

**DESARROLLO DE UNA CENTRAL DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EN  
EDIFICIO EMPRESARIAL**

**AUTOR:**

**RICARDO RUEDA TOVAR 000268955**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
PIEDRECUESTA  
2020**

**DESARROLLO DE UNA CENTRAL DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EN  
EDIFICIO EMPRESARIAL**

**AUTOR:**

**RICARDO RUEDA TOVAR 000268955**

**Proyecto de grado para optar al título de ingeniero mecánico**

**DIRECTOR:**

**SANDRA PATRICIA CUERVO ANDRADE**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
ESCUELA DE INGENIERIA  
PIEDRECUESTA  
2020**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

A Dios y mi familia, la fuerza de mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

*Agradezco primeramente a Dios, el Ser supremo que me ha guiado desde mi infancia. A mis padres quienes se han empeñado por darme lo mejor con sus consejos, tiempo y dedicación me criaron hasta convertirme en el hombre que soy hoy. Mi hermana que me ha acompañado todo el camino, en travesuras y peleas nos hemos mantenido juntos. A mis profesores, jefes, parientes, amigos y todas aquellas personas que de una u otra manera me apoyaron, brindándome su cariño, guía, consejos y sabiduría. A todos los que creyeron en lo que podría convertirme, gracias.*

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
LISTA DE GRÁFICAS	12
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE IMÁGENES	15
LISTA DE ANEXOS	17
GLOSARIO	18
INTRODUCCIÓN	21
<b>1. ANTECEDENTES</b>	<b>23</b>
1.1. Impacto antrópico de las fuentes de energía convencional	23
1.2. Energías renovables	26
1.3. Energía solar fotovoltaica	27
1.4. Tendencia internacional	30
1.5. Historia en Colombia	31
<b>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>33</b>

<b>3. OBJETIVOS</b>	<b>36</b>
3.1. General	36
3.2. Específicos	36
<b>4. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>38</b>
<b>5. ALCANCE</b>	<b>40</b>
<b>6. MARCO TEÓRICO</b>	<b>41</b>
6.1. Objetivos de Desarrollo	41
6.1.1. Los objetivos de Desarrollo del Milenio	42
6.1.2. Los objetivos de Desarrollo Sostenible	42
6.2. El clima en Colombia	43
6.2.1. La radiación solar	45
6.2.2. Radiación promedio en Barrancabermeja	45
6.3. Energía solar fotovoltaica	47
6.4. Inversores	51

6.4.1. ¿Cómo funciona el inversor?	53
6.5. Transistores	55
6.5.1. Transistores de campo metal-óxido semiconductores (MOSFET)	56
6.5.2. Tiristores	56
6.5.3. Transistor bipolar de puerta aislada (IGBT)	57
6.6. Enphase Energy	58
6.6.1. Micro inversores	58
6.6.2. Envoy	59
6.6.3. Software Enlighten	59
6.7. Micro inversor vs. inversor central	60
6.8. Instalación de la central fotovoltaica: agentes y normativas	61
6.8.1. Unidad de planeación minero-energética (UPME)	62
6.8.2. Reglamento técnico para instalaciones eléctricas (RETIE)	63
6.8.3. Comisión de regulación de energía y gas (CREG)	64
6.8.4. Resolución CREG 030 de 2018	65

<b>7. METODOLOGÍA</b>	<b>68</b>
7.1. Estimar la demanda, área útil y acometida	69
7.2. Dimensionamiento de la central	71
7.3. Evaluación del desempeño del sistema	72
7.4. Certificación y dictamen	72
7.5. Conexión simplificada de auto generadores para entrega de excedentes de energía	72
<b>8. RESULTADOS Y ANÁLISIS</b>	<b>74</b>
8.1. Análisis técnico	74
8.1.1. Requerimientos de diseño	75
8.1.2. Cuadro de cargas	75
8.1.3. Revisión de la acometida	76
8.1.4. Área útil	78
8.1.5. Radiación promedio en Barrancabermeja	80
8.2. Diseño de la central	82

8.2.1. Selección de la tecnología	82
8.2.2.1 Paneles solares	83
8.2.2.2 Micro inversores	84
8.2.2. Paneles posibles	86
8.2.3. Diseño en software	87
8.2.4. Plano general, convenciones e indicaciones	89
8.4.2.1 Cableado	90
8.4.2.2 Cambio del totalizador	90
8.3. Instalación de los paneles	91
8.3.1. Esquema de trabajo y charla de seguridad	91
8.3.2. Delimitación de la zona de trabajo	93
8.3.3. Trabajos preliminares de instalación	95
8.3.4. Instalación de los micro inversores y del panel de protecciones	97
8.3.5. Instalación de los paneles solares y módulo Envoy	102
8.3.6. Cambio de contador y de disyuntor	105

8.4. Análisis del rendimiento de la central	108
8.4.1. Promedios de generación y radiación aprovechada	108
8.4.1.1 Cálculos del Promedio	108
8.4.1.2 Radiación aprovechable y radiación real aprovechada	111
8.4.1.3 Predicción del comportamiento de la central	112
8.4.2. Producción diaria	113
8.5. Certificación RETIE	118
8.5.1. Visita del ente certificador y pruebas del sistema	119
8.5.2. Dictamen	119
<b>9. CONCLUSIONES</b>	<b>121</b>
RECOMENDACIONES	125
CUADRO DE COSTOS	126
BIBLIOGRAFÍA	127
BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA	131
ANEXOS	132

## LISTA DE GRÁFICAS

	<b>Pág.</b>
Gráfica 1. Distribución geográfica de las reservas mundiales de petróleo	25
Gráfica 2. Tendencias internacionales en la instalación mundial de paneles fotovoltaicos	30
Gráfica 3. Curva de radiación anual	81
Gráfica 4. Radiación total vs. Radiación aprovechable	110
Gráfica 5. Radiación aprovechable vs. Radiación aprovechada	111
Gráfica 6. Comportamiento esperado de la central	113
Gráfica 7. Prueba de generación enero	114
Gráfica 8. Prueba de generación febrero	114
Gráfica 9. Prueba de generación marzo	115
Gráfica 10. Prueba de generación abril	116
Gráfica 11. Generación teórica vs. Generación real	117
Gráfica 12. Consolidado de generación mensual (enero-abril)	118

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Mapa de radiación por departamento	46
Figura 2. Absorción de la luz en celdas solares	47
Figura 3. Esquema de una célula solar y de un modulo fotovoltaico	48
Figura 4. Diagrama de instalación solar	49
Figura 5. Inversor central	51
Figura 6. Ondas utilizadas por inversores	52
Figura 7. Diagrama de un alternador	53
Figura 8. Mecanismo de un transistor	54
Figura 9. Transistor	55
Figura 10. Símbolo del transistor	55
Figura 11. Diagrama de un transistor MOSFET	56
Figura 12. Imagen y símbolo del transistor	57
Figura 13. Transistor IGBT	57
Figura 14. Disminución de rendimiento del inversor central	60

Figura 15. Sistema de micro inversores	61
Figura 16. Red de tres fases del edificio	76
Figura 17. Panel solar Trina Solar Half Cell	83

## LISTA DE IMÁGENES

	<b>Pág.</b>
Imagen 1. Visita del técnico electricista	77
Imagen 2. Caja de protección	78
Imagen 3. Placa de acceso al techo	89
Imagen 4. Charla de seguridad	92
Imagen 5. Delimitación de la zona de ascenso	93
Imagen 6. Tableado	94
Imagen 7. Anclaje de la línea de vida	94
Imagen 8. Línea de vida	95
Imagen 9. Anclajes de los rieles	96
Imagen 10. Instalación de los rieles	96
Imagen 11. Instalación de los micro inversores	97
Imagen 12. Base del micro inversor y micro inversor	98
Imagen 13. Instalación del panel de protecciones	99
Imagen 14. Conexión de los micro inversores	100

Imagen 15. Interconexión de los micro inversores	101
Imagen 16. Tubería de protección del cableado	102
Imagen 17. Izaje de los paneles	103
Imagen 18. Instalación de los paneles solares	104
Imagen 19. Circuito 3 instalado	104
Imagen 20. Instalación del Envoy	105
Imagen 21. Cambio de disyuntor totalizador	106
Imagen 22. Retiro de sellos del contador	107
Imagen 23. Cambio de contador	107
Imagen 24. Pruebas para certificación RETIE	120

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A. Historial de consumo y pago de servicios PSIG 2019	132
Anexo B. Cuadro de cargas PSIG S.A.S	134
Anexo C. Radiación mensual de Barrancabermeja	135
Anexo D. Plano general de la central	136
Anexo E. Eficiencia de los paneles solares	137
Anexo F. Generación solar diaria de la central	138

## **GLOSARIO**

### **SOL**

Es considerado el centro de uno de los Sistemas Planetarios, el Solar, dentro del cual está el planeta tierra y es considerado el principal foco calorífico y energético al ser un astro con luz propia. Tiene un radio de 696.000 km, con un diámetro de 1.392.000 km. Está compuesto por una variedad de elementos como hidrógeno, helio, carbono, nitrógeno, oxígeno, magnesio, hierro, entre otros. Gracias a sus características y funciones es posible la vida en la tierra.

### **RADIACIÓN**

En la ciencia física, se entiende como el efecto o emisión de energía o partículas materiales que se propagan a través del espacio. Posee diferentes naturalezas tales como la electromagnética, corpuscular, ionizante o solar.

### **ENERGÍA**

Hace referencia a la capacidad de un cuerpo para generar movimiento, un trabajo o una transformación. En este caso debe entenderse desde su definición física, donde se entiende como una magnitud abstracta propia del estado de un sistema físico. Tiene diferentes tipos, según la naturaleza de su acción, que pueden ser: Eléctrica, nuclear, mecánica, térmica, electromagnética, química y mecánica.

## **CORRIENTE ELÉCTRICA**

Hace referencia al movimiento de cargas libres, dado por el desplazamiento de electrones a través de un material conductor dentro de un circuito. De acuerdo con la naturaleza de esta circulación, se puede catalogar al flujo de corriente eléctrica genera como continua (CC) o alterna (CA).

## **CENTRAL FOTOVOLTAICA**

Se denomina así un complejo destinado a la obtención, transformación y suministro de energía eléctrica generado a partir de la radiación solar. Las instalaciones constan del empleo de sistemas fotovoltaicos, organizados a gran escala, y un inversor encargados de traspasar la corriente generada al sistema de red de distribución determinada.

## **RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO**

**TITULO:** DESARROLLO DE UNA CENTRAL DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EN EDIFICIO EMPRESARIAL

**AUTOR(ES):** Ricardo Rueda Tovar

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Mecánica

**DIRECTOR(A):** Sandra Patricia Cuervo Andrade

### **RESUMEN**

La energía solar fotovoltaica se ha convertido en el principal aliado del desarrollo sostenible en empresas y viviendas urbanas, debido al creciente interés por producir menos residuos de carbono, además de disminuir los costos por pagos de servicios públicos de energías generadas de manera convencional; algo que ha captado la atención de los negocios. PSIG S.A.S ha mostrado su deseo de hacer parte de las organizaciones que apuntan al desarrollo sostenible mediante la incorporación de energías renovables para la alimentación total de su edificio empresarial, apuntando así a reducir su huella de carbono, mostrando su compromiso con los objetivos de desarrollo sostenible. Por medio del estudio de cargas consumidas en un día laboral y las horas sol promedio que reciben las plataformas destinadas a este fin, se realiza el diseño e instalación del sistema de energía solar fotovoltaica en el lugar.

### **PALABRAS CLAVE:**

ENERGÍA SOLAR, CENTRAL FOTOVOLTAICA, ODS, DESARROLLO, SOSTENIBLE, EMPRESA.

## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** DEVELOPMENT OF PHOTOVOLTAIC CENTRAL IN A BUSSINES BUILDING

**AUTHOR(S):** Ricardo Rueda Tovar

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Mecánica

**DIRECTOR:** Sandra Patricia Cuervo Andrade

### ABSTRACT

Photovoltaic solar energy has become the main ally of sustainable development in companies and urban housing, with the interest to produce less carbon waste and also reduce the costs for payments of public services of conventionally generated energy which have captured the attention of Business market. PSIG SAS has shown its interest in being part of the organizations that aim at sustainable development by incorporating renewable energies for the total power supply of its business building, thus aiming to reduce its carbon footprint, showing its commitment to sustainable development goals and decrease internal costs for public service payments. The study of loads consumed in one working day is carried out, and the sun hours received by the platforms intended for this purpose and based on these, the design and installation of the photovoltaic solar energy system is carried out.

### KEYWORDS:

SOLAR ENERGY, PHOTOVOLTAIC CENTRAL, ODS, DEVELOPMENT, SUSTAINABLE, COMPANY

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad la consecución, explotación y transporte de energía es uno de los temas de mayor atención en las agendas políticas, económicas y sociales de cualquier nación. Los esfuerzos de cada país, desde hace varias décadas, han estado centrado en asegurar la cuota energética que les permita asegurar el estilo de vida que conllevan. Desde el hogar hasta la industria, la mayor parte de las actividades humanas depende de este recurso esencial, el cual ha sido obtenido de una variada gama de componentes.

Desde finales del siglo XVIII y comienzos del XIX, la obtención se centró en fuentes de energía no renovables como el petróleo y el carbón, al que se le suma de manera reciente el gas natural hacia finales del siglo XX. Sin embargo, desde los años 70's, la academia y otros sectores han venido advirtiendo acerca de los efectos adversos, las limitantes y los efectos negativos que poseen. Entre algunos de estos problemas, se puede señalar la inequidad social, incapacidad de acceso a servicios básicos, enfermedades e impacto grave al medio ambiente y el futuro agotamiento de estos recursos.

Si bien este tipo de detrimentos han estado presentes desde mucho antes, se han hecho más evidentes con la globalización y el crecimiento acelerado de su presencia. Lo que ha impulsado un interés mundial por transformar la vocación energética y la estructura social en torno a la misma. Bajo esta premisa, se han desarrollado diversos proyectos tanto académicos como prácticos, en torno a los beneficios, naturaleza y aplicabilidad de fuentes de energía no tradicionales.

Claro está, estas no deben interpretarse como una alternativa efectiva del 100% o que asegura el cubrimiento de todos los aspectos mencionados. Se puede decir que, como todo, esta opción acarrea algunas limitaciones como la estructura que requiere para conseguirse, la variabilidad dependiente de factores externos al hombre, la logística que implica llevarla a lugares remotos, etc. Sin embargo, estos

son esfuerzos valiosos que tratan de balancear las preocupaciones mostradas con alternativas factibles y menos dañinas.

En este orden de ideas se desarrolla el presente trabajo, el cual se centra en documentar el proceso de planeación, instalación y puesta en marcha de una central de energía solar fotovoltaica en un edificio empresarial. Se busca aportar un registro que comprenda las consideraciones teóricas que dan forma al diseño, para lo cual inicialmente se lleva a cabo una revisión bibliográfica que incluyen los aspectos de política, economía, física, historia y sociedad tocantes al uso de la energía solar fotovoltaica. Para seguir, se evidencia el paso a paso del proceso, desarrollado bajo las recomendaciones de las entidades regulatorias involucradas y la academia. Por último, se presentan los resultados del proyecto, elaborando una estimación sobre su posible desempeño a mediano y largo plazo, poniendo de plano los cálculos utilizados para este fin.

Finalmente, con base en esta información se busca realizar un contraste entre lo esperado y lo obtenido, interpretando las conclusiones a la luz del debate vigente sobre el uso de energías limpias. Desde el campo científico, se pretende demostrar la factibilidad y ventajas de la sustitución energética, teniendo en cuenta la problemática expuesta con anterioridad. Es importante demostrar esto mediante el aporte de resultados reales, recolectados en situaciones tangibles que trascienden el plano de lo teórico y académico, hacia escenarios de la vida diaria.

## **1. ANTECEDENTES**

La tendencia global orientada a la búsqueda de fuentes de energía no tradicionales conlleva una serie de efectos en diversas áreas dada la naturaleza de su propuesta. El plan de instalar y poner en funcionamiento una central operativa de energía solar fotovoltaica, requiere arrojar luz sobre cada aspecto posible que le da forma e incide sobre el origen de su idea. Por ello, será necesario no sólo atender a los elementos técnicos o científicos del proceso, sino también a aquellas implicaciones teórico-prácticas que puedan surgir en el camino. La meta es cubrir una variedad de matices del espectro mismo, dando claridad a los conceptos, teorías e información que sea recolectada, analizada e interpretada en la investigación. Para esto, será necesario realizar una breve revisión bibliográfica que arroje luz sobre la historia, desarrollo, motivaciones y conceptos involucrados en el tema.

### **1.1 IMPACTO ANTRÓPICO DEL USO DE FUENTES DE ENERGÍA CONVENCIONAL**

En este punto vale retomar brevemente la razón del interés por las energías limpias y su historia. Es claro que el impacto antrópico y el comportamiento social del hombre, han generado la necesidad de buscar fuentes alternativas que provean, hasta donde sea posible, los medios para cubrir las demandantes necesidades humanas. En este orden de ideas, se debe revisar los motivos que de manera general han llevado a esta situación, atendiendo a la motivación que le subyace.

Si bien desde el inicio la humanidad ha estado inclinada por el uso de energías para sus actividades, no fue sino hasta la Revolución Industrial Inglesa que se intensificó la explotación de fuentes tradicionales no renovables como el carbón, petróleo y gas [1]. Esto surge de la mano con la invención de maquinaria y otros elementos para

cada nivel de vida, lo que permeó de manera contundente el comportamiento del hombre hasta entonces. Así, se comenzó a estructurar un modelo de funcionamiento social dependiente de estos avances, iniciando por la forma en la que las actividades domésticas y las industriales se acomodaron a este estilo de vida que entonces requeriría mayor cantidad de combustibles fósiles para su funcionamiento. Han sido cerca de dos siglos de construir costumbres culturales, económicas y políticas en torno a estas actividades influenciadas por esta historia.

Adicional a este cambio de vocación, se suma el creciente número de la población mundial. Una mayor cantidad de personas supone disponer de más fuentes para satisfacer las diferentes necesidades a que haya lugar, lo que ha generado una presión inmensa sobre los recursos naturales; no sólo en materia de energía, sino en todos los demás. Esto ha incidido en una acelerada disminución en la capacidad de recuperación, lo que agrava un panorama de extinción o agotamiento.

Por otro lado, se suma la tendencia netamente humana de explotar sin gran contemplación sobre la manera en se hace. En el proceso se van rompiendo lazos del medio ambiente, lo que ha alterado su curso natural y, pone al planeta entero, en una situación de inestabilidad. En otras palabras, lo que aquí se señala es como una serie de decisiones que parecen aisladas, terminaron por marcar el rumbo del comportamiento humano y la respuesta que el entorno ha tenido al mismo.

Los expertos han advertido acerca de la crisis energética, junto con la desaparición de sus fuentes extractivas. Si bien este último escenario parece estar considerablemente alejado, a la fecha cada país se encuentra inmerso en una lucha global contra las consecuencias que estas actividades han tenido en el presente y que siguen agravándose [1]. Tal como se puede apreciar en la gráfica 1, las reservas tienen un límite, sin considerar que el uso irresponsable y desenfrenado puede disminuir la capacidad estimada.

## Gráfica 1. Distribución geográfica de las reservas mundiales de petróleo



**6** Distribución geográfica de las reservas mundiales de petróleo (unos 91.000 millones de toneladas, el 1° de enero de 1973).

Reservas mundiales (1) en 1971	Año de agotamiento de las reservas	
	Previsiones optimistas (2)	Previsiones pesimistas (3)
<b>CARBON</b> 6.641.200 millones de toneladas	2500	2083
<b>PETROLEO</b> 76.200 millones de toneladas	2100	1992
<b>GAS NATURAL</b> 49.900.000 millones de metros cúbicos	2015	1994
<b>URANIO</b> 761.400 toneladas	Se agotarán entre 1980 y finales de siglo pero pueden aumentar enormemente con la introducción de los reactores nucleares de regeneración rápida. Las reservas podrían ser prácticamente ilimitadas si se empleara la fusión nuclear a base de deuterio.	
<b>ENERGIA HIDROELECTRICA</b>	Su uso potencial es relativamente limitado, pero como fuente de energía es inagotable.	

(1) Anuario Estadístico de las Naciones Unidas de 1972.

(2) King Hubbert, Scientific American, septiembre de 1971.

(3) Los límites del crecimiento, Informe del Club de Roma, 1972.

Gráfico tomado de L'Énergie, revista del Ministerio de Desarrollo Industrial y Científico de Francia, París.

Fuente: Harry Lusting, *La energía en el mundo. Lo que el sol nos permite*. P.6

Hay motivos de diferentes naturalezas para estas crisis inminentes, tales como la sobreexplotación del recurso, guerras comerciales y su progresivo incremento en los costos generales de producción [2] [4]. Pero no es solo este escenario el que preocupa, sino también los cambios que se han ido suscitando históricamente como resultado de su extracción, transporte y consumo. Situaciones como la contaminación del aire y fuentes hídricas, deforestación, pérdida de fauna, calentamiento global además de sus repercusiones en la sociedad como mayor inequidad económica, nuevas enfermedades, guerras políticas y comerciales, etc. [5]. Todo esto ha llamado la atención sobre el deber de cambiar, si no la estructura completa, por lo menos los conductos y costumbres alrededor de esta. Se ha vuelto pertinente establecer alternativas de generación factibles, cuyo impacto sea reparable y menor, además de viabilizar el cubrimiento de las necesidades básicas que apremian al hombre [2].

