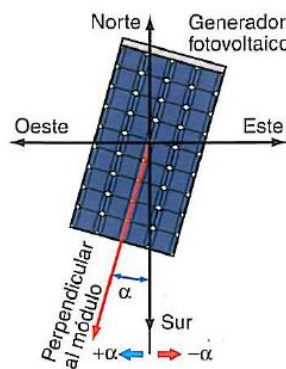
### **Orientación del generador fotovoltaico:**

Las coordenadas nos permiten situar al sol en el cielo, debemos situar la superficie de nuestro generador fotovoltaico de manera que reciba la mayor cantidad posible de energía.

- La orientación de la superficie del generador fotovoltaico.
- El tiempo que se va a usar a lo largo del año: anual, estacional, etc.
- La aplicación que va a tener: autónomo, conectado a la red, etc.

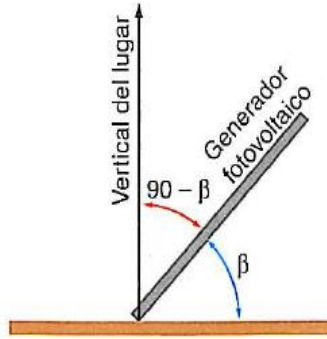
La orientación de un generador fotovoltaico se define mediante coordenadas angulares, similares a las utilizadas para definir la posición del Sol tomamos los siguientes valores:

**Ángulo de acimut ( $\alpha$ ):** ángulo que forma la proyección sobre el plano horizontal de la perpendicular a la superficie del generador y la dirección Sur (Figura 1). Vale  $0^\circ$  si coincide con la orientación Sur, es positivo hacia el Oeste y negativo hacia el Este. Si coincide con el Este su valor es  $-90^\circ$  y si coincide con el Oeste su valor es  $+90^\circ$ .



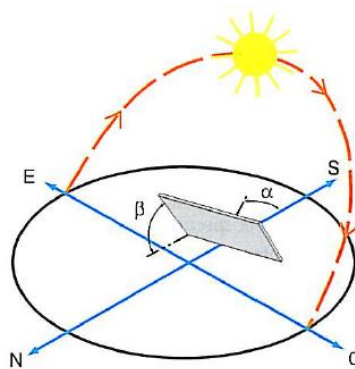
**Figura 1** Ángulo de acimut ( $\alpha$ )

**Ángulo de inclinación ( $\beta$ ):** ángulo que forma la superficie del generador con el plano horizontal (Figura 2). Su valor es  $0^\circ$  si el módulo se coloca horizontal y  $90^\circ$  si se coloca vertical.



**Figura 2** Ángulo de inclinación ( $\beta$ )

“La orientación óptima será un valor constante, con una inclinación ( $\beta$ ) que va a depender de la latitud  $\varphi$  del lugar y un acimut ( $\alpha$ ) que depende del hemisferio en el que está situado el generador. La figura 3 muestra una superficie situada en el hemisferio norte, donde el Sol sigue una trayectoria Este-Sur-Oeste. Si pretendemos maximizar la captación de energía solar, la superficie tendrá que estar orientada hacia el Sur y por lo tanto el ángulo de acimut ( $\alpha$ ) debe ser nulo. El acimut óptimo para que una superficie fija reciba la mayor cantidad posible de energía solar debe ser cero ( $\alpha = 0^\circ$ ), la superficie se debe orientar hacia el Sur si está situada en el hemisferio norte o hacia el Norte si es está en el hemisferio sur” (Castejon Oliva, Agustin; Santamaria Herranz, German; Editorial Editex S.A.).



**Figura 3** Este sur oeste.

En la práctica también se utilizan expresiones, basadas en la experiencia y la observación, que proporcionan la inclinación óptima en función del periodo de tiempo y el uso que se le va a dar al generador fotovoltaico (tabla 1).

**Tabla 1** Inclinaciones optimas en función del proceso de captación.

Tipo de instalación	Uso	Máxima captación de energía	Inclinación óptima
Conectadas a la red	Anual	Anual	$\beta_{opt} = \phi - 10$
Bombeo de agua	Anual	Verano	$\beta_{opt} = \phi - 20$
Autónomas de consumo anual constante	Anual	Periodo de menor radiación (por ejemplo, invierno)	$\beta_{opt} = \phi + 10$

En la tabla 1 determinamos que el uso en la estación de más radiación solar requiere tener menor ángulo de inclinación y en invierno tenemos mayor inclinación.

Para realizar nuestro cálculo tenemos la siguiente ecuación:

$$\beta = Latitud - 20$$

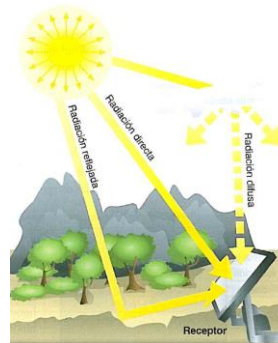
Si buscamos el mejor rendimiento al momento de realizar la captación solar debemos tener muy en cuenta que nuestra superficie debe estar orientada al sur y nuestro acimut ( $\alpha$ ) debe ser nulo para que nuestra superficie fija reciba la mayor cantidad de energía posible, dependiendo de la posición de ubicación de nuestro hemisferio decimos que si nuestra posición está en el hemisferio Norte la superficie se debe orientar hacia el sur, y si nuestra posición de hemisferio es Sur debemos ubicar nuestra superficie hacia el Norte.

### **Radiación Solar**

La radiación solar es la generación de energía que se produce mediante reacciones de fusión nucleares del sol, es transmitida en forma de radiación electromagnética, con longitudes de onda que van desde 0,15  $\mu\text{m}$  a 4  $\mu\text{m}$  aproximadamente, la radiación solar sobre nuestra

superficie tiene variaciones temporales como la nubosidad o los cambios estacionales como el día y la noche.

### **Tipos de radiación solar sobre una superficie:**



**Imagen 1** Radiación solar sobre la superficie

**Radiación directa:** esta radiación es conocida por que son los rayos recibidos directamente del sol.

**Radiación reflejada:** es radiación que se refleja de la superficie terrestre hacia el receptor, este tipo de radiación depende directamente de la naturaleza de las montañas, edificios que rodean el lugar.

**Radiación difusa:** es formada por los rayos dispersos por la atmosfera en dirección al receptor.

**Radiación global:** es la radiación total recibida en la superficie del receptor, esta energía es la que más nos interesa conocer y cuantificar.

**Irradiancia:** es la encargada de indicar la intensidad de la radiación solar, tiene unidades de medida en vatios por metro cuadrado (W/m<sup>2</sup>)

**Irradiación:** es la suma de las irradiancias en un periodo de tiempo terminado, tiene unidades de medidas en julios por metro cuadrado ( $J/m^2$  por hora, día, mes semana, año, según el caso).

### **Módulos Fotovoltaicos:**

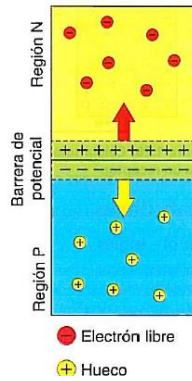
Estos módulos se encuentran compuestos células solares las cuales son fabricadas con semiconductores los cuales son elementos solidos que tiene continuidad eléctrica inferior a la de un conductor metálico pero superior a la de un buen aislante, el más usado para la construcción de las células es el silicio, para el mejoramiento de la conductividad de los semiconductores se usan impurezas añadidas voluntariamente, a esto se le conoce como operación de dopado el cual tiene dos tipos.

**Impurezas pentavalentes:** estos elementos cuentan con 5 electrones de valencia en su orbital externo como el fosforo, antimonio y el arsénico.

**Impurezas trivalentes:** estos elementos cuentan con tres electrones de valencia en su orbital externo, como lo son el galio y el indio.

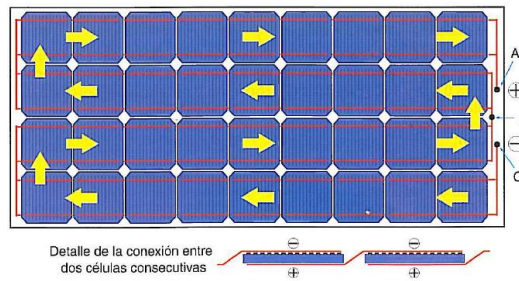
Las células solares cuentan con una conexión tipo P y N esta conexión mejora la conductividad eléctrica cuando son tipo p significa que es un semiconductor dopado con impurezas trivalentes es de tipo P por ser positiva la carga de los portadores añadidos y de tipo N cuando el semiconductor dopado con impurezas pentavalentes, por ser negativa a la carga de los portadores añadidos, esto hace que la atracción entre las cargas positivas y negativas, los electrones libres de la región N más próximos a la región P se difunden en está produciéndose la combinación de huecos más próximos de dicha región, esto nos da una creación de iones positivos en la región N y en la región P se crean iones negativos.





**Figura 4** Unión PN

Las células de un módulo fotovoltaico se realizan con cintas metálicas soldadas o incrustadas sobre las rejillas de conexión eléctrica de la cara frontal de cada célula.



**Figura 5** Conexión de células de un módulo de silicio mono cristalino.  
**Conexión de módulos fotovoltaicos**

La intensidad y la tensión de los módulos fotovoltaicos no todas las veces son capaces de satisfacer los requisitos exigidos por un sistema, por ello se hace necesario agrupar varios módulos y de esta manera lograr obtener los valores adecuados, teniendo en cuenta como nos varia la conexión de sistema tanto en serie como en paralelo, para lograr encontrar los parámetros adecuados del sistema de generación tenemos en cuenta lo siguiente:

**Conexión serie:** la usamos si necesitamos aumentar la tensión del generador tenemos que la intensidad del generador es igual la intensidad de un módulo, y nuestra tensión se multiplica por el número de módulos que tengamos.

$I_g$  = intensidad del generador.

$I_m$ = intensidad del módulo.

$$I_g = I_m$$

$U_g$ = tensión de un módulo.

$N_s$ = número de módulos conectados en serie.

$U_m$ =tensión del módulo.

$$U_g = N_s * U_m$$

**Conexión paralelo:** este tipo de conexión nos sirve para elevar la intensidad del generador.

Conexión serie/paralelo: Aumenta la tensión y la intensidad de nuestro generador, este tipo de conexión la tensión del generador es igual a la de un módulo, por lo tanto nuestra intensidad se aumenta por cada módulo en paralelo.

$I_g$ =intensidad del generador.

$I_m$ =intensidad de un módulo.

$N_p$ =número de módulos en paralel

$$I_g = N_p * I_m$$

$U_g$ =tensión del generador.

$U_m$ =tensión del módulo.

$$U_g = U_m$$

**Conexión serie/paralelo:** en la combinación de serie y paralelo tenemos que la tensión es la tensión de un módulo multiplicada por el número de módulos colocados en serie, y la intensidad de nuestro generador es la intensidad de un módulo por nuestro número de ramas en paralelo, cuando realizamos conexiones en serie las denominamos como ramas o cadenas.

$I_g$ = intensidad del generador.

$I_m$ = intensidad del módulo.

$N_p$ = número de ramas conectadas en paralelo.

$$I_g = N_p * I_m$$

$N_s$ = número de módulos conectados en serie.

$U_g$ =tensión del generador.

$U_m$ = tensión de módulos.

$$U_g = N_s * U_m$$

Estos parámetros para el desarrollo de los cálculos los tomamos de las fichas técnicas de cada módulo.

La potencia máxima de nuestro generador fotovoltaico es menor que la suma de nuestras potencias máximas de los módulos, ya que tiene pérdidas las cuales se denominan pérdidas de dispersión de cada módulo fotovoltaico se pueden reducir usando módulos que contengan tolerancias de producción iguales o inferiores a 5%.

### **Baterías y acumuladores**

Estos acumuladores están compuestos por una pila electrolítica, la cual está destinada a la generación de energía eléctrica y después de descargadas, tiene la característica de volver a cargarse, mediante la circulación de la corriente en dirección opuesta a la producida cuando se está cargando.

Interpretando la capacidad nominal de la batería que podemos obtener durante la descarga completa de la batería, a carga plena, se mide en A (h) para un determinado tiempo de descarga.

**Días de autonomía:** esta variable depende de los periodos de baja insolación por lo tanto como no es una carga primordial en los días de lluvia ya que es un sistema de riego promediamos

**Profundidad de descarga máxima:** estas variables nos indica hasta que porcentaje dejamos que la batería se descargue, se recomienda usar un 70% en instalaciones y 50% en instalaciones profesionales.

**Periodos de autonomía:** cuánto tiempo puede entregar energía nuestro sistema sin estar recibiendo energía de mi generador.

**Capacidad nominal de la batería:** capacidad de entrega de energía al sistema.

**Consumo medio diario:** Consumo en corriente al día de mi sistema alimentado.

Wd= energía media diaria (Wh).

Un= tensión nominal del sistema de acumulación (V) “es la tensión de trabajo de la batería”

$$Qd = \frac{Wd}{Un}$$

Usando la fórmula:

Cn= capacidad nominal de la batería (A h)

Qd= consumo medio diario (Ah/ día)

A=periodo de autonomía (Días)

PDmax= profundidad de descarga máxima (en tanto por 1)

Nrb-inv= Rendimiento típico de batería regulador e inversor.

$$Cn = \frac{Qd * A}{PDmax}$$

$$Cn = \frac{Qd * A}{PDmax * Nrb - inv}$$

Calculamos el tiempo de uso diario.

td= Tiempo de uso diario (h).

Wd= Energía media diaria (Wh).

P= potencia (W).

$$td = \frac{Wd}{P}$$

Calculamos el tiempo final del periodo de autonomía, este tiempo lo usamos para la selección del régimen de descarga de las baterías.

Ta=tiempo final de periodo de autonomía (h).

A= autonomía (días).

td= tiempo de uso diario (horas)

PDmax=profundidad de descarga máxima.

$$Ta = \frac{A * td}{PDmax}$$

### **Regulador:**

Para que el sistema autónomo pueda proporcionar energía en cualquier momento a su circuito debe tener nuestra conexión de acumuladores, nuestro regulador cumple con la función de proteger a la batería contra la sobrecarga.

Un=tensión nominal sistema acumulador.

Ur=tensión nominal del regulador

$$Ur = Un$$

IR= intensidad nominal del regulador.

Igsc=intensidad de corto del generador.

$$IR = 1,25 * Igsc$$

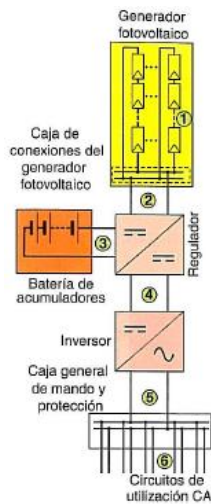
### **Inversor**

El cálculo del inversor es un punto clave en el diseño ya que es el que nos determina en que conexión podemos montar nuestro sistema, es el encargado del acoplamiento entre los circuitos de entrada y de salida determinando que sea una manera eficiente y segura.

La potencia del inversor de entrada es de corriente continua y su relación de salida es corriente alterna esta potencia se elige en función de la suma de todas las potencias máximas de las cargas a instalar, para este caso nuestra potencia máxima es de 1805w.

### Calculo del conductor en Dc

En general la selección mínima de conductor para una línea, se determina dependiendo del calentamiento y la caída de tensión:



**Figura 6** Tramos de líneas en un sistema.

**Condición máxima de caída de tensión:** la circulación de las corrientes ocasiona una caída de tensión, se calcula para garantizar el funcionamiento correcto de los receptores en la línea.

**Condición de calentamiento:** al tener circulación de corriente por nuestra línea, debido a las corrientes de máxima intensidad admisibles se produce un calentamiento debido a la transformación en calor de los conductores.

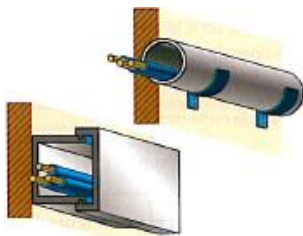
**Recopilación de datos:**

La recopilación de datos implica datos de potencia, intensidades y sobre todo las longitudes de tramo de la instalación.

### **Tipos o métodos de la instalación**

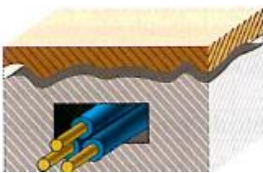
Existen distintos tipos de instalación, los tipos de instalación más comúnmente usados son los siguientes:

**Instalación tipo 1:** este tipo de instalación es lineal se utiliza al aire sobre la superficie o en bandejas.



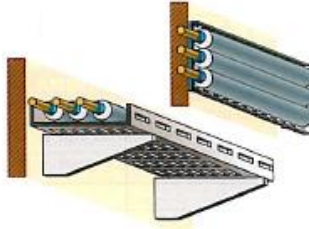
**Imagen 2** Tipo lineal

**Instalación tipo 2:** es la instalación que conecta nuestro generador fotovoltaico al regulador, puede ser usada por conexión de cable interior por tubo o por canal cerrada.



**Imagen 3** Conexión interior

**Instalación tipo 3:** este tipo de conexión me permite la conexión desde mi inversor a la caja general.



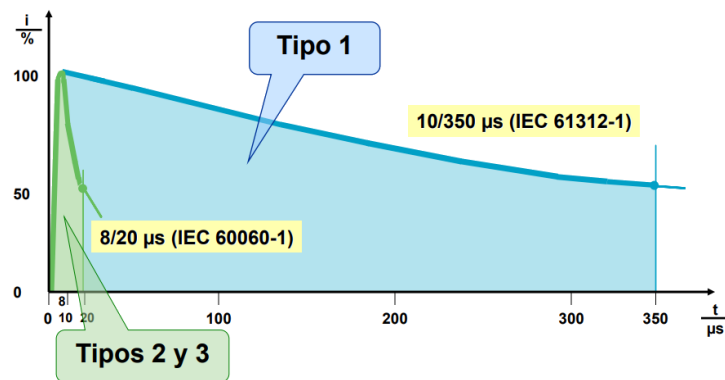
**Imagen 4** Conexión por tubo o canal

Para los cálculos de los conductores tendremos en cuenta que se usaran los métodos de instalación y dependiendo de nuestra capacidad los seleccionaremos.

### Protección de dps

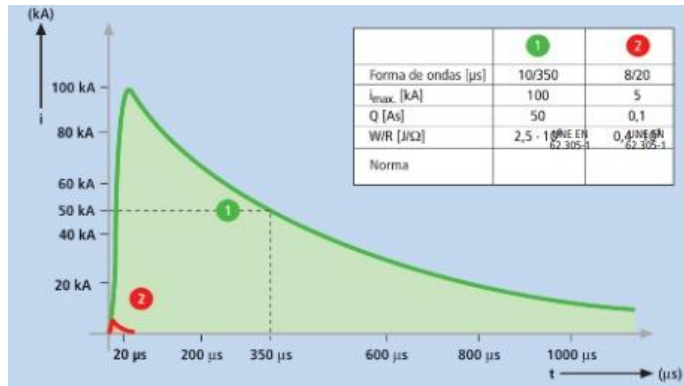
Para la elección de los dps se debe tener en cuenta que la red eléctrica instalada debe estar protegida de una manera adecuada contra sobretensiones originadas por descargas atmosféricas y maniobras esto se debe realizar con el objetivo de evitar riesgos y daños en los equipos propios del sistema de distribución y con ello permitir el suministro de energía. (EMPRESA DE ENERGIA DE BOYACA S.A, 2018)

Teniendo en cuenta la capacidad de descarga de mi circuito según su fabricación:



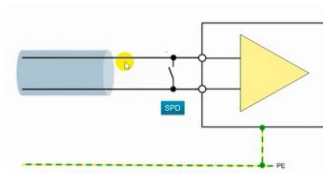
**Grafica 1** rapidez de descarga.



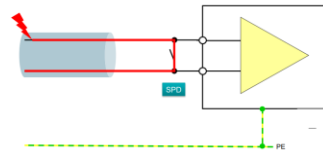


**Grafica 2** forma de onda

**Funcionamiento:**



**Figura 7** diagrama interno del dps sin sobretensión



**Figura 8** diagrama interno del dps con sobretensión.

**Análisis y cuadros de cargas iniciales**

La mayoría de cargas eléctricas se tipifican como cargas convencionales, estas se conocen como cargas lineales y cargas no lineales.

**Cargas lineales**

Son aquellas que, al aplicar una tensión se conserva la forma de corriente igual. Aunque en general estará desplazada en el tiempo un ángulo como por ejemplo los motores eléctricos de inducción.

$$f d p = \frac{p}{s}$$

Donde:

P=potencia activa

S=potencia aparente

### **Carga no lineal**

Carga no lineal es aquella que extrae la corriente de manera discontinua o cuya impedancia es inestable durante el ciclo en la onda de tensión, estas cargas crean corrientes armónicas, que pueden ser representadas por la distorsión armónica.

$$f d p = \frac{p}{s} = \frac{p}{\sqrt{p^2 + q^2 + d^2}}$$

Donde:

p=potencia activa

s=potencia aparente

q=potencia reactiva

d=distorsión de la carga.

### **Factor De Potencia**

Denominamos factor de potencia al cociente entre la potencia activa y la potencia aparente, la cual nos permite tener una medida de la capacidad que puede tener una carga al absorber la potencia activa.