## 1.2 ENERGÍAS RENOVABLES

Estas fuentes alternativas están lejos de ser desconocidas, pues como se mencionó anteriormente, de antaño la humanidad ha encontrado la manera de proveerse los medios para suplir sus necesidades y apoyar todo tipo de actividades. Algunas de estas energías son: la eólica obtenida del viento, la hidráulica proveniente del agua, biomasa que se compone de diversos elementos vegetales, la geotérmica que es el calor interno de la tierra y la fotovoltaica proveniente de la irradiación solar. Cada una, de diversos orígenes, posee también usos muy variados, presentando ventajas y desventajas en su implementación.

En general, se define como energía renovable a toda aquella que se produce de manera continua y es inagotable a escala humana [3]. Se diferencia de las tradicionales por la naturaleza de su creación, ya que los combustibles fósiles llevan miles de años en formarse y la energía nuclear depende de los constantes avances científicos para su refinamiento [1]. Asimismo, presentan una variedad de ventajas en su obtención y uso, desde la capacidad eléctrica que pueden generar, la facilidad comparativa de llevarla a lugares alejados [6] y, principalmente, el menor costo ecológico que representan al planeta, pues *“el impacto medioambiental en la generación de electricidad de las energías convencionales es 31 veces superior al de las energías renovables”* [3].

No obstante, estas tienden a depender de otros factores como la ubicación geográfica, época del año, entre otros. Tienen una naturaleza variable sujeta a fuerzas externas al control del hombre, lo que puede suponer una inestabilidad en su obtención. También está una consideración en torno a la infraestructura que requiere frente a la densidad de potencia obtenida; es decir que, para conseguir una cantidad considerable de energía, se necesita de una mayor cantidad de elementos y espacio para su funcionamiento, lo que se mide en comparación con sus partes contrarias. Por ello, cabe agregar que, si bien son conocidas por sus ventajas

comparativas frente a las tradicionales, no por esto escapan de tener desventajas o que sean 100% perfectas en el proceso.

Aun con esto, se ha trabajado bajo la premisa de buscar opciones más seguras y estables en el tiempo, desde donde se trata de estimular, no sólo el interés, sino la adopción real de estas alternativas que modifiquen la estructura actual de generación. En esta línea de interés ha surgido un apoyo importante por el uso de la energía solar fotovoltaica, como herramienta para generar corriente desde la pequeña hasta la gran escala. La promoción de estas energías no significa una especie de solución utópica capaz de suplir todo sin generar un costo a cambio, pero si se estima como una alternativa más viable, sana y con un impacto significativamente menor al de sus contrapartes. Sobre la base de este fundamento se desarrolla la propuesta de este trabajo, su implementación en la práctica y los resultados obtenidos del proceso.

### **1.3 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA**

La energía solar fotovoltaica es una fuente energética basada en la transformación de la radiación del sol en electricidad. Es, por tanto, un tipo de energía limpia por no generar contaminación en su generación y es renovable ya que proviene de un medio natural, constante e inagotable. La concepción general de su utilidad suele ser subestimada, pues muchos creen en que no tiene la misma capacidad de provisión de las centrales eléctricas tradicionales. Pero este concepto es erróneo y mitificado, pues tanto la opinión profesional como los resultados prácticos demuestran lo contrario [1]. Entre las diversas ventajas que tiene, se cuenta su increíble capacidad de proveer la energía necesaria, algunos incluso afirman que “el Sol provee la energía necesaria para sostener la vida en nuestro Sistema Solar. En una hora la Tierra recibe suficiente energía solar para satisfacer la demanda que

se necesita para la producción de un año. En otras palabras, esto es cerca de 5000 veces la energía que la Tierra produce de todas sus fuentes energéticas” [7].

Respecto a sus orígenes científicos o académicos, el estudio fotovoltaico data desde 1839, año en el que fue por primera vez reconocido por el físico francés Alexandre-Edmond Becquerel, cuando condujo un experimento con una pila electrolítica [4]. En sus estudios detallo el hecho de que algunas soluciones líquidas presentaban un aumento en la conductividad al estar expuestas a la luz del sol [8]. Así, mediante su investigación acerca del espectro solar, electricidad, magnetismo y la óptica, construyó las bases científicas del fenómeno físico de la energía solar fotovoltaica.

A partir de estos primeros indicios, la historia de la energía solar fotovoltaica ha estado marcada por un desarrollo constante y gradual, puesto que existe una gran variedad de estudios y aportes que han contribuido al tema hasta la actualidad. Un punto de inflexión de gran importancia vino de la mano de Charles Fritts, inventor de origen norteamericano, quien en 1889 construyó la primera celda solar fotovoltaica utilizando una fina capa de Oro y Selenio, usado como semiconductor, alcanzando el 1% de eficiencia. Pero, debido a su alto costo de producción la función de esta primera celda derivó su uso en sensores de luz para cámaras fotográficas. Se cree que este invento estuvo basado en el trabajo “Efecto de la luz sobre el selenio durante el paso de una corriente eléctrica”, publicado en la revista Nature en 1873 por el ingeniero británico Willoughby Smith [8].

Una de las investigaciones de mayor peso en la evolución de estos estudios fue la del físico alemán de origen judío Albert Einstein. En 1905 publicó una serie de artículos que, si bien en su momento hacia falta completarlos, sentaban las bases de importantes teorías físicas que siguen vigentes a la fecha. El primero de estos artículos, llamado “Un punto de vista heurístico sobre la producción y transformación de luz”, propone la idea de los cuantos (fotones) para explicar el efecto fotoeléctrico. Descubre que mediante el uso de luz violeta, los fotones tienen la capacidad de atraer los electrones del metal y producir corriente eléctrica.

De aquí en adelante, se ejecutaron un considerable número de estudios que fueron aumentando el grueso de la producción académica y teórica en este campo, junto con experimentos e inventos que han buscado refinar las técnicas o métodos necesarios que logren un continuo desarrollo del campo. En esta línea, hacia el año 1940 fue construida la primera celda solar de Silicio a manos de Russell Ohl, un inventor de origen estadounidense y quién 6 años después patentó su invento. A la fecha sigue siendo uno de los diseños pioneros y más utilizados en la industria. Casi una década después de su invención llega su época moderna donde, mediante la ejecución de algunos experimentos en el laboratorio BELLS, se descubrió accidentalmente que el Silicio con cierta cantidad de impurezas era más sensible a la luz [9]. Gerald Pearson, Daryl Chaplin y Calvin Fuller crearon las primeras celdas solares con una eficiencia del 6%, abriendo camino para diseños posteriores [8].

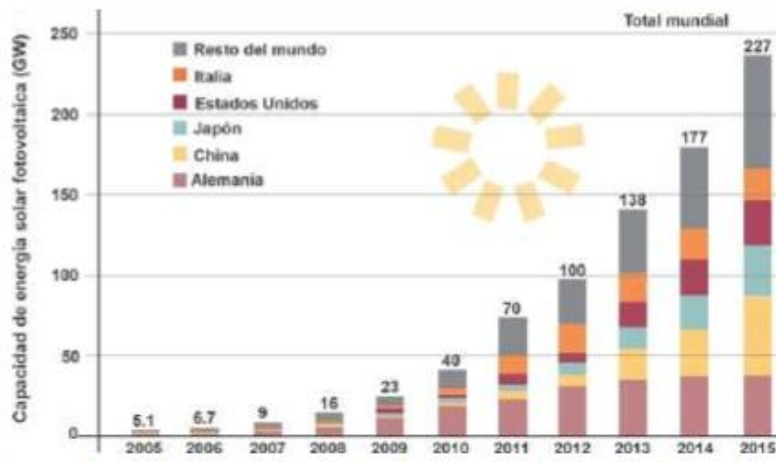
A partir de esto, las células fotovoltaicas empezaron a ser industrializadas, a la vez que se estimulaba su empleo y desarrollo en el ámbito académico. Grandes compañías incursionaron en su fabricación, siendo algunas como Western Electrics, National Fabricated Product, Hoffman Electronics, cada una en épocas y con intereses diferentes. Posteriormente se incluyeron en tecnología espacial, siendo el satélite Vanguard I el primero en usarlas hacia 1958 [8].

Si bien existen un sinnúmero de aportes que se pueden consultar, la realidad general de la materia es el innegable hecho de que, desde su descubrimiento e inventiva tecnológica, el uso de la energía fotovoltaica tiene una historia gradual pero constante. El número de aportantes y participantes es cada vez mayor, creando un flujo heterogéneo de información orientada a expandir, refinar y estimular la aplicación de la energía de esta naturaleza. El crecimiento de esta producción viene marcado por las tendencias en otros sectores apoyados en el creciente interés por fuentes de energía renovables, las necesidades de proteger el medio ambiente y factores de carácter económico para asegurar y promover el empleo de la energía fotovoltaica desde el hogar hasta la industria.

## 1.4 TENDENCIA INTERNACIONAL

Desde el inicio del estudio fotovoltaico hasta el presente, ha existido un interés constante en la generación de electricidad mediante la radiación solar. Aun cuando su avance ha sido cauto y todavía posee varios problemas de logística que se discutirán más adelante, este ha mostrado una inclinación favorable hacia la expansión. Como lo reflejan las tendencias internacionales de la gráfica 2, las grandes potencias alrededor del mundo están optando por expandir la instalación de estos paneles, con el fin de balancear la creciente demanda energética. Así lo hacen notar países como Italia, Estados Unidos, Alemania, China y Japón, algunos de los cuales que procuran estar a la vanguardia de este tipo de desarrollos.

**Gráfica 2. Tendencias internacionales en la instalación mundial de paneles fotovoltaicos**



Fuente: *La historia fotovoltaica*, p. 6, ETO

Esto evidencia la diseminación mundial del interés en la energía solar, pues solo hasta el 2006 se contaban con 3500MW de sistemas fotovoltaicos a nivel mundial [6]. Este crecimiento ha venido impulsado por la baja de precios en la fabricación de los módulos, además de pequeños incentivos que se otorgan por su utilización.

Todo en el contexto del creciente deseo por emplear fuentes renovables que aminoren el apresurado daño al medio ambiente y la brecha social cada vez más amplia, que le niega la posibilidad a muchos de acceder a este tipo de servicios por su lejanía geográfica. La evidencia abre una brecha para ser parte de esta tendencia, impulsando desde la academia y la industria una participación cada vez mayor de esta actividad como alternativa para suplir la demanda energética del mundo.

## **1.5 HISTORIA EN COLOMBIA**

En este escenario Colombia no ha sido ajeno al movimiento, aunque haya sido más lento en comparación con otras partes del mundo. La historia de la energía solar en el país, según algunos datos oficiales, inicia con los calentadores solares. Estos eran instalados para calentar el agua en un contexto doméstico, industrial o recreacional. Los primeros, de mediados del siglo pasado, estaban ubicados en Santa Marta en los hogares de los trabajadores. Gradualmente se fue dispersando hacia otras ciudades, pasando de las casas a los tejados de algunas empresas y entes gubernamentales [10]. Paralelo está el caso de los sistemas fotovoltaicos, los cuales empezaron a tener cabida en el plano nacional, aunque se limitó más hacia las zonas rurales o de difícil acceso.

Posteriormente, entidades académicas se unieron a esta creciente ola bajo un interés científico de exploración en estas alternativas. Así, la pionera fue la Universidad Industrial de Santander y, hacia la década de los 70's, se unieron la Universidad de los Andes, la Universidad del Valle, la universidad Nacional sede Bogotá, entre otras. La época de los años 80 fue la que mayor ampliación registró gracias a diversas innovaciones tecnológicas que llevaron a una instalación masiva de calentadores en zonas residenciales en Medellín y Bogotá. Adicionalmente,

surgieron empresas dedicadas a la fabricación e instalación de estos elementos, orientados a suplir la demanda nacional.

Este parece haber sido el paso más grande en el aprovechamiento de esta fuente energética, pero se vio desplazada por el gas natural debido a su ventaja comparativa en precio y densidad de potencia. De esta manera, desde mediados de los 90's hasta la actualidad, la energía solar fotovoltaica ha tenido un desarrollo modesto. Se puede apreciar en generación de electricidad a pequeña escala, reservas de menor tamaño o actividades agrícolas como el secado de sus productos y la destilación de agua no potable como la marina. Esto ha influenciado, en parte, un retraso tecnológico que a su vez ha estado amparado en la falta de políticas adecuadas, estrategias económicas y sociales que permitan un mayor avance en la adopción de estas alternativas. La falta de apoyo ha limitado el paso de la sola curiosidad académica hacia la aplicación práctica y real del caso.

Sin embargo, a pesar de esta ralentización existen esfuerzos constantes en el campo que buscan mejorar la aplicación tecnológica de esta tecnología. Se ha tratado, desde los diferentes sectores involucrados, en crear conciencia acerca de las ventajas de las energías limpias como sus beneficios en materia económica, social y de salud. Gracias a esto, poco a poco se ha logrado abrir la brecha e impulsar un número mayor de participantes e innovadores dispuestos a incluir, paso a paso, esta fuente energética en la vida diaria desde lo doméstico hasta lo industrial [10]. Esto invita a continuar trabajando en proyecto de I&D -investigación y desarrollo- factibles, que vayan de la mano con los avances, necesidades y posibilidades que surgen en el sector.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde el comienzo de su existencia, el ser humano ha estado en estrecha relación con la naturaleza, tomando lo que necesita de ella para su propia existencia. Así, toda estructura económica y social del hombre ha sido desarrollada en torno a la utilización de los recursos naturales para sus diversas actividades. Si bien las características de este trato varían de sociedad a sociedad, lo cierto es que se ha procurado mantener un balance que siga procurando la provisión de los elementos necesarios. No obstante, dichas relaciones se vieron notablemente alteradas en el curso de la historia a mano de, las así llamadas, revoluciones industriales.

Aunque han existido invenciones y avances de tiempos anteriores en este campo, las de mayor peso han sido aquellas las que tuvieron lugar en el s.XX. Estas, acompañadas de diversos avances e invenciones tecnológicas, conllevaron a un cambio radical en las actividades humanas, las cuales ahora se encuentran sujetas a una necesidad de consumo energético desbocado basado en el uso de fuentes de energía no renovable y altamente contaminante. De esta manera, las grandes industrias, en busca de satisfacer la demanda de productos y servicios, han suscitado un alto consumo energético proveniente de fuentes no renovables con lo cual incrementaban la contaminación ambiental.

A este panorama se le suma un crecimiento demográfico alarmante a nivel mundial, significando una mayor presión para el cubrimiento de las necesidades básicas en cada población. Esto ha generado una explotación cada vez más intensiva y, actualmente, la creciente demanda de energía ha favorecido el incremento del uso de fuentes no renovables de generación de energía observadas en las termoeléctricas del país. Proporcional al desempeño de estas actividades se ve el aumento de la contaminación ambiental, agotamiento de recursos, desplazamiento

de especies, extinción de algunas otras y, en general, daños considerables en el balance natural del planeta.

Se puede tomar el ejemplo de algunos de los megaproyectos de generación hidráulica que, a corto plazo, generan un impacto al cambiar el cauce de los ríos; al estancarlos se acaba con especies nativas y se inundan áreas boscosas las cuales al descomponerse liberan metano que es 25 veces más contaminante en relación al dióxido de carbono. Esto sin contar con daños colaterales a nivel económico y social, los cuales no son tomados en cuenta hasta que se evidencia su incidencia negativa sobre el asunto. Los costos de reparación, pérdidas, inequidad social y muchos más, nacen a raíz de estas actividades que no toman las precauciones o planes de contingencia adecuados al momento de ser llevadas a cabo.

Frente a esta problemática comenzaron a surgir en la década de los 70's, si no un poco antes aunque en menor medida, varios movimientos orientados a generar consciencia sobre el tema. Estas tendencias, hasta el presente, han procurado poner en el conocimiento general las graves consecuencias ambientales generadas, exigiendo a su vez reparaciones y medidas concretas sobre el asunto. Bien sea para reformar el modelo o cambiarlo totalmente, el interés se cierne sobre la búsqueda de alternativas menos dañinas y más seguras, tanto para la vida del planeta como para la misma existencia del ser humano.

En esta línea de interés desde el año 2012 la Organización de las Naciones Unidas (ONU) creó una agenda con 17 puntos llamados Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Estos fueron planteados para lograr el bienestar de la población mundial y, a su vez, proteger al mundo contra el cambio climático mitigando el impacto ambiental de las industrias mediante el uso de energías limpias y accesibles. Dentro de estos se resalta el objetivo 7: "energía asequible y no contaminante" [11], el cual es adoptado para la realización de este proyecto. Este logro en particular es de gran relevancia en países en desarrollo, con ciudades en las cuales no se tiene manejo

ambiental estricto y se requiere una alternativa para mitigar la huella de carbono de empresas y negocios.

A nivel mundial existen esfuerzos hacia este objetivo, los cuales con mayor o menor éxito, buscan sentar un precedente de la factibilidad de este tipo de proyectos y la urgencia en apoyarlos. Tal como se vio anteriormente, Colombia ha tenido algunas incursiones en este campo, pero han sido lentas y moderadas a comparación de otras naciones. Con base en la información científica disponible al respecto y el ejemplo de lo que sucede en otros lugares, se establece el deber de estimular la difusión y adopción real de estas alternativas energéticas. Es menester romper con los paradigmas en torno a esto y estimular un medio que, a futuro, generaría mayores beneficios de los que genera su contraparte.

Actualmente en el país han surgido algunos avances por parte de la unidad de planeación minero-energética (UPME), donde se han establecido múltiples beneficios tanto ambientales como tributarios. En estos se ofrece, desde certificaciones de reducción del impacto ambiental, hasta la disminución del 50% de los impuestos de renta declarados por la empresa durante los años siguientes a la instalación de la central de energía solar fotovoltaica. Claro está que estos proyectos deben ser avalados por la unidad de planeación minero-energética, una vez se verifique su cumplimiento de los requerimientos técnicos y legales del caso.

En este orden de ideas, la empresa PSIG S.A.S, ubicada en la ciudad de Barrancabermeja, mostró un particular interés por pertenecer al grupo creciente de empresas barranqueñas que optan por generar su propia energía. Su objetivo es el de disminuir su huella de carbono lo más posible, aprovechando el recurso abundante del lugar durante la mayor parte del año. También desean reducir sus costos por concepto de pago de servicios públicos y poder acceder a los beneficios tributarios ofrecidos por la Unidad de planeación minero-Energética, que es un incentivo a aquellas empresas que opten por incluir en sus proyectos energéticos con fuentes no convencionales de energía.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 GENERAL

- Estudiar, diseñar e implementar el montaje de una central de energía solar fotovoltaica en la empresa PSIG S.A.S en colaboración con la empresa GIMECOL S.A.S aliada de ENPHASE ENERGY, la cual es proveedora de la tecnología implementada. Esto con el fin de realizar una sustitución energética acorde con la normativa vigente y que permita a la empresa tornarse en un recinto auto sostenible, con posibilidades de reducción en costos de energía y pagos de servicios públicos.

#### 3.2 ESPECÍFICOS

- Estimar la demanda actual de energía de la empresa, realizando un análisis histórico de los consumos del año 2019, además de revisión del área útil para instalación de paneles y visita de acometida eléctrica.

**Resultado:** Requerimientos de diseño.

**Indicador:** Que el diseño supla el 100% del requerimiento.

- Dimensionar la central solar fotovoltaica autónoma satisfaciendo la demanda de la empresa en un 100%.

**Resultado:** diseño del sistema con capacidad de 100% del consumo de la empresa.

**Indicador:** Central diseñada según las normas para certificación RETIE.

- Evaluar el desempeño de la central solar fotovoltaica en la empresa PSIG S.A.S., verificando el correcto cumplimiento de la reglamentación y normatividad vigente (RETIE) para ser certificada por la UPME.

**Resultado:** Sistema instalado con debida aprobación y puesta en marcha.

**Indicador:** Se entrega el sistema de recolección generando al 100% de la capacidad requerida, cumpliendo con las normas de certificación RETIE con un mes de prueba posterior a la puesta en marcha para verificar su correcto funcionamiento.

#### 4. JUSTIFICACIÓN

Debido a la creciente preocupación sobre la naturaleza de las fuentes de energía, en el marco del deterioro ambiental y la futura escasez, resulta evidente la necesidad de implementar efectivamente alternativas para suplir la demanda energética constante. Es así como, entre muchas otras, las declaraciones aportadas por la asamblea de las Naciones Unidas, tomando la década de 2014-2024 como la década de la energía sostenible e iniciativas como las de la unidad de planeación minero energética para la implementación de energías limpias, demuestran la importancia de los Objetivos de Desarrollo sostenible en las agendas de todos los países del mundo [12].

Esto se constituye como una invitación clara para dar un salto de la teoría o la intención, hacia la materialización de medidas claras y concretas. No es algo que sólo le concierna a los actores de grandes niveles como el gubernamental y el industrial, sino que los cambios deben suscitarse desde las pequeñas y medianas empresas hasta el hogar. Instituir un modelo a seguir brinda ejemplo para atraer más participantes en esta iniciativa. Como se ha señalado, abanderar este movimiento tendrá repercusiones positivas en materia económica, social y ambiental que se puede ir expandiendo. Claro está, debe llevarse a cabo con cuidado y prestando especial atención al cumplimiento de los lineamientos, recomendaciones y procesos que puedan facilitar, en mayor o menor medida, acercarse al éxito.