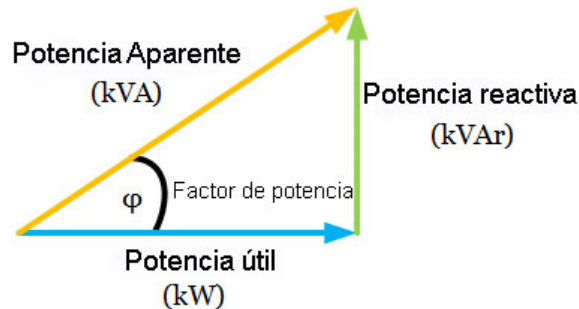
Donde tenemos las siguientes relaciones:

$$f . d . p = \cos \Phi = \frac{p}{s}$$

Potencia Aparente (KVA):  $s = I * V$

Potencia activa o útil (KW):  $p = I * V * \cos (\Phi)$

Potencia reactiva (KVAR):  $Q = I * V * \sin (\Phi)$



**Figura 9** triángulo de potencias

Figura triángulo de potencia  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Factor\\_de\\_potencia#/media/Archivo:Leistung-PQS-Zeiger.svg](https://es.wikipedia.org/wiki/Factor_de_potencia#/media/Archivo:Leistung-PQS-Zeiger.svg)

### **Potencia activa:**

Es la potencia que representa la capacidad de un circuito para realizar un proceso de transformación de la energía eléctrica en trabajo. Los diferentes dispositivos eléctricos existentes convierten la energía eléctrica en otras formas de energía tales como: mecánica, lumínica, térmica, química, etc. Esta potencia es, por lo tanto, la realmente consumida por los circuitos. Cuando se habla de demanda eléctrica, es esta potencia la que se utiliza para determinar dicha demanda. Se designa con la letra P y se mide en vatios (W). De acuerdo con su expresión, la ley de Ohm y el triángulo de impedancias:

### **Potencia Aparente:**

También llamada compleja de un circuito eléctrico de corriente alterna es la suma de la energía que disipa dicho circuito en cierto tiempo en forma de calor o trabajo y la energía utilizada para la formación de los campos eléctricos y magnéticos de sus componentes. Esta potencia no es la realmente consumida, salvo cuando el factor de potencia es la unidad (**cos φ=1**), y señala que la red de alimentación de un circuito no sólo ha de satisfacer la energía

consumida por los elementos resistivos, sino que también ha de contarse con la que van a "almacenar" bobinas y condensadores. Se la designa con la letra **S** y se mide en voltamperios (**VA**).

**Potencia reactiva:**

Esta potencia no tiene tampoco el carácter realmente de ser consumida y sólo aparecerá cuando existan bobinas o condensadores en los circuitos, se mide en voltamperios reactivos (VAR) y se designa con la letra Q.

**Potencia trifásica:**

La representación matemática de la potencia activa en un sistema trifásico equilibrado está dada por la ecuación:

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot I \cdot V \cdot \cos\Phi$$

Donde:

I=corriente

V=tensión

Cos( $\phi$ )= factor de potencia.

( Universidad autonoma de occidente, universidad de atlantico, , 2021)

**Análisis de coordinación de aislamiento eléctrico**

**Aislamiento autorregenerable:**

Es aquel que aislamiento que se recupera sus propiedades luego de una descarga disruptiva.

**No autoregenerable**

Es aquel aislamiento que no recupera sus propiedades o no las recupera íntegramente.

**Aislamiento externo:**

Distancias en el aire y a las superficies que pueden estar en contacto con el aire.

**Aislamiento interno:**

Es el aislamiento que garantiza que estén protegidos de la influencia de las condiciones ambientales.

**Nivel de aislamiento normalizado:**

Conjunto de tensiones soportadas normalizadas que caracterizan la rigidez dieléctrica del aislamiento.

**Sobretensión:**

Es la diferencia de tensión corta o permanente, pueden ser provocados por interrupciones o descargas atmosféricas.

**Máxima tensión continua de operación (MCOV):**

Valor eficaz máximo permitido de tensión a frecuencia industrial que podría ser aplicado continuamente entre los terminales del DPS.

**Margen de protección:**

Diferencia entre la rigidez dieléctrica del aislamiento del equipo y el nivel de protección del DPS.

**Red con neutro aislado:**

Red en la que ningún punto neutro está intencionalmente conectado a la tierra, a excepción de las conexiones a alta impedancia destinadas a dispositivos de protección o de medida.

**Red con neutro puesto directamente a tierra:**

Red cuyo(s) punto(s) neutros están conectados directamente a tierra.

**Sobretensión:**

Las diferencias de potencial transitorio o permanente existentes entre fases o entre fase y tierra en una instalación, con un valor de cresta mayor a la tensión máxima del sistema. Estas diferencias de potencial son capaces de poner en peligro el material aislante o el adecuado servicio de una red eléctrica.

**Tensión nominal de una red:**

Valor aproximado adecuado de la tensión utilizada para designar o identificar una red.

**Tensión máxima del sistema:**

Valor eficaz máximo para cada conductor especificado por el fabricante, de cada tensión entre fases para el cual está especificado el material en relación con su aislamiento.

**Coordinación de aislamiento.**

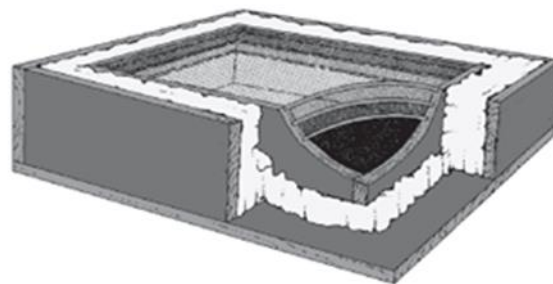
La coordinación del aislamiento consiste en la selección de las tensiones soportadas normalizadas para cada equipo teniendo en cuenta las condiciones ambientales donde se instalará para esto se debe tener muy en cuenta las distancias en las que debe estar cada equipo. (EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLIN, 2019)

## 5. ESTADO DEL ARTE

Este análisis del estado de arte se realiza sobre la agrupación de proyectos que se han implementado en Colombia, e identificando las variables más relevantes en el uso de alternativas de Colombia. Las energías renovables provenientes del sol, el viento y el agua, no son tecnologías de reciente aparición o utilización, ya que desde la antigüedad el hombre pensante ha aprovechado este tipo de recursos. El sol era considerado como un dios, para ciertas culturas alrededor del mundo y a la vez era utilizado para su aprovechamiento energético para calentarse,

producir sus alimentos y para protección de las tribus. Cabe resaltar que el sol es el centro directo o indirecto de los demás tipos de energía restante, ya que en cualquier fase de su producción es necesaria la intervención de esta fuente.

Con respecto a la energía solar térmica, los primeros artefactos construidos datan del siglo III a.C, cuyo funcionamiento era con fines religiosos para encender una antorcha aprovechando la forma cóncava del recipiente funcionando como un concentrador solar. Pero sin duda uno de los descubrimientos clave en la historia de la energía térmica fue realizado en suiza en 1767, llamado la caja caliente (Figura 1) que cumplía con el efecto invernadero en su interior al estar pintada de negro y rodeada por un aislante en todas sus caras excepto por una hecha de vidrio, con lo cual se alcanzó una temperatura interna de 109°C.



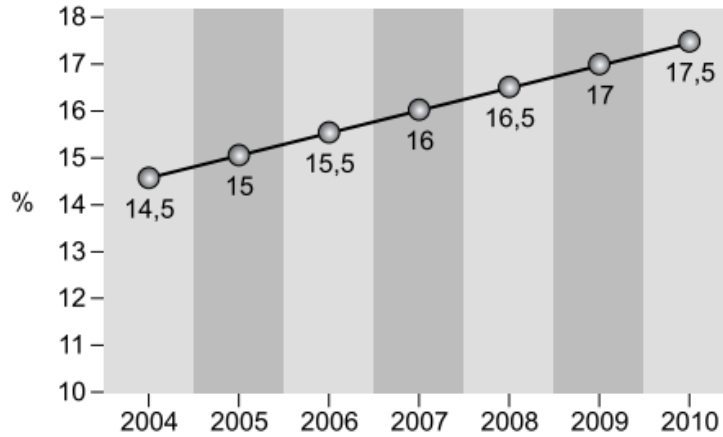
**Figura 10** Caja caliente

Nota: extraído de Reproducida de horno-solar-Horace-Saussure-1767, UDIMA, 2019 (<https://blogs.udima.es/ingenieria-industrial/historia-del-calentador-de-agua/260219-horno-solar-horace-saussure-1767/>)

Este fue el punto de partida para la creación de las tecnologías posteriores de concentradores solares para el aprovechamiento de la energía térmica en todo su esplendor.

Las tecnologías más eficientes han sido el concentrador Cilíndrico Parabólico, cilindro Cerrado, reflectores Fresnal, disco Stirling y central Solar de Torre Central. Por otro lado, el efecto fotovoltaico fue descubierto en 1839 por Alexandre Edmond Becquerel, pero no es hasta 1877

que el inglés William Grylls Adams profesor de Filosofía Natural en la King College de Londres junto con su alumno que crean la primera célula fotovoltaica de selenio que contaba con una eficiencia del 1%. Este tipo de tecnologías han ido evolucionando con el pasar de los años y se ha llegado a altas eficiencias en estas celdas. En la siguiente grafica se observa la evolución de un tipo de tecnología específica (cristalina) a través de los años.

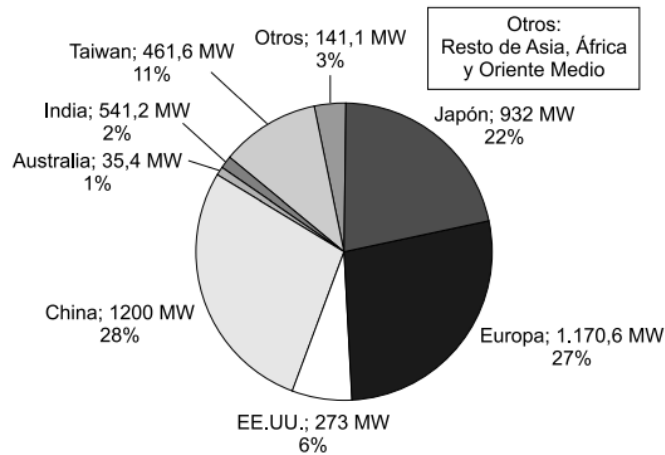


**Grafica 3** Evolución de la eficiencia de las células

Nota: Reproducida de Evolución de la eficiencia media de las células cristalinas pag.319, Gonzales Carta et al. 2009, Centrales de generación energías renovables: Generación eléctrica con energías renovables

En la siguiente figura se muestran los países productores de células fotovoltaicas, donde se puede apreciar que Europa, China y Japón son los mayores productores sumando un 78% de la producción mundial.

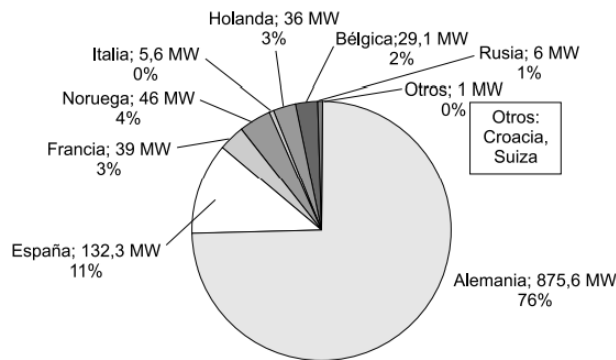




**Figura 11** Aumento de producción de células fotovoltaicas.

Nota: Reproducida de Fabricación mundial de células FV, Gonzales Carta et al. 2009, Centrales de generación energías renovables: Generación eléctrica con energías renovables, pag.323

Dentro de los países europeos que lideran la producción de células fotovoltaicas se encuentra Alemania (en un 76%), seguido por España (11%) como se puede apreciar en la siguiente figura.



Notas: Cifras obtenidas sumando los datos dados por los propios fabricantes.  
Fuente: Photon International.

**Figura 12** Fabricación en Alemania.

Nota: Reproducida de Fabricación europea de células FV, Gonzales Carta et al. 2009, Centrales de generación energías renovables: Generación eléctrica con energías renovables, pag.323

La energía hidráulica por su parte comenzó a tener participación debido a los sistemas implementados por los griegos y romanos para la molienda del trigo alrededor del siglo XII y

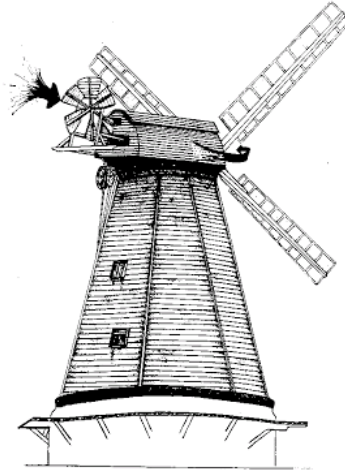
tuvo gran participación en la revolución industrial, impulsando el sector textil hacia el desarrollo. Pero fue hasta inicios de la revolución industrial que se utilizó la energía del agua para la producción de electricidad, esto debido a la alta demanda de energía requerida en Europa para la época. La primera central hidroeléctrica (Imagen 1) fue construida en reino unido en 1880 y a partir de ahí comenzó a extenderse considerablemente esta tecnología llegando incluso hasta estados unidos y Canadá. Este tipo de tecnologías es una de las más sólidas a nivel mundial debido a su alta investigación, llegando a contar con gran diversidad de turbinas para las condiciones del afluente donde sean instaladas teniendo en cuenta la velocidad, el caudal y altura, entre otras.



**Imagen 5** primera hidroeléctrica.

Nota: Reproducida de la primer hidroeléctrica del mundo, Appleton Edison, 2015, <https://japac.gob.mx/2015/10/12/3122/>

Otra energía importante y quizá una de las más antiguas data del siglo II A. C es la energía proveniente del viento, los primeros usos que se le dieron fue en los grandes molinos para la trituración de granos y bombeo de agua (imagen 6). El primer molino de viento fue creado por Herón y servía para mover los fuelles de un órgano.



### **Imagen 6 Primer molino**

Nota: Reproducida de molino de viento, 2015, <https://miriaam201.wordpress.com/2015/04/28/calendario-moderno/>

A partir de este modelo y con el descubrimiento de la electricidad, en 1887 El norteamericano Charles F. Brush, construyó la primera máquina considerada aerogenerador de electricidad.

A pesar de que, fuentes de energía renovable en si no son algo nuevo, y su participación y recorrido se haya dado desde la antigüedad, estas tecnologías han tenido un bajo desarrollo e implementación en comparación con la larga trayectoria desde su descubrimiento y de sus altos beneficios en términos ambientales. Con el fin de exponer a la luz la razón del poco desarrollo de este tipo de tecnologías a lo largo del tiempo se expresan a continuación las variables más significativas de cada una de estas fuentes de generación de energía.

### **Principales variables de impacto en el uso de energías renovables**

#### **5.1 Energía eólica**

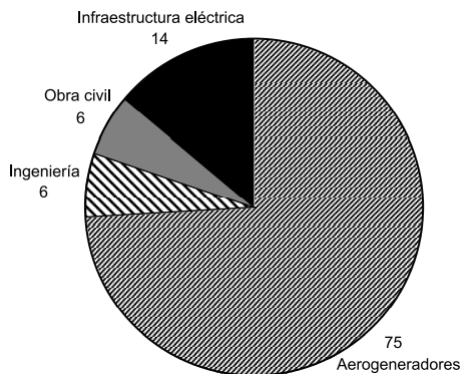
“La energía eólica no es más que la energía cinética de una masa de aire en movimiento. Su origen se encuentra en la existencia sobre la Tierra de masas de aire a diferentes temperaturas, originadas por diferentes intensidades de radiación solar, a nivel global o local, las cuales

producen corrientes ascendentes y descendentes, formando anillos de circulación del aire. La energía eólica es, por consiguiente, un pequeño porcentaje de la energía solar incidente sobre el planeta” (Calero Pérez et al. 2009, pág. 47)

### 5.1.1 Costos de tecnología

Una de las principales barreras al momento de hablar de energías alternativas ha sido el costo de dichas tecnologías de generación y en este caso la energía eólica no es la excepción.

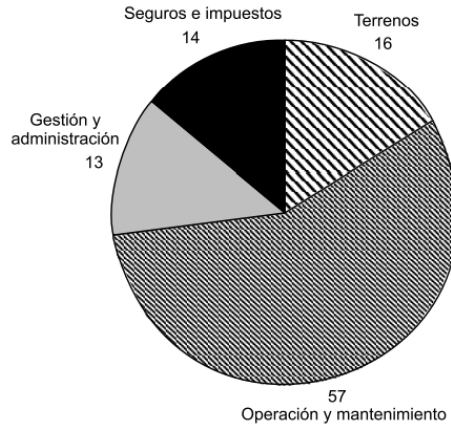
Según el libro de energías renovables, los costos asociados a la producción de energía eólica están distribuida como se aprecia en los siguientes diagramas (Calero Pérez et al.2009, págs. 406-408).



**Figura 13** distribución eólica.

Nota: Reproducida de Distribución de los costes de explotación, Gonzales Carta et al. 2009, Centrales de generación energías renovables: Generación eléctrica con energías renovables, pag.407

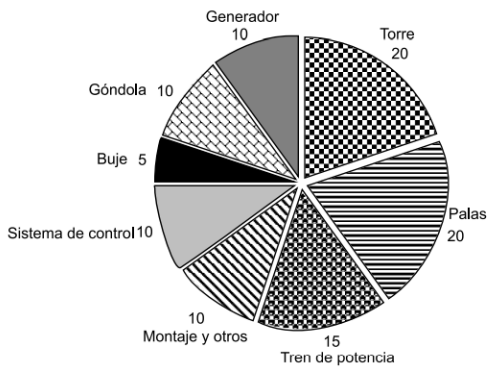
La distribución a los costos asociados a la inversión inicial de cualquier proyecto eólico está representada en la siguiente figura.



**Figura 14** distribución de costos

Nota: Reproducida de Distribución de los costes de inversión, Gonzales Carta et al. 2009, Centrales de generación energías renovables: Generación eléctrica con energías renovables, pag.407

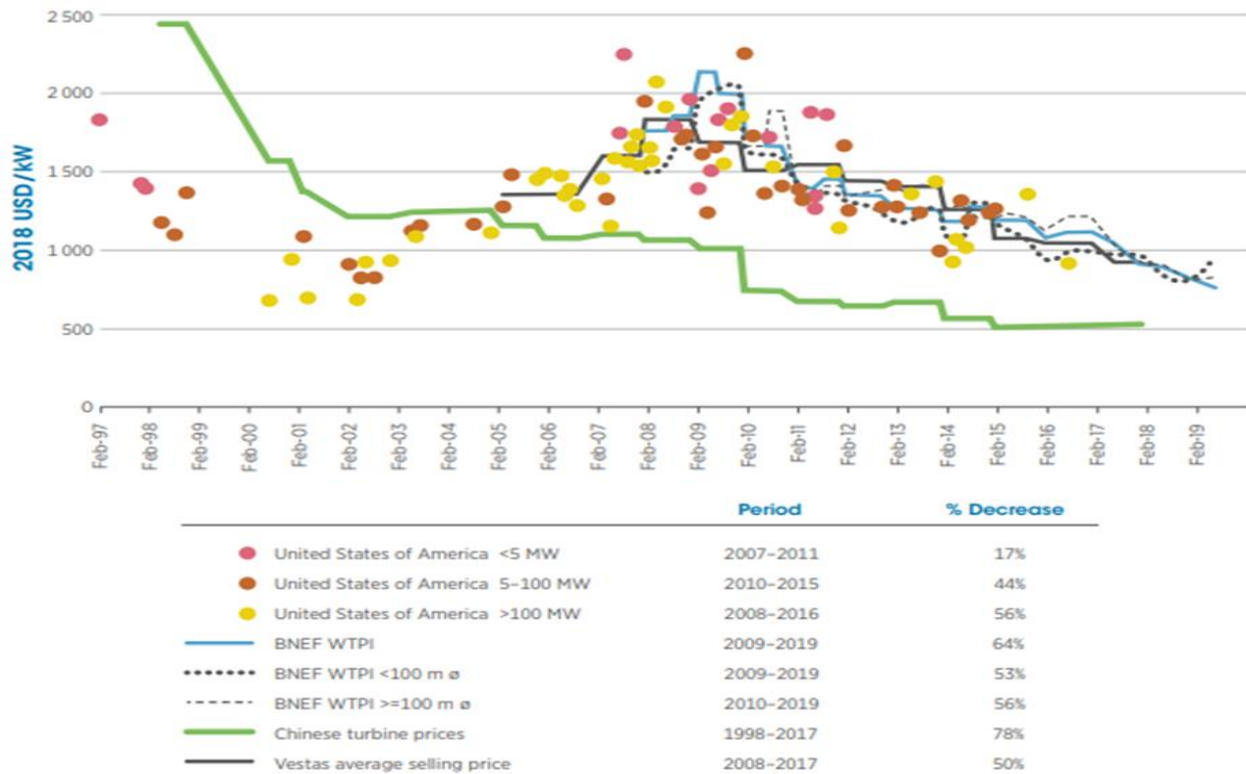
En cuanto a los componentes del aerogenerador, los mayores costos se concentran en las palas y la torre del aerogenerador como se aprecia a continuación.