La mejor forma de aplicar este proyecto en empresas es incentivando a sus gerentes por medio de la explicación de los beneficios que el Estado, junto con la unidad de planeación minero-energética, están proponiendo y otorgando. Pues no solo se disminuyen los costos en servicios públicos, al punto que sus facturas de electricidad pueden llegar en ceros haciendo la empresa independiente energéticamente, sino que crea la posibilidad de que se genere más electricidad de la consumida. Esto se puede obtener por medio de un contador bidireccional, para

que la compañía cogenera electricidad creando bonos a favor, que en términos monetarios, pueden ser usados cuando la misma empresa demande un mayor consumo de electricidad al requerido para este proyecto.

Adicional están las reducciones de un 50 % en los impuestos de renta deducibles a partir de la certificación de este proyecto ante la unidad de planeación minero-energética (UPME), lo cual genera una ventana de posibilidad para el aumento de los ingresos netos de la empresa. A esto se le agregaría el cumplimiento del objetivo de desarrollo sostenible (ODS) 7: “energía asequible y no contaminante”, toda vez que la empresa se certificaría ambientalmente. Esto la pondría en la lista de empresas que disminuyen su huella de carbono, reduciendo las 6.48 toneladas de Co<sub>2</sub> anuales que producía solo por su consumo de energía eléctrica antes de la implementación de este proyecto.

El paquete de ventajas que tendría la compañía implicada representa un estímulo lo suficientemente atractivo para que avalen la adopción del proyecto presentado. De este modo se acogen a beneficios políticos e incentivos económicos brindados por el Gobierno Nacional de Colombia y entran a ser parte de un grupo vanguardista de empresas denominadas como ambientalmente responsables o ecologistas. De manera indirecta obtendrían prestigio y publicidad entre futuros clientes que simpatizan con dicha labor, además de ir al frente con las nuevas corrientes ecologistas que brindan su apoyo a aquellos preocupados por esta labor.

## 5. ALCANCE

A través de la presentación y desarrollo del presente proyecto, en trabajo mancomunado con la empresa Gimeco solar, se pretende lograr el diseño, suministro, construcción y puesta en marcha de una planta solar fotovoltaica en un edificio empresarial de Barrancabermeja, Santander. Gimecol, aliado estratégico premium en Colombia de la multinacional Enphase Energy (líder en tecnología de sistemas fotovoltaicos), busca asegurar la fiabilidad y rigurosidad propias del proceso, aportando una impecable supervisión fundamentada en la respetable trayectoria que poseen.

Sin embargo, el alcance de este trabajo no se ve limitado solo a la implementación material de su propuesta, sino que abre el camino al debate sobre la apremiante necesidad por el cambio hacia fuentes de energía renovable. Con base en la evidencia científica y soporte de esfuerzos similares alrededor del mundo, se ha hecho cada vez más evidente la obligación del ser humano por transformar su vocación energética hacia otros modelos.

En este sentido, llevar a cabo este proyecto en una compañía sirve de ejemplo que abre puertas a que otros se interesan e instruyan al respecto. Desde los requerimientos técnicos, hasta sus repercusiones políticas, económicas, administrativas y sociales en el mediano y largo plazo. Esta tarea sea ha desempeñado con miras a un desarrollo sostenible, responsable, además de adecuado, que no por ello deje de lado las ventajas y oportunidades que trae para sus participantes.

## **6. MARCO TEÓRICO**

Ahora bien, en este punto se elabora el marco conceptual bajo el cual se deben entender las características técnicas y los elementos que le dieron forma al desarrollo del proyecto. La contextualización permitirá esclarecer los límites dentro de los cuales se han trabajado, atendiendo a cada detalle necesario que haga parte del proceso. En este sentido, se deben explicar los temas de política de energía, los elementos físicos para la construcción de la central, consideraciones del clima, otros aspectos relacionados a la ubicación geográfica del proyecto y la normatividad aplicable tanto a nivel regional como del país. Con todo esto se enmarcan los conceptos claves, las definiciones empleadas y otra serie de determinaciones que ponen en perspectiva los resultados y conclusiones finales.

### **6.1 OBJETIVOS DE DESARROLLO**

Se entiende por “los objetivos de desarrollo” a una serie de determinaciones establecidas, en Río de Janeiro en el 2010, durante una conferencia de las Naciones Unidas. En esta se sostuvo un debate en torno al desarrollo sostenible a nivel mundial, teniendo de fondo problemáticas como el cambio climático, inequidad social, deterioro medioambiental, entre otros. El propósito de este foro era el de crear un conjunto de metas y herramientas a ser adoptadas por los países asistentes. Estas estaban orientadas a contrarrestar los desafíos ambientales, políticos y socioeconómicos, a los cuales se enfrenta el mundo en la actualidad.

A continuación, se reseñan brevemente dos listados a saber: los objetivos de desarrollo del milenio (ODM) y los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), que representan el fundamento sobre el que la ONU ha trabajado. Representan, por

tanto, los esfuerzos de este ente supranacional en las últimas décadas para encontrar los medios de cumplir la agenda que les ocupa respecto al bienestar humano.

### **6.1.1 Los Objetivos de Desarrollo del Milenio**

Los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) fueron creados en el año 2000, tras una iniciativa mundial para enfrentar la situación indigna de pobreza que se presentaba hasta el momento de su creación. Estos representaban determinaciones medibles, acordadas mundialmente para luchar conjuntamente contra la pobreza extrema y el hambre, además de buscar la prevención de enfermedades mortales y la ampliación de la educación primaria de los niños, etc. A lo largo de 15 años, dichas precisiones vitalizaron el progreso en varios ámbitos importantes como la reducción de la pobreza, mejoramiento de la salud materna orientada a disminuir la mortalidad infantil y el suministro responsable de agua. Los OMD también lograron grandes avances en la lucha contra el VIH/SIDA, malaria, tuberculosis y otras enfermedades manejables.

A grandes rasgos, estos avances logrados desde su propuesta, han dejado un valioso aprendizaje y guía sobre la base de diversas experiencias recolectadas. Sin embargo, a pesar de que estos sentaron un importante precedente en la creación de nuevos programas y objetivos, la lucha para conseguir un mundo mejor está lejos de acabar. Según el programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, aun faltan esfuerzos conjuntos para lograr mayor equidad de género, mejora en servicios de salud y el cuidado del medio ambiente entre otras cosas.

### **6.1.2 Los Objetivos de Desarrollo Sostenible**

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son los actuales sustitutos de los ODM, con los que se comenzó el siglo XXI. Estos constituyen un acuerdo para para finalizar lo ya iniciado y resolver los problemas más críticos actuales a los que se

enfrenta el mundo. En total son 17 acápite relacionados entre sí, lo cual indica que el éxito o fracaso de uno afecta el de los demás. Los objetivos plantean la continuidad en la mejora de los servicios de salud, la lucha contra la pobreza extrema, la reducción de las desigualdades, entre otros.

Los ODS coincidieron con otros esfuerzos de esta índole, tales como el Acuerdo de París en la conferencia del cambio climático (COP21) celebrado en 2015 y el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres, firmado en Japón en marzo del mismo año. Dichas resoluciones constan de una serie de normas comunes con metas viables para mitigar las emisiones de carbono, proporcionando alternativas para el cuidado del medio ambiente. La finalidad es gestionar los riesgos vinculados al cambio climático, desastres naturales y enfermedades relacionadas [13].

## **6.2 EL CLIMA EN COLOMBIA**

Uno de los aspectos más destacados sobre Colombia, en materia de estudio de energías limpias, es la uniformidad del clima que presenta a lo largo del año. Esto se le atribuye al hecho de que el país se encuentra localizado en la línea del ecuador, por lo cual no se hacen especialmente notorios los cambios de hora en los que el sol sale o la noche cae y no existen las estaciones, como en la mayoría de países del mundo. La nación solamente cuenta con una temporada seca, que se manifiesta dos veces anualmente (de diciembre a enero y de julio a agosto) y una temporada de lluvia, que de igual manera se presenta en las dos lapsos restantes del año (de abril a mayo y de octubre a noviembre).

Aunque Colombia tiene estas dos temporadas definidas, no por ello el clima es uniforme a lo largo del territorio nacional. De hecho, posee una considerable variedad topográfica, lo que permite una gran variedad de paisajes, biodiversidad y

pisos térmicos. Para esto resulta útil aclarar, de manera breve, la naturaleza de algunos tipos de climas presentes en la región [14].

- a. Climas cálidos: en este tipo de clima la temperatura promedio supera los 24°C, como se puede observar en lugares como las costas caribe y pacífico, Archipiélago de San Andrés, la sabana colombiana y el nororiente del país, entre otros lugares.
- b. Climas templados: en estas zonas la temperatura promedio oscila entre los 17°C y los 24°C, como se puede apreciar en Medellín (llamada la ciudad de la eterna primavera), Cali, Bucaramanga y otras ciudades ubicadas en zona de altiplanos.
- c. Climas fríos: en estos lugares la temperatura suele estar entre los 12°C y los 17°C en promedio, como el caso de la capital Bogotá D.C, Tunja, entre otras.
- d. Páramos: en Colombia existen gran variedad de este tipo de ecosistemas, tales como el San Turban, Parque Nacional Natural Chingaza, páramo de Guerrero, páramo el Almorzadero, páramo de Sumapaz y otros. Allí las temperaturas suelen encontrarse entre los 12°C y los 6°C.
- e. Zonas glaciares: aquí las temperaturas descienden por debajo de los 6°C, como el caso del Parque Nacional Natural el Cocuy, El Nevado del Ruiz y la Sierra Nevada de Santa Marta.
- f. Selvas Tropicales: esta zona está caracterizada por su clima caluroso y húmedo. Por lo general las temperaturas superan los 27°C, como las registradas en el sur del país, Amazonas, Guainía, Caquetá, entre otros.
- g. Tropical de estepa: este clima es encontrado en la Guajira, donde las temperaturas son altas en todo el año, se registran pocas lluvias y hay escasa vegetación.

### **6.2.1 La radiación solar**

La energía radiante del sol, la cual es emitida a través del espacio interplanetario del mismo, es conocida como radiación solar. Esta situación se genera debido a que en el interior de la estrella se producen diversas reacciones químicas, además de pequeñas fusiones atómicas, que logran convertir la masa de esta estrella en energía. Esta viaja en forma de ondas electromagnéticas (radiación), a una velocidad promedio de 299.792 Km/s, a la cual se desplazan todas las ondas en el vacío, hasta llegar a nuestro planeta.

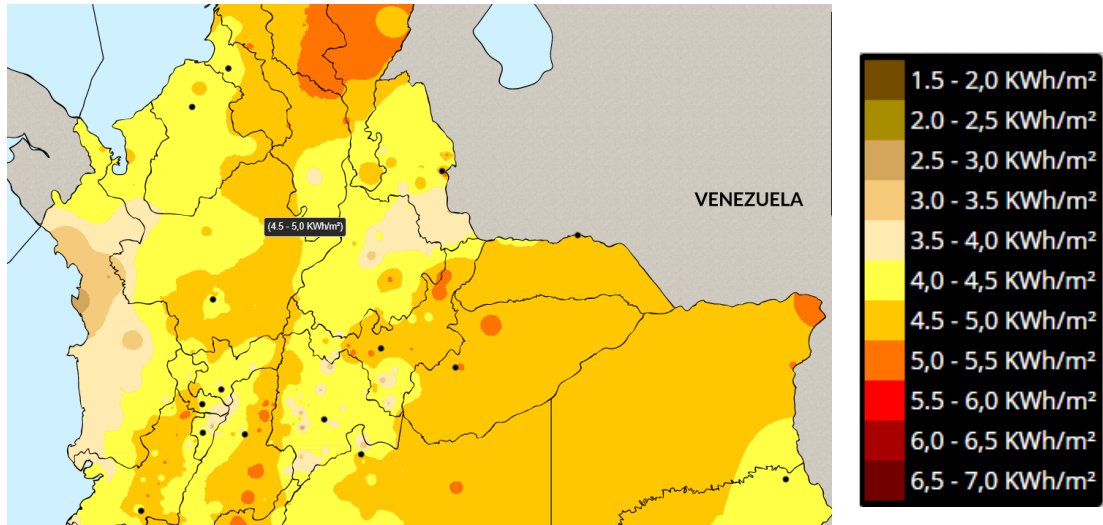
La radiación solar que recibimos es la responsable, ya sea directa o indirectamente, de una amplia gama de procesos y transformaciones necesarias que toman lugar para dar vida y forma a cada ser del Planeta Tierra. Entre estas manifestaciones se pueden señalar algunas como la fotosíntesis, la regulación de la temperatura terrestre y demás relacionados. Por tal razón, se afirma que es, básicamente, el responsable del funcionamiento del medio ambiente [15].

### **6.2.2 Radiación promedio en Barrancabermeja**

Ubicada al noroccidente del departamento de Santander y conformada por Betulia, el Carmen de Chucurí, Puerto Wilches, Sabana de Torres, San Vicente de Chucurí, Zapatoca y Barrancabermeja, se encuentra la provincia de mares. Llamada así en honor Roberto de Mares, hombre que consiguió la inversión extranjera para la explotación petrolera. Barrancabermeja, tomada como la capital de esta provincia, es conocida ampliamente por sus pozos petroleros, ecoturismo y actividades acuáticas como deportes náuticos debido a su ubicación sobre una de las cuencas del Río Magdalena [16].

Como se puede apreciar en el anexo C, correspondiente a datos oficiales del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el departamento de Santander se encuentra en una posición en la que surge una generación promedio entre los 4 y los 5 kW-h por metro cuadrado.

**Figura 1. Radiación por departamento en Colombia**



Fuente: IDEAM

En esta ciudad, conocida popularmente como la hija del sol, por motivo de su posición geográfica observada en la tabla no.1, la radiación solar se encuentra en el promedio de los 4.5 a 5 kW-h, lo que la hace propicia para la generación solar fotovoltaica.

**Tabla 1. Ubicación geográfica de Barrancabermeja**

<b>Latitud</b>	°N	7.067
<b>Longitud</b>	°E	-73.847
<b>Elevación</b>	m	831

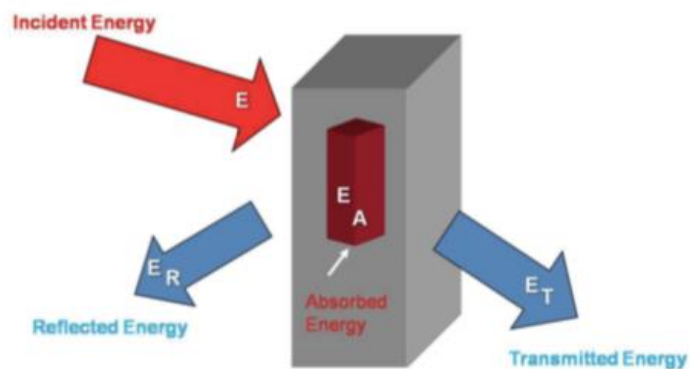
Fuente: Google maps

### 6.3 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La radiación solar tiene diferentes usos para las actividades humanas, entre los cuales está, pero no se limita a, la capacidad de ser transformada en corriente eléctrica para su aplicación doméstica e industrial. El principio físico que la rige es el efecto fotoeléctrico, gracias al cual determinados materiales poseen la capacidad de absorber haces de fotones, liberando electrones y generando una corriente eléctrica [17]. Si bien existen otros fenómenos naturales involucrados, como el efecto Compton y la producción de pares, hay tres fundamentos que permiten entender las bases de este fenómeno, de manera general estos son: 1. Generación de carga: excitación de los electrones, 2. Separación de la carga y 3. Colección de carga: depósito de la energía de los electrones en una carga externa [7].

Claro está, no toda la irradiación que se recibe se transforma en corriente eléctrica, como se ve en la figura 2, pues a nivel físico solo pasa una parte exitosamente una vez se cumplan los pasos anteriores. Este circuito, cuando es completado en los dispositivos fotovoltaicos, culmina en la generación de una corriente eléctrica continua que se produce y aprovecha en un mismo lugar, convirtiéndola en una fuente auto gestionada.

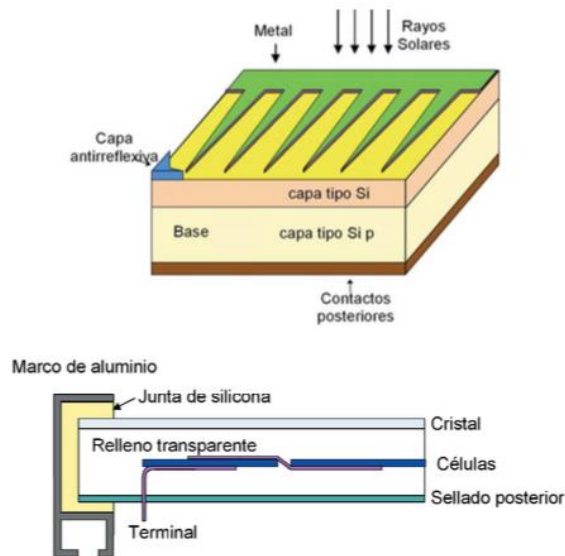
**Figura 2. Absorción de la luz en celdas solares**



Fuente: Imagen de dominio público

Este proceso se lleva a cabo con el uso de un dispositivo llamado célula fotovoltaica, compuesto por materiales semiconductores, similares a los empleados en los chips de los computadores, relojes, calculadoras, etc. El elemento común de estas es el silicio, cristalino y amorfo, el cual ha demostrado la capacidad de captar los fotones y convertirlos en corriente eléctrica [9], teniendo una función similar a la de una batería. A su vez, estas células se aglomeran para formar las celdas solares en paneles. Estos deben ser complementados con estructuras adicionales y otros compuestos, con el fin de construir una serie de módulos planos. A manera de referencia, en la figura 3 se puede apreciar una imagen del diseño convencional de ambos elementos. En la parte superior el de una célula fotovoltaica y en la parte inferior la manera en que usualmente se construyen las mismas celdas.

**Figura 3. Esquema de una célula solar y de un módulo fotovoltaico**



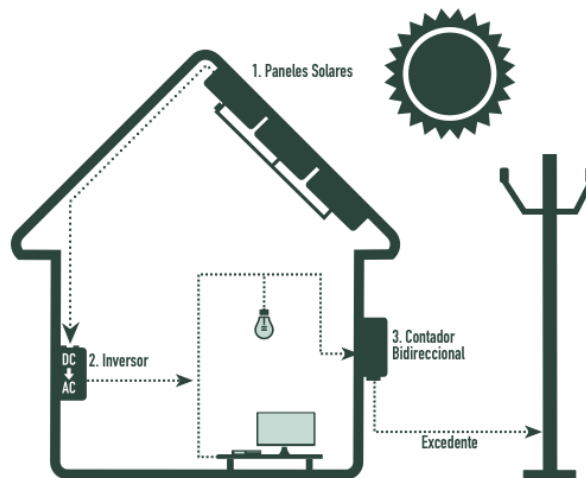
Fuente: *Energía solar fotovoltaica, grupo NAP.* p.16.

Las celdas solares se crean a partir de un proceso que consta de cinco fases: En la primera se obtiene el silicio como materia prima, siendo extraído de las minas para ser purificado posteriormente. En segundo lugar, este se funde para obtener unos lingotes los cuales pueden ser cilíndricos, en el caso que se requiera obtener silicio

mono cristalino, o cuadrados en el caso que se requiera obtener silicio poli cristalino. La tercera fase consta del recortado del lingote en finas laminas, llamadas wafers u obleas, sobre las cuales se realizan diferentes procedimientos químicos para obtener la llamada célula solar. El siguiente paso es el ensamblaje de la célula solar, siendo esta más fina que la cáscara de un huevo, a manos de maquinaria especializada para evitar daños en el material. Finalmente se obtiene el modulo solar, el cual es el conjunto de las células ensambladas e interconectadas.

Ahora, estos módulos estarían listo para ensamblarse y formar grandes estructuras de plantas eléctricas, como en la figura 4. Los paneles pueden ir ubicados desde un ángulo específico o pueden estar en movimiento, buscando la trayectoria del sol. Su finalidad, independiente de la manera en que estén diseñados, es la de adquirir, transformar y almacenar la mayor cantidad de radiación posible en un día [18]. Estos sistemas fotovoltaicos, como se denomina a la aglomeración de paneles, pueden ser instalados en techos, edificios o en medio de grandes extensiones terrestres, lo que permite proveer de energía desde el nivel doméstico hasta grandes facilidades eléctricas o actividades industriales.

**Figura 4. Diagrama de instalación solar**



Fuente: <http://www.americafotovoltaica.com/afv/wp-content/uploads/2015/01/diagrama-sistema-fotovoltaico-red3.png>

Los paneles solares funcionan tomando luz del sol para generar corriente directa, la es transferida y aprovechada por la mayoría de dispositivos electrónicos. Esta se origina en las celdas de silicio por medio de la transferencia de electrones en el material, después la corriente producida se lleva a un medidor encargado de cuantificarla y dirigirla a un disyuntor totalizador, desde donde se distribuye a la red del lugar en el que se encuentra instalada. Dado el caso de que se genere más de lo que se consume, existe la posibilidad de entregar el excedente a la red nacional de electricidad, por medio de un contador bidireccional [19].

Los paneles solares han ido aumentando su eficiencia a través del tiempo logrando una capacidad desde el 19% hasta el 21%. Estos se dividen en tres tipos:

- A. Panel solar mono cristalino:** este panel es, entre todos, el más eficiente. Aunque, con respecto al poli cristalino, es ligeramente más eficiente, su proceso de calentamiento es más lento y su fabricación requiere un costo energético más alto.
- B. Panel solar poli cristalino:** una ventaja del panel poli cristalino es que, con temperaturas elevadas la pérdida de eficiencia en los módulos es menor. También requiere menos tiempo para calentarse. Si bien es ligeramente menos eficiente que los monos cristalinos, su coste de fabricación energético es menor.
- C. Panel de silicio amorfo:** Este panel es el menos eficiente energéticamente hablando, pues alcanza máximo un 8% de eficiencia. No obstante suele ser utilizado para aplicaciones de cargadores portátiles y, a gran escala, en parqueaderos. Este último dado que, al ser los paneles de fabricación más grande, cubren mayor área y cumplen una doble función, generando electricidad y proveyendo sombra.

Los paneles vienen en una alta gama de eficiencias, que genera diferentes cantidades que watts según la marca y la eficacia. En este punto, la decisión depende del comprador al seleccionar, según costo-beneficio, el panel que mejor se le acomode a sus condiciones climáticas y necesidades de generación. [16]

## 6.4 INVERSORES

Los inversores son dispositivos electrónicos con la habilidad de transformar la corriente continua (CC) en corriente alterna (AC), a un voltaje y frecuencia específicos. Por ejemplo, si se tiene un electrodoméstico cualquiera que trabaje entre los 220 a 230V en corriente alterna (AC), pero no se tiene esa capacidad de corriente disponible en la red, es allí donde entra el trabajo del inversor mediante una batería 12V (CC) se puede alimentar el artefacto. Por esta razón, este elemento se considera clave en la alimentación de los dispositivos que funcionan con corriente continua.

**Figura 5. Inversor central**

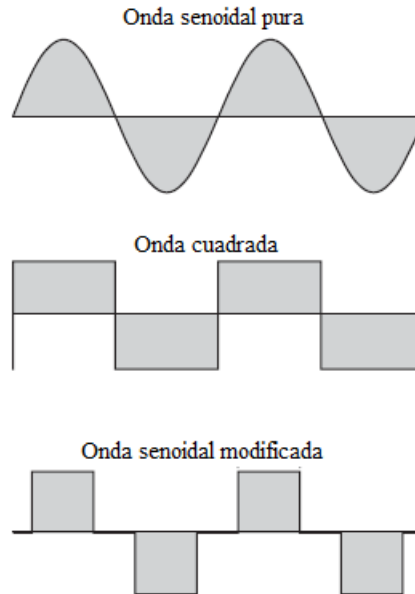


Fuente: [https://www.steren.com.co/media/catalog/product/cache/8a4fdc7d203276e60b54a94f4f1e185b/i/n/inve-rsor-de-corriente-de-12-vcc-a-110-vca.-de-1500-watts\\_x1.jpg](https://www.steren.com.co/media/catalog/product/cache/8a4fdc7d203276e60b54a94f4f1e185b/i/n/inve-rsor-de-corriente-de-12-vcc-a-110-vca.-de-1500-watts_x1.jpg)

Los inversores son mayormente utilizados en sistemas fotovoltaicos autónomos, para alimentar los dispositivos eléctricos y/o electrónicos en lugares remotos, por ejemplo, casas sin acceso a la red, refugios de montaña, barcos y demás. También tienen la posibilidad de ser empleados en sistemas fotovoltaicos conectados a la red, con el fin de entregar toda o parte de la energía producida por el sistema. Estos, además, pueden ser usados en aplicaciones de otros ámbitos de la ingeniería como controladores de velocidad de motores eléctricos. Los inversores más comunes

para alimentar cargas de corriente alternan son de tres tipos, típicamente clasificados de acuerdo con el tipo de ondas que estos utilizan, como se muestra a continuación:

**Figura 6. Ondas utilizadas por inversores**



Fuente: <https://www.mpptsolar.com/es/imagenes/guias/inversor/formas-de-onda-inversor.png>

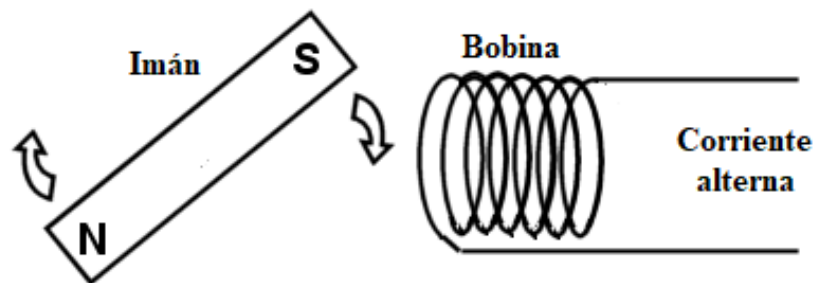
Así, los tipos de inversores pueden ser:

- **Inversor de onda cuadrada:** funcionan únicamente con cargas resistivas.
- **Inversor de onda sinusoidal pura:** funcionan para todo tipo de carga debido a que producen ondas sinusoidales iguales a la de la red doméstica.
- **Inversor de onda sinusoidal modificada:** este tipo funciona con cargas resistivas y capacitivas, también funciona con cargas inductivas, pero estas pueden hacer que el inversor produzca ruido.

#### 6.4.1 ¿Cómo funciona el inversor?

Para comprender el funcionamiento de un inversor se debe estudiar, en primer lugar, el concepto de un alternador. Este dispositivo eléctrico giratorio, representado en la figura 7, es el encargado de realizar la transformación de energía mecánica en energía eléctrica, específicamente corriente alterna por medio del fenómeno natural llamado inducción electromagnética. Ejemplo de ello sería un dinamo, el cual se compone sencillamente de una bobina de alambre, generalmente de cobre, y un imán giratorio al lado. La corriente alterna se produce una vez los polos se acercan a la bobina y se crea una corriente inducida que fluye en dirección opuesta a la rotación del imán.

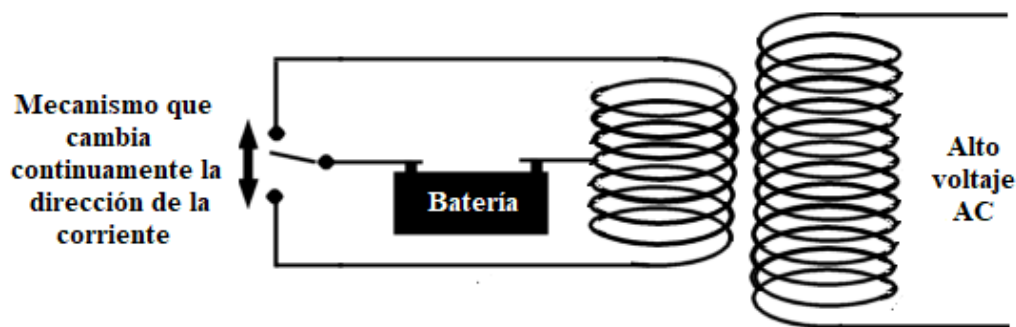
**Figura 7. Diagrama de un alternador**



Fuente: <https://www.mpptsolar.com/es/imagenes/guias/inversor/funcionamiento-alternador.png>

En segundo lugar, también se debe revisar la función del transformador, pues este es un dispositivo que, al igual que el alternador, produce corriente alterna inducida por bobina. Pero la diferencia radica en que en éste el campo magnético variable no es producido por un imán, sino que lo produce otra bobina, denominada primaria, que tiene corriente alterna fluyendo a través de ella.

**Figura 8. Mecanismo de un transformador**



Fuente: <https://www.mpptsolar.com/es/imagenes/guias/inversor/funcionamiento-transformador.png>

Cada una de estas bobinas, primaria y secundaria, tienen corriente alterna fluyendo dentro de ellas, llevándolas a comportarse como imanes produciendo un campo magnético, de manera tal que, si la dirección en que fluye la corriente cambia, la polaridad igualmente lo hace. La utilidad de este dispositivo es que la tensión albergada en la bobina secundaria no necesariamente es la misma a la tensión en la primaria. En el caso de que la secundaria se encuentre compuesta por un doble bobinado, es decir, que tenga el doble de giros de la bobina primaria, la tensión allí será el doble del voltaje que se aplica en la otra. Sobre esta base, se afirmaría que se puede producir la tensión que se desee variando el tamaño de las bobinas.

Ahora bien, dado que no se utilice corriente alterna en la bobina, sino que a cambio esta sea corriente continua, no se formará ninguna corriente inducida puesto que el campo magnético no varía. Por otro lado, si se realizan cambios intermitentes y rápidos de dirección en la corriente, en ese caso se habrá creado un inversor sencillo pero funcional. Resolviendo la incógnita de cómo sería esto posible, se llega al concepto del uso de los transistores y sus más avanzados y eficientes descendientes los transistores de campo metal-óxido-semiconductores "MOSFET", los tiristores o los transistores bipolares de puerta aislada (IGBT) [20].

## 6.5 TRANSISTORES

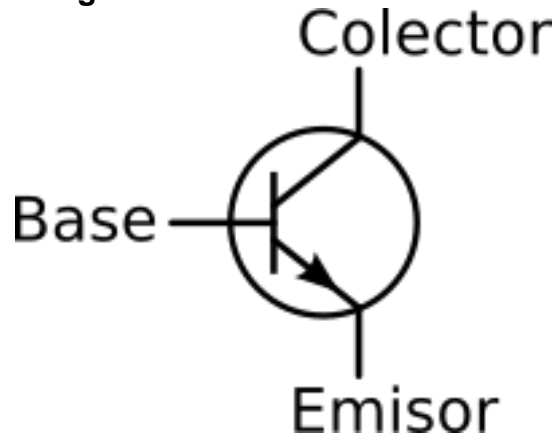
Los transistores son unos pequeños dispositivos electrónicos semiconductores, apreciables en las figuras 9 y 10. La función de estos es entregar una señal de salida en respuesta a la señal entrante, es decir, cierra o abre un circuito. Actualmente, estos elementos se encuentran integrados en casi todos los dispositivos electrónicos ya sean computadores, teléfono, televisores, reproductores de audio y video, etc.

**Figura 9. Transistor**



Fuente: <https://www.hwlibre.com/wp-content/uploads/2019/05/2n2222.jpg>

**Figura 10. Símbolo del transistor**

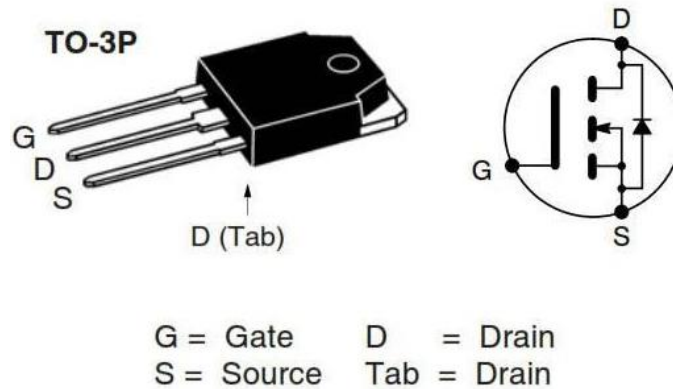


Fuente: [https://iesmiguelhernandez.es/moodle2/pluginfile.php/27982/mod\\_page/content/52/nombres-terminales-transistor.png](https://iesmiguelhernandez.es/moodle2/pluginfile.php/27982/mod_page/content/52/nombres-terminales-transistor.png)

### 6.5.1 Transistores de campo metal-óxido-semiconductores (MOSFET)

Este pequeño dispositivo posee cuatro terminales llamadas fuente, ordenador, puesta y sustrato, SDGB por sus siglas en inglés, cuya utilidad es la de amplificar o conmutar señales electrónicas. Actualmente es el tipo de transistor más popular utilizado en la industria de la microelectrónica [21].

**Figura 11. Diagrama de un transistor MOSFET**



Fuente: [https://www.electronicoscaldas.com/3219-thickbox\\_default/transistor-mosfet-de-potencia-nte2377.jpg](https://www.electronicoscaldas.com/3219-thickbox_default/transistor-mosfet-de-potencia-nte2377.jpg)

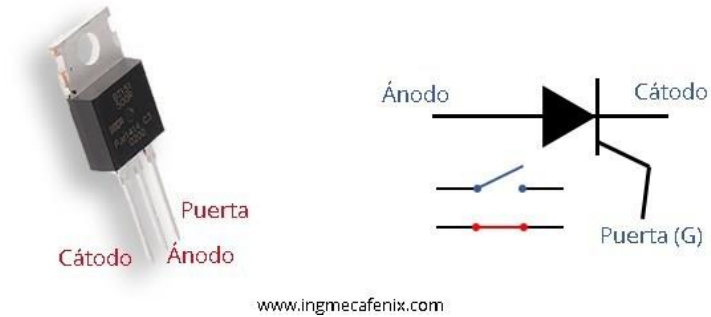
### 6.5.2 Tiristores

El tiristor, figura 12, es un dispositivo semiconductor de potencia, conocido como tal ya que es utilizado para manejar grandes cantidades de corriente y voltaje en comparación a otros semiconductores [22], siendo capaz de interrumpir o conducir la corriente eléctrica.

**Figura 12. Tiristor**

Tiristor real

Símbolo del tiristor

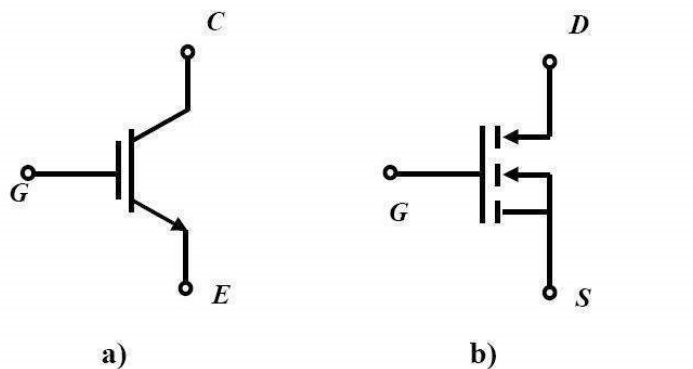


Fuente: <https://i0.wp.com/www.ingmecafenix.com/wp-content/uploads/2018/10/tiristor.jpg?w=600&ssl=1>

### 6.5.3 Transistor bipolar de puerta aislada (IGBT)

Este tipo de transistor, apreciado en la figura 13, es un componente diseñado para controlar altas potencias, su diseño es un compuesto de un transistor bipolar de unión (BJT) y un transistor de campo metal-óxido-semiconductor (MOSFET) [23], según se aprecia a continuación.

**Figura 13. Transistor IGBT**



Representación Simbólica del Transistor *IGBT*. a) Como *BJT*  
b) Como *MOSFET*

Fuente: <https://www.ecured.cu/images/8/87/simb.jpg>

## 6.6 ENPHASE ENERGY

*Enphase Energy* es una reconocida compañía de tecnología localizada en Fremont, California y que está especializada en el sector energético. Su actividad principal es el diseño y fabricación de dispositivos para la generación de energía solar fotovoltaica, los cuales ofrecen una solución alternativa a los requerimientos energéticos domésticos y empresariales. Esto se logra con la oferta de almacenamiento de energía, monitoreo y control por medio de un software que opera en la web y del cual se puede tener acceso desde un teléfono celular a través de la aplicación *Enlighten*.

Actualmente *Enphase* cuenta con más de un millón de instalaciones y han entregado alrededor de 20 millones de micro inversores alrededor del mundo. Suman una comunidad que genera alrededor de los 3.937.260.124 kWh, por medio de lo cual han logrado reducir un total, hasta la fecha, de 5.997.993.382.124 lb de Co<sub>2</sub>, según los datos brindados por la página web de la compañía. La empresa es reconocida como la pionera en el concepto de los micro inversores, siendo la primera en comercializar estos dispositivos en masa a nivel mundial. Empezando en Norte América, Australia, Europa y actualmente en Sur América, *Enphase Energy* sigue siendo líder en el mercado de los micro inversores [24]

### 6.6.1 Micro inversores

Siendo los pioneros en la tecnología del micro inversor, desarrollaron la idea de que este sistema convierta la energía de corriente continua, proveniente de los paneles solares, en energía de corriente alterna. Tal como lo hace un inversor central común, con la ventaja adicional de que estos dispositivos también transmiten la información sobre el rendimiento de cada panel por separado y que se encuentre dentro del sistema fotovoltaico. Esta recolección de datos se realiza por medio de internet, de manera que pueda ser monitoreada la generación real de la planta.

Este avanzado sistema cuenta con tres componentes:

1. Micro inversores.
2. Portal de comunicación Envoy.
3. Software Enlighten.

Los micro inversores son instalados debajo de cada panel solar y convierten la corriente continua en corriente alterna. También envían los datos de rendimiento al Envoy a través del cableado eléctrico del sistema [25].

### **6.6.2 Envoy**

El denominado **Envoy** es un dispositivo, desarrollado por *Enphase Energy*, que permite enviar datos de rendimiento de los paneles solares desde los micro inversores hasta la web. Transmite las actualizaciones del sistema en sentido contrario, desde la web hasta cada uno de los micro inversores, teniendo en ambos sentidos mayores beneficios y un óptimo servicio.

La conexión entre los micro inversores y el *Envoy* permite tener información del rendimiento en tiempo real de cada panel por separado, desde cualquier dispositivo conectado a internet, facilitando el monitoreo general del sistema. Además, permite reconocer y localizar todo tipo de problemas del sistema de forma instantánea y, en lo posible, resolverlos a distancia antes de que este afecte el rendimiento del sistema [26].

### **6.6.3 Software Enlighten**

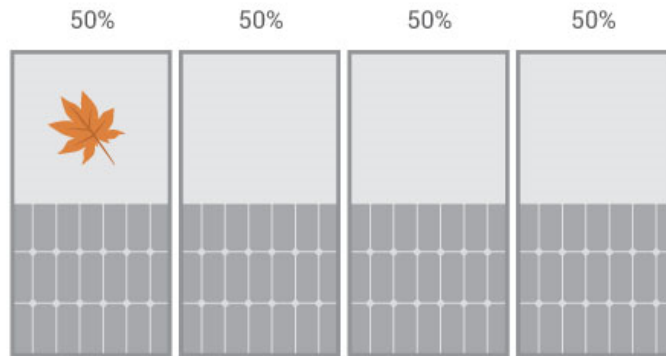
Este software le permite al usuario monitorear el rendimiento del sistema, panel por panel, en tiempo real desde cualquier dispositivo conectado a internet. Esto ofrece la oportunidad de reconocer problemas de rendimiento de manera instantánea y le brinda soluciones a distancia, además de las herramientas de diagnóstico para el profesional de energía solar [27].

## 6.7 MICRO INVERSOR VS. INVERSOR CENTRAL

Actualmente se cuenta con las dos tecnologías en el mercado, inversor central y micro inversor. Al momento de decidir cuál de estas opciones se ajusta mejor a lo que se desea, es necesario acudir a diferentes indicadores para tomar la decisión adecuada. Entre estos se encuentra, principalmente, la relación Costo-Beneficio, además del tipo de sistema a instalar, facilidad de conexión de la acometida, área útil y recursos económicos disponibles.

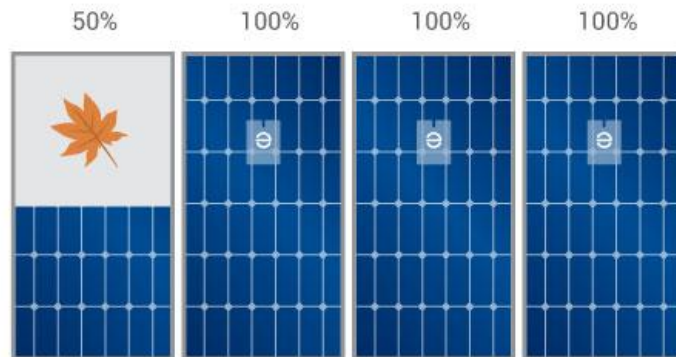
Para entender el funcionamiento de un inversor central se analizará el ejemplo de una serie de luces navideñas. Cuando uno de sus bombillos falla, todo el sistema decae; lo mismo se puede aplicar para el funcionamiento del inversor central. En el caso de que un panel disminuya su rendimiento por causa de sombra, una caída de hojas encima de algún panel o alguna otra razón externa por la que esta situación surja, se disminuye el rendimiento de todo el sistema completo para emparejarse con el panel de menor rendimiento.

**Figura 14. Disminución de rendimiento inversor central**



Fuente: [https://enphase.com/sites/default/files/content/micro\\_string\\_comparison.jpg](https://enphase.com/sites/default/files/content/micro_string_comparison.jpg)

**Figura 15. Sistema de micro inversores**



Fuente: [https://enphase.com/sites/default/files/content/micro\\_string\\_comparison.jpg](https://enphase.com/sites/default/files/content/micro_string_comparison.jpg)

Ahora planteando la situación contraria, como se aprecia en el gráfico 15, si se habla del mismo caso de que algún objeto o situación externa disminuya el rendimiento de uno de los paneles, con la tecnología de los micro inversores solo ese panel se verá afectado y el resto del sistema se mantendrá generando a su máxima capacidad. Esto finalmente se traduciría en una mayor eficiencia energética, es decir, más energía producida, almacenada y distribuida.