**Figura 15** distribución de componentes.

Nota: Reproducida de Distribución de los costes de los componentes, Gonzales Carta et al. 2009, Centrales de generación energías renovables: Generación eléctrica con energías renovables, pag.406

A continuación, se muestra los índices de precios de turbinas eólicas y las proyecciones de precios desde 1997 hasta 2018 publicados por la Agencia internacional de energías renovables



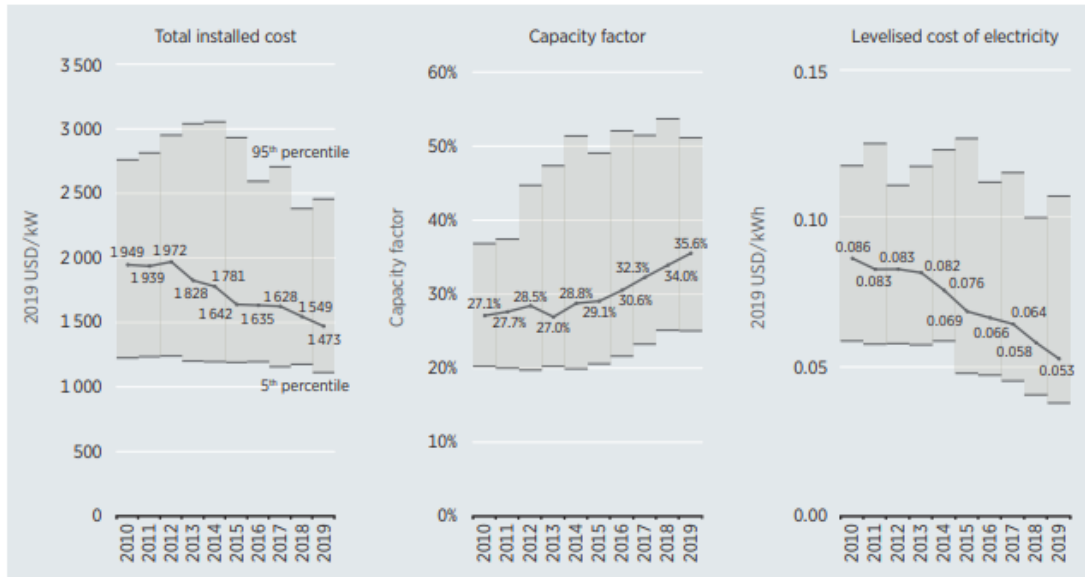
(IRENA).

**Grafica 4** Precio de turbinas eólicas.

Nota: Reproducida de Wind turbine price indices and price trends, 1997-2018, IRENA, 2019, RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2018, pag.32

La grafica evidencia como al pasar de los años y con el desarrollo e investigación en este tipo de tecnologías han llevado a una reducción significativa en los costos asociados a las turbinas eólicas. Esta variable que en años anteriores figuraba como una de las principales barreras para el desarrollo de proyectos eólicos, es cada vez más competitiva respecto a otras tecnologías, en combinación con la normativa actual de muchos países que presentan incentivos considerables para el desarrollo de este tipo de alternativas.

Por otro lado en un informe realizado por IRENA se extrajo la siguiente grafica donde se realiza una comparación del costo de instalación global promedio de un proyecto eólico desde el año 2010 hasta 2019 ((IRENA), 2020, pág. 29)



**Grafica 5** Reducción de costos.

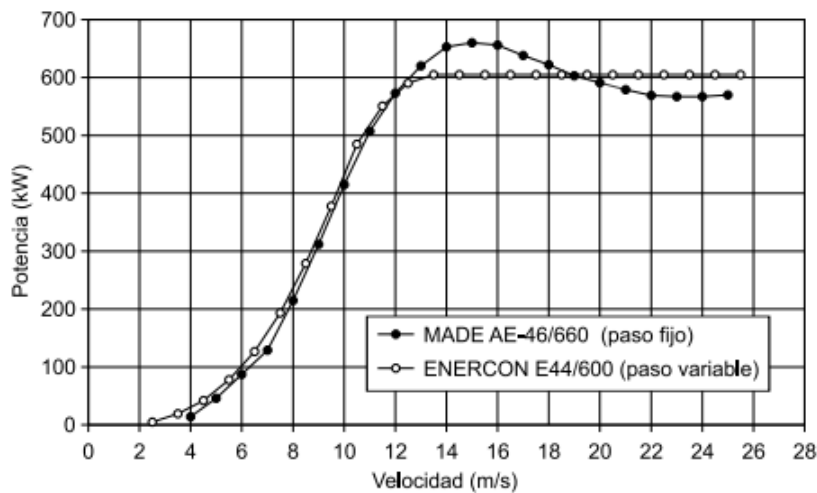
Nota: Reproducida de Global weighted average total installed costs, capacity factors and LCOE for onshore wind power, 2010-2019, IRENA, 2020, Renewable Power Generation Costs in 2019, pag.29.

En la gráfica se evidencia la reducción en los costos de instalación de este tipo de proyectos que pasó de 1949 USD/kW en 2010 a 1473 USD/kW en 2019, además de que su factor de capacidad se ha incrementado a lo largo de este periodo mencionado.

## 5.2 Variables técnicas

Las turbinas eólicas dependen de ciertos factores para poder generar energía eléctrica, uno de esos factores es la velocidad del viento que a su vez depende de la altura y las condiciones del terreno. A continuación, se muestra la curva de potencia de aerogeneradores comerciales ( Carta González et al. 2009, pág. 390), la cual nos muestra como a mayor velocidad

del viento, mayor será la potencia entregada por el aerogenerador. Cabe aclarar que este evento no se presenta de manera lineal como se esperaría, ya que el generador tiene una velocidad pico a la que este ya sea por cuestiones de seguridad o por limitaciones técnicas del equipo, deja de generar. También es preciso resaltar que cada aerogenerador tiene su correspondiente velocidad nominal, la cual, si es sobrepasada, vence la inercia del generador y comienza a producir energía eléctrica. Es por esto que aun cuando en la zona donde instale mi aerogenerador haya presencia de vientos, sino es lo suficientemente alta para alcanzar la velocidad nominal del equipo, será imposible obtener generación eléctrica alguna. De igual forma ocurre en lugares donde se presentan vientos con velocidades sumamente altas que sobrepasen la velocidad pico del equipo de generación, (González, Perez, Colmenar, & Gil, 2009)



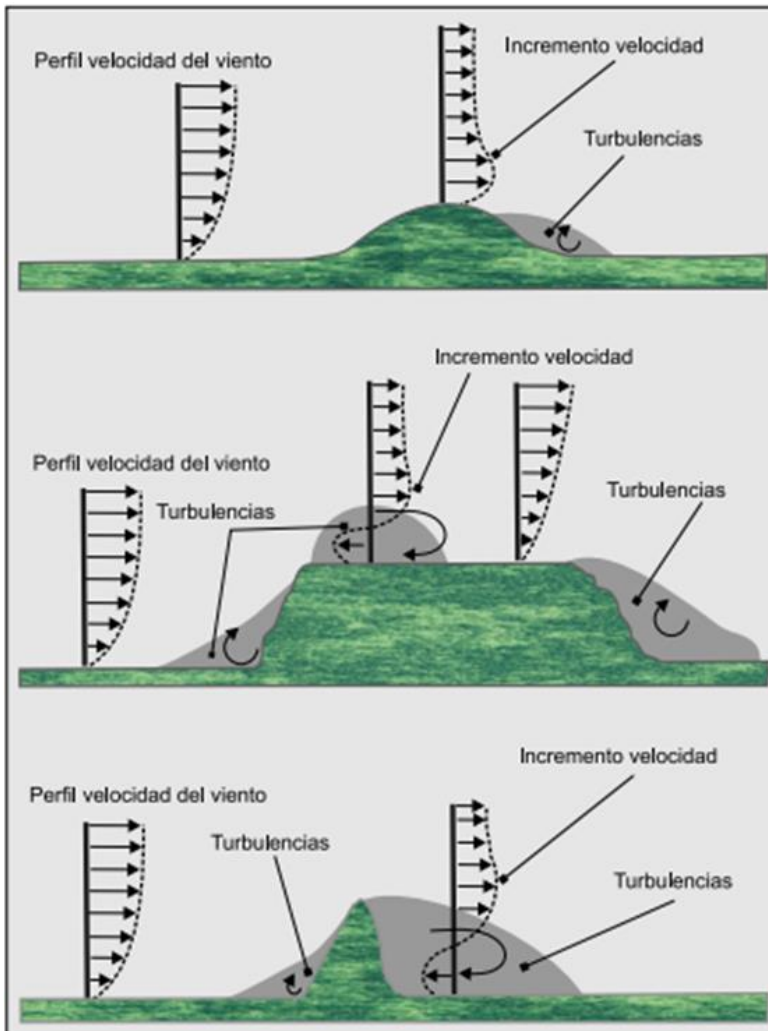
**Grafica 6** curva de potencia aerogeneradores.

Nota: Reproducida de Curvas de potencia normalizadas de aerogeneradores comerciales., Centrales de energías renovables, Gonzales Carta et al. 2009, Generación eléctrica con energías renovables, pag.390.

**5.3 El terreno:** en el que se vayan a instalar las turbinas eólicas es de suma importancia ya que como se puede apreciar en la siguiente figura, las interferencias o desniveles del terreno muy prolongados, generan gran turbulencia en el viento aledaño a esto, lo que genera gran intermitencia en la generación o en algunos casos el daño de un



aerogenerador si la turbulencia es muy fuerte y dependiendo de la dirección en que esta se presente respecto a la turbina.



**Imagen 7** mejor ubicación de terreno.

Nota: (González, Perez, Colmenar, & Gil, 2009)

## 5.2 Energía hidráulica

La generación de energía eléctrica a partir de hidroeléctricas en Colombia es la columna vertebral del sistema eléctrico, debido a su alta participación en la matriz de generación. Una de las variables a considerar en este tipo de proyectos consiste en las grandes obras civiles que se

deben realizar para este tipo de proyectos, lo que requiere grandes extensiones de terrenos dependiendo la potencia instalada del proyecto.

### **5.3 Energía solar:**

La energía solar es aquella obtenida de la radiación electromagnética emitida por los rayos del sol y puede ser aprovechada a partir de paneles solares fotovoltaicos para su posterior transformación en energía eléctrica o térmica si se usan colectores solares.

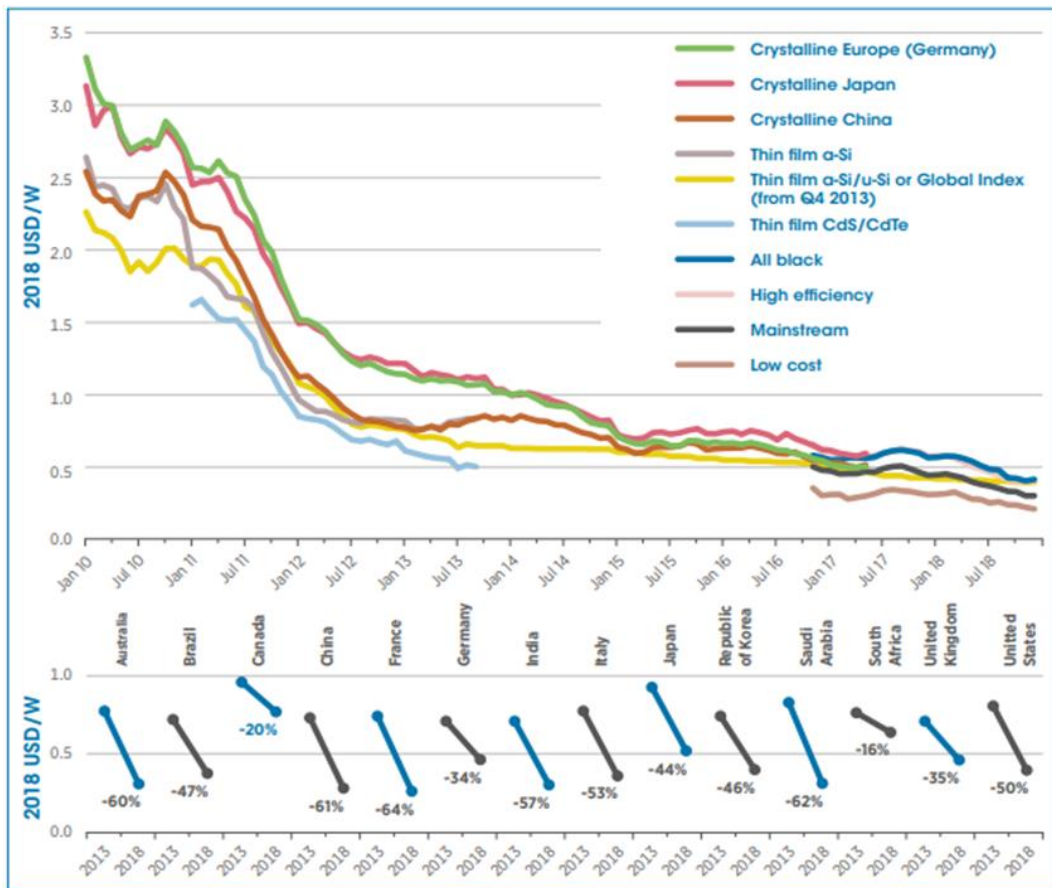
#### **5.3.1 Costos**

Una de las principales variables que han influido a través de la historia en la utilización de esta tecnología, han sido como en la mayoría de las energías renovables, el costo. Siempre que se hablaba de las ventajas que este tipo de generación trae consigo, en contraposición siempre salía a relucir la inviabilidad en temas económicos de realizar un proyecto de este tipo. En la actualidad esto ha dejado de ser una barrera debido a las grandes inversiones que se han realizado en materia de investigación alrededor de este tema, centrándose principalmente en los módulos fotovoltaicos.

En un informe publicado por la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA por sus siglas en inglés), el costo asociado a los módulos fotovoltaicos ha ido en decremento los últimos años.

En la siguiente grafica se aprecia en la parte superior el comportamiento de los precios medios mensuales de los módulos solares fotovoltaicos europeos por tecnología de módulo y fabricante en el periodo de enero de 2010 a julio de 2018, donde se observa una tendencia decreciente en todos los tipos de módulos. Además, en la parte inferior de la gráfica se aprecian

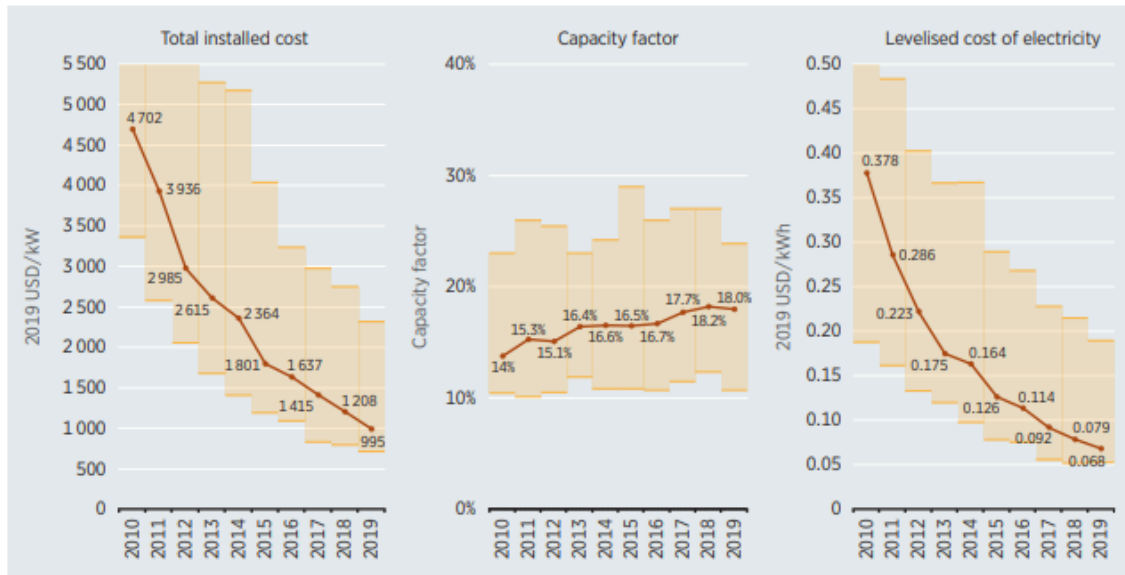
los porcentajes de reducción en los costos de los módulos desde 2013 hasta 2018 para los principales países con amplio mercado en este tipo de tecnologías. En este último se aprecia como en estos años los costos de los paneles han tenido una reducción acelerada bastante importante llegando hasta el 64% en el mejor de los escenarios. Esto ha hecho que en los últimos años sea cada vez más atractivo incursionar en este tipo de proyectos para generación ya que cada vez más se vuelve sumamente competitiva con las restantes tecnologías.



**Grafica 7** precio de tecnología en módulos.

NOTA: Reproducida de Average monthly European solar PV module prices by module technology and manufacturer, Jan 2010–Jul 2018 (top) and average yearly module prices by market in 2013 and 2018 (bottom), IRENA, 2019, RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2018, pag.43

Con el fin de dar un valor cuantificable y claro sobre estos costos se presenta la siguiente grafica publicada por IRENA en 2020.



**Grafica 8** costos de generación.

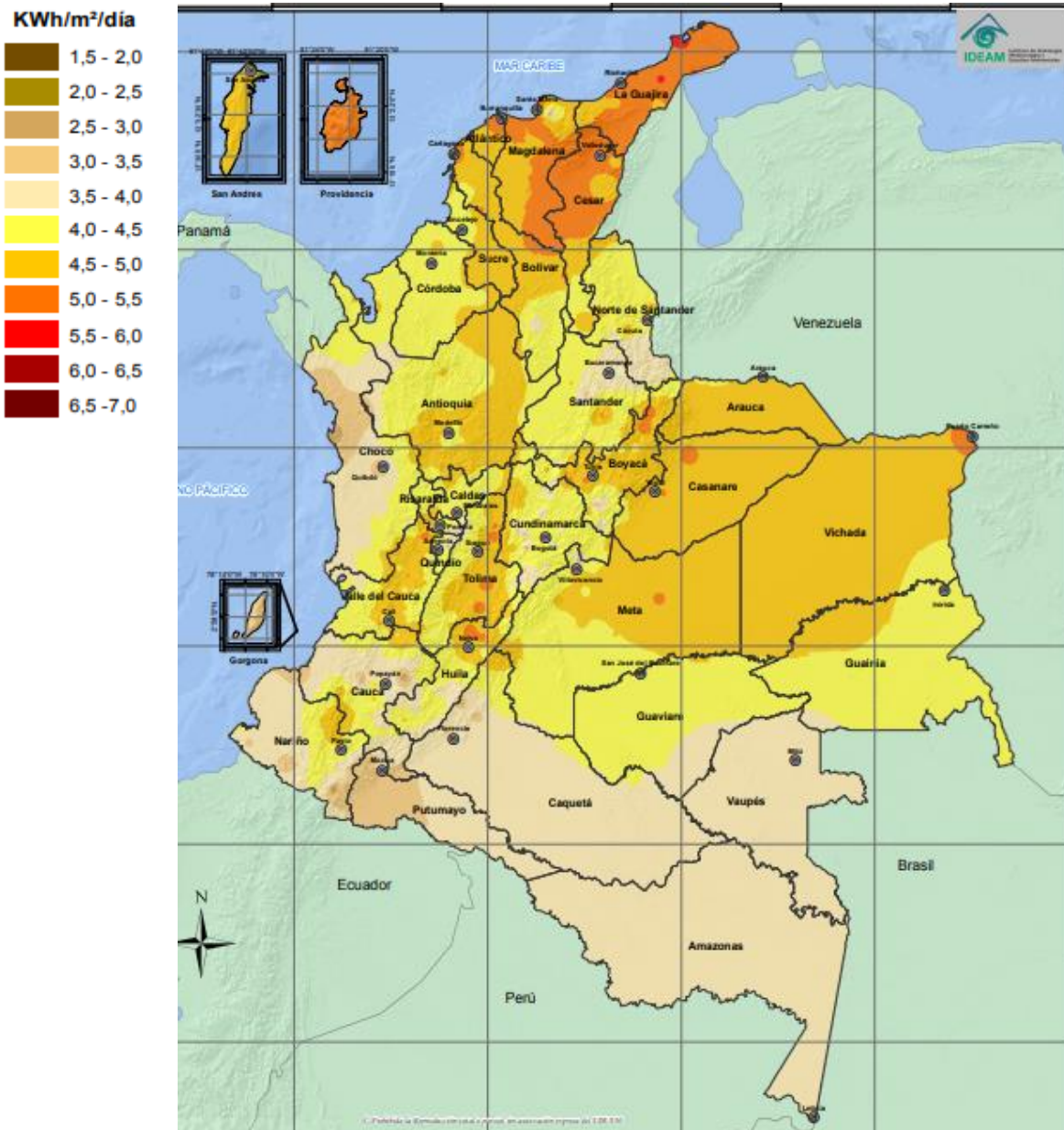
Nota: Reproducida de Global weighted average total installed costs, capacity factors and LCOE for solar PV, 2010-2019, IRENA, 2020, Renewable Power Generation Costs in 2019, pag.27.

En esta se observa a diferencia de proyectos eólicos, como su costo si ha tenido una reducción significativa a través del tiempo ya que paso de un valor promedio global de instalación de 4702 USD/kW en 2010 a 995 USD/kW en 2019, lo que equivale a aproximadamente una reducción del 78% en los costos.

### 5.3.2 Disponibilidad del recurso:

La energía del sol si bien siempre se ha mencionado que es inagotable y siempre está disponible, no siempre es significativo su aprovechamiento. Esto es debido a que existen zonas donde la cantidad de radiación incidente es mayor respecto a otras y se considera un mayor potencial de aprovechamiento. En la línea del ecuador de nuestro planeta por ejemplo la radiación incide perpendicularmente, lo que permite que en los países ubicados en esta zona haya un alto potencial de aprovechamiento para sistemas fotovoltaicos. En Colombia, El atlas de radiación publicado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), nos permite evidenciar que Colombia cuenta en general con un alto potencial en

materia de recurso solar, sobre todo en departamentos como Cesar, Guajira, San Andrés y providencia y magdalena.