## **6.8 INSTALACIÓN DE LA CENTRAL FOTOVOLTAICA: AGENTES Y NORMATIVAS**

Una vez se ha explicado los componentes básicos, elementos influyentes y teorías de funcionamiento relacionados a la energía solar fotovoltaica, es necesario realizar una revisión de la estructura normativa y los agentes involucrados en la misma. Así, se verán algunos de los actores que, para el escenario propuesto, regulan el comportamiento y la manera en la que pueden ser llevadas a cabo los proyectos de esta naturaleza.

### **6.8.1 Unidad de planeación minero-energética (UPME)**

La unidad de planeación minero energética es una entidad administrativa especial de carácter técnico, creada por el gobierno nacional y regida bajo la ley 143 de 1994 y el decreto 1258 de junio 17 de 2013. Tiene como objetivo la planeación integral, permanente y coordinada de los agentes que se encuentren en el sector minero energético, para asegurar el correcto desarrollo y aprovechamiento de estos recursos. Esto se hace mediante la divulgación de toda información que sea necesaria para la toma de decisiones de carácter político y empresarial, apoyando al ministerio de minas y energías en sus labores.

Para lo anterior, la unidad de planeación minero energética se ha propuesto una serie de objetivos estratégicos, con los que se da paso al cumplimiento de su misión y meta principal. Estos son:

- A partir del conocimiento integral de los recursos mineros y energéticos del país, generar valor social y económico.
- Garantizar la gestión pública mediante la integración de prácticas organizacionales y nuevas tecnologías que posibiliten la integridad de la gestión.
- Garantizar el aprovechamiento y uso responsable y eficiente de los recursos mineros y energéticos mediante la orientación a los agentes que se encuentren en dicho sector.
- Tomar las acciones necesarias para que se permita el correcto desarrollo de los planes, programas y proyectos del sector permitiendo la materialización de dichos proyectos.

Con estas directrices se pretende suscitar apoyo a la formulación y la implementación de política pública, orientada a generar y divulgar de manera general todo conocimiento que permita, en lo posible, la creación de un futuro sostenible [28].

### **6.8.2 Reglamento técnico para instalaciones eléctricas (RETIE)**

En cumplimiento del Artículo 2° de la Constitución Política, donde se especifica que es responsabilidad de las autoridades de la Nación velar por la protección de todas las personas que residen en el territorio, en su vida, honra y bienes. Como parte de esta función, el Ministerio de Minas y Energía mediante el Decreto 18039 de 2004, crea el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas, cuyo objetivo es el establecimiento de parámetros que garanticen la seguridad de las personas, la fauna y flora, luchando por la preservación del medio ambiente y previniendo, minimizando o eliminando riesgos que se pueden producir por acometidas eléctricas. Para esto, se han recopilado estudios y criterios fundamentales previos y las características más básicas de las instalaciones eléctricas, además de algunas normas que pueden incurrir en las relaciones entre las personas presentes en estas, así como prestadores y usuarios del servicio.

Adicionalmente, se señalan ciertas exigencias y especificaciones que garanticen la seguridad de las instalaciones eléctricas. Ello en torno a la confiabilidad y buen funcionamiento y el uso adecuado de los recursos, garantizando la calidad de los equipos mediante la parametrización de los estándares mínimos de seguridad para las instalaciones eléctricas. Los objetivos específicos y legítimos en los cuales se basa este reglamento son:

- Fijar los lineamientos para prevenir incidentes como cortocircuitos y explosiones causados por fuentes eléctricas.
- Establecer los parámetros para evitar la presencia de cortocircuitos o posibilidad de explosiones.
- Fijar los parámetros para evitar quemadura de flora causada por proximidad a fuentes eléctricas.
- Establecer las condiciones para prevenir la muerte de personas y fauna por electrocución.
- Establecer las normativas pertinentes para evitar daños de cualquier tipo causados por sobre tensión.

- Adoptar la simbología adecuada que debe ser utilizada por todos los profesionales que trabajen en el campo de la electrotecnia.
- Minimizar las no conformidades en las instalaciones eléctricas.
- Establecer de manera eficaz y clara las responsabilidades que deben ser asumidas por todos los entes que participen en trabajos de electrotecnia, desde el diseño, pasando por operación, instalación, mantenimiento, propietarios, profesionales, fabricantes, importadores, etc.
- Unificar los requisitos esenciales de seguridad para todos los productos eléctricos asegurando el correcto funcionamiento y vida útil.
- Prevenir de manera eficaz los actos que puedan incluir errores de usuarios como omisión a las exigencias del reglamento RETIE.
- Exigir la confiabilidad de los productos eléctricos.
- Exigir los requisitos para contribuir con el buen uso de la energía.

Teniendo en cuenta estos principios generales para la gestión del riesgo como lo son la igualdad, protección, solidaridad social y oportuna información, se espera que los ciudadanos del territorio nacional apoyen esta gestión de riesgo de origen eléctrico. Igualmente, se desea que contribuyan mediante la adopción de estos lineamientos señalados, haciendo buen uso de los recursos utilizados en las instalaciones eléctricas. En procedimientos que van desde el diseño, hasta la construcción e implementación de redes eléctricas y su debido mantenimiento. Todo ello para lograr que aquellas personas que intervengan en el proceso, actúen con ética y disciplina, estando exentas de todo riesgo de origen eléctrico [29].

### **6.8.3 Comisión de regulación de energía y gas (CREG)**

La comisión de regulación de energía y gas es una entidad de orden nacional que regula la prestación de los servicios públicos, tales como energía eléctrica, gas natural domiciliario y combustibles líquidos. Promueven el desarrollo continuo del

sector, regulando los monopolios e incentivando a la competencia en los campos en los que sea posible. Adicional, se centran en la tarea de atender, de manera oportuna, las necesidades de las empresas y de los usuarios de los servicios de acuerdo con los parámetros establecidos por la ley.

Las funciones de esta comisión han sido instauradas por las leyes 142 y 143 de 1994, entre las que se encuentran tareas como:

- Definir metodología para el cálculo de tarifas
- Determinar condiciones para generar un mercado con libre competencia
- Definir las condiciones que deben cumplir los usuarios del servicio de electricidad, con base en criterios técnicos.
- Parametrizar los diseños y uso eficiente de los equipos electrónicos.
- Expedir regulaciones específicas para la autogeneración y cogeneración de electricidad y el uso eficiente de la energía por parte de los usuarios del servicio, estableciendo compromisos para que las ventas sean garantizadas de energía y potencia entre empresas y grandes usuarios.

Estas son algunas, entre muchas otras, de las regulaciones a las cuales le compete a este proyecto, para la autogeneración y cogeneración de electricidad. Verificable en la Resolución CREG 030 de 2018, vigilada por esta misma comisión [30].

#### **6.8.4 Resolución CREG 030 de 2018**

En esta, “por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida al Sistema Interconectado Nacional”, se encuentran los parámetros para regular las operaciones y aspectos comerciales de este tipo de proyectos. También están los permitidos para avalar y asegurar la integración de la auto generación a pequeña o gran escala, a los comercializadores que atienden, operadores de red, generación distribuida, transmisores nacionales y generación distribuida al Sistema Interconectado Nacional. Teniendo en cuenta que

generadores a pequeña escala comprenden cargas menores o iguales a 1 MW y los auto generadores a gran escala comprenden de 1 MW a 5MW, como se indica en los artículos 1 y 2.

En el artículo 3 de la resolución se aclaran las definiciones necesarias, con el fin de entender la aplicación de este proyecto y el grupo de generación al que el mismo se encuentra aplicado [31]. Los conceptos básicos necesarios para entender el desempeño de este trabajo son:

- **Autogeneración:** Producción de energía eléctrica por parte de personas naturales y/o jurídicas para la atención de sus necesidades de consumo eléctrico.
- **Auto generador:** Quien realice la actividad de Auto generación, siendo o no, propietario de los activos utilizados para la generación.
- **Auto generador a pequeña escala (AGPE):** Auto generador cuya potencia instalada sea igual o inferior al límite descrito en la resolución de la unidad de planeación minero energética (UPME) 281 DE 2015. El cual describe generaciones menores o iguales a 1 MW.
- **Auto generador a gran escala:** Auto generador cuya potencia instalada comprenda los límites superiores definidos en la resolución UPME 281 de 2015. El cual describe generaciones mayores a 1 MW hasta los 5MW.
- **Capacidad instalada:** Es la carga nominal que puede soportar el componente que limita la instalación eléctrica.
- **Crédito de energía:** Es la cantidad de energía que un auto generador a pequeña escala (AGPE) exporta que ha sido producida por Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE) y que es permutada contra la importación de energía que el usuario realice en ese periodo facturado.
- **Excedente:** Toda energía eléctrica que sea exportada por el auto generador al SIN
- **Exportación de energía:** Energía entregada a la red por un auto generador o generador distribuido.

- **FNCE:** Fuentes no convencionales de energía tales como: Biomasa, micro generación hidráulica, generaciones de energía eólica, geotérmica, solar y mareomotriz.
- **Generador Distribuido (GD):** Persona jurídica que genere energía eléctrica en áreas cercanas a los centros de consumos, estando conectado al Sistema de distribución local (SDL) y cuya potencia no supera los 0.1 MW.
- **Importación de energía:** Cantidad de energía eléctrica consumida por un auto generador en el periodo de facturación.
- **Potencia instalada de generación:** Valor declarado por el generador distribuido (GD) al Centro Nacional de Despacho, CND, en el momento del registro de la frontera de generación el cual debe ser expresado en MW, con cuatro decimales de aproximación y este será el valor máximo de exportación permitido en la frontera de generación.
- **Servicio de sistema:** Actividades requeridas para permitir la exportación de energía.

## 7. METODOLOGÍA

El desarrollo de este proyecto requería el establecimiento de una serie de pasos a seguir, orientados a cumplir cada uno de a los objetivos del mismo. Inicialmente, se realizó una revisión bibliográfica técnica, legal y conceptual sobre los requisitos necesarios para la implementación de una central fotovoltaica. Continuando con un estudio de los antecedentes, naturaleza del problema y escenario de aplicación, a partir del cual se aclararon diversos aspectos para el diseño. Finalmente se hace una explicación técnico-conceptual de los elementos y procedimientos requeridos en el proceso, atendiendo desde los componentes hasta los actores, entidades y normatividad involucrada que dieran vía libre a la instalación y certificación.

Para comenzar se hizo necesario un amplio estudio, previo a la materialización de la idea, acerca de los requerimientos técnicos y legales que pretende un proyecto de esta magnitud. Para ello, se investigó acerca del desarrollo de las energías renovables en Colombia, lo que permitiera esclarecer los avances tecnológicos, de oferta y demanda de la energía solar fotovoltaica. Esto se reunió a partir de información obtenida de los congresos y eventos de entidades especializadas, de la unidad de planeación minero energética(UPME), del ministerio de minas y energía (MINMINAS) y publicaciones de las entidades gubernamentales encargadas del desarrollo de energías limpias en el país, además de revisar obras similares en distintos lugares.

Posteriormente se realizó un estudio acerca de las exigencias técnicas propias de las normas colombianas para llevar a cabo proyectos de esta índole. Esta serie de formalidades vigentes están aplicadas a la seguridad, cuidado y confiabilidad de la red eléctrica del establecimiento en el que se realizará la instalación, con el fin de asegurar la integridad física de los usuarios finales del servicio de energía. Se destacan entre estos algunos de los más importantes, por estar presentes en los decretos CREG 030 y UPME 045, el dictamen y certificación RETIE expedida por

entidades autorizadas que aseguren el cumplimiento del reglamento técnico de instalaciones eléctricas aplicado a este caso.

Por último, se estimaron los beneficios tributarios que la ley colombiana ofrece a las empresas por invertir en investigación y desarrollo de tecnologías limpias. Se encuentran la ley 1715 de 2014, el decreto CREG 030 y la resolución UPME 045 del ministerio de minas y energía, donde se establecen una serie de ventajas en los impuestos, a los cuales las empresas pueden aplicar presentando sus proyectos FNCE (Fuentes No Convencionales de Energía). También obtienen certificaciones ambientales que abren paso para la adquisición de más de estos alivios y reconocimientos legales, tales como la aplicación a la ISO 5001 la cual es una certificación encaminada a la Gestión Eficiente de la Energía.

## **7.1 ESTIMAR LA DEMANDA, ÁREA ÚTIL Y ACOMETIDA**

Se estimó la demanda actual de energía de la empresa, realizando un análisis histórico de los consumos del año 2019, además de revisión del área útil para instalación de paneles y visita de acometida eléctrica. Para realizar el diseño de la central fotovoltaica que permita un dimensionamiento que permita una transición energética del 100% de la carga consumida por empresa para la cual se desarrolla el proyecto, es necesario obtener la siguiente información: El estudio de consumo energético de la empresa y el parque automotor, investigando la historia de consumo de la empresa durante el 2019 revisando los consolidados mensuales y registrándolos en una tabla.

Con estos datos se consignaron las siguientes tareas: se realizaron tres gráficas (presentes en anexos) de tendencias de consumos energético, de costo del kilovatio mensualmente y los pagos por el servicio de energía eléctrica. Se realizó un análisis del consumo mensual de la empresa estableciendo como mínimo margen de generación el pico más alto de consumo de todos los meses. Se estudió la

demanda máxima en amperios que consume la empresa, en el momento en que todos los equipos como computadores, aire acondicionado, ventiladores, cargadores de celulares, luz, entre otros, se encontraban funcionando al mismo tiempo. Adicional, se elaboró un cuadro de cargas en el cual se evidenciaron todos y cada uno de los artefactos que consumieran energía eléctrica para determinar la magnitud del sistema generación a dimensionar.

Asimismo, se analizó el lugar adecuado para realizar el proyecto, teniendo en cuenta como criterios de selección: el área de instalación, la incidencia del sol sobre el área.

- *Área de instalación:* se realizó cálculo del área, tomando medidas de dos posibles zonas en las instalaciones de la empresa y seleccionando la de mayor área.
- *La incidencia del sol:* se revisó la incidencia durante del sol mediante un análisis observacional de los lugares que presentaran menos espacios de sombra para determinar cuál de las dos zonas recibiría más horas sol y por lo tanto haría más eficiente el sistema.
- *Área útil:* Luego de seleccionada la zona, se realiza el cálculo de área útil utilizando la siguiente ecuación:

$$A_u = A_t - A_{vc} - A_i - A_c$$

Donde:

- $A_u$ : Área útil para la instalación.
- $A_t$ : Área total del espacio en el techo
- $A_{vc}$ : Área de las vigas canal
- $A_i$ : Área ineficiente energéticamente
- $A_c$ : Área del caballete
- L: largo, A: Ancho

Finalmente ejecuta un promedio del estado actual de la acometida para definir si resiste la carga del nuevo sistema o se requieren adecuaciones. Para esto se contó con la asesoría de un técnico electricista para la revisión de la acometida eléctrica y su posterior dictamen sobre la utilidad de la red eléctrica instalada, definiendo el estado actual de la acometida y si habría que cambiar el cableado para que pueda soportar la tensión a la cual sería expuesta la acometida.

## **7.2 DIMENSIONAMIENTO DE LA CENTRAL**

Era propio dimensionar la central solar fotovoltaica autónoma, satisfaciendo la demanda de la empresa en un 100%. Esto se logra a partir de la información obtenida de los requerimientos teniendo en cuenta varios aspectos; primero, se utilizan los requerimientos preliminares para hacer el cálculo de una central fotovoltaica que cubra el 100% del requerimiento de la empresa por medio del histórico de consumos y la demanda. A continuación:

- *Selección del tipo de panel:* Teniendo en cuenta la oferta y la tecnología disponible en el mercado nacional que ofrezca una mayor eficiencia.
- *Selección del inversor:* se decide realizar la selección del inversor teniendo en cuenta las especificaciones técnicas del panel como cantidad de celdas y potencial de generación.
- *Calculo de cantidad de paneles:* Para calcular la cantidad de paneles se tomó en cuenta el área disponible y las dimensiones de los paneles seleccionados, lo cual da como resultado la cantidad de paneles posibles y esto permite calcular el costo estimado del sistema.

### **7.3 EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL SISTEMA**

En este orden de ideas, se debe proceder a evaluar el desempeño de la central solar fotovoltaica en la empresa PSIG S.A.S., verificando el correcto cumplimiento de la reglamentación y normatividad vigente (RETIE) para ser certificada por la UPME. Para la evaluación de rendimiento de la central fotovoltaica se hace seguimiento diario a la generación relacionándolo con la información de radiación mensual obtenidos del IDEAM y se registra en tablas. Con la información obtenida se realiza el análisis de la generación que, teóricamente, produciría la central y se compara con la generación real, obteniendo la eficiencia real de la central y el margen de error.

### **7.4 CERTIFICACIÓN Y DICTAMEN**

El proceso de Certificación RETIE como usuario final de las instalaciones fotovoltaicas establecidas por la resolución CREG 030 de 2018, es realizada por una entidad avalada por la Organización nacional de acreditación de Colombia (ONAC), el proceso de certificación tiene un tiempo aproximado de un mes después de la puesta en marcha del sistema. Para esto se requiere entregar al ente certificador las fichas técnicas de los paneles, los micro inversores, el diseño del circuito y los certificados de conformidad de las cajas de intemperie.

### **7.5 CONEXIÓN SIMPLIFICADA DE AUTO GENERADORES PARA ENTREGA DE EXCEDENTES DE ENERGÍA**

Se requiere la entrega los documentos requeridos y exigidos para la inscripción del formato de conexión simplificada según la Resolución 030 de 2018 de la

CREG, para el reconocimiento y permuta de la energía exportada y el pago de los excedentes de energía solar en la factura de energía mensual. Los documentos requeridos comprenden los establecidos en la resolución 030 de 2018 de la CREG y los requisitos mínimos del operador de red, en este caso ELECTRIFICADORA DE SANTANDER; entre estos documentos están los descritos a continuación: unifilares, memorias de cálculo, diagrama de protección de Voltaje y Frecuencia, Sistema anti-isla, diagrama de conexión a tierra del Sistema fotovoltaico y de la instalación, certificados de conformidad en norma internacional IEEE y UL de los micro inversores, certificado de conformidad RETIE de los paneles, medidor bidireccional con perfil horario con su respectivo certificado de conformidad por entidad avalada por la ONAC, parametrización en ambas direcciones, la entrega de las fichas técnicas de todos los equipos.

## **8. RESULTADOS Y ANÁLISIS**

Los resultados evidenciados del proyecto se presentan de acuerdo con los pasos tomados para el desarrollo del mismo. De igual forma, la reseña del proceso conlleva un análisis realizado desde una perspectiva técnica, atendiendo al cumplimiento de los objetivos planteados inicialmente. Por tanto, será necesario presentar y analizar el grueso de los datos recolectados, soportados con parte de la evidencia que los refleja. Cabe aclarar que, salvo algunas excepciones, parte de esta misma corresponden a un trabajo analítico del investigador a cargo.

En este sentido, los siguientes apartados pretenden ilustrar desde algunas de las consideraciones previas que dieron forma a la instalación de la central solar energética, hasta sus etapas de prueba, mantenimiento y la puesta en marcha. Así, se busca explicar brevemente las decisiones tomadas para alcanzar el propósito, tanto académico como práctico, en el que se desarrolló el ejercicio junto con el aporte ocasional de la evidencia gráfica pertinente.

### **8.1 ANÁLISIS TÉCNICO**

Para la selección del suministro de energía solar fotovoltaica se ejecutó una revisión de los requerimientos de la empresa para tal fin. Esta incluyó aspectos como: el cálculo de la cantidad de energía total consumida en sus horas más críticas, evaluación de la disponibilidad del recurso en la zona donde se ubica, el área útil disponible para la realización del proyecto, el estudio de la acometida asegurando que la red eléctrica cumpla con la normativa y los requerimientos mínimos para soportar la carga que se desea instalar. También el desempeño mínimo esperado por el sistema, adecuando nuevas tecnologías para mejorar su eficiencia y la

revisión de las normativas vigentes que rigen el uso de fuentes de energía no convencionales (FENC), para sentar un precedente de las ventajas y oportunidades que la compañía obtendría de esta sustitución energética.

### **8.1.1 Requerimientos de diseño**

Para calcular la carga máxima consumida por el recinto se hizo un análisis histórico de consumos (ver anexo A), donde se revisaron, mes a mes, las cargas consumidas durante el año 2019. En primer lugar, se tomaron las lecturas indicadas en cada uno de los recibos para los periodos asignados y, posteriormente, se realizó la resta entre los indicadores anteriores y los actuales de cada recibo. De esta manera, se pretendía comprobar el valor en kW asignado en cada recibo, dado que la empresa se asignaba a si misma mes a mes una meta de consumo en kW; esta, para el año elegido, fue de 800 kW/mes. Durante este período se cumplió debidamente la meta, registrando el costo del kW de cada mes, para realizar los cálculos pertinentes para constatar que el valor consignado en la factura fuese el correcto.

Asimismo, para hallar la carga máxima del recinto, expresada en amperios, se procedió con la medición energética en las horas más críticas. Estos lapsos de tiempo comprenden de las 9am a 12m y de las 2pm a las 5pm, en los que se media el amperaje con el uso de una pinza voltiamperimétrica, cuando todos los equipos de la empresa se encontraran funcionando. En dicha estimación se incluyeron computadores de mesa, portátiles siendo cargados, celulares conectados, todos los aires acondicionados, ventiladores prendidos y luces dentro y fuera del recinto.

### **8.1.2 Cuadro de cargas**

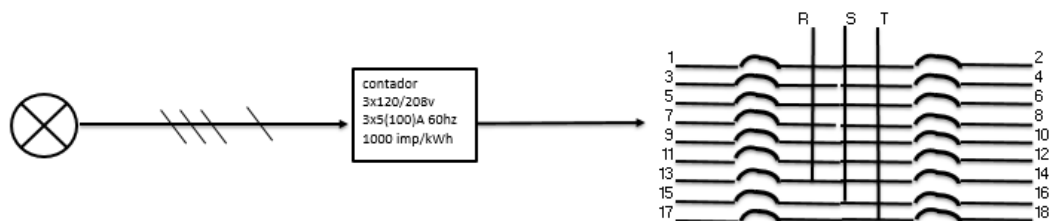
Para hallar la carga total consumida dentro del recinto, se propuso establecer un cuadro de cargas, que consiste en una ficha técnica donde se consignan todos los elementos electrónicos, electrodomésticos, conectores celulares, computadores

portátiles y todos aquellos que requirieran del uso de electricidad. Se contabilizan tanto los que se encuentran dentro, como los de fuera del recinto, atendiendo a todo elemento que tomara parte en el consumo de la empresa.

Tal como se puede ver en el anexo B, en este cuadro se incluye: cada disyuntor, teniendo en cuenta que hay 2 tableros principales, el nombre de cada equipo presente en el recinto, la fase a la cual pertenecía (el lugar posee una red de tres fases), el consumo en Watts, el factor de potencia que para este caso a todos les aplica un factor de 0.95, la carga en voltio amperios (VA), la corriente en amperios (A) que consume cada elemento, el calibre del cable utilizado y el disyuntor o protección al cual está conectado.

En la figura 16 se muestra un ejemplo de cómo está comprendida la red de tres fases (R, S, T) que va desde el poste de luz, pasando al contador y luego al interior del edificio. Esto permite vislumbrar, a grandes rasgos, la composición y el trazado eléctrico que se tuvo que seguir para el rastreo de los elementos medidos.

**Figura 16. Red de tres fases del edificio**



Fuente: Autor

### 8.1.3 Revisión de la acometida

En este punto se requirió del servicio externo de un técnico electricista, quien estuviera debidamente avalado por el Consejo Nacional de Técnicos Electricistas (CONTE). Esta persona estuvo encargado de la revisión de la red eléctrica, desde el contador hacia el interior del recinto, estudiando las cajas de protecciones y el

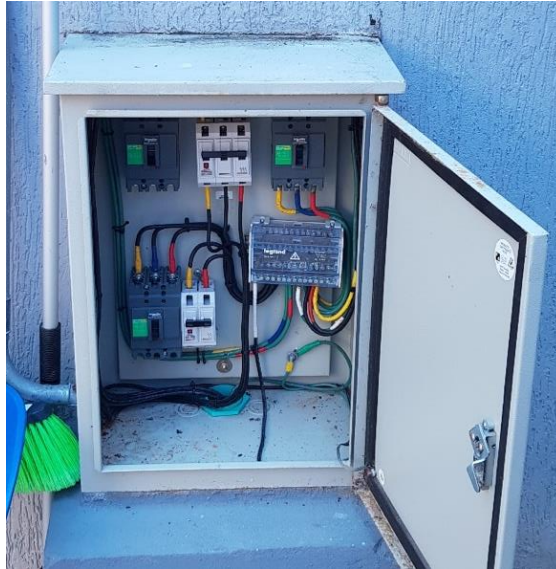
estado del cableado y asegurando el buen estado de la red eléctrica. De aquí se encontró que PSIG cuenta con 3 de estas, de las cuales 2 están ubicadas en el interior del recinto hacia el área de recepción y una se encuentra en el área de servicios generales, ubicada en la parte trasera del edificio. También es revisado el estado del contador, como parte del protocolo que se decidió seguir.

**Imagen 1. Visita del técnico electricista**



Fuente: Autor

**Imagen 2. Caja de protección**



Fuente: Autor

Teniendo en cuenta factores como longitud del cableado (más corta), facilidad del acceso a la caja de protecciones y disponibilidad de disyuntores, bajo la responsabilidad del investigador se decide adecuar el totalizador del sistema y el sub-panel de protecciones en la caja 3 en la parte posterior del edificio. Con esto, el técnico electricista recomienda tomar una medida adicional de resguardo para el sub-panel de protecciones del sistema, que estará ubicado en la parte superior del panel, como se ve en la imagen anterior. Esto en aras de asegurar cualquier medida de protección contra la intemperie y facilitar el proceso de certificación RETIE, adecuando un gabinete de paso, el cual se toma como un elemento preventivo por el clima, lo que será evidenciado más adelante durante el proceso de instalación.

#### **8.1.4 Área útil**

El estudio del área útil se realizó a partir de una revisión de los planos del edificio, donde se aprecia un área total de 5.75 metros de ancho y 13.5 metros de largo. A estos se les resta el área de las viga-canal, ubicadas en la parte delantera y posterior

del techo. Un área adicional en la parte posterior derecha, junto a la viga-canal se eliminó. Allí se encontraba el tanque de agua sobre una base de cemento, el cual lo elevaba unos 50 cm, sumados a su altura y el espacio que se encontraba cercano al mismo, recibiendo sombra la mayor parte del día. Se determinó, por tanto, que dicho espacio era ineficiente en términos energéticos.

Ahora bien, los cálculos del área útil planteados y desarrollados son estos:

$$Au = At - Avc - Ai$$

$$At = L * A$$

$$Avc = (Lvc * Avc) * 2$$

$$Ai = Li * Ai$$

Donde se tiene que:

- Au: Área útil para la instalación.
- At: Área total del espacio en el techo
- Avc: Área de las vigas canal.
- Ai: Área ineficiente energéticamente.
- L: largo, A: Ancho.

Teniendo presentes las ecuaciones, se procede a hallar el área útil para la instalación de los paneles de la siguiente manera:

$$Au = At - Avc - Ai$$

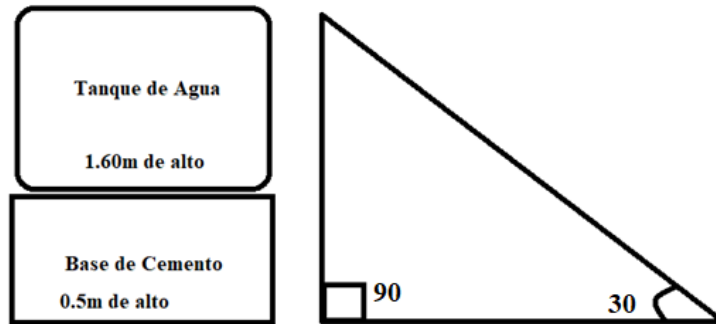
$$At = 13.50m * 5.75m$$

$$At = 77.625m^2$$

$$Avc = 0.70m * 5.75m$$

$$Avc = 8.05m^2$$

Entonces, para hallar el área de ineficiencia energética producida por el tanque, se debe encontrar el largo del espacio al cual le dará sombra el mismo. Para esto, se debe recurrir a ciertas funciones trigonométricas, que son:



$$\tan(30) = \frac{x}{2.1}$$

$$X = 1.2m$$

Ahora,

$$A_i = 1.2m * 1.8m$$

$$A_i = 2.16m^2$$

Se utiliza 1.8m como ancho dado que es el largo del panel a utilizar y este se va a ubicar de manera horizontal. Por último, se tiene que:

$$A_u = 77.625m^2 - 8.05m^2 - 2.16m^2$$

$$A_u = 67.42m^2$$

En esta forma se determina que el área útil para la instalación de los paneles solares es de 67.42 metros cuadrados. Una vez se tiene el resultado de estos cálculos, se puede comenzar a planear y ejecutar el proceso de instalación, adicional a una serie de aspectos más que deben ser tenidos en cuenta.

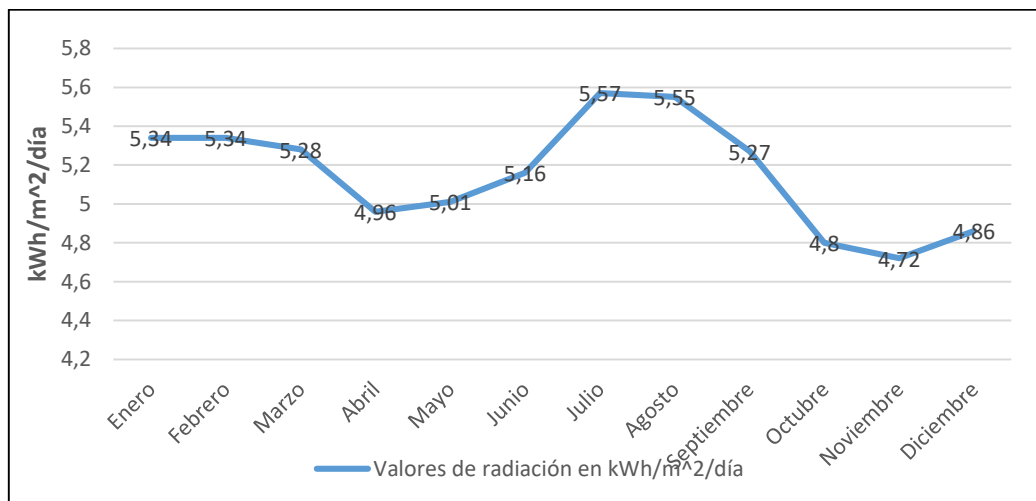
### 8.1.5 Radiación promedio en Barrancabermeja

Se repite que Barrancabermeja es conocida por su alto índice de exposición solar a lo largo del año, gracias a su ubicación geográfica hacia la zona norte centro de la

cordillera de los Andes. Este tipo de características hacen de este territorio un lugar propicio para la instalación de energía solar fotovoltaica.

Para el desarrollo de este proyecto se tomaron datos aportados por el IDEAM para realizar una tabla (ver anexo C), en el cual se plasman los índices de radiación mensual propios del municipio. A partir de esta información se pudo estimar el desempeño esperado de la central fotovoltaica, lo que quedó plasmado en la gráfica 3. Gracias a este consolidado, se puede apreciar dos categorías de meses a saber: los llamados “pico”, que corresponden a los de mayor generación energética y los “valle” que serian la contraparte con una cantidad reducida de la misma.

**Grafico 3. Curva de radiación anual**



Fuente: Autor

A partir de estos datos, es posible inferir que los meses de mayor producción están relacionados con las temporadas en las que este territorio entra en sequía o verano (enero-marzo, julio-septiembre), pues son en los que se tiene la mayor cantidad de radiación, suponiendo una mayor generación. El lapso que corresponde a los denominados meses valle, son los de menor producción puesto que el municipio entra en temporada de lluvias, suponiendo menos horas sol de carácter aprovechable y, por tanto, menos generación de energía.

## **8.2 DISEÑO DE LA CENTRAL**

Ahora bien, para poder proceder con la implementación exitosa del proyecto era necesario contar con los requerimientos de diseño del trabajo. Estos se integraron posteriormente para realizar el cálculo del número requerido de paneles, los cuales pudiesen satisfacer la demanda energética del edificio. Cabe hacer la salvedad de que dichos datos superan, de manera considerable, la demanda estimada pues que en el proceso los directivos de la empresa sugirieron el aumento de la capacidad de instalación en el pedido final.

Según esta información (ver anexo A), el consumo promedio del edificio empresarial se encuentra en el orden de los 600 KW/mes. Esto correspondería al 100% de la carga requerida, no obstante, dada la petición anterior, este dato se estableció como secundario y requerimiento mínimo que debe generar la central, con el fin de cumplir el objetivo del presente proyecto. Así las cosas, se aclararán los pasos tomados para el diseño, y posterior instalación, de la estructura en cuestión.

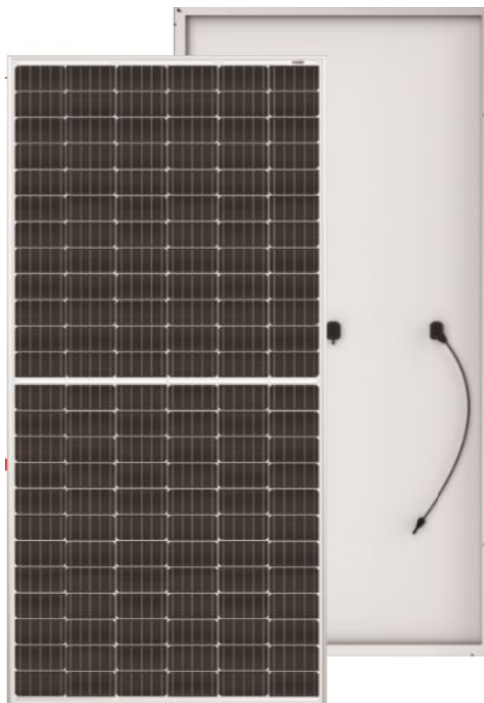
### **8.2.1 Selección de la tecnología**

Considerando la naturaleza de esta investigación y sus implicaciones teórico-prácticas, uno de los aspectos fundamentales para orientar su desarrollo fue la selección del tipo de tecnología a ser implementada. En este orden ideas, se tomaron en cuenta factores como el desempeño, economía, aplicabilidad, estructura, montaje y demás, que pudiera beneficiar tanto a la empresa, como al proyecto mismo. De tal forma, se optó por el uso de paneles y micro inversores que, en relación costo-beneficio fuesen los más propicios y los más eficientes para cumplir con los requerimientos mínimos de la central.

### 8.2.1.1 Paneles solares

Para la selección de los paneles solares, se elaboró un estudio bajo consideraciones como: primero, que contaran con una tecnología avanzada en cuanto a la eficiencia del panel y segundo, que fuesen asequibles y estuvieran en stock dentro del territorio nacional. Además, se tuvo en cuenta que su fabricación fuese reciente, asegurando que las propiedades de los paneles no se vieran afectadas por su tiempo en bodega. Bajo estas premisas, se estimaron las posibilidades disponibles en el territorio, con el fin de elegir la más adecuada en cuanto a requerimientos e instalación, optando finalmente por los paneles *HALF CELL* de *Trina Solar* de 385W mono cristalino (figura 17).

**Figura 17. Panel solar Trina Solar Half Cell**



Fuente: Ficha técnica del panel trina sola 385W

Estos elementos consisten en celdas solares divididas a la mitad, es decir, para este módulo solar que contaría con 72 celdas completas, realmente se tienen 144 medias

celdas mono-cristalinas. Estas brindan una mayor eficiencia al disminuir apreciablemente las pérdidas por resistencia, dado que la longitud de los conectores que conducen la electricidad se reduce a la mitad. Posee una capa de redirección de luz (LFR, por sus siglas en inglés), la cual mejora la potencia de los paneles, brindando a su vez una mayor eficiencia. Así, sobresalió por su bajo coeficiente térmico, que le permite una mayor producción de energía a temperaturas altas.

#### **8.2.1.2 Micro inversores**

Al seleccionar los inversores, se estimaron dos opciones al momento de realizar el diseño. La primera correspondía a un inversor central para todos los paneles, lo que representaba una tecnología, si bien más económica, ya obsoleta. Y la segunda se refería a la tecnología de micro inversores, la cual es un poco más costosa, pero que es más reciente y muestra una gran cantidad de facilidades, en comparación con su contraparte [32]. Para poder apreciar, a grandes rasgos, las ventajas y desventajas de cada una de estas opciones mencionadas, a continuación, se presenta una tabla de comparación de ambas.

**Tabla 2. Inversor central vs. micro inversor**

<b>INVERSOR CENTRAL</b>	<b>MICRO INVERSOR</b>
<b>VENTAJAS</b>	<b>VENTAJAS</b>
Poseen una alta eficiencia cuando son instalados en lugares frescos, lejos de los rayos solares. Además de que poseen una larga trayectoria en el mercado lo cual los hace más comunes y confiables. Son más económicos que un micro inversor y su mantenimiento es más sencillo dado que se trata de un solo dispositivo.	Esta tecnología simplifica el diseño de los sistemas fotovoltaicos y son silenciosos, su instalación es mucho más sencilla que la de un inversor central y al igual que los inversores centrales los lugares con sombra le van mejor para no afectar la producción, debido al voltaje manejado por ellos tienen una mayor duración que los inversores centrales y en caso de sombra no se dañan tan fácilmente los paneles por puntos de altas temperaturas, se puede monitorear la energía producida por panel, si uno de ellos falla solo afecta la producción de ese panel y no de todo el sistema como el caso de los inversores centrales y su garantía es muy superior a sus competidores (20 años).
<b>DESVENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
En este tipo de inversor las desventajas son un poco amplias dado que siendo la primera tecnología tienen cosas que mejorar. La primera desventaja se hace notable en la instalación ya que es más complicada que la de los micro inversores, luego tenemos que en los inversores centrales no pueden monitorearse la energía producida por cada panel, sino de todo el sistema como conjunto, además dado que trabajan con cargas más altas necesitan más precisión en las medidas de seguridad, requieren mucho más espacio que los micro inversores y por último la garantía es demasiado corta (5 años)	Su costo es mayor con respecto a los inversores centrales y comparado con los inversores centrales la tecnología de micro inversores no posee mucha variedad en el mercado, siendo esta la causa de su elevado costo.

Fuente: <http://greendates.com.mx/diferencia-entre-inversor-y-microinversor/>

Con base en esta información, adicional a otras revisiones de material técnico, se puede observar las diferencias elementales entre dichos tipos de tecnología. Gracias a esto se toma una decisión fundamentada en hechos y datos sobre la naturaleza de las opciones consideradas. En este caso, al ofrecer ventajas

sustanciales tales como la independencia en la generación y su alta resistencia, lo que traduce en menor posibilidad de avería, los micro inversores fueron elegidos para ser incluidos en el diseño de la central.

*Enphase* ofrece en su catálogo una gama de micro inversores con tecnología *Enphase IQ*, que se divide en 3 tipos: 1. los micro inversores **IQ7 micro**, 2. **IQ7+ MICRO** y 3. los micro inversores **IQ 7X MICRO**. Lo que diferencia a estas tres referencias es la capacidad, en términos de números de celdas por panel, la cual van de 60 celdas para los micro inversores **IQ 7**, 72 celdas para los micro inversores **IQ 7+** y 96 celdas para los micro inversores **IQ 7X**.

Para esta central, dada la tecnología Half Cell de 144 medias celdas que al dividir las entregan un total de 72 celdas completas, se eligió la tecnología **IQ 7+** optimizada para este tipo de modulo solar. Asimismo, se debe tener en cuenta que la empresa, proveedora de los micro inversores, ofrece en el paquete el *Envoy*. Este, como se explicó previamente, es la herramienta que permite monitorear de manera independiente cada micro inversor y la producción de cada panel de manera independiente.

### 8.2.2 Paneles posibles

En cuanto se obtuvo el permiso que concedía el uso libre del total del área útil, se procede a realizar el análisis de la cantidad de paneles posibles dentro la misma. Se tuvo en consideración la medida de los paneles para estimar el número aproximado de estos, siendo esta, según la ficha técnica, de 2 metros de alto por 0.992 metros de ancho. De esta manera, se realizó un cálculo de la cantidad de paneles posibles dentro del lugar señalado, siendo este de 64.55 metros cuadrados. La fórmula empleada es la siguiente, la cual se explica parte a parte según se despeja así:

$$\#_P = \frac{Au}{Ap}$$

Donde:

- Au: Área útil.
- Ap: Área de los paneles.
- #p: Número de paneles posibles.

Entonces,

$$Ap = 2m * 0.992m$$
$$Ap = 1.984m^2$$

Y a partir de esa área hallamos la cantidad de paneles posibles,

$$\#_p = \frac{64.55}{1.984}$$
$$\#_p = 32.5 \text{ paneles}$$

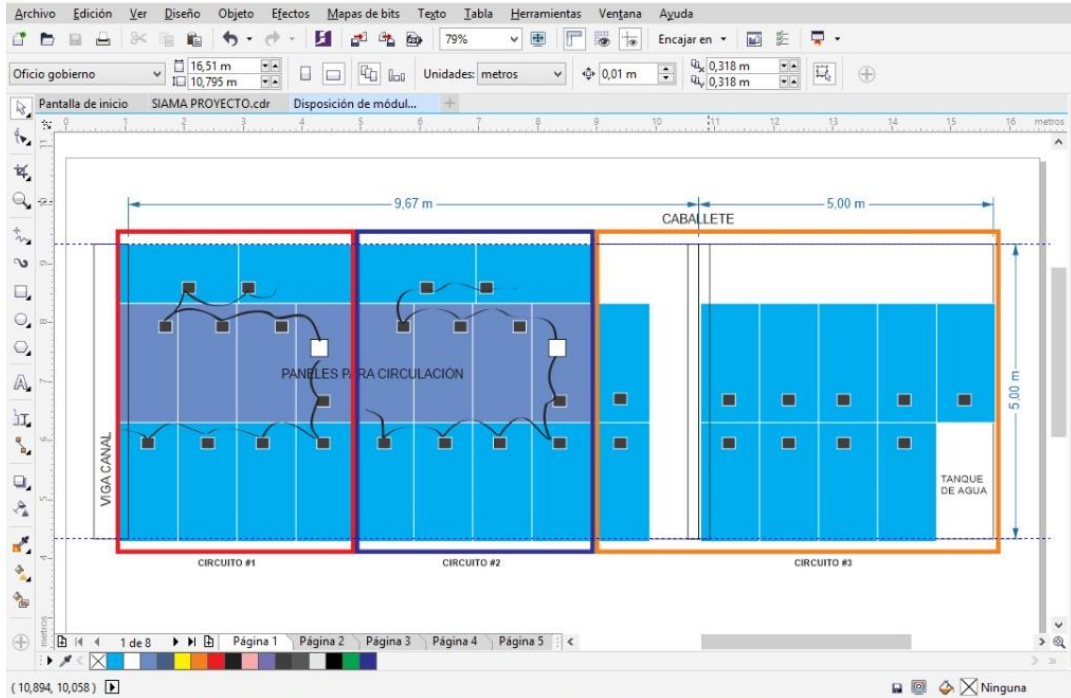
Lo que nos indica que la cantidad posible de paneles es de 32 paneles, donde finalmente se decidió instalar 31.