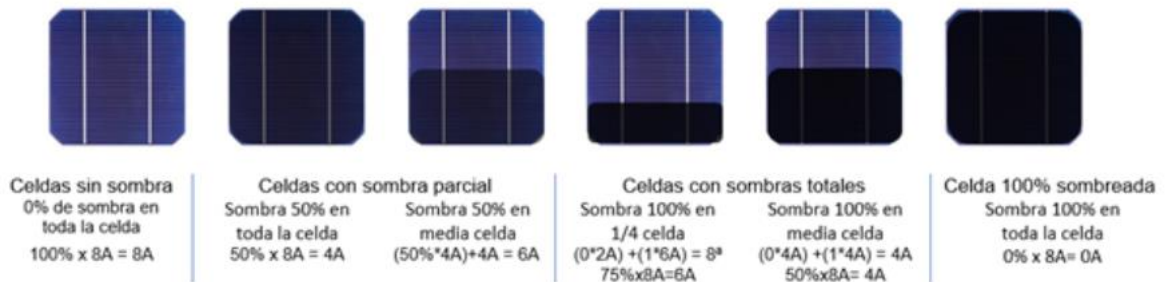


**Imagen 8** Radiación solar en Colombia.

Nota: Reproducida de mapa de radiación solar, UPME, <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>

### 5.3.3 Sombras sobre el panel solar

Otro aspecto clave en la realización de proyectos solares fotovoltaicos es la presencia de sombras, las cuales son desfavorables en cualquier arreglo fotovoltaico, ya que inhabilitan gran parte del módulo o los módulos donde inciden, (González, Perez, Colmenar, & Gil, 2009)



**Imagen 9** cantidad de sombreado.

**Nota:** En la anterior imagen se muestra como es afectada la corriente de una celda fotovoltaica ante diferentes porcentajes de sombra incidente sobre esta, (Olivera, 2019)

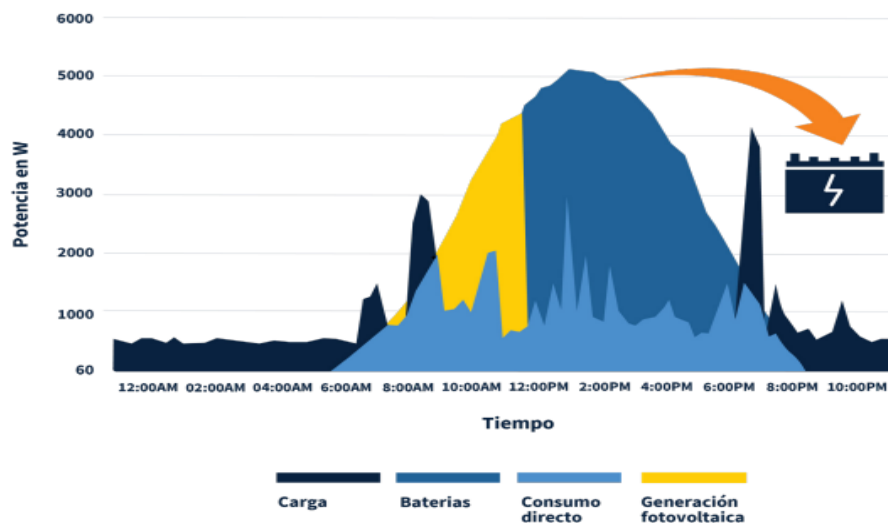
En un arreglo de paneles solares dependiendo del tipo de conexión que se tenga un sombreado parcial puede ocasionar la inhabilitación de todo el arreglo si no se cuenta con un sistema de bypass o en determinados casos invertir su función de producir energía a ser una carga del sistema, lo cual conlleva a la aparición de puntos calientes y en casos más graves daños en el sistema. Es por lo anterior que debe escogerse bien el sitio de instalación de este tipo de proyectos, calculando para cada temporada del año las sombras que puedan incidir sobre los paneles y determinar la distancia óptima entre cada arreglo para evitar que en ciertas horas del día o épocas del año los mismos paneles generen sombras a los que se encuentran aledaños.

Es también importante localizar los paneles hacia el sur geográfico y determinar la inclinación adecuada de los módulos fotovoltaicos para obtener un mayor rendimiento del sistema.

### 5.3.4 Almacenamiento de energía eléctrica

Siguiendo con la línea de los costos asociados a los sistemas solares, otra de las barreras que existen frente a su implementación ha sido el almacenamiento de la energía eléctrica producida. Esto debido a que la generación con energía solar no se puede realizar las 24 horas como si ocurre con los combustibles fósiles u otras fuentes, ya que solo se puede aprovechar mayormente durante determinadas horas a lo largo del día como nos muestra la gráfica a continuación.

Por esto se requiere un sistema de almacenamiento que consiste en un banco de baterías que permiten almacenar la energía producida durante el día para su consumo o inyección a la red en horas de alto consumo cuando no hay radiación solar para generar.



**Grafica 9** Almacenamiento de baterías.

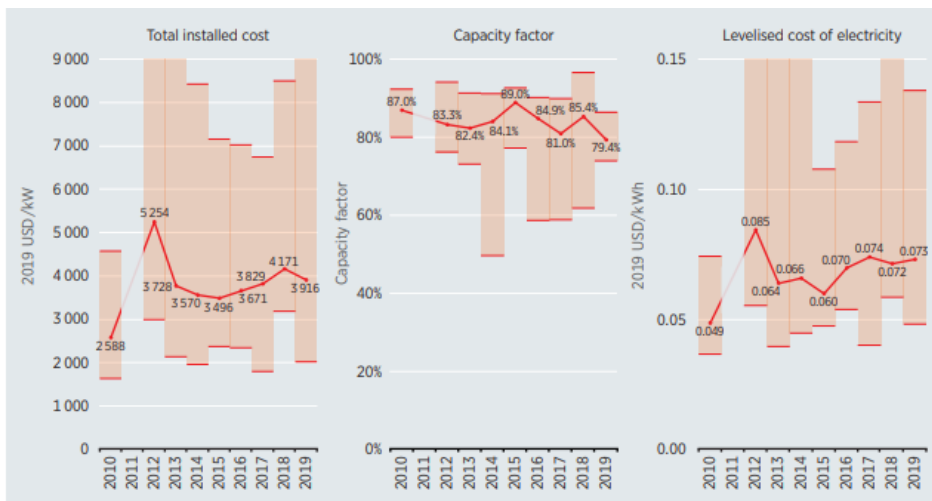
## 5.4 Geotérmica

La unidad de planeación minero energética (UPME), define la energía geotérmica como la “energía obtenida a partir de aquella fuente no convencional renovable que consiste en el calor que yace del subsuelo terrestre” (2018)

### 5.4.1 Costos

En el caso de la energía geotérmica esta variable aun representa una barrera para su implementación ya que aunque ha tenido reducciones en los últimos años, en comparación con el valor promedio global reportado en 2012 que fue de 5254 USD por kilovatio instalado, los valores recientes aún siguen siendo altos y poco competitivos con las tecnologías de generación convencionales e incluso no convencionales como solar y eólica que reportan costos inferiores a estos.

En 2019 como lo reporta IRENA el costo promedio global de instalación descendió hasta 3916 dólares por kilovatio instalado. Esto en países como Colombia continúa siendo una barrera para la implementación a gran escala de este tipo de proyectos.



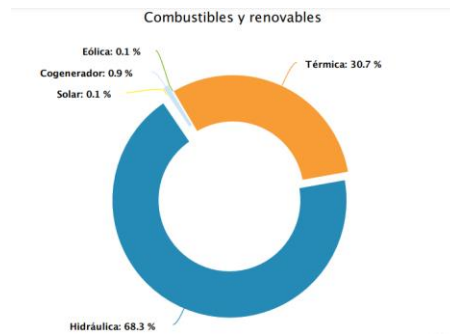
**Grafica 10** Costos de instalación.

Nota: Reproducida de Global weighted average total installed costs, capacity factors and LCOE for geothermal power, 2010-2019, IRENA, 2020, Renewable Power Generation Costs in 2019, pag.36.

### 5.5 Participación de las energías renovables en Colombia

Según la asocian colombiana de generadores de energía eléctrica (acolgen), la matriz eléctrica de Colombia es la sexta más limpia en todo el mundo debido a que el 69.4% de su generación eléctrica es a partir de energías renovables en mayor parte energía hidráulica y en pequeña proporción eólica, solar y cogeneración.

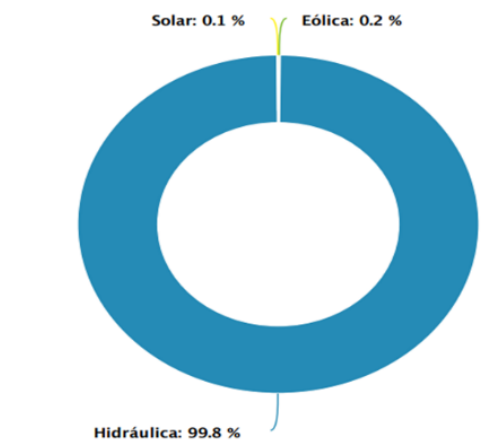




**Figura 16** Combustible renovables.

Nota: Extraída de la Matriz eléctrica colombiana, ACOGEN, <https://www.acolgen.org.co/>.

Del total de energía eléctrica producida en Colombia a partir de renovables el 99.8% corresponde a fuentes hidráulicas con una capacidad instalada de 11000 Mw y en menor proporción eólica y solar, con una capacidad instalada de 18.4 Mw y 9.8Mw respectivamente. Teniendo la energía eólica casi el doble de participación que la energía solar como se aprecia con mayor claridad en el siguiente diagrama.

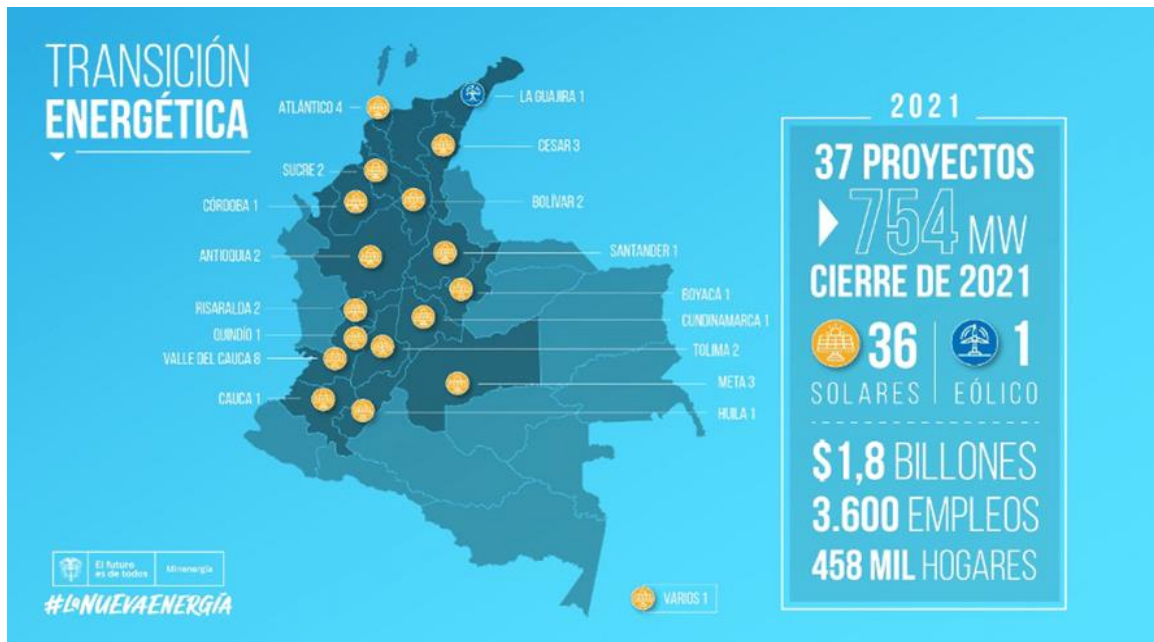


**Figura 17** Porcentajes de energías alternativas

Nota: Reproducida de Matriz eléctrica renovables colombiana, ACOGEN, <https://www.acolgen.org.co/>.

En Colombia actualmente se espera con la puesta en marcha de 37 proyectos de energía renovables no convencionales como se muestra en la siguiente imagen para completar un total de 754 MW instalados. Solo uno de ellos será un proyecto eólico ubicado en la guajira, ya que

como se sabe es la región con mayor potencial eólico del país y los restantes son proyectos solares distribuidos en diferentes regiones del país.



**Imagen 10** Transición energética.

Nota: Reproducida de Proyectos de renovables, Minenergía, <https://www.minenergia.gov.co/historico-de-noticias?idNoticia=24268578>

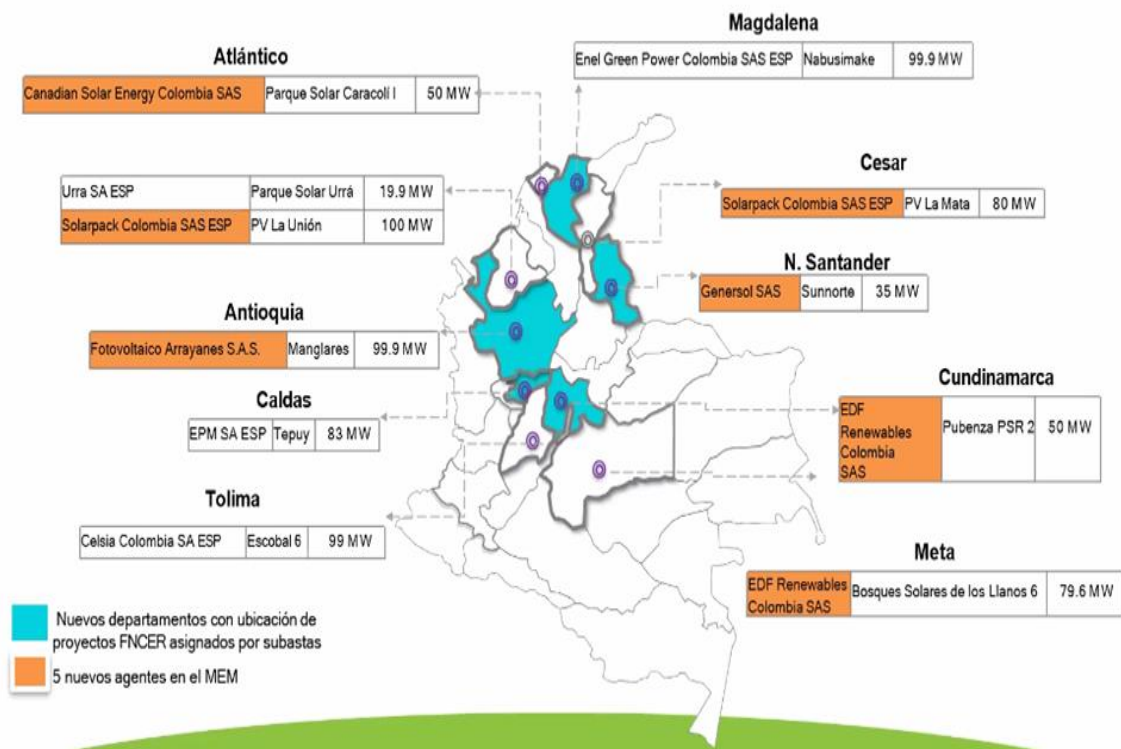
El ministerio de minas y energía de Colombia (Minenergía) señaló que “actualmente, el país cuenta con 15 granjas solares, 9 proyectos de autogeneración a gran escala y más de 1.500 proyectos solares fotovoltaicos de autogeneración a pequeña escala, que aportan una capacidad efectiva neta de 388 MW. Además, están en proceso de construcción en diferentes regiones del país 1.200 MW de iniciativas privadas de generación y autogeneración y 1.365 MW de energía solar y eólica que lograron asignaciones en la subasta de 2019”, (Minenergía Colombia, 2021).

El 26 de octubre de 2021 se realizó una nueva subasta de energías renovables en Colombia, cuyos resultados fueron publicados por el ministerio de minas y energía ese mismo día.

El comunicado expresa que, con esta nueva subasta, el país multiplicará por más de 100 veces la capacidad en energías renovables no convencionales que tenía en agosto de 2018, pasando de menos de un 1% a más de 15% en 2023.

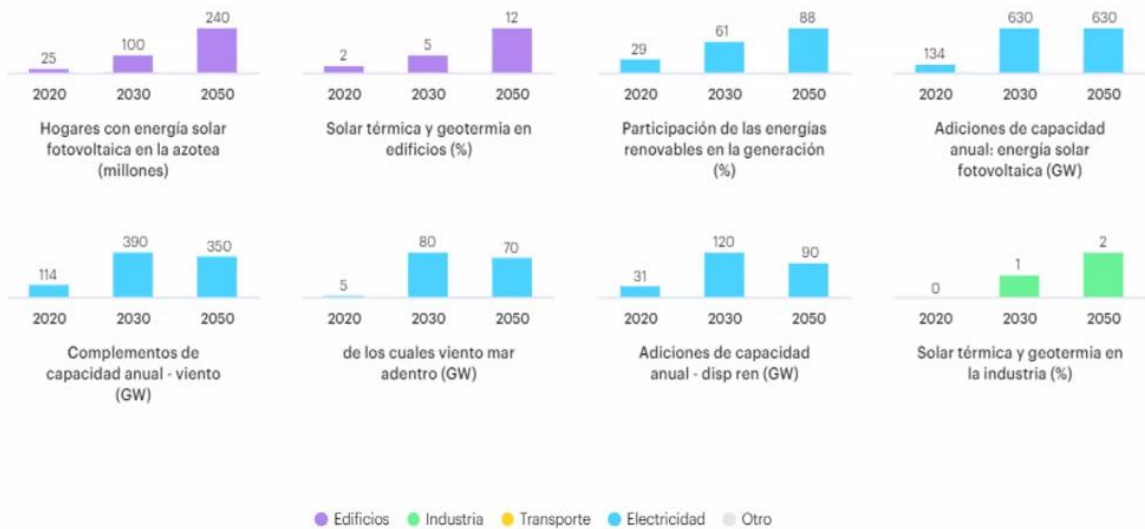
En la siguiente imagen tomada de una presentación realizada por la Asociación de Energías renovables (SER Colombia), se puede apreciar la distribución de los 11 proyectos adjudicados durante esta última subasta tipo pague lo contratado y los diferentes departamentos de Colombia en que se realizarán, al igual que la capacidad instalada de los mismos.

Según el ministerio de minas y energías estos proyectos entrarían en funcionamiento en enero del 2023 y representarían una reducción de 465 mil toneladas de CO2 al año, aportando además al cumplimiento de la meta de reducir en un 51% las emisiones del país al año 2030 y aportando a la lucha contra el cambio climático.



**Imagen 11** Proyección de proyectos a nivel nacional.

Con la adjudicación de los 11 proyectos solares de las 9 empresas ganadoras de la subasta, se dio entrada a 5 nuevos agentes al Mercado de Energía Mayorista (MEM), además de que algunos de estos proyectos se desarrollaran en nuevos departamentos donde no existían este tipo de proyectos como es el caso de Caldas, Norte de Santander, Cundinamarca, magdalena y Antioquia, trayendo a cada uno de ellos la generación de nuevos empleos e impulsando la reactivación sostenible de Colombia. Por otra parte, en la imagen a continuación obtenida de una presentación realizada por el SER Colombia, se puede evidenciar la proyección prevista para las energías renovables con una tendencia creciente significativa a 2050. Mientras que la generación fotovoltaica y eólica muestra tendencia a mantenerse constante en un determinado periodo o su incremento no será tan pronunciado, para la energía térmica por el contrario si habrá un aumento en su participación en la generación al igual que la energía geotérmica con aplicaciones principalmente en edificios.



**Imagen 12** Tipos de energía instalada en el país

**Normativa**

En materia de normativa referente a las energías renovables, sin duda una de las más cruciales ha sido la ley 1715 de 2014, la cual dio paso al fortalecimiento e implementación de proyectos de generación con energías no convencionales en Colombia debido a los diferentes beneficios que esta trajo consigo entre los que se pueden destacar, (Congreso de Colombia, 2014)

Deducción de impuesto sobre la renta (Artículo 11 de la Ley 1715 de 2014. ii) Artículo 2.2.3.8.2.1 y siguientes del Decreto 2143 de 2015 (incorporado al Decreto 1073 de 2015). Los beneficiarios podrán deducir hasta un 50% del total de la inversión.

Depreciación acelerada (Artículo 14 de la Ley 1715 de 2014. Artículo 2.2.3.8.5.1. del Decreto 2143 de 2015 (incorporado al Decreto 1073 de 2015). Con este beneficio se logra una reducción de los impuestos en los primeros años de vida útil de los equipos utilizados en los proyectos de energías renovables no convencionales, como por ejemplo inversores, paneles solares, entre otros para el caso de sistemas fotovoltaicos.

Exclusión de IVA (Artículo 12 de la Ley 1715 de 2014. Artículo 2.2.3.8.3.1 del Decreto 2143 de 2015 (incorporado al Decreto 1073 de 2015). Ley 1715 art. 12, Decreto 2143 Artículo 2.2.3.8.3.1), Este beneficio permite entre otras cosas la compra de equipos (para generación de ERNC) nacionales o importados libres del IVA, lo que reduce los costos del proyecto.

Exención de gravámenes arancelarios (Ley 1715 art. 13, Decreto 2143 de 2015 Arts. 2.2.3.8.4.1) como los anteriores, este beneficio solo aplica para proyectos de generación de

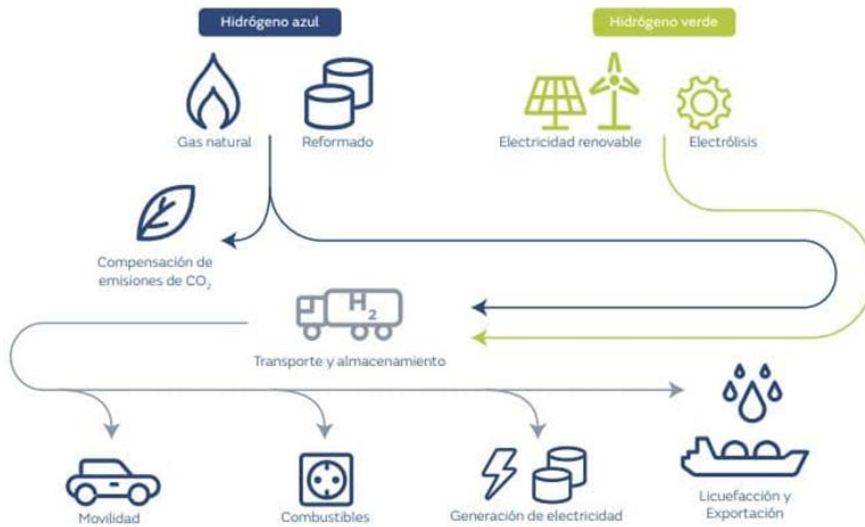
energías renovables no convencionales y consiste en exención del pago de aranceles por importación en equipos y demás.

Debido a todos los beneficios económicos que trajo consigo la implementación de esta ley, el desarrollo de proyectos renovables que antes no se consideraba rentable, pasó a ser una propuesta atractiva para los diferentes agentes del mercado y nuevos inversionistas, desde grandes empresas hasta personas del común.

Recientemente se aprobó una nueva ley que también incentiva la implementación de proyectos de generación de renovables no convencionales. Se trata de la ley 2099 de 2021 que modifica la ley 1715 de 2014 para dinamizar el mercado energético nacional e impulsar la transición energética del país, (Congreso de la Republica de Colombia, 2021)

Entre los puntos más relevantes de esta ley publicados por la unidad de planeación minero-energética (UPME), se destacan los siguientes:

- Nuevos beneficios tributarios para los proyectos de gestión eficiente de la energía que antes regían en la ley 1715 solo para proyectos de energías renovables no convencionales.
- Con esta nueva ley se introduce el hidrogeno verde (producido a partir de energías renovables) y el hidrogeno azul (producido a partir de captura y almacenamiento de carbono) mostrados en la imagen, como fuentes no convencionales de energía y por ende este tipo de proyectos pueden acceder a los beneficios dispuestos en la ley 1715 de 2014.

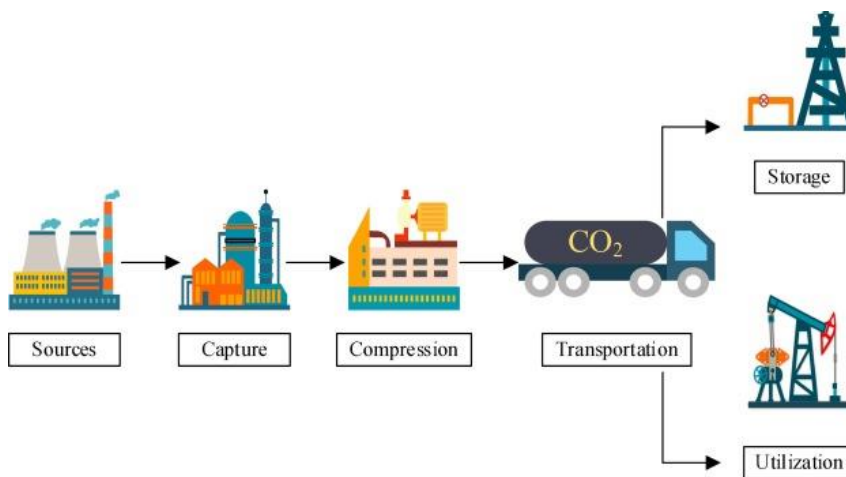


**Imagen 13** energía tipo hidrogeno.

Nota: (Segui, 2020)

- Los beneficios tributarios antes mencionados dispuestos en la ley 1715 de 2014 también serán aplicables para proyectos de captura, utilización y almacenamiento de carbono (CCUS).

A continuación, se muestra un esquema simple de la cadena productiva de esta tecnología basada en la recuperación del CO<sub>2</sub> contaminante de las industrias cuya transición a las energías renovables es complejo debido a sus procesos.

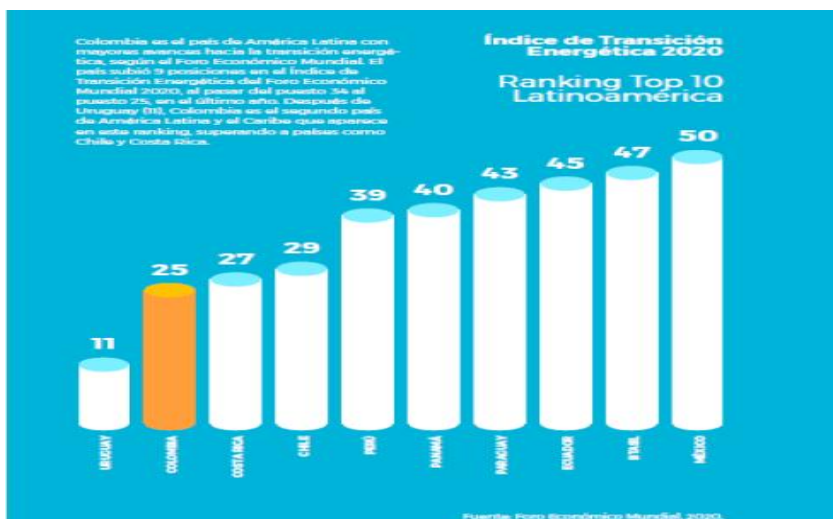


**Imagen 14** cadena productiva

Nota: (Shuai, aLinlin, aLei, Zhuang, & aJian, 2018)

## Contraste de Colombia y panorama energético mundial de las energías renovables

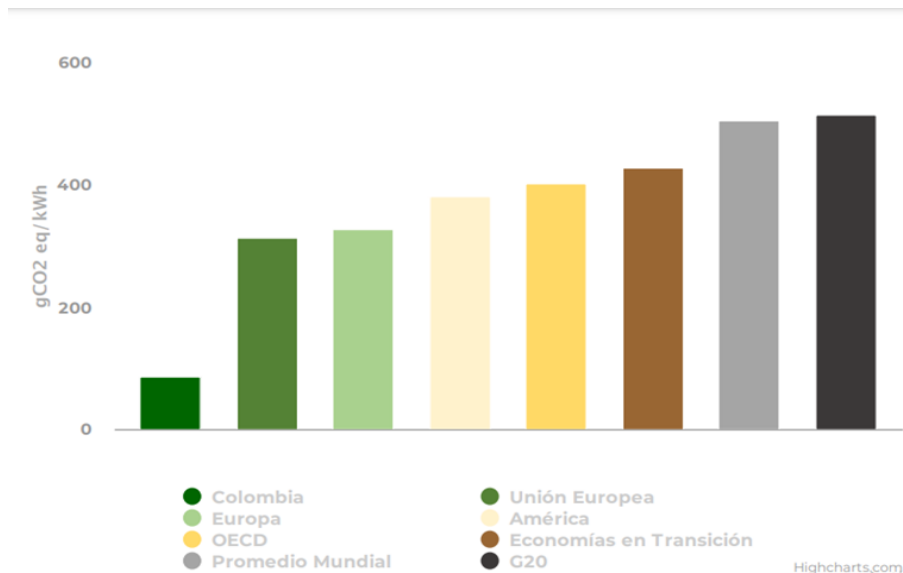
De acuerdo con el Foro Económico Mundial (WEF por sus siglas en inglés), Colombia es el país de América Latina con mayores avances hacia la transición energética, subiendo nueve posiciones en el Índice de Transición Energética WEF 2020, al pasar del puesto 34 al puesto 25, en el último año. En el siguiente gráfico se aprecia que es el segundo de América Latina en el ranking, superado únicamente por Uruguay que se encuentra en el puesto 11 y ocupa el primer puesto en este indicador a nivel de América Latina.



**Imagen 15** Emisiones de efecto invernadero en el país.

Lo anterior conlleva a como nos muestra la siguiente gráfica, a tener emisiones de efecto invernadero muy bajas en comparación con otros países, debido a que nuestra matriz eléctrica está basada principalmente en energías renovables. En consecuencia, podemos afirmar que somos un país sostenible con miras a cumplir con los compromisos pactados en el COP21.





**Grafica 11** Emisiones de co2.

Nota: Reproducida de Emisiones de CO2, ACOLGEN, <https://www.acolgen.org.co/>.

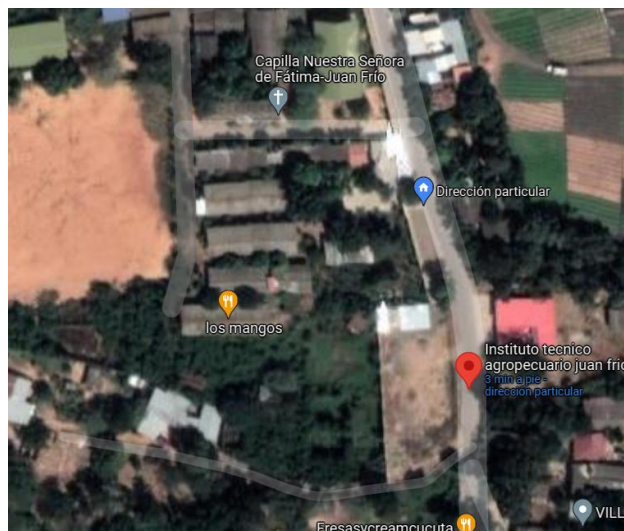
## 6 DISEÑO DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

El proyecto consiste en un Sistema Solar Fotovoltaico el cual será instalado en el colegio Juan Frio en el municipio de Villa del Rosario Norte de Santander, este proyecto está compuesto por 4 paneles distribuidos en un paralelo con una potencia productiva promedio por hora de 450W/h por cada panel, para el funcionamiento de una bomba de 2 HP para un sistema de riego esta bomba tiene una capacidad 1600 vatios este sistema es proyecta para una carga máxima de 3970 vatios este sistema es totalmente autónomo, y cuenta con la un sistema de protecciones en la entrada del inversor las cuales son protecciones diseñadas para evitar el daño del inversor, a la salida del inversor encontramos las protecciones en ac las cuales nos sirven para brindar protección para cada derivación de circuito que tengamos está proyectado para alimentar la carga durante ciertas horas al día como lo indican los cuadros de carga.

Como objetivo final se propone el diseño para optimizar el sistema de riego en el colegio Juan Frio, que asumirá la carga de su sistema de bombeo a partir de un Sistema Fotovoltaico sin conexión a red tiene como objetivo producir energía eléctrica (a partir de la radiación solar) en condiciones adecuadas para poder ser usada.

## 6.1 Localización

El proyecto está localizado en el municipio Villa del Rosario departamento Norte de Santander, el propietario es la institución educativa agropecuaria Juan Frio.



**Imagen 16** Localización del colegio.

Nota: Extraído de

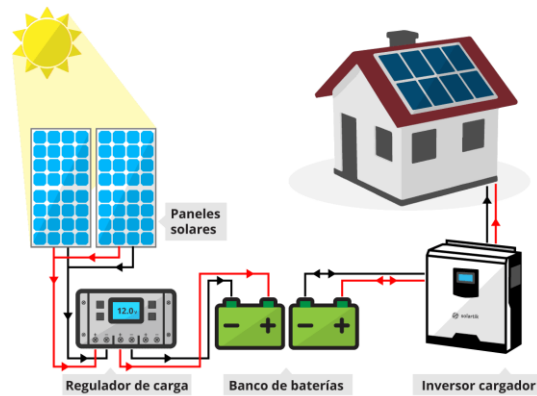
<https://www.google.com/maps/place/Instituto+tecnico+agropecuario+juan+frio/@7.7930849,2.472094,285m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x0:0xc05f09e196252d09!8m2!3d7.7926923!4d-72.4715156>

## 6.2 Tipo de sistema

### **Auto generador sin conexión a la red: (Off-Grid)**

Este tipo de sistema funciona independientemente de la red eléctrica, de esta manera me permite alimentar los consumos que no cuentan con un suministro de la red eléctrica, manejamos

la conexión de baterías que son las encargadas de almacenar la energía necesaria para su oportuno uso.

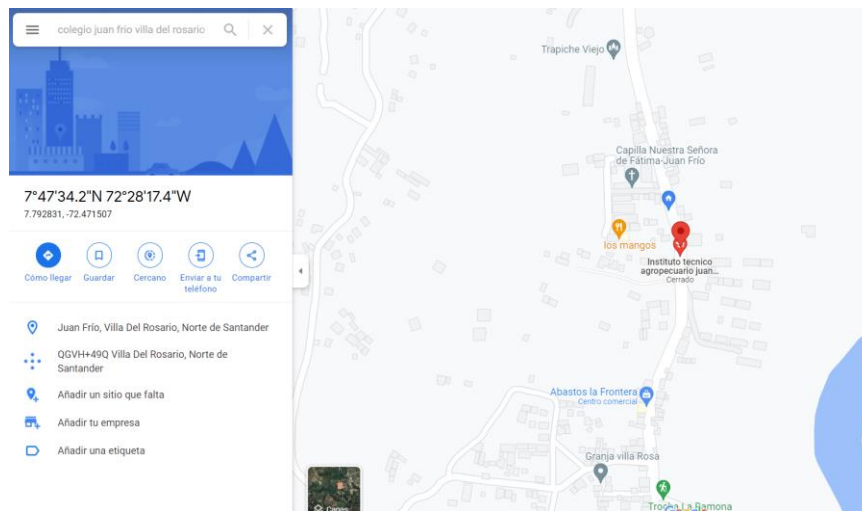


**Figura 18** Tipo de sistema aislado

### 6.3 Cálculo de inclinación del panel

Para obtener el ángulo al cual debe estar inclinado y la orientación del panel realizamos el siguiente procedimiento:

Obtenemos nuestras coordenadas del punto donde se va a instalar el sistema.

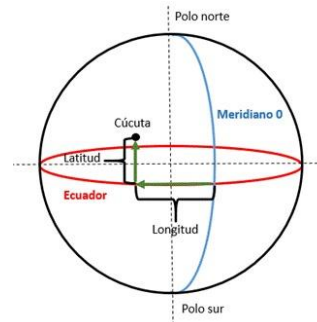


**Imagen 17** Ubicación colegio.

**Nota:** Extraído de <https://www.google.com/maps/place/7%C2%B047'34.2%22N+72%C2%B028'17.4%22W/@7.7924953,72.4733105,17.22z/data=!4m1!3m5!1s0x8e66473e73f548a5:0xc05f09e196252d09!2sInstituto+tecnico+agropecuario+juan+frio!8m2!3d7.7926923!4d-72.4715156!3m5!1s0x0:0xacaa86667d05e0a5!7e2!8m2!3d7.7928306!4d-72.4715067?hl=es>

Latitud ( $\phi$ )= 7,47°

Longitud ( $\beta$ )= -74°,28



**Figura 19** Punto de ubicación.

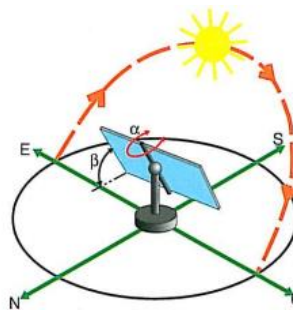
**Nota:** Extraída de

<https://lh3.googleusercontent.com/proxy/4lzR1dR371kfLzBoISWf0hsju2KQK10O2R57f3PK4sYbo2Y1ZsgpUuUV1lqIL7WBFsmZ3jcEneUSmGXZWzBEUpY6xIFpZeTcRed1S34caBcIgH814SVtarpMUXu-0YKAHoGjZmtKo6L>

Reemplazamos en la ecuación y obtenemos nuestra inclinación.

$$\beta = \text{Latitud} - 20$$

$$\beta = 7,4 - 20 = 12,6^\circ$$



**Figura 20** Ubicación orientada al sur.

Como nuestro resultado nos da un ángulo negativo se concluye que nuestra posición en el hemisferio es el norte, por lo tanto, ubicamos nuestros paneles con indicación hacia el sur.

Gracias a la cercanía entre la ubicación geográfica de Colombia y la línea del Ecuador no es tan relevante la orientación de los paneles ya que el sol se encuentra en posición vertical y poco inclinada. Sin embargo, la orientación del sol sale del Este, se pone por el Oeste y recorre el cielo hacia el Sur, por ello siempre debemos tener en cuenta que una de las mejores posiciones para obtener una mejor producción es orientando hacia el sur.

#### 6.4 Calculo de paneles solares necesarios

Para seleccionar los módulos solares adecuados tendremos en cuenta el consumo eléctrico de la instalación y la radiación solar que recibe en el punto instalado.

**Tabla 2** Las cargas a instalar son

EQUIPO	CANTIDAD	POTENCIA POR APARATO AC (WATTS)	HORAS DE FUNCIONAMIENTO	CONSUMO DIARIO AL DIA (W/D)
TOMAS	4	180	1	720
ILUMINACION	2	25	1	50
MOTOBOMBA	1	1600	2	3200
TOTAL		1805		3970

Tomando en cuenta que una de mis cargas se compone de un motor, se nos hace necesario minimizar la corriente de arranque producida por el mismo ya que nuestro inversor cuenta con capacidad de soporte para un arranque de un motor eléctrico de 1,5hp lo cual no es suficiente y por lo tanto se decide adicionar un arrancador suave el cual se encargara de minimizar esta corriente de arranque para que no sobrepase el límite de corriente del inversor.

Para minimizar esta corriente se decidió usar un arrancador suave de marca siemens los cuales son llamados Sirius 3RW30 el cual es un arrancador suave que me permite programarle las entradas como lo son el voltaje de arranque, tiempo y tensión asignada al motor.

Estos arrancadores de marca sirius tiene una composición en particular a los otros arrancadores ya que se pueden instalar cargas bifásicas, gracias a esta particularidad se selección,

ya que la intensidad “cuando variamos el recorte de fase, nuestro valor eficaz en la tensión aumenta dentro del tiempo de arranque seleccionado usando como próximo parámetro la tensión ajustable hasta la tensión asignada del motor”

Ya que nuestra intensidad del motor tiene un comportamiento proporcional a la tensión que se le aplica al motor, de esta manera nuestro factor de arranque se minimiza en el mismo factor al cual se somete.

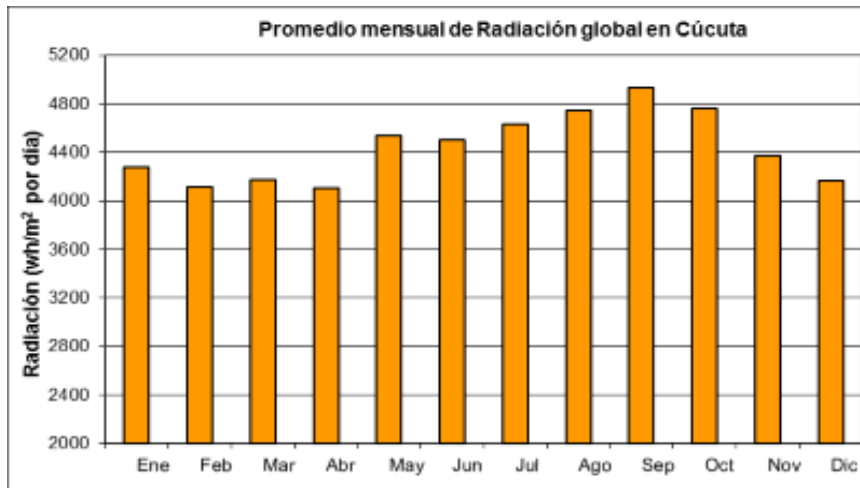
Modificando la corriente de arranque de nuestro motor podemos minimizarla para que nos cumpla con los parámetros permitidos del inversor.

## **6.5 Radiación solar en el sitio de instalación**

Para obtener la radiación solar incidente, usamos la siguiente página “<http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html> ” esta página esta creada por el instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, pertenece al ideam una entidad del gobierno de Colombia dependiente del ministerio de desarrollo y energía. (institución pública de apoyo técnico y científico al Sistema Nacional Ambiental, s.f.)

La diferencia entre la irradiación y la irradiancia es que la irradiancia es la que me indica la intensidad de radiación solar, y la irradiación es la suma de todas las irradiancias en un determinado tiempo.

Para el sitio de instalación los valores de radiación solar de cada mes.



**Grafica 12** Nivel de radiación en Cúcuta.

Nota: Extraído de <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/graficosRadiacionIGH/cucuta.png>

Los meses más desfavorables son no abril y diciembre que son horas con 4.2Kwh/m2 por día, de esta manera so obtuvo en cuenta el dimensionamiento para las condiciones mensuales menos favorables de insolación, de esta manera podremos dar cubrimiento a la demanda durante todos los meses del año.