### **8.2.3 Diseño en software**

Para realizar el diseño se utilizó el software Corel Draw, por medio del cual se realizó un plano del área del techo completo, información a consultar en el anexo D. Después de dibujar el área donde se realizará la instalación (ver ilustración 1), se ubican los paneles uno a uno, de forma que facilite su conexión y su interconexión entre paneles hasta las Junction Box (cajas de conexiones), evitando exceso de cableado. Posteriormente se realiza la división de la central en tres circuitos por dos razones fundamentales; primero, como se había analizado en los requerimientos de diseño, la red eléctrica del edificio es trifásica y, por lo tanto, se decide realizar una línea monofásica para cada fase de la red del edificio. Segundo, es por recomendación del fabricante, debido a los generadores de la escala que se maneja en este proyecto, no se recomienda superar los 13 micro inversores por circuito debido a la carga manejada en cada fase. Por este motivo se decide la separación

de los tres circuitos, con una potencia de aproximadamente 290VA (Voltio amperios) cada una.

### Ilustración 1. Diseño en Corel Draw



Fuente: Autor, software Corel Draw.

En el transcurso del diseño, se tomó la decisión de retirar un panel con el fin de obtener un espacio necesario, a través del cual se pudiese ingresar al techo con facilidad; esto en caso de que debiera hacerse limpieza a los paneles o algún mantenimiento/repación a estos o a los micro inversores. Dicho lugar se escogió analizando las facilidades que presentaba la estructura para el acceso, por lo que se revisó la parte trasera del edificio donde existe una placa que facilita el paso al techo (ver imagen 3). Por esto, se decidió retirar el panel que iba a ser ubicado de manera vertical de la parte trasera del edificio como puede verse en el espacio en blanco en la ilustración anterior.

**Imagen 3. Placa de acceso al techo.**



Fuente: Autor

#### **8.2.4 Plano general, convenciones e indicaciones**

Ahora bien, retomando el anexo D, este es el plano que corresponde al diseño de la central completa, con sus respectivas convenciones y el ordenamiento estratégico de los paneles, lo que facilitar el ascenso al techo en caso de mantenimiento (espacio en la cubierta B), tal como se había determinado anteriormente. Se encuentra también la red del cableado, que va desde los paneles a las Junction Box, que se definen como las cajas que juntan y protegen el cableado de cada circuito, uniéndolo al siguiente. Después se muestra la caja de halado, la encargada de llevar el cableado de los tres circuitos hasta la caja de protecciones y, posteriormente, a la distribución. Igual se aprecian los tres arreglos de los circuitos y su exacta ubicación en las dos cubiertas. En esta ocasión, se indica el circuito al

que pertenecen cada uno de los paneles, los cuales están demarcados por códigos de color, así: verde para el 1, amarillo para el 2 y azul para el 3.

#### **8.2.4.1 Cableado**

En el cableado de la central no se realizó un estudio a profundidad, debido a que la mayor parte de la red del edificio maneja cable de calibre 8 AWG O 6 AWG, los cuales soportan cargas de 40 amperios y 55 amperios a 60°C, respectivamente, superando el requerimiento mínimo para dar soporte al sistema. Se aclara igualmente que cada circuito produce, en sus horas pico, alrededor de 25 amperios. A lo que se le suma un coeficiente de seguridad de 1.25 recomendado por el fabricante para instalaciones fotovoltaicas, según la siguiente formulación:

$$At = \text{Amperaje del sistema} * \text{factor de seguridad}$$

$$At = 25 \text{ Amperios} * 1.25$$

$$At = 31.25 \text{ Amperios}$$

Donde At es el Amperaje total por fase del sistema.

#### **8.2.4.2 Cambio del totalizador**

Dado que la carga total por fase es de 31.25 Amperios y el Disyuntor totalizador del sistema que se encuentra disponible en el panel es de 1X50 Amperios, se decide cambiar por uno de 1x32 Amperios. Lo que responde a una medida de seguridad establecida para proteger el disyuntor, puesto que si llega a ocurrir una sobrecarga por encima de los 32 amperios y este no se activa, podría ocasionar daños graves en la central.

### **8.3 INSTALACIÓN DE LOS PANELES**

En este punto se da inicio al esquema bajo el cual se diseña y lleva a cabo la instalación de los respectivos paneles solares, según la normatividad aplicable que dio forma al diseño del presente proyecto. Igualmente se tienen presente una serie de recomendaciones de diferentes áreas involucradas, orientadas a lograr un desempeño eficiente, minimizando o activando planes de contingencia en caso de presentarse contratiempos en el camino.

#### **8.3.1 Esquema de trabajo y charla de seguridad**

Para empezar el proceso de instalación de los paneles fue necesaria la contratación de 2 cuadrillas de personal calificado en materia de energía solar fotovoltaica. Entre estos se incluían: dos electricistas, asignados a la tarea de realizar la interconexión de paneles y su salida hacia la caja de protecciones y el totalizador; cinco trabajadores con entrenamiento en la instalación de paneles solares, todos bajo la supervisión del profesional a cargo del presente proyecto. En primer lugar, se presentó la empresa PSIG a los involucrados, dando a entender su misión, visión y el objeto, así como las zonas que estaban restringidas y aquellas de las que ellos podían disponer para llevar a cabo sus labores.

Posteriormente se realizó una charla de seguridad (imagen 4), que estuvo a cargo del área de HSEQ, donde se socializó un análisis de trabajo seguro. Allí se identificaron los riesgos laborales presentes en las actividades por realizar y las medidas preventivas que se debieron ser tomadas para evitar cualquier tipo de accidente dentro del área de laboral. También se analizaron temas como que tipo de área sería la escogida para realizar el ascenso al techo y la forma en que se realizaría, para así determinar las medidas preventivas que permitieran un desarrollo adecuado del proceso. En esta se determinó el cronograma de trabajo de

cada uno de los integrantes, escogiendo la fachada frontal de la empresa como el sitio predilecto para posicionar la escalera con la cual se realizará el ascenso.

#### **Imagen 4. Charla de seguridad**



Fuente: Autor

Una vez se completó este paso, se da comienzo a la descarga del material que los trabajadores utilizarán en el transcurso del desarrollo del trabajo. A la par, se realiza la revisión de los certificados necesarios que permitan la operación del personal dentro de las instalaciones de la empresa. Dichos documentos son el soporte de que los trabajadores cumplen con el perfil requerido para las funciones que desempeñan, asegurándole a la compañía su total capacidad.

Para corroborar el cumplimiento de este requisito, se revisan las hojas de vida, verificando la experiencia que posean en materia de instalación de energías renovables y el permiso actualizado de trabajo seguro en alturas. Asimismo, para los técnicos electricistas se debe revisar que estén avalados por el Consejo nacional de Técnicos Electricistas y que cumplan con la experiencia mínima de 2 años en instalaciones eléctricas, adicional a los otros requerimientos enlistados.

### 8.3.2 Delimitación de la zona de trabajo

A continuación se presenta el proceso correspondiente a la demarcación de los límites operacionales dentro de los cuales se llevaría a cabo el proyecto. Dado que el trabajo sería desarrollado en una zona alta, se delimitó un espacio que permitiera el acceso al techo mediante el posicionamiento de una escalera que estuviera anclada a la viga color gris. Tal como se puede observar en la imagen 5, se cercó un perímetro y se buscó prevenir cualquier deslizamiento o percance relativo al uso de la escalera.

Imagen 5. Delimitación de la zona de ascenso



Fuente: Autor

**Imagen 6. Tableado**



Fuente: Autor

**Imagen 7. Anclaje de la línea de vida**



Fuente: Autor

### Imagen 8. Línea de vida



Fuente: Autor

Una vez establecido el medio de acceso, se debía realizar el izaje de elementos como anclajes, cuerdas y tablas. La función de estos elementos sería la de delimitar las vías por donde los trabajadores transitarían para la instalación de los paneles, evitando en el proceso dañar las tejas como se puede observar en la imagen 6. Después se fijan los dos anclajes (ver imagen 7), que aseguran mediante un mecanismo compuesto por un perno, elemento que se gira con una llave. Este, a su vez, empuja una placa hasta que la misma, con ayuda del agarre fijo de la parte posterior, queda emplazada contra el muro. En los anclajes se fijarán las líneas de vida (ver imagen 8), las cuales están compuestas por cuerdas de alta resistencia. Estas se encuentran amarradas firmemente y sujetas entre sí por un pasador, el cual cumple doble función; por un lado, entrelaza las líneas de vida y, por el otro, sirve como pasa mano para los trabajadores.

#### 8.3.3 Trabajos preliminares de instalación

Una vez se ha completado el armado de la línea de vida, se procede con los trabajos de perforación e instalación de los anclajes (ver las imágenes 9 y 10). Sobre estos

pequeños dispositivos serán puestos los rieles destinados a sostener y acomodar los paneles solares, los cuales permitirán el montaje de la estructura total de la central fotovoltaica.

**Imagen 9. Anclajes de los rieles**



Fuente: Autor

**Imagen 10. Instalación de los rieles**



Fuente: Autor

La perforación se realiza con un taladro con broca de ¼”, para luego ingresar los pernos donde se fijarán los anclajes por medio de tuercas a ambos lados. Además, como medida preventiva que busca evitar cualquier filtración de agua y la aparición de humedades, los orificios son sellados con pegante epóxico y cinta termoencogible.

#### **8.3.4 Instalación de los micro inversores y del panel de protecciones**

Después se procede con la instalación de los rieles, observable en la imagen 11 y 12. Estos consisten en unos perfiles de aluminio. A estos se les realizan orificios por los que pasarán los pernos en los que, a lado y lado, irán tuercas que asegurarán los perfiles a los anclajes, las bases de apoyo de los micro inversores y los micro inversores.

**Imagen 11. Instalación de los micro inversores**

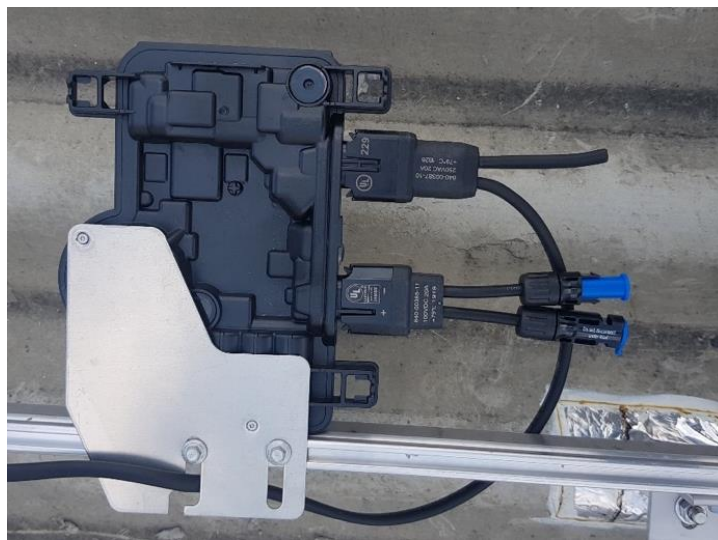


Fuente: Autor

Luego de la instalación, se verifica que los perfiles estén alineados, esto con el fin de corregir cualquier desvío antes de iniciar con la instalación de los micro inversores y, posteriormente, la de los paneles, evitando que más adelante los

espacios de instalación de estos no sean los adecuados. La base del micro inversor, que es la placa de aluminio de la imagen 12, es una parte móvil que se instala en el riel. Esto se hace por medio de pernos conectados a unos pequeños dispositivos que van dentro del riel y permiten el movimiento de los micro inversores, con el fin de facilitar su desinstalación en caso de necesitar reparación o remplazo.

**Imagen 12. Base del micro inversor y el micro inversor**



Fuente: Autor

También se tomaron algunas medidas adicionales de prevención para el desgaste o daño del panel de protecciones del sistema fotovoltaico, por medio de la caja de intemperie (ver imagen 13). Esta artefacto de color gris que rodea el panel evita que la humedad, algún golpe o descarga accidental, puedan afectar el funcionamiento de los disyuntores. Se instala anclándola a la pared, para después instalar una placa adicional donde irá conectado el panel de protecciones.

Además se realiza un agujero en la parte inferior de la caja de intemperie, la cual será conectada por medio de un tubo de PVC, sellado a ambos lados con pegante epóxico, todo con el fin de conectar al disyuntor totalizador del sistema sin

necesidad de exponer el cableado. Esto fue requerido como medida adicional para asegurar la certificación RETIE del sistema.

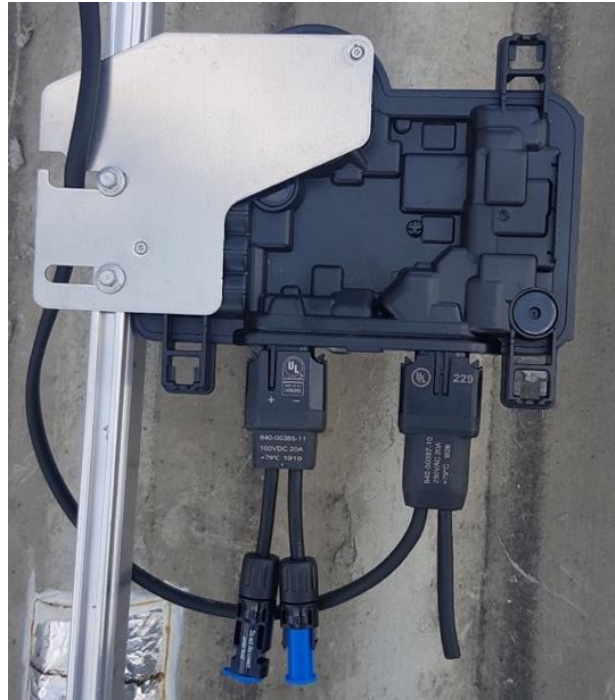
### **Imagen 13. Instalación del panel de protecciones**



Fuente: archivo personal del autor

Como se explicó anteriormente, a diferencia de los inversores centrales, los micro inversores trabajan de forma individual. Para su adecuación el paquete de micro inversores IQ7+ de Enphase trae las conexiones necesarias para llevar la energía del panel al micro inversor (ver imagen 14). Este tiene capacidad de recepción de 100V de corriente continua (DC) a 20 Amperios y luego lleva la energía del micro inversor hacia el sistema de distribución (panel de protecciones), a través de la conexión, evidenciada a la derecha de la misma imagen, que posee una capacidad de salida de 250V de corriente alterna (AC) a 20 Amperios.

#### Imagen 14. Conexión de los micro inversores



Fuente: Autor

Luego de realizada la conexión de entrada de los micro inversores, se realiza la interconexión de los mismos con el puerto de salida. Este posee un cableado de doble línea con el que se lleva la energía del circuito de micro inversores, conectado en serie hasta las respectivas cajas de conexiones (Junction Box), que luego dirigen la energía al panel de protecciones encargado de la distribución. Las cajas de conexiones, tal como se explicó en el diseño, son 3 dado que el sistema se dividió en tres circuitos los cuales 2 son 10x2; 1x2 (dos circuitos de diez paneles, cada circuito con una Junction Box) y 1x9 (circuito de 9 paneles con una Junction Box).

### Imagen 15. Interconexión de los micro inversores



Fuente: Autor

Desde la cajas de conexiones (Junction Box), hasta el panel de protecciones, se dispone de una Tubería Eléctrica Metálica (EMT) de ½". Esta se encuentra fabricada en acero galvanizado, diseñado para uso industrial en exteriores y que se encarga de conducir el cableado de punto a punto protegiendolo de la intemperie. Dicha tubería se fija por medio de abrazaderas, las que se incrustan en la pared por medio de pernos y tornillos golosos galvanizados, proceso que se puede apreciar en la imagen 16, a continuación.

**Imagen 16. Tubería de protección del cableado**



Fuente: Autor

### **8.3.5 Instalación de los paneles solares y módulo Envoy**

Luego de terminarse la instalación de los micro inversores y el cableado, que llevaría la energía de los paneles solares hasta el panel de protecciones, se inicia con el izaje de los paneles uno por uno de manera artesanal. Para ello se utilizaron dos cuerdas y dos trabajadores, ubicados en el techo, quienes estarían halando de las

cuerdas y acomodando los paneles para su posterior instalación, como se observa en la siguiente imagen.

**Imagen 17. Izaje de los paneles**



Fuente: Autor

Uno por uno, los paneles fueron instalados en serie en dirección horizontal, como se observa en la imagen 18. Esto se hizo con una conexión simple por medio de los receptores de doble cableado, ubicados en el micro inversor observados en la imagen 15, los cuales fueron conectados en la salida de energía de los paneles solares. En las siguientes fotografías, se puede apreciar el circuito 3, ubicado en la parte posterior del edificio totalmente listo para su funcionamiento.

**Imagen 18. Instalación de los paneles solares**



Fuente: Autor

**Imagen 19. circuito 3 instalado**



Fuente: Autor

Finalizando el proceso se realiza la instalación y conexión del sistema Envoy de Ephase (ver imagen 20), el cual será el encargado de monitorear el estado de los micro inversores y enviar un reporte continuo de la generación y funcionamiento del sistema por medio del software Enlighten. Este permitirá realizar el análisis posterior de rendimiento de la central, entregando datos como el rendimiento por micro

inversor, por circuito o de la central completa y arrojando información acerca de las horas críticas de generación. Este aglomerado será de gran utilidad al momento de determinar las horas de los picos y valles de generación a lo largo del día. Además, permitirá llevar el control diario del mismo, para la entrega mensual de un consolidado que facilite compararlo con el consumo real y, de esta manera, constatar si la central cumple o no con los requisitos de diseño.

### Imagen 20. Instalación del Envoy



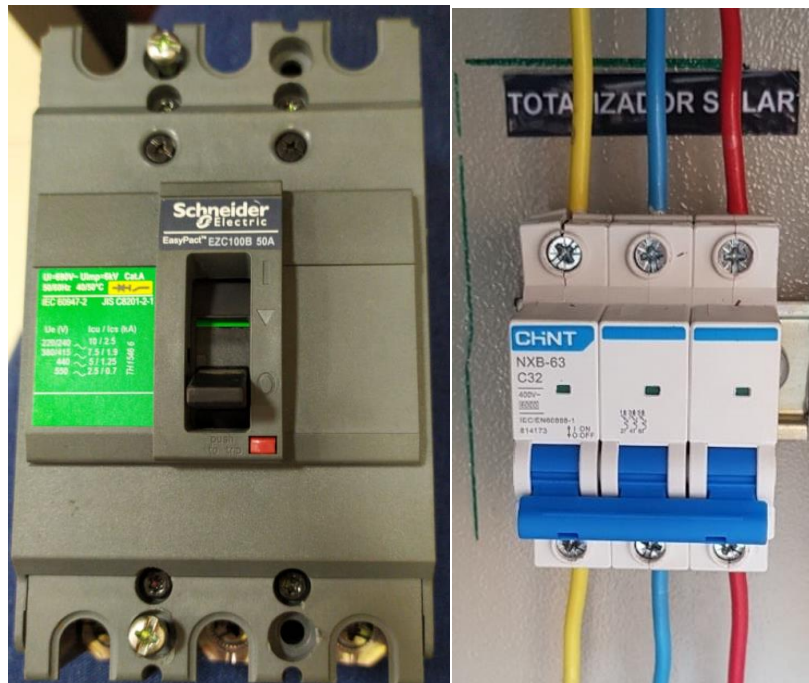
Fuente: Autor

### 8.3.6 Cambio de contador y de disyuntor

Dado que en los cálculos de el amperaje total producido por el sistema se registraba una carga considerablemente menor, de 31 amperios, a la del disyuntor disponible, de 50 amperios, se decidió por seguridad del sistema, cambiar el disyuntor de 1x50 amperios, (apreciable a la izquierda en la imagen 21), por un disyuntor de 1x32 amperios (el de la derecha). Se debe aclarar que, en caso de generarse una sobrecarga de más de 32 amperios por cualquier motivo, el disyuntor de 50 amperios quedaría bloqueado. Es decir, este mecanismo no se accionaría dado que

su límite de protección es mucho mayor, lo que finalmente da paso a que se ocasionen daños permanentes en el sistema.