Una vez obtenemos esta radiación solar podemos obtener los datos para calibrar los módulos esto lo desarrollaremos de la siguiente manera:

1kw=condición del panel de irradiación “ficha técnica”.

De esta manera obtuvimos nuestro valor medio mensual de irradiación.

Con la siguiente ecuación calculamos la potencia del generador:

$P_{Gmin}$ = potencia del generador.

$W_d$ =consumo de energía.

$G_{cem}$ = irradiación en condición de CEM (constante 1000).

$G_{dm}$ = valor medio mensual de irradiación.

$P_r$ = rendimiento energético.

$$PGmin = \frac{Wd * Gcem}{Gdm * Pr}$$

$$PGmin = \frac{3970 * 1000}{4200 * 0,6} = 1575$$

**Tabla 3** Potencia generada mínima.

Potencia del generador (w)	Potencia del Generador	Irradiación en condición CEM	Valor medio mensual de irradiación	Rendimiento energético de instalación
1575	3970	1000	4200	0,6

Nota: realización propia.

Obteniendo esto calculamos el número de módulos con la siguiente formula:

Nm= número de módulos.

PGmin= potencia del generador.

Pmaxp=potencia máxima del panel.

$$Nm = \frac{PGmin}{Pmaxp}$$

$$Nm = \frac{1575}{450} = 3,5 \approx 4$$

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 de PGmin, que la potencia nominal del generador fotovoltaico debe cumplir (Castejon Oliva, Agustin; Santamaria Herranz, German; Editorial Editex S.A.):

$$pg = 4 * 450 = 1800$$

$$Pmax = 1575 * 1,2 = 1890$$

**Tabla 4 Condición**

PGmin <= pg <= Pmax		
1575	1800	1890

Nota: realización propia.



## 6.6 Conexión del sistema:

Para escoger mi mejor conexión al sistema debo tener en cuenta las características de entrada de mi inversor las cuales son mi corriente y mi tensión de entrada dependiendo de estas variables conectamos de manera que cumplan con la capacidad que requerimos del inversor y teniendo en cuenta que nuestro sistema de acumulación nos trabaja a 48v.

**Tabla 5 Calculo inversor**

CALCULO PARA EL INVERSOR	
PG MAXIMA WATTS	1890
SE ASUME UN 20%DE LA DEMANDA MAXIMA	2363 ≈3000

### Datos de entrada del inversor

I=corriente máxima de carga fotovoltaica

V=rango mppt “seguidor del punto de máxima potencia” en función del voltaje

$$i = 80A$$

$$v = 60\sim 130VDC$$

Para poder cumplir con estos parámetros en la entrada de la inversión tomamos la siguiente conexión de array que está compuesta por 1 string y cada uno tiene conexión de dos paneles en paralelo 1x2., por lo tanto, obtenemos los siguientes datos de nuestra conexión.

Imaxp=intensidad máxima del panel por ficha técnica.

$$imax = 10.87 * 2 = 21,74 A$$

Vmaxp= voltaje máximo del panel por ficha técnica.

$$vmax = 41,40 * 2 = 82,8 v$$

Como podemos observar estos resultados se encuentran en el rango de entrada del inversor seleccionado.

### **Cálculos para la nueva conexión de nuestro sistema:**

Tensión de circuito abierto del generador:

$U_{goc}$ =Tensión total de circuito abierto.

$N_s$ = Numero de módulos.

$U_{oc}$ =Tensión de circuito abierto.

$$UGoc = Ns * Uoc$$

$$UGoc = 2 * 50 = 100v$$

Intensidad de corto circuito del generador:

$I_{Gsc}$ = intensidad de corto del generador.

$N_p$ =Numero de módulos

$I_{sc}$ =Corriente de corto circuito.

$$IGsc = Np * Isc$$

$$IGsc = 2 * 11.44 = A$$

Tensión Máxima del Generador:

$U_{Gmpp}$ = tensión máxima del generador.

$N_s$ =número de módulos.

$U_{mpp}$ = tensión máxima del módulo.

$$UGmpp = Ns * Umpp$$

$$UGmpp = 2 * 41,40 = 82,8v$$

Intensidad máxima del módulo:

$I_{mp}$ = 10,87A

Intensidad máxima del generador:

$I_{Gmpp}$ =intensidad máxima del generador

$N_p$ =número de módulos.

$I_{mpp}$ =intensidad máxima del módulo.

$$I_{Gmpp} = N_p * I_{mpp}$$

$$I_{Gmpp} = 2 * 10,87 = 21,74A$$

### 6.7 Selección de paneles

Los paneles solares gracias a sus características propias de los materiales de los cuales se encuentran constituidos estos equipos generan potencia en corriente directa, según los cálculos obtenidos se eligieron los siguientes paneles dependiendo de las siguientes características.

**Tabla 3 sondeo de mercado en precios**

Marca	País de fabricación	Tipo de células	Número de células	Eficiencia	Dimensiones	Capacidad	Precio	Peso	Fuente	Garantía
Longi	China - Xi'an	Monocrystalino	144	20,70%	2094X1035 X35 mm	450 W	\$684.000	23,5 kg	<a href="https://www.solar-tex.co/tienda/producto/panel-solar-450-watts-monoperc-longi/">https://www.solar-tex.co/tienda/producto/panel-solar-450-watts-monoperc-longi/</a>	Los primeros diez años 80% de generación y los siguientes 5 años de 70%
Duo Max	China	Monocrystalino	144	20,40%	2111X1046 X30 mm	450 W	\$628.000	28,6 KG	<a href="https://www.emergente.com.co/blog/producto/panel-solar-de-450w-monocrystalino-media-celda-trina/">https://www.emergente.com.co/blog/producto/panel-solar-de-450w-monocrystalino-media-celda-trina/</a>	0,55% degradación anual
Jinco	China-Shanghai	Monocrystalino	144	20,43%	2096X1039 X35mm	445 W	\$819.000	25.1 kg	<a href="https://www.solar-tex.co/tienda/producto/panel-solar-445-watts-jinco-tiger-monoperc/">https://www.solar-tex.co/tienda/producto/panel-solar-445-watts-jinco-tiger-monoperc/</a>	0,55% degradación anual
Helius	China-Jiangsu	Monocrystalino	144	20.6 %	2102x1040 x35mm	450 W	\$720.000	24,5 Kg	<a href="https://www.eco-greenenergy.com/es/product/modulo-solar-monocrystalino-helios-plus/">https://www.eco-greenenergy.com/es/product/modulo-solar-monocrystalino-helios-plus/</a>	los primeros 10 años 91% y los siguientes 15 años 80 %

## Parámetros técnicos de los paneles solares

**Tabla 4** características del panel.

### MECHANICAL CHARACTERISTICS

Cell type	Monocrystalline (166x83 mm)
Number of cells	144
Dimensions	2102x1040x35mm
Weight	24.5 kg
Glass	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy
Junction box	IP68
Cable	4.0 mm <sup>2</sup> , 300/1300mm
Connector	MC4 EVO2 compatible

### PACKAGING

Type	Pcs/ Type	Weight
Per Pallet	30 pcs	780 kg
20ft GP Container	296 pcs	7.70 t
40ft GP Container	624 pcs	16.22 t
40ft HQ Container	686 pcs	17.84 t

Nota: Extraído de file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/HELIOS-PLUS-425-450M%20(1).pdf

**Tabla 5** ficha técnica.

### ELECTRICAL DATA AT STC\*

Power output (Pmax)	425 W	430 W	435 W	440 W	445 W	450 W
Power tolerance	0~+5 W	0~+5 W	0~+5 W	0~+5 W	0~+5 W	0~+5 W
Module efficiency	19.4 %	19.7 %	19.9 %	20.1 %	20.4 %	20.6 %
Maximum power voltage (Vmp)	40.40 V	40.60 V	40.80 V	41.00 V	41.20 V	41.40 V
Maximum power current (Imp)	10.52 A	10.60 A	10.67 A	10.74 A	10.81 A	10.87 A
Open circuit voltage (Voc)	49.00 V	49.20 V	49.40 V	49.60 V	49.80 V	50.00 V
Short circuit current (Isc)	11.09 A	11.16 A	11.23 A	11.30 A	11.37 A	11.44 A

\*Standard Test Conditions: Irradiance: 1 000 W / m<sup>2</sup> • Cell temperature: 25°C • AM: 1.5

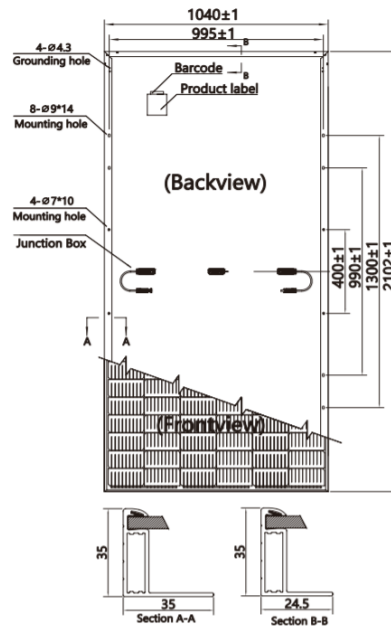
### ELECTRICAL DATA AT NMOT\*

Power output (Pmax)	316.16 W	320.12 W	323.71 W	327.71 W	331.74 W	335.40 W
Maximum power voltage (Vmp)	38.00 V	38.20 V	38.40 V	38.60 V	38.80 V	39.00 V
Maximum power current (Imp)	8.32 A	8.38 A	8.43 A	8.49 A	8.55 A	8.60 A
Open circuit voltage (Voc)	46.00 V	46.20 V	46.40 V	46.60 V	46.80 V	47.00 V
Short circuit current (Isc)	8.93 A	8.99 A	9.05 A	9.10 A	9.16 A	9.21 A

\*Nominal Operating Cell Temperature: Irradiance: 800 W / m<sup>2</sup> • Ambient temperature: 20°C • AM: 1.5 • Wind speed: 1 m/s

Nota: Extraído de file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/HELIOS-PLUS-425-450M%20(1).pdf

## Diseño de fabricación



**Figura 21** diagrama del panel.

### Tensión Nominal del circuito para el sistema de Acumulación:

Mi sistema cuenta con una potencia total de 1805w, por lo tanto, la tensión de los acumuladores seria de 48v, por selección.

**Tabla 9** Tabla clasificación por potencia.

Potencia	Tensión nominal
$P \leq 800 \text{ W}$	12 V
$800 < P \leq 1.600 \text{ W}$	24 V
$1.600 < P \leq 3.200 \text{ W}$	48 V
$P > 3.200 \text{ W}$	120 o 300 V

(Castejon Oliva, Agustin; Santamaria Herranz, German; Editorial Editex S.A.)

### 6.8 Dimensionado de sistema de acumulación:

Calculamos el consumo medio diario:

$Q_d$ =consumo medio diario (Ah/día)

$W_d$ = energía media diaria (Wh).

$U_n$ = tensión nominal del sistema de acumulación (V) “es la tensión de trabajo de la batería”

$PD_{max}$ = profundidad de descarga máxima (en tanto por 1)

$$Q_d = \frac{W_d}{U_n * PD_{max}}$$

$$Q_d = \frac{3970Wh/dia}{48V * 0,7} = 118.15Ah/dia$$

Teniendo en cuenta que mi cálculo de consumo diario me da una corriente de 118,15 Ah/ día y que nuestro sistema esta seleccionado para trabajar con una tensión de 48v seleccionamos una batería que se aproxime a estos parámetros.

### **6.8.1 Selección de la batería**

Para la selección de la batería tomamos una batería de que nos entrega una corriente de 100 A, como podemos observar mi consumo medio diario me indica que mi corriente debe ser de 118,15 Ah/ día, asumimos de esta manera una batería más, de esta manera garantizamos que la corriente que mi consumo diario requiere es entregada por parte de las baterías.

**Conexión de baterías:** para la conexión de nuestras baterías elegimos que nuestro sistema trabaje a 48 voltios por lo tanto mi conexión es en paralelo de esta manera no varía mi tensión y de esta manera obtenemos la suma de mis corrientes obteniendo mi consumo medio diario.

### **6.9.1 Dimensionamiento del inversor.**

Tomando en cuenta que el dimensionamiento se calcula dependiendo mi variables de potencia máxima de mi carga conectada, con el fin de garantizar que el inversor cuente con la capacidad

asumimos un 25% del cálculo de nuestra demanda máxima de esta manera le damos el valor cercano.

Se seleccionó un inversor con capacidad de 3000 vatios, que nos proporciona una salida de 110/220 como lo requiere la carga a instalar.

**Tabla 10 Tabla clasificación por potencia**

CALCULO PARA EL INVERSOR	
PG MAXIMA WATTS	1890
SE ASUME UN 20%DE LA DEMANDA MAXIMA	2363 ≈3000

### 6.9.1 Características del inversor

Salida de onda sinusoidal pura

- ✓ Interfaz de usuario amigable; MFD (pantalla multifunción)
- ✓ Carga en 3 pasos
- ✓ Protección contra sobrecargas y cortocircuitos
- ✓ Establecer voltaje de carga / corriente de carga
- ✓ El punto de apagado de la batería por bajo voltaje se puede configurar en 10 / 10.5 / 11V
- ✓ Establecer la prioridad de la utilidad / prioridad de la batería
- ✓ Establecer la entrada de utilidad de rango amplio / estrecho
- ✓ El voltaje del inversor se puede configurar en 100/110/120; la frecuencia se puede configurar en 50/60 Hz
- ✓ Configure el interruptor de encendido / apagado de carga de la red pública
- ✓ Cargador MPPT integrado de 80 A

✓ 1 año de garantía



Figura 21 Diagrama de tipos de conexión.

## 6.10 Calculo de los conductores

Teniendo en cuenta las siguientes tablas tenemos que:

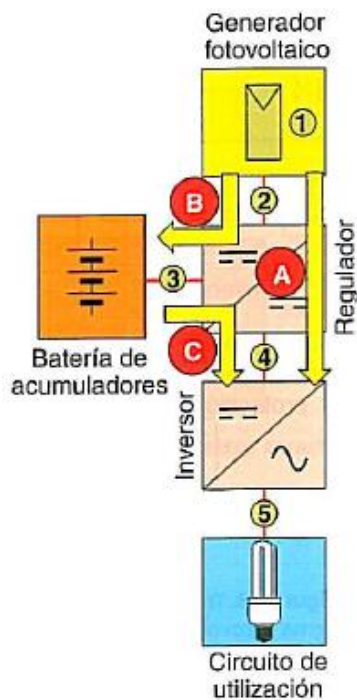


Figura 22 distancias por tramos.



**Para tramo 1 (2m)**

Desde cada panel hasta nuestro punto de empalme tomamos la corriente por cada panel, longitud de 2 metros.

$$I_{sc} = I_{scp} * 1,25$$

$$I_{sc} = 11,44 * 1,25 = 14,3A$$

**Para tramo 2 (3m)**

Desde nuestra caja de empalme hasta nuestro regulador inversor longitud de 3 metros.

$$I_{sc} = I_{scp} * 1,25$$

$$I_{sc} = 45,76 * 1,25 = 57,2A$$

**Para tramo 3 (1,5m)**

Desde nuestro regulador inversor hasta nuestras baterías, longitud 1,5 metro.

$$I_{sc} = I_{scp} * 1,25$$

$$I_{sc} = 45,76 * 1,25 = 57,2A$$

**Para tramo 4 (0,5m)**

Corresponde al tramo de la salida de nuestro inversor hasta nuestro gabinete de potencia.

$$I_{in} = \frac{P_{ninv}}{T_{nca}}$$

$$I_{in} = \frac{3kv}{220v} = 13,63A$$

Máxima caída de tensión permitida:

$$L_t = l_1 + l_2 + l_4$$

$$L_t = 2m + 3m + 0,5m = 5,5m$$

Caída de tensión por unidad de longitud:

$$\Delta Vu = \frac{\Delta V\%}{Lt}$$

$$\Delta Vu = \frac{1,5}{5,5} = 0,272\%$$

Caída de tensión proporcionada a longitud:

$$\Delta V\%1 = \frac{\Delta Vu}{L1}$$

**Tabla 11 caída de tensión.**

	Longitud	$\Delta Vu(\%)$
Tramo 1	2	0,544
Tramo 2	3	0,816
Tramo 3	5	1,36
Tramo 4	0,5	0,136

Comprobación de la caída total de trayectoria:

$$\Delta V\% = \Delta V\%L1 + \Delta V\%L2 + \Delta V\%L4$$

$$\Delta V\% = 0,54 + 0,82 + 0,14 = 1,5\%$$

Calculo por caída de tensión:

$$s1 = \frac{200 * 2 * 14,3}{0,54 * 24 * 45} = 6,42 \text{ mm}^2$$

$$s1 = \frac{200 * 3 * 14,2}{0,82 * 24 * 45} = 38,75 \text{ mm}^2$$

$$s1 = \frac{200 * 0,5 * 57,2}{1,36 * 24 * 45} = 11,68 \text{ mm}^2$$

$$s1 = \frac{100 * 0,5 * 17,03}{0,14 * 220 * 45} = 0,62 \text{ mm}^2$$

Calculo por calentamiento:

$$I1 = \frac{14,3}{0,7 * 0,89} = 22,95A$$

$$I2 = \frac{57,2}{0,89} = 64,26A$$

$$I1 = 22,95A \rightarrow 1,5mm^2$$

$$I2 = 64,26A \rightarrow 10mm^2$$

$$I3 = 57,2A \rightarrow 10mm^2$$

$$I4 = 17,03A \rightarrow 1,5mm^2$$

Según la tabla de fabricación centelsa con la selección transversal de los cálculos decimos que nuestra capacidad y numero de conductor es el siguiente:

**Tabla 62 guía selección de cableado y ductos.**

Numero de calibre	Ducteria	Calculo de fusible
22,88	∅ 1 1/2''	30A

**Tabla 73 guía rápida de selección cableado.**

**CABLE CENTELSA FOTOVOLTAICO PV XLPE 2000 V 90°C SR**

Conductor		Aislamiento		Peso Total Aproximado	Ampacidad <sup>(2)</sup>	
Calibre	Resistencia Eléctrica DC a 20°C	Espesor Nominal	Diametro Aproximado		Un Cable al Aire	Hasta Tres Conductores en Ducto
AWG	Ω/km	mm	mm	kg/km	A	
14	8,4443	1,90	5,92	50	30	23
12	5,3149	1,90	6,42	65	41	30
10	3,3436	1,90	7,06	88	56	41
8	2,1021	2,16	8,36	126	78	55
6	1,3226	2,16	9,42	182	106	73
4	0,8478	2,16	10,44	263	141	96
2	0,5332	2,16	11,98	389	190	129
1/0	0,3351	2,67	14,94	604	259	172
2/0	0,2659	2,67	16,08	739	300	194
4/0	0,1688	2,67	19,52	1140	405	260
250	0,1429	3,05	21,56	1365	455	290
500	0,0728	3,05	30,69	2650	703	430

**Tabla 84 guía rápida de selección ductos**

CALIBRE	DIAMETRO NOMINAL DE L TUBO									
	1/2 13	3/4 19	1 25	1 1/4 32	1 1/2 38	2 51	2 1/2 64	3 76	3 1/2 89	4 102
14	8	15	25	43	58	96	168	254	332	424
12	6	11	19	33	45	74	129	195	255	326
10	5	8	14	24	33	55	96	145	190	243
8	2	5	8	13	18	30	53	81	105	135
6	1	3	4	8	11	18	32	48	63	81
4	1	1	3	6	8	13	24	36	47	60
2	1	1	2	4	6	10	17	26	34	44
1	1	1	1	3	4	7	12	18	24	31
1/0		1	1	2	3	6	10	16	20	26
2/0		1	1	1	3	5	9	13	17	22
3/0		1	1	1	2	4	7	11	15	19
4/0			1	1	1	3	6	9	12	16
250			1	1	1	3	5	7	10	13
300			1	1	1	2	4	6	8	11
350				1	1	1	4	6	7	10
400				1	1	1	3	5	7	9
500				1	1	1	3	4	6	7
600				1	1	1	2	3	4	6
750					1	1	1	3	4	5
800					1	1	1	3	3	5
900						1	1	2	3	4
1000						1	1	2	3	4

**6. 10 Método de selección para mi dispositivo de protección contra sobretensiones.**

¿Cómo está diseñado el sistema de alimentación a proteger?

TNS O TNC es decir si mi sistema tiene tierra y neutro separado o su tierra, en este caso nuestro sistema es TNS.

¿Cuál es la ubicación del dispositivo de protección?

Mi ubicación del dispositivo es en parte de generación por lo tanto se clasifica como protección de tipo 1+2.

¿Cuál es la tensión de entrada?

La tensión es de 100V ya es el voltaje al cual me quedo diseñado mi sistema de generación.

**Tabla 95 ficha técnica DPS seleccionado**

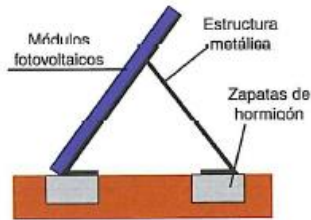
Part No.		PV50-600-V-CD-S	PV50-750-V-CD-S	PV50-1000-V-CD-S	PV50-1200-V-CD-S
In accordance with		UL1449-4th			
Category IEC/VDE		Type1 CA			
Protection Mode		Common mode & Differential mode			
Nominal voltage (Vdc)	Un	600	750	1000	1200
Max. permitted DC voltage	Vpvdc	660	840	1120	1420
Nominal discharge current(8/20)	In	20kA			
Max. discharge current(8/20)	Imax	50kA			
Voltage protection rating per mode	VPR	<1.0kV	<1.2kV	<1.5kV	<1.5kV
Voltage protection rating ("+" - PE)		<2kV	<2.4kV	<3kV	<3kV
Leakage (Quiescent) current	Iq	<2.5µA	<3.5µA	<2.5µA	<2.0µA
Short Circuit Current Rating	SCCR	200kA			
Response time		≤25 ns			
Backup fuse(only required if not already provided in mains)		125A gR/gPV			
Max Ambient temperature		- 40 °C ~ + 80 °C			
Cross-section of connection wire		Single-strand 35mm <sup>2</sup> ; multi-strand 25mm <sup>2</sup>			
Mounting		35mm DIN-rail in accordance with EN 50022/DIN46277-3			
Enclosure material		thermoplastic; extinguishing degree UL94 V-0			
Degree of protection		IP20			
Installation width		3 modules, DIN 43880			
Thermal disconnecter		Internal green – normal ; red - failure			
Remote alarm contact		"-S" means with remote alarm contact			
Approvals, Certifications		ETL/CE			
<b>Additional data for Remote Alarm Contacts</b>					
Remote alarm contact type		Isolated Form C			
Switching capability Un/In		AC: 250V/0.5A DC: 250V/0.1A; 125V/0.2A; 75V/0.5A			
Max. Size of connecting wire		Max. 1.5mm <sup>2</sup> (or # 16AWG)			

## 6.12 Calculo de estructuras y elementos de sujeción de equipos

Con el fin de lograr cumplir con los requerimientos de un ángulo adecuado y un soporte mecánico fijo se analizan diferentes opciones de anclaje seleccionando una estructura sobre suelo, ya que el sistema se va a encontrar instalado sobre la terraza de uno de los cuartos de control.

Esto permite que no se pueda acceder fácilmente por las personas (en especial por los niños de la institución), además después de una inspección se encontró que era el sitio adecuado ya que no existe riesgo de sombras sobre los paneles y se puede acceder fácilmente por el

personal indicado tanto para la instalación como para realizar revisiones periódicas y algún mantenimiento necesario.



**Figura 233** distancias por tramos.

El material usado para éste caso es aluminio, ya que es un material que permite estar expuesto a la intemperie sin sufrir deformidades, oxidación etc. Aparte de su costo y peso que lo hace ideal para esta aplicación.

## 6.13 Cargas en Ac

### 6.13.1 Análisis de cargas en AC

En las siguientes tablas encontraremos la información sobre cada carga proyectada a instalar en las cuales con el consumo de cada una realizaremos los cálculos para así identificar las protecciones, cada una de ellas, las cargas a instalar son las siguientes:

**Tabla 106** cuadro de cargas.

CUADRO DE CARGA TABLERO1												
C T O	T E N S I O N V	C O R R I E N T E A	P O T E N C I A	F P	P O T E N C I A	P O T E N C I A ( V A )		C O R R I E N T E ( A M P )		P R O T E C C I Ó N	C A L I B R E D E C O N D U C T O R ( A W G ) ( T H H N / T H W N )	O B S E R V A C I O N
			W A T T S		VA	R	S	R	S			
1-3	220	7,27		0,80	1999	100	1000	4,5	4,5	2X15	2F#12+1T#12	CIRCUITO DE

			1.599			0						MOTOBOMBA
2	110	1,65	182	0,90	202		202		0,9	1X15	1F#12+1T#12+1N#12	TOMACORRIENTES
4	110	0,22	24	0,90	27	24			0,1	1X15	1F#12+1T#12+1N#12	ILUMINACION
		9	1805	0,87	2.083	1024	1201	4,7	5,5	2X20	2F#12+1N#12+1T#10	Acometida general

Nota: elaboración propia.

En el análisis de nuestra carga debemos tener en cuenta que como nuestra carga más crítica es una bomba

#### 6.14 Análisis de coordinación de aislamiento eléctrico

**Tabla 117** Coordinación de aislamiento en sistemas de distribución

Coordinación de aislamiento en sistemas de distribución	Cumple	No cumple	Observaciones
Especificaciones de protección de los DPS (dispositivos de sobretensiones)	X		
Determinación de las tensiones de coordinación.	X		
Selección de niveles de aislamiento de los cables normalizados.	X		Esto se encuentra estipulado por cada fabricante

Nota: Elaboración Propia

#### 6.15 Análisis de corto circuito y falla a tierra:

**Sobrecarga:** exceso de intensidad que circula por un circuito puede ser causada por una falla del aislamiento en un conductor o por la máxima demanda de carga cuando no son corregidas pueden generar corto circuito ya que degradan el aislamiento.

**Sobre corriente:** es la corriente que se encuentra fuera de su funcionamiento normal supera sus condiciones estables y puede ocasionar calentamiento.

**Cortocircuito:** Fenómeno eléctrico ocasionado por una unión accidental o intencional de muy baja resistencia entre dos o más puntos con diferente potencial. El cortocircuito es una conexión de poca impedancia entre dos puntos entre los que existe una diferencia de

potencial, dando lugar a una corriente de intensidad muy elevada. Las causas del cortocircuito son principalmente fallos de aislamiento de la instalación o fallas en las cargas conectadas debidas daño en ellas o por una conexión incorrecta.

#### **6.16 Análisis de nivel de rayos y medidas para mitigarlos:**

No aplica ya que de acuerdo al Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas –RETIE- (Republica de Colombia Ministerio de Minas y Energía, 2013), la evaluación del nivel de riesgo por exposición al rayo se requiere en instalaciones de uso final donde se tenga alta concentración de personas, y para este proyecto no se da esta situación, adicionalmente la instalación de la estructura de los paneles será instalada a una altura inferior a los 2 mts quedando por debajo de la vivienda por lo que no es necesario la instalación de pararrayos como medida de protección contra los mismos.

#### **6.17 Matriz de riesgos**

- a. Definir el factor de riesgo que se requiere evaluar o categorizar.
- b. Definir si el riesgo es potencial o real.
- c. Determinar las consecuencias para las personas, económicas, ambientales y de imagen de la empresa. Estimar dependiendo del caso particular que analiza.
- d. Buscar el punto de cruce dentro de la matriz correspondiente a la consecuencia (1, 2, 3, 4, 5) y a la frecuencia determinada (a, b, c, d, e): esa será la valoración del riesgo para cada clase.
- e. Repetir el proceso para la siguiente clase hasta que cubra todas las posibles pérdidas.
- f. Tomar el caso más crítico de los cuatro puntos de cruce, el cual será la categoría o nivel del riesgo.
- g. Tomar las decisiones o acciones, según lo indicado en la Tabla

**Tabla 127** Matriz de riesgos



RIESGO A EVALUAR:	por (all) o (en)									
	EVENTO O EFECTO (Ej: Quemaduras)		FACTOR DE RIESGO (CAUSA) (Ej: Arco eléctrico)		FUENTE (Ej: Celda de 13,8 KV)					
POTENCIAL <input type="checkbox"/>		REAL <input type="checkbox"/>		FRECUENCIA						
C O N S E C U E N C I A S	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores. Salida de Subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
	Incapacidad temporal (>1 día)	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves. No interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	

Evaluador: \_\_\_\_\_ MP: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**Tabla 138 Niveles de Riesgo.**

COLOR	NIVEL DE RIESGO	DECISIONES A TOMAR Y CONTROL	PARA EJECUTAR LOS TRABAJOS
	Muy alto	Inadmisible para trabajar. Hay que eliminar fuentes potenciales, hacer reingeniería o minimizarlo y volver a valorarlo en grupo, hasta reducirlo.  Requiere permiso especial de trabajo.	Buscar procedimientos alternativos si se decide hacer el trabajo. La alta dirección participa y aprueba el Análisis de Trabajo Seguro (ATS) y autoriza su realización, mediante un Permiso Especial de Trabajo (PES).
	Alto	Minimizarlo. Buscar alternativas que presenten menor riesgo. Demostrar cómo se va a controlar el riesgo, aislar con barreras o distancia, usar EPP.  Requiere permiso especial de trabajo.	El jefe o supervisor del área involucrada, aprueba el Análisis de Trabajo Seguro (ATS) y el Permiso de Trabajo (PT) presentados por el líder a cargo del trabajo.
	Medio	Aceptarlo. Aplicar los sistemas de control (minimizar, aislar, suministrar EPP, procedimientos, protocolos, lista de verificación, usar EPP).  Requiere permiso especial de trabajo.	El líder del grupo de trabajo diligencia el Análisis de Trabajo Seguro (ATS) y el jefe de área aprueba el Permiso de Trabajo (PT) según procedimiento establecido.
	Bajo	Asumirlo. Hacer	El líder del trabajo debe verificar:

		control administrativo rutinario. Seguir los procedimientos establecidos. Utilizar EPP.  No requiere permiso especial de trabajo.	¿Qué puede salir mal o fallar? ¿Qué puede causar que algo salga mal o falle? ¿Qué podemos hacer para evitar que algo salga mal o falle?
	Muy bajo	Verificar posibles cambios	No afecta la secuencia de las actividades

Nota: (Republica de Colombia Ministerio de Minas y Energia, 2013)

### 6.18 Análisis de origen eléctrico

El objetivo principal del análisis de riesgos existentes es crear conciencia sobre los riesgos existentes en todo lugar donde hay uso de electricidad o se encuentren elementos energizados. El personal que interviene en una instalación eléctrica debe aplicar medidas necesarias para poder realizar alguna manipulación del uso de la electricidad o elementos energizados.

La electropatología es una disciplina la cual es la encargada del estudio de los efectos que se producen en el organismo debido a la corriente eléctrica, ya que los efectos que se generan por el paso de una corriente por nuestro cuerpo son desde una sencilla molestia hasta podernos ocasionar lesiones graves incluso la muerte.

Estos accidentes pueden ser ocasionados por contactos directos (bipolar o fase fase, fase-neutro, fase-tierra), contactos indirectos (inducción, contacto con masa energizada, tensión de paso, tensión de contacto, tensión transferida), impactos de rayo, fulguración, explosión, incendio, sobre corriente y sobretensiones.

### 6.19 Análisis

Para el análisis se desarrolló la siguiente matriz donde se especifican los riesgos que se pueden presentar.

**Tabla 149** Análisis de nivel de riesgo

<b>Análisis de nivel de riesgo</b>		<b>APLICA</b>	<b>NO APLICA</b>
<b>contacto indirecto</b>			
causas	medidas para mitigarlos		
falla de aislamiento	separación de circuitos	<b>X</b>	
falla del conductor de sistema de puesta a tierra	sistemas de puesta a tierra y conexiones equipotenciales	<b>X</b>	
<b>Cortocircuito</b>			
causas	medidas para mitigarlos		
falla de aislamiento	instalación de interruptores automáticos con dispositivos de disparo de máxima corriente	<b>X</b>	
accidentes externos		<b>X</b>	
<b>Sobrecarga</b>			
superar los límites nominales de los conductores	dimensionamiento adecuado de conductores	<b>X</b>	
instalaciones que no cumplan las normas técnicas	cumplimiento de normas técnicas	<b>X</b>	
<b>Electricidad estática</b>			
causas	medidas para mitigarlos		
Contacto íntimo de materiales diferentes con la presencia de un aislante	sistemas de puesta a tierra y conexiones equipotenciales		
Conclusión	El análisis de riesgo es muy bajo según nuestra clasificación dependiendo de nuestra norma retie.	<b>X</b>	

Nota: realización propia

## 6.20 Sistema de puesta a tierra

El sistema de puesta a tierra tiene como propósito preservar la vida de las personas, y prevenir daños en los equipos por sobretensiones y mejorar la efectividad de las protecciones eléctricas, al proporcionar conducción de manera eficiente a las corrientes que pueden ser causadas por fallas.

Las instalaciones de puesta a tierra estarán constituidas por uno o varios electrodos enterrados y por las líneas de tierra que conecten dichos electrodos a los elementos que deban quedar puestos a tierra, La función de la puesta a tierra (p.a.t) de una instalación eléctrica es la de forzar la derivación, al terreno, de las intensidades de corriente, de cualquier naturaleza que se puedan originar, ya se trate de corrientes de defecto, bajo frecuencia industrial, o debidas a descargas atmosféricas, de carácter impulsional.

**Tabla 20** Condiciones de resistividad

APLICACIÓN	VALORES MAXIMOS DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA
Estructuras y torrecillas metálicas de líneas o redes con cable de guarda	20 $\Omega$
Subestaciones de alta y extra alta tensión.	1 $\Omega$
Subestaciones de media tensión.	10 $\Omega$
Protección contra rayos.	10 $\Omega$
Punto neutro de acometida en baja tensión.	25 $\Omega$
Redes para equipos electrónicos o sensibles	10 $\Omega$

Tabla de Valores de resistencia de un sistema de puesta a tierra según norma retie.

### 6.20.1 Método de wenner o cuatro puntos aplicados para medir la resistividad

Se usa para medir la resistividad del suelo por medio de la ubicación de electrodos espaciados en línea recta, con una distancia  $a$  entre cada par de electrodos, y enterrados a una profundidad tal que satisfaga la relación  $a > 20 b$ , donde  $b$  es la profundidad de enterramiento

Una corriente “ $I$ ” se inyecta entre los dos electrodos externos y el potencial “ $V$ ” entre los dos electrodos internos es medido por el instrumento. El instrumento mide la resistencia  $R$  ( $=V/I$ ) del volumen de suelo cilíndrico de radio “ $a$ ” encerrado entre los electrodos internos.

Dado que en la práctica la distancia “a” es mucho mayor que la profundidad de enterramiento “b”, la ecuación se simplifica de la siguiente manera:

$$\rho = 2\pi aR \quad [\Omega \cdot m]$$

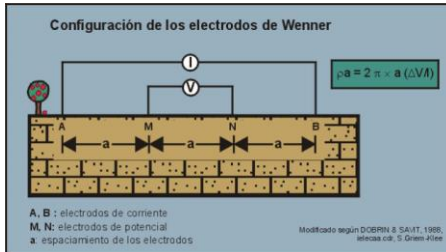


Figura 24 metodo wenner

Nota:

Extraído

de

[https://www.google.com/search?q=METODO+DE+WENNER+O+CUATRO+PUNTOS&rlz=1C1NHXL\\_esCO927CO927&sxsrf=ALeKk01Oig2s818GtCp3fImgUbighKw59Q](https://www.google.com/search?q=METODO+DE+WENNER+O+CUATRO+PUNTOS&rlz=1C1NHXL_esCO927CO927&sxsrf=ALeKk01Oig2s818GtCp3fImgUbighKw59Q)

### 6.20.2 Resistividad Aparente:

Es la resistividad obtenida con una medida directa en el suelo natural, bajo el esquema geométrico especificado por el método de cuatro (4) electrodos, aplicado con circuitos independientes de corriente y potencial, sólo es representativo para un punto de la característica del suelo estratificado, con el método mencionado se realizó el estudio de la resistencia del terreno el cual nos arrojó la siguiente información:



Imagen 18 Medida 1, distancia 1m



Imagen 19 Medida 2, distancia 2m



Imagen 20 Medida 3, distancia 3m



Imagen 21 Medida 4, distancia 4m



Imagen 22 Medida 5, distancia 5m

Para la selección de nuestro electrodo realizamos lo siguiente:

Ya que es un sistema de baja potencia, usamos el método de la ecuación de Dwight el cual se basa en calcular nuestra resistencia por cada electrodo.

**Tabla 2115 Resistividad promedio**

Longitud	Resistividad ( $\Omega m$ )
1	8,49
2	8,21
3	11,09
4	13,19
5	11,53
Promedio	10,502

R=resistencia.

$\rho$ = Resistividad.

L= longitud de la varilla.

$\alpha$ = Radio de la varilla.

$$R = \frac{\rho}{2\pi * L} \left( \ln \frac{4 * L}{\alpha} - 1 \right)$$

$$R = \frac{10,50}{2\pi * (2,4)} \left( \ln \frac{4 * (2,4)}{0,00715} - 1 \right) = 4,31\Omega$$

**Tabla 22** cantidad electrodos.

Cantidad	Radio	Longitud
1	0,00715	2,4 M

Nota: realización propia.

Los cálculos de mi resistencia cumplen con los establecidos en el retie donde me dice que mi resistencia debe ser menor a  $10 \Omega$  y mi valor cálculo es de  $4,31\Omega$

### Verificación de conductores

La instalación debe cumplir con los requisitos estipulados por los fabricantes donde nos dan la capacidad máxima de cada conductor donde nos especifica el nivel de corriente en la siguiente tabla.



**Tabla 23** selección de cable por sección trasversal.

Sección transvers. $\text{mm}^2$	Temperatura nominal del conductor (véase <a href="#">Tabla 310-13</a> )						Calibre AWG o Kcmils
	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C	
	TIPOS	TIPOS	TIPOS	TIPOS	TIPOS	TIPOS	
	TW, UF	RH, RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, ZW	THHN, THHW, THW-2, THWN-2, RHH, RWH-2, USE-2, XHHW, XHHW- 2,ZW-2	TW	RH, RHW, THHW, THW, THWN, XHHW	THHN, THHW, THW-2, THWN- 2, RHH, RWH-2, USE-2, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE				
2,08	18*	18*	21*				14
3,30	20*	24*	27*	16*	18*	21*	12
5,25	27*	33*	36*	21*	25*	28*	10
8,36	36	43*	48	28	33	37	8
13,29	48	58	65	38	45	51	6
21,14	66	79	89	51	61	69	4
26,66	76	90	102	59	70	79	3
33,62	88	105	119	69	83	93	2
42,20	102	121	137	80	95	108	1
53,50	121	145	163	94	113	127	1/0
67,44	138	166	186	108	129	146	2/0
85,02	158	189	214	124	147	167	3/0
107,21	187	223	253	147	176	197	4/0
126,67	205	245	276	160	192	217	250
152,01	234	281	317	185	221	250	300
177,34	255	305	345	202	242	273	350
202,68	274	328	371	218	261	295	400
253,35	315	378	427	254	303	342	500
304,02	343	413	468	279	335	378	600
354,69	376	452	514	310	371	420	700
380,02	387	466	529	321	384	435	750
405,36	397	479	543	331	397	450	800
456,03	415	500	570	350	421	477	900
506,70	488	542	617	382	460	521	1000

Nota: tomada de la (INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION INCONTEC)

### Calculo de ductos

Las canalizaciones utilizadas para el tendido de cables de circuitos de distribución subterránea son ductos de acero galvanizado ó ductos de PVC corrugados con los accesorios respectivos.


La disposición de los conductores dentro del ducto debe conservar su posición y adecuación a lo largo del recorrido, asegurando que se mantenga la separación de los circuitos. Los conductores de un mismo circuito deben disponerse en un solo grupo a través del ducto, no se permite que vayan por ductos separados.

Los ductos de acero galvanizado se utilizan en los cambios de redes primarias y secundarias, subterránea a aérea o viceversa, o donde existan condiciones especiales que lo requieran como cruce de vías férreas y ducterías colgantes de puentes. Estos ductos deben ser puestos a tierra sólidamente. (Enel codensa, s.f.)

#### **Análisis de capacidad por ducto**

Según las tablas establecidas en la norma técnica colombiana 2050 cumplen con las disposiciones aplicables de la tabla B310-1

**Tabla 164** Máxima cantidad de conductores por ducto pvc según la NTC 2050

Letras de tipo	Sección transversal del conductor		Tamaño comercial en pulgadas					
	mm <sup>2</sup>	AWG/ kcmil	16 ½	21 ¾	27 1	35 1 ¼	41 1 ½	53 2
RH 	2,08	14	4	8	15	27	37	61
	3,30	12	3	7	12	21	29	49
RHH, RHW, RHW-2	2,08	14	3	6	10	19	26	43
	3,30	12	2	5	9	16	22	36
RH, RHH, RHW, RHW-2	5,25	10	1	4	7	13	17	29
	8,36	8	1	1	3	6	9	15
	13,29	6	1	1	3	5	7	12
	21,14	4	1	1	2	4	6	9
	26,66	3	1	1	1	3	5	8
	33,62	2	0	1	1	3	4	7
	42,20	1	0	1	1	1	3	5
	53,50	1/0	0	0	1	1	2	4
	67,44	2/0	0	0	1	1	1	3
	85,02	3/0	0	0	1	1	1	3
	107,21	4/0	0	0	1	1	1	2
	126,67	250	0	0	0	1	1	1
	152,01	300	0	0	0	1	1	1
	177,34	350	0	0	0	1	1	1
	202,68	400	0	0	0	1	1	1
	253,35	500	0	0	0	0	1	1
	304,02	600	0	0	0	0	1	1
	354,69	700	0	0	0	0	1	1
380,02	750	0	0	0	0	0	1	
405,36	800	0	0	0	0	0	1	
456,03	900	0	0	0	0	0	1	
506,70	1000	0	0	0	0	0	1	
633,38	1250	0	0	0	0	0	0	
760,05	1500	0	0	0	0	0	0	
886,73	1750	0	0	0	0	0	0	
1013,4	2000	0	0	0	0	0	0	
TW	2,08	14	7	13	22	40	55	92
	3,30	12	5	10	17	31	42	71
	5,25	10	4	7	13	23	32	52
	8,36	8	1	4	7	13	17	29

Nota: tomada de la (INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION INCONTEC)

**Tabla 175** Máxima cantidad de conductores por ducto metálico

Letras de tipo	Sección transversal del conductor		Tamaño comercial									
	mm <sup>2</sup>	AWG/ kcmil	16 ½	21 ¾	27 1	35 1 ¼	41 1 ½	53 2	63 2 ½	78 3	91 3 ½	103 4
RH	2,08	14	6	10	16	28	39	64	112	169	221	282
	3,30	12	4	8	13	23	31	51	90	136	177	227
RHH, RHW, RHW-2	2,08	14	4	7	11	20	27	46	80	120	157	201
	3,30	12	3	6	9	17	23	38	66	100	131	167
RH, RHH, RHW, RHW-2	5,25	10	2	5	8	13	18	30	53	81	105	135
	8,38	8	1	2	4	7	9	16	28	42	55	70
	13,29	6	1	1	3	5	8	13	22	34	44	56
	21,14	4	1	1	2	4	6	10	17	26	34	44
	26,66	3	1	1	1	4	5	9	15	23	30	38
	33,62	2	1	1	1	3	4	7	13	20	26	33
	42,20	1	0	1	1	1	3	5	9	13	17	22
	53,50	1/0	0	1	1	1	2	4	7	11	15	19
	67,44	2/0	0	1	1	1	2	4	6	10	13	17
	85,02	3/0	0	0	1	1	1	3	5	8	11	14
	107,21	4/0	0	0	1	1	1	3	5	7	9	12
	126,67	250	0	0	0	1	1	1	3	5	7	9
	152,01	300	0	0	0	1	1	1	3	5	6	8
	177,34	350	0	0	0	1	1	1	3	4	6	7
	202,68	400	0	0	0	1	1	1	2	4	5	7
	253,35	500	0	0	0	0	1	1	2	3	4	6
	304,02	600	0	0	0	0	1	1	1	3	4	5
	354,69	700	0	0	0	0	0	1	1	2	3	4
	380,02	750	0	0	0	0	0	1	1	2	3	4
	405,36	800	0	0	0	0	0	1	1	2	3	4
456,03	900	0	0	0	0	0	1	1	1	3	3	
506,70	1000	0	0	0	0	0	1	1	1	2	3	
633,38	1250	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	
760,05	1500	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
886,73	1750	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
1013,4	2000	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
TW	2,08	14	8	15	25	43	58	96	168	254	332	424
	3,30	12	6	11	19	33	45	74	129	195	255	326
	5,25	10	5	8	14	24	33	55	96	145	190	243
	8,38	8	2	5	8	13	18	30	53	81	105	135

Nota: tomada de la (INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION INCONTEC)

**Calculo por regulación**

$$R\% = Fc \frac{Kg}{Vl^2} M$$

Donde:

M = Momento eléctrico. Se calcula como el producto de la potencia aparente en (kVA) y Longitud del tramo en metros (m).

VL = Tensión de la línea (V).

KG = Constante de regulación generalizada del conductor y se calcula como

$$KG = (r \cos\phi + XL \cos\phi)$$

Para este proyecto los porcentajes de regulación se describen en el siguiente cuadro el cual la caída máxima de tensión en porcentaje de 0,0146% cumpliendo con la normatividad vigente.

**Tabla 186** Regulación en baja tensión.

REGULACION EN BAJA TENSION									
	Longitud tramo (m)	# usuarios	Carga diversificada	Carga adicional	Carga x circuito (kVA)	Momento electrico (kVA x m)	Fases trafo	Tipo de red	Conductor
ACOMETIDA	8	1	1,80	5,00	6,80	54,40	3	FFFN	12 AWG
BOMBA	11	1	3,00	5,00	8,00	88,00	2	FFT	12 AWG
TOMAS	4	1	2,00	5,00	7,00	28,00	1	FNT	12 AWG
ILUMINACION	6	1	2,40	5,00	7,40	44,40	1	FNT	12 AWG

Nota: Elaboración propia

**Tabla 197** Regulación en baja tensión.

REGULACION EN BAJA TENSION								
f <sub>p</sub>	KG conductor	Voltaje	F <sub>c</sub>	K	Regulación %	Corriente	Ohm/km	PL %
0,87	28,00	220	1,00	0,0005785124	0,0314711	17,87	1,32	0,001705329
0,85	28,00	220	1,00	0,0005785124	0,0509091	21,02	2,1	0,001705329
0,9	28,00	220	1,00	0,0005785124	0,0161983	18,39	2,1	0,001705329
0,9	28,00	220	1,00	0,0005785124	0,0256860	19,44	2,1	0,001705329
				TOTAL	0,1242645		total % PER	0,001705329

Nota: Elaboración propia

### Elaboración de diagramas unifilares

Los diagramas de este diseño se encuentran en el anexo 1 en el pdf de donde se obtiene una mejor visualización.

## **Distancias de seguridad requerida**

Teniendo en cuenta que frente al riesgo eléctrico la técnica más aplicada y eficiente es tomando las medidas de prevención, en la cual siempre debemos guardar una distancia en donde se encuentren estas instalaciones, esto también implica que el propietario de cada instalación debe garantizar las distancias mínimas debemos tener en cuenta nuestro nivel de tensión, en el reglamento técnico de instalaciones eléctricas nos especifica lo siguiente:

Cada instalación a la cual es aplicada el reglamento técnico de instalaciones eléctricas se debe clasificar en los siguientes niveles de tensión.

- a. Extra alta tensión (EAT):** Corresponde a tensiones superiores a 230 kV.
- b. Alta tensión (AT):** Tensiones mayores o iguales a 57,5 kV y menores o iguales a 230 kV.
- c. Media tensión (MT):** Los de tensión nominal superior a 1000 V e inferior a 57,5 kV.
- d. Baja tensión (BT):** Los de tensión nominal mayor o igual a 25 V y menor o igual a 1000 V.
- e. Muy baja tensión (MBT):** Tensiones menores de 25 V.

Para el análisis y coordinación de aislamiento para esta instalación eléctrica se tiene en cuenta el cumplimiento de las distancias en los equipos y dispositivos de media tensión según la siguiente table que se encuentra en el RETIE en el capítulo 13 (Republica de Colombia Ministerio de Minas y Energia, 2013):

**Tabla 208** Tensión Nominal del sistema

Tensión nominal del sistema (fase – fase)	Límite de aproximación seguro [m]		Límite de aproximación restringida (m) Incluye movimientos involuntarios.	Límite de aproximación técnica (m)
	Parte móvil expuesta	Parte fija expuesta		
50 V – 300 V	3,0	1,0	Evitar contacto	Evitar contacto
301 V – 750 V	3,0	1,0	0,30	0,025
751 V – 15 kV	3,0	1,5	0,7	0,2
15,1 kV – 36 kV	3,0	1,8	0,8	0,3
36,1 kV – 46 kV	3,0	2,5	0,8	0,4
46,1 kV - 72,5 kV	3,0	2,5	1,0	0,7
72,6 kV – 121 kV	3,3	2,5	1,0	0,8
138 kV - 145 kV	3,4	3,0	1,2	1,0
161 kV - 169 kV	3,6	3,6	1,3	1,1
230 kV - 242 kV	4,0	4,0	1,7	1,6
345 kV - 362 kV	4,7	4,7	2,8	2,6
500 kV – 550 kV	5,8	5,8	3,6	3,5

Tabla 13.7. Distancias mínimas para trabajos en o cerca de partes energizadas en corriente alterna

### Implementación de los planes de mantenimiento para los equipos

Es el conjunto de tareas que se deben realizar en una instalación con el fin de brindar una mejor seguridad y funcionalidad de cada equipo los planes de mantenimiento se deben realizar ya que gracias ello los equipos pueden funcionar de una manera más correcta lo cual nos brinda seguridad esto a la empresa le implica que los equipos extenderán su vida útil en cada instalación debido a ello se da rendimiento de los recursos de activos en uso, los planes de mantenimiento que vamos a aplicar englobaran este tipo de actividades:

- Las actividades programadas que se realizan a lo largo del año.
- Imprevistos por fallas en un equipo.

Mantenimiento Predictivo: este tipo de mantenimiento se enfoca en abordar las condiciones y en qué estado se encuentra el funcionamiento del equipo nos permitirá determinar si se está obteniendo un desempeño bajo, normal y alto, con base a esto podremos ver si existen averías corrosión y si coloca en riesgo los demás implementos cercanos dando como resultado la

falla del equipo completo, para ello se tendrá un control de las condiciones en las que se garantice que sean óptimas.

Mantenimiento correctivo: este tipo de mantenimiento nos permite reparar las averías o dañadas observados en los equipos y de esta manera realizar su respectiva corrección de tal manera siempre se brinden las condiciones más estables para el buen funcionamiento.

### **Duración del mantenimiento:**

La estimación de la duración dependerá del tipo de actividad que se desarrolle se asume una estimación de forma aproximada por si ocurre algún imprevisto.

### **Máquina parada o en marcha:**

Para poder desarrollar las actividades se debe implementar que el operario cuente con los elementos apropiados de seguridad, y de esta manera se pueda proceder con el plan de mantenimiento a implementar, este mantenimiento lo aplicamos en caso de que este muy próximo a suceder un fallo o que ya sucedió, estos mantenimientos necesitan de priorización ya que si no se realizar pueden surgir costos más grandes que la reparación de los mismo (INSTITUTO RENOVETEC DE INGENIERIA DEL MANTENIMIENTO (IRIM), 2021)



## CONCLUSIONES

Basado en la investigación realizada, Colombia se encuentra en una posición favorable en temas de generación con energías renovables, ya que su matriz es considerada una matriz limpia debido a que su generación eléctrica es realizada mayormente con hidroeléctricas. Sin embargo, las energías alternativas no tenían una gran participación dentro de esta matriz debido a las variables que en su momento eran menos viables y entre las que se destaca el costo de dichas tecnologías, que resultaba poco competitivo y desmotivaba la implementación de este tipo de proyectos. Pero, también es cierto que, a partir de la normativa implementada a favor de las energías no convencionales, estas se volvieron más atractivas, sumado a que las investigaciones realizadas a través del tiempo han llevado a reducciones considerables desde distintos puntos de vista teniendo en cuenta todo tipo de las variables como lo fueron las técnicas, juntos con las condiciones del terreno y disponibilidad del recurso la más destacada para la implementación de estos diseños fue el costo, lo que en conjunto ha apalancado la generación con renovables no convencionales en Colombia.

Por otro lado, debe resaltarse que se espera que en los próximos años continúe creciendo la participación de las energías renovables no convencionales en Colombia, debido a que en la reciente subasta se han adjudicado una serie de proyectos renovables para que entren en operación en los próximos años y a que este tipo de tecnologías se continúan apalancando desde el gobierno a través de normativas recientemente impuestas que complementan a las anteriores

ya instauradas, con el fin de incentivar la construcción de este tipo de proyectos y así diversificar aún más nuestra matriz eléctrica y cumplir con los objetivos de reducción de emisiones.

En el diseño desarrollado se tomó en cuenta cada selección dependiendo de las variables que requería el sistema entre ellas se encuentran lo que fueron las variables para selección el tipo de panel en las cuales debemos identificar cuáles son las mejores opciones para poder brindar una mejor eficiencia del diseño ya que cada uno de sus componentes es de mucha importancia como lo es el inversor el cual debemos saberlo seleccionar para no obtener sobredimensionamiento en el sistema, y con ellos aplicamos lo mismo en la selección de las baterías para saber a qué niveles dependiendo de las potencias que requerimos son de fácil manejo y mejor funcionamiento toda la selección de estos componentes me debe aportar el mejor rendimiento de esta manera nuestro sistema brindara un funcionamiento óptimo.

## REFERENCIAS

- Universidad autonoma de occidente, universidad de atlantico, . (14 de 04 de 2021). *correccion de factor de potencia y control de demanda* . colciencias colombia. Obtenido de <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Tecnologias/factor.pdf>
- (IRENA), I. R. (2020). *Renewable power generation costs in 2019*.
- Adler , F., Berardi , M., Garcia Pedrosa , M., Monteceli , F., & Morquecho , M. (2013). *Energia solar fotovoltaica*. Obtenido de <http://www3.fi.mdp.edu.ar/dtoelectrica/files/instalaciones-industriales/material/autogeneracion/renovables/solar/energia%20solar%202013.pdf>
- ANALISIS DE ARMONICOS Y FACTOR DE POTENCIA*. (s.f.). Obtenido de <https://es.slideshare.net/freddors/03-analisis-de-armonicos-y-fp-76276428>
- Arnol, D., & puello, A. (2006). *APLICACION DE LA NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 4552 DE PROTECCION CONTRA RAYOS EN LA UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR*. CARTAGENA DE INDIAS. Obtenido de <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0036267.pdf>
- Calero Pérez, R., Carta González, J. A., Colmenar Santos, A., & Castro Gil, M. A. (2009). *Centrales de energías renovables: Generación eléctrica con energías renovables*. España.
- Castejon Oliva, Agustin; Santamaria Herranz, German; Editorial Editex S.A. (s.f.). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Recuperado el 12 de DICIEMBRE de 2021, de [file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Instalaciones\\_Solares\\_Fotovoltaicas\\_Cast.pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Instalaciones_Solares_Fotovoltaicas_Cast.pdf)

Congreso de Colombia. (13 de 05 de 2014). POR MEDIO DE LA CUAL SE REGULA LA INTEGRACIÓN DE LAS ENERGÍAS. Obtenido de

[http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY\\_1715\\_2014.pdf](http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf)

Congreso de la Republica de Colombia. (10 de 07 de 2021). *congreso de la republica*. Obtenido de

<https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/LEY%202099%20DEL%2010%20DE%20JULIO%20DE%202021.pdf>

EMPRESA DE ENERGIA DE BOYACA S.A. (2018). *NORMAS DE DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA*. Obtenido de <https://www.ebsa.com.co/wp-content/uploads/normatividad/normas.pdf>

EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLIN. (2019). *Guía Metodológica: coordinación de aislamiento para redes*. Copyright. Obtenido de

[https://www.essa.com.co/site/Portals/clientes/Norma\\_Tecnica\\_Vigente/Normas\\_Complementarias\\_Dise%C3%B1o/GM-03%20GUIA%20METODOLOGICA%20COORDINACION%20DE%20AISLAMIENTO%20PARA%20REDES%20DE%20DISTRIBUCION.pdf](https://www.essa.com.co/site/Portals/clientes/Norma_Tecnica_Vigente/Normas_Complementarias_Dise%C3%B1o/GM-03%20GUIA%20METODOLOGICA%20COORDINACION%20DE%20AISLAMIENTO%20PARA%20REDES%20DE%20DISTRIBUCION.pdf)

Enel codensa. (s.f.). *CODENSA S.A. ESP*. Obtenido de

[https://likinormas.micodensa.com/Norma/cables\\_subterranos/camaras\\_ducterias/cs\\_generalidades\\_3\\_2\\_1\\_generalidades\\_camaras\\_ducterias](https://likinormas.micodensa.com/Norma/cables_subterranos/camaras_ducterias/cs_generalidades_3_2_1_generalidades_camaras_ducterias)

Esguerra, I., Lozano, L., Luz, V., & Acevedo, J. (2016). METODOLOGÍA PARA LA ESTANDARIZACION DEL MODELO NORMATIVO EN CENTRALES ELECTRICAS DE NORTE DE SANTANDER- GRUPO EPM. *Revista de administracion e ingenieria*, 4. Recuperado el 11 de 05 de 2021, de

[https://www.researchgate.net/profile/Juan-Acevedo-20/publication/332100040\\_METHODODOLOGY\\_FOR\\_STANDARDIZING\\_THE\\_NORMATIVE\\_MODEL\\_IN\\_CENTRALES\\_ELECTRICAS\\_DE\\_NORTE\\_DE\\_SANTANDER-GRUPO\\_EPM/links/5c9fa50ca6fdccd4604587c5/METHODOLOGY-FOR-STANDARDIZING-THE-NORMATIV](https://www.researchgate.net/profile/Juan-Acevedo-20/publication/332100040_METHODODOLOGY_FOR_STANDARDIZING_THE_NORMATIVE_MODEL_IN_CENTRALES_ELECTRICAS_DE_NORTE_DE_SANTANDER-GRUPO_EPM/links/5c9fa50ca6fdccd4604587c5/METHODOLOGY-FOR-STANDARDIZING-THE-NORMATIV)

FRONIUS. (s.f.). Obtenido de

<file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/MANUAL%20INVERSOR%20FRONIUS.pdf>

González, J.-A., Perez, R.-C., Colmenar, A., & Gil, M. (2009). *Centrales de energías*

*renovables, Generación eléctrica con energías renovables*. Madrid, España: PEARSON EDUCACIÓN, S.A. Recuperado el 20 de 11 de 2021, de

[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/49320392/Centrales\\_de\\_energias\\_renovables\\_generacion\\_electrica\\_con\\_energias\\_renovables-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/49320392/Centrales_de_energias_renovables_generacion_electrica_con_energias_renovables-)

[FREELIBROS.COM.pdf?1475511318=&response-content-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/49320392/Centrales_de_energias_renovables_generacion_electrica_con_energias_renovables-FREELIBROS.COM.pdf?1475511318=&response-content-disposition=attachment%3B+filename%3DCentrales_de_energias_renovables_Generac.pdf&)

[disposition=attachment%3B+filename%3DCentrales\\_de\\_energias\\_renovables\\_Generac.pdf&](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/49320392/Centrales_de_energias_renovables_Generac.pdf&)

GUARÍN, M. E. (2014). *DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL MOTOR DE*

*INDUCCIÓN*. Recuperado el 1 de 05 de 2021, de

<https://core.ac.uk/download/pdf/71398413.pdf>

Harper, G. (2004). *Guia practica para el calculo de instalaciones electricas* . Mexico: LIMUSA,

S.A . Recuperado el 11 de 05 de 2021, de

[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=\\_41ogGDDa3IC&oi=fnd&pg=PA18&dq=guia+de+normas+electricas+&ots=VT5X2QuQtK&sig=arnz8oUyuLqb4Sdhr\\_EUCXebgwU#v=onepage&q&f=true](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=_41ogGDDa3IC&oi=fnd&pg=PA18&dq=guia+de+normas+electricas+&ots=VT5X2QuQtK&sig=arnz8oUyuLqb4Sdhr_EUCXebgwU#v=onepage&q&f=true)

Ignacio, Sánchez; Alberto, Torres; Francisco Santamaría. (2013). *Comparación de las normas NTC 4552 de 2008 e IEC 62305 de 2010 para el análisis*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/tecn/v18n40/v18n40a09.pdf>

INCONTEC. (2015). *MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATORIAS. CLASES DE EFICIENCIA DE MOTORES AC DE OPERACIÓN EN LÍNEA (CÓDIGO IE)*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Recuperado el 13 de 05 de 2021, de <https://silo.tips/download/norma-tecnica-colombiana-5105>

*institución pública de apoyo técnico y científico al Sistema Nacional Ambiental*. (s.f.). Obtenido de IDEAM: <http://www.ideam.gov.co/>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION INCONTEC. (s.f.). *CODIGO ELECTRICO COLOMBIANO NTC 2050*.

*INSTITUTO RENOVETEC DE INGENIERIA DEL MANTENIMIENTO (IRIM)*. (10 de 04 de 2021). (Renove Tecnología S.L 2009-2015) Obtenido de <http://www.renovetec.com/irim/sobre-mantenimiento/planes-de-mantenimiento/que-es-un-plan-de-mantenimiento>

IRENA. (2021). *Agencia Internacional de Energías Renovables*. Obtenido de <https://www.irena.org/aboutirena>

Minenergía Colombia. (26 de 10 de 2021). *Minenergía*. Recuperado el 20 de 11 de 2021, de <https://www.minenergia.gov.co/web/10180/historico-de-noticias?idNoticia=24314285>

Olivera, F. (2019). *CCEEA*. Obtenido de CCEEA: <https://ccea.mx/blog/energia-solar-fotovoltaica/efecto-de-las-sombras-en-un-sistema-fotovoltaico>

Republica de Colombia Ministerio de Minas y Energia. (2013). *Reglamento Tecnico de Instalaciones Electricas*. Republica de Colombia Ministerio de Minas y Energia .

Recuperado el 1 de 05 de 2021

Segui, P. (2020). El impulso del Hidrogeno en Europa. *OVACEN*. Obtenido de

<https://ovacen.com/hidrogeno-verde-europa/>

Shuai, Z., aLinlin, L., aLei, Z., Zhuang, Y., & aJian, D. (01 de 12 de 2018). Un modelo de optimización para la utilización de la captura de carbono y la cadena de suministro de almacenamiento: un estudio de caso en el noreste de China.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.129>

UPME. (2018). Obtenido de

[https://www1.upme.gov.co/ServicioCiudadano/Lists/Glosario/AllItems.aspx?Paged=TR](https://www1.upme.gov.co/ServicioCiudadano/Lists/Glosario/AllItems.aspx?Paged=TRUE&p_ID=30&PageFirstRow=31&&View=%7B1A106BC0-50EC-4820-973C-964EC50D1EBC%7D)

[UE&p\\_ID=30&PageFirstRow=31&&View=%7B1A106BC0-50EC-4820-973C-964EC50D1EBC%7D](https://www1.upme.gov.co/ServicioCiudadano/Lists/Glosario/AllItems.aspx?Paged=TRUE&p_ID=30&PageFirstRow=31&&View=%7B1A106BC0-50EC-4820-973C-964EC50D1EBC%7D)

UPME. (2021). *Unidad de planeación minero energética*. Obtenido de

<https://www1.upme.gov.co/Entornoinstitucional/NuestraEntidad/Paginas/Quienes-Somos.aspx>