### Imagen 21. Cambio de disyuntor totalizador



Fuente: Autor

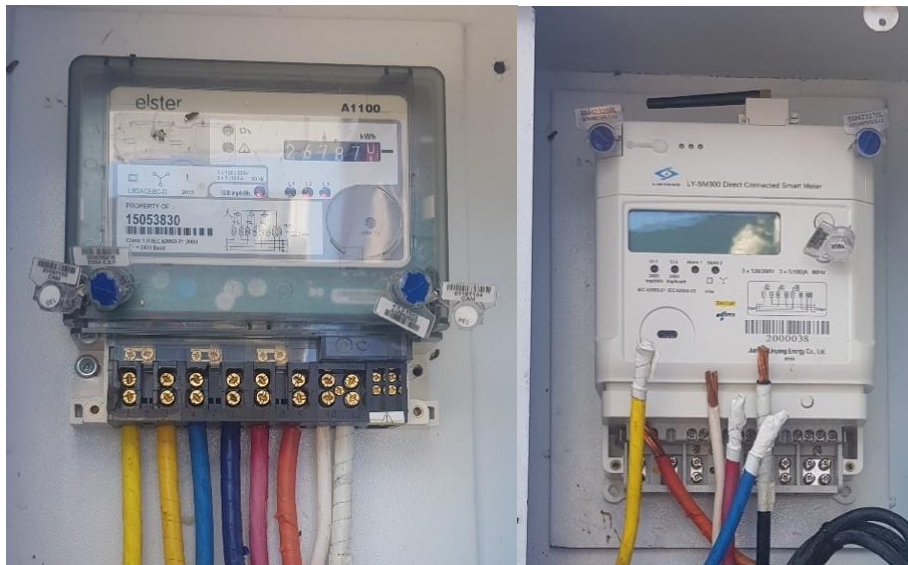
Una vez se hace el cambio, se procede a realizar la gestión con la Electrificadora de Santander, ESSA grupo EPM, para realizar el retiro de los sellos del contador y expedir el certificado de su para el posterior cambio de contador (imagen 22). Después, como se evidencia en la imagen 2, se hace el cambio de contador unidireccional (izquierda) al contrador bidireccional (derecha). Posteriormente, se realiza la inspección por parte de la ESSA, con el fin de expedir el certificado de inspección que apruebe el contador, para finalmente volver a instalar los sellos del contador que permitan el uso legal del nuevo mecanismo.

**Imagen 22. Retiro de sellos del contador**



Fuente: Autor

**Imagen 23. Cambio de contador**



Fuente: Autor

## **8.4 ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DE LA CENTRAL**

Para el análisis de rendimiento de la central se realizaron una serie de cálculos, los cuales permiten tener una idea del rendimiento teórico de la central. Así, se tomaron como base diferentes datos aportados por el IDEAM, acerca de la radiación promedio por metro cuadrado en Barrancabermeja (anexo C), junto con las especificaciones técnicas de los paneles de donde se sustrajeron datos como la eficiencia de los paneles y las medidas exactas del largo y ancho. Además, se utiliza el software de monitoreo Enlighten de Enphase, con el fin de recolectar la información de generación real diaria. Esto sirve para darle seguimiento a la generación, obteniendo un promedio real mensual, lo que se utilizará para comparar con los datos arrojados por los cálculos de rendimiento teórico.

### **8.4.1 Promedios de generación y radiación aprovechada**

Para continuar, se ejecutaron una variedad de cálculos sobre la radiación aprovechada y la generación de la central fotovoltaica. Las finalidades de esta recolección de datos corresponden tanto a un aspecto teórico como práctico. Del primero se espera contrarrestar la información entre la evidencia y el planteamiento científico generado alrededor de la FENC. Lo segundo se un balance del comportamiento del sistema para dar reporte a la empresa y los entes involucrados en el proceso mismo.

#### **8.4.1.1 Cálculos del promedio**

Para los cálculos de generación solar se estipularon una serie de ecuaciones específicas ajustadas a las condiciones del lugar de instalación. Estas contienen variables de radiación y constantes como la eficiencia de los paneles solares (ver anexo E). Se aclara que los cálculos de generación teórica si los paneles tuviesen

100% de eficiencia. De acuerdo con los datos de radiación del IDEAM, se calcula la radiación teórica que captan los paneles por metro cuadrado. También se calcula la generación teórica con la eficiencia real del panel, el promedio real de radiación captada por metro cuadrado de los paneles y se realiza el cálculo para hallar la diferencia en porcentaje entre los datos teóricos y reales.

Las ecuaciones utilizadas para los cálculos de generación teórica y real son\*:

- Para la generación teórica promedio que tendría una central, si los paneles se desarrollaran al 100% de la capacidad:

$$Gp_{100} = PRI \left[ \frac{\frac{kWh}{m^2}}{\text{día}} \right] * A_t [m^2]$$

- Para el promediar la radiación que teóricamente captarían los paneles utilizando el 19.7% de eficiencia en su totalidad.

$$Rt_{19} = PRI \left[ \frac{\frac{kWh}{m^2}}{\text{día}} \right] * \eta$$

- Para hallar la generación teórica promedio de la central con la eficiencia del 19.7%:

$$Gt_{19} = Rt_{19} \left[ \frac{\frac{kWh}{m^2}}{\text{día}} \right] * A_t [m^2]$$

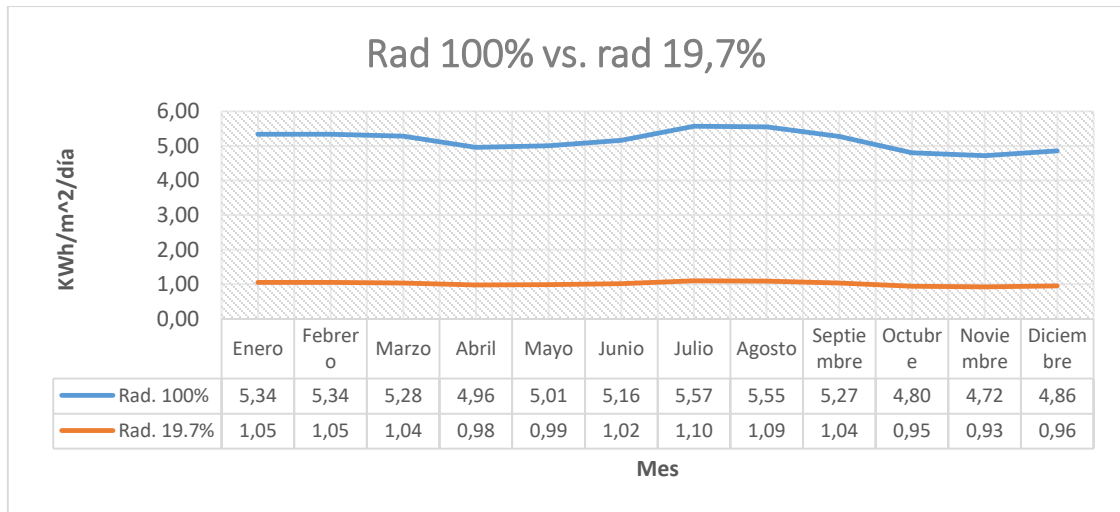
- El promedio de generación real por metro cuadrado se calcula de la siguiente manera:

$$Pg_{19} = \frac{G_r}{A_t [m^2]}$$

\*Nota: la generación real (Gr) es un promedio de los datos tomados diariamente durante los meses de prueba, del software Enlighten.

En la siguiente gráfica se pueden apreciar los datos arrojados por los cálculos realizados, donde se muestra la radiación promedio por metro cuadrado en Barrancabermeja, comparada con la radiación total aprovechable por los paneles con el 19.7% de eficiencia.

**Grafica 4. Radciación total vs. radiación aprovechable**



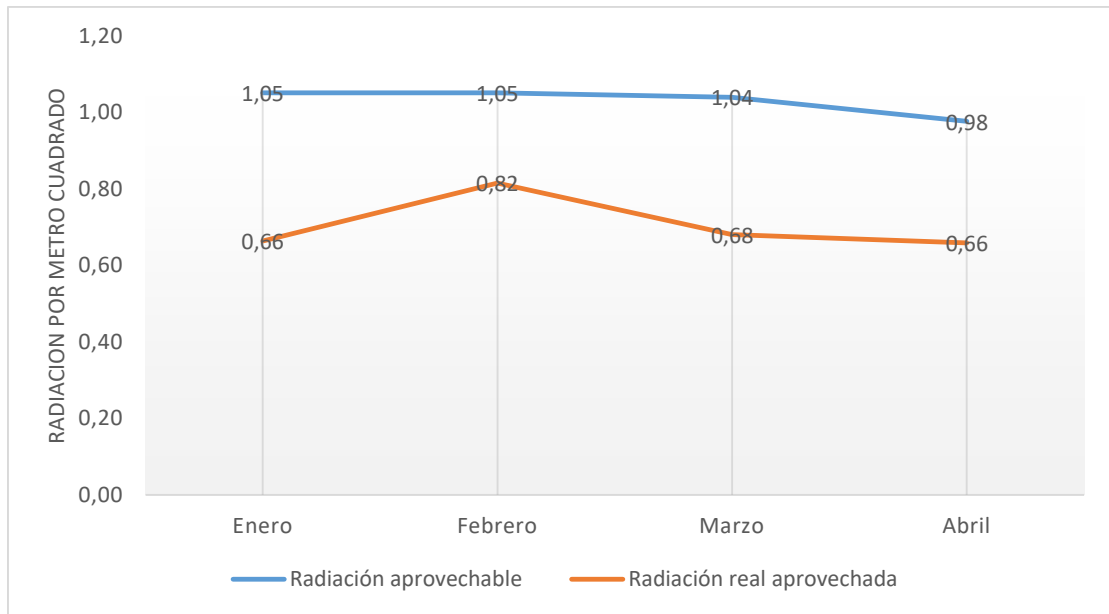
Fuente: Autor

Se puede apreciar que la radiación por metro cuadrado en Barrancabermeja oscila entre los 4.72 y los 5.57 [kW/m<sup>2</sup>/día]. Esto arroja un promedio del orden de 5.16 [kW/m<sup>2</sup>/día] con una eficiencia de los paneles del 19.7%, lo cual, después de realizados los cálculos, indica que la radiación máxima aprovechable por la central oscila entre 0.93 y 1.10 [kW/m<sup>2</sup>/día] lo cual promedia un total de 1.02 [kW/m<sup>2</sup>/día] aprovechables por el sistema de paneles.

### 8.4.1.2. Radiación aprovechable y radiación real aprovechada

Una vez se examinó el comportamiento de la central en los meses de prueba, fue posible evidenciar un comportamiento donde, si bien el rendimiento de la central fue destacable, la radiación de aprovechada por la central distaba de la generación teórica aprovechable.

**Grafica 5. Radiación aprovechable vs. Radiación real aprovechada**



Fuente: Autor

De la gráfica 5 se tiene que hay una diferencia entre la cantidad de radiación total que el panel por su eficiencia puede absorber y la cantidad de radiación que realmente absorbe; discimilitudes que oscilan entre el 22% y el 37%. Las variaciones evidenciadas pueden deberse a múltiples factores, tales como el número de días de generación para el caso de enero, cambios repentinos de clima, errores en el manejo del sistema, baja radiación por temporada, entre otros.

Cabe resaltar el hecho de durante la realización de las pruebas de rendimiento se presentó una situación inesperada que se convirtió en un factor crítico influyente

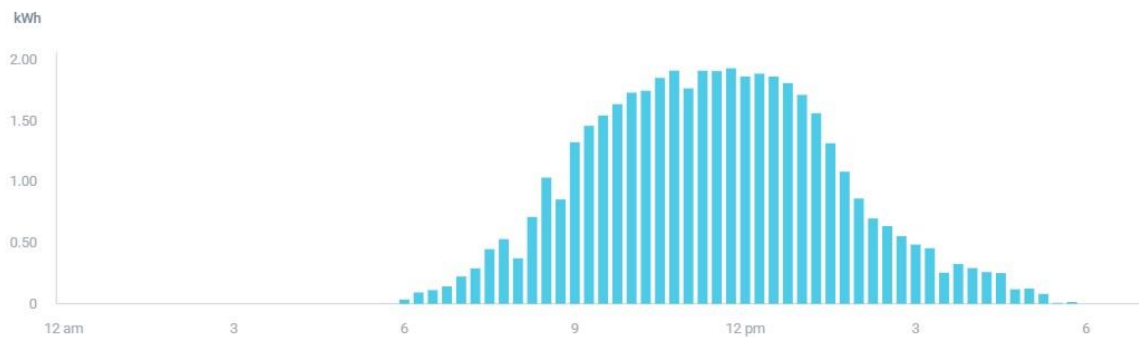
directamente la producción de energía. Se está hablando de la pandemia del COVID-19, que conllevó a un confinamiento obligatorio a nivel mundial. Esta medida implica una restricción de movilidad, llevando al uso casi nulo del transporte individual, la parada parcial o total de muchas industrias, además de otros factores que aportaron a la disminución de la contaminación ambiental por gases y materiales particulados. Esto debido a que, dicha polución, es producto del uso de motores de combustión interna y actividades de la industria que requieren el empleo de hidrocarburos pesados. Dicha disminución de la contaminación desencadenó un cambio en el clima favorable para las personas, pero desfavorable para la central, lo cual fue percibido a nivel mundial y local.

Asimismo, por causa por causa de los cambios climáticos ocasionados por el confinamiento obligatorio y el inicio de la temporada de lluvia, para los meses de marzo y abril se observó un comportamiento diferente. Aquí la tendencia del aprovechamiento de la radiación disminuyó con respecto al mes de febrero, en donde el confinamiento aún no se había decretado y, por lo tanto, la misma curva distó menos de la radiación total aprovechable.

#### **8.4.1.3 Predicción del comportamiento de la central**

La central de manera natural brinda un comportamiento que gráficamente es parecido a la campana de gauss de distribución normal, pues como se puede observar en la gráfica 6, esta asciende lentamente a partir de las 6 am que es la hora donde el sol empieza a golpear la cubierta B y se generan los primeros índices de generación del día. Avanza hasta llegar a su punto máximo de generación entre las 10am y la 1pm, por ultimo esta grafica desciende paulatinamente hasta aproximadamente las 5:45 pm que es la hora estimada de anochecer en Barrancabermeja, formando así una tendencia de generación ilustrada de lo que se espera de una central de generación fotovoltaica.

## Gráfica 6. Comportamiento esperado de la central



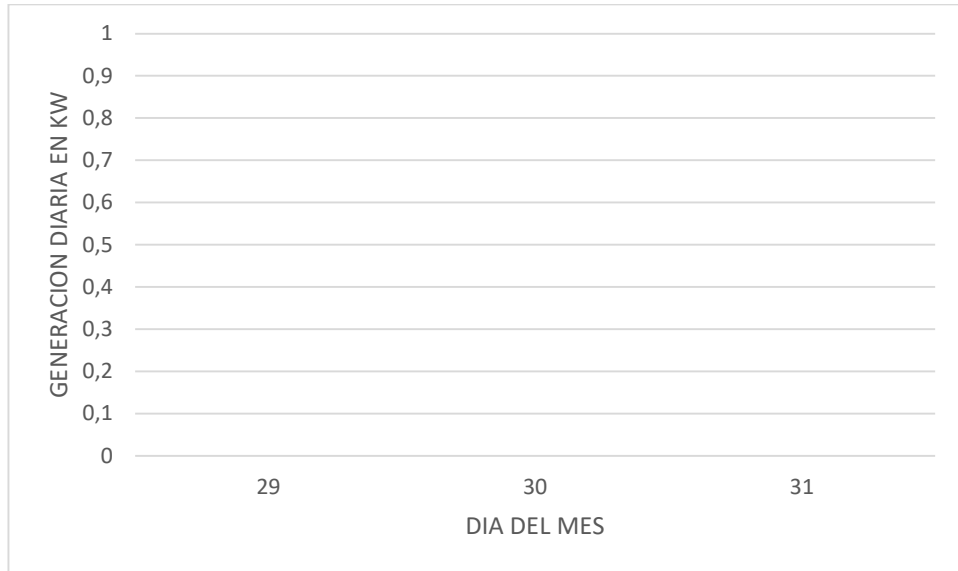
Fuente: Software Enlighten, Grafica de generación 29 de marzo de 2020, Edificio PSIG

### 8.4.2 Producción diaria

Desde el día siguiente de la puesta en marcha de la central fotovoltaica, se inició el proceso de la toma de datos de generación diaria. Estos fueron registrados en una tabla disponible en el anexo F, en la cual se seguirán tomando, de manera permanente, esta información dentro de la empresa. Esta misma consta de filas que se dividen por meses (las columnas), donde se toman los datos diarios y, al final, se proporciona un espacio extra que registra el consolidado mensual de generación. La última fila es la que indica si se ha superado, o no, el rendimiento esperado.

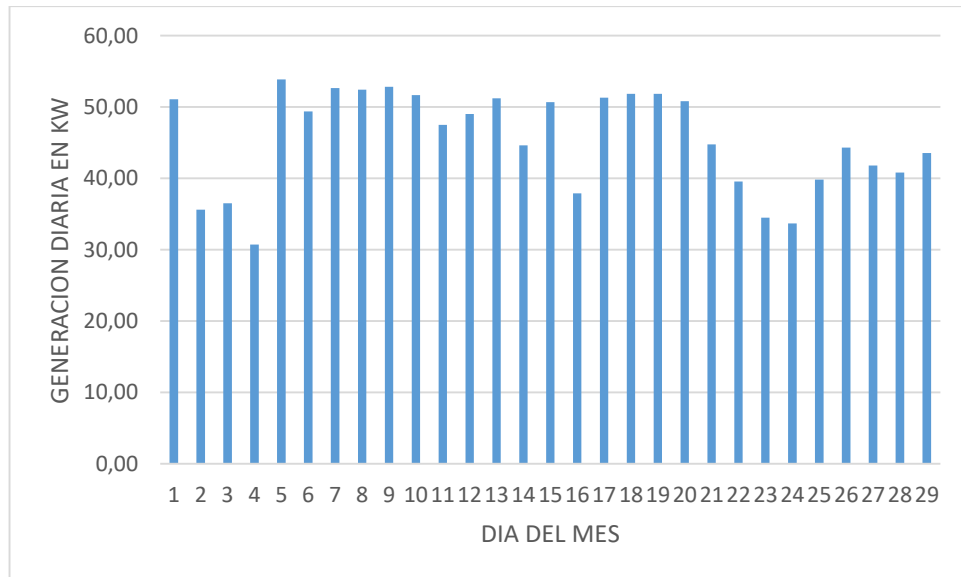
Al realizar el análisis del grueso recolectado se debe tener en cuenta que, dadas las circunstancias de diseño, no se espera un máximo de producción igual a la carga consumida por el edificio. En este caso lo que se espera es que la carga mínima de la central no sea menor al 100% de la carga total consumida por el edificio. En las siguientes graficas se reflejan diversas tendencias, las cuales fueron estimadas a partir de los datos tomados durante los 4 meses de prueba, desde que se instaló la central hasta el momento en que se determina que el rendimiento de la central el exitoso y el proceso culmina.

**Grafica 7. Prueba de generación enero**



Fuente: Autor

**Grafica 8. Prueba de generación febrero**

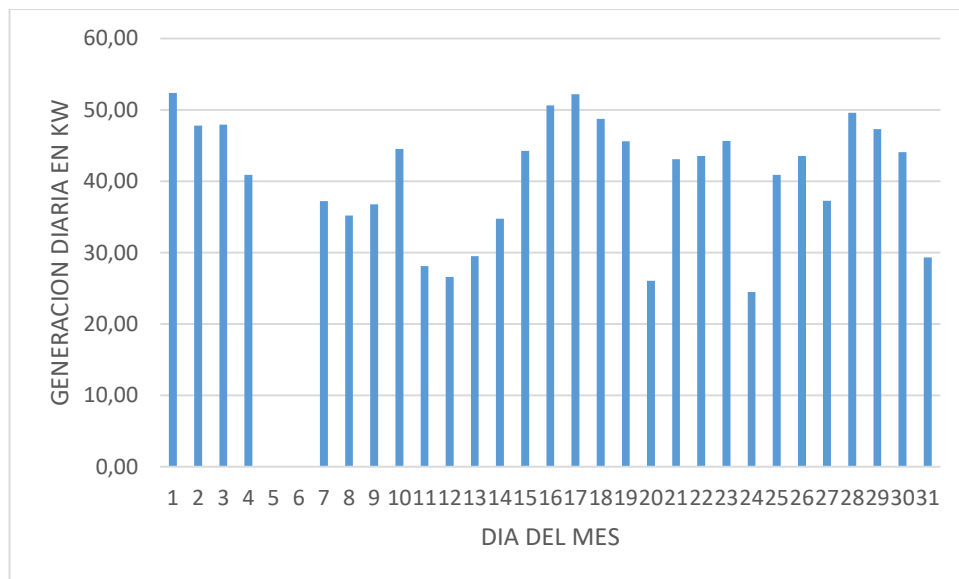


Fuente: Autor

La prueba iniciada en enero arrojó datos acerca de dos días que son el 30 y 31 del mes que representan el primer y segundo día de conexión de la red, visibles en la

gráfica 7. En el mes de febrero se registró la generación más alta de la prueba, observando picos de generación en la gráfica por encima de los 50Kw en 12 días del mes, lo que corresponde a que en un 41.38% del mes se generó la carga más cercana a los datos teóricos estimados.

**Gráfica 9. Prueba de generación marzo**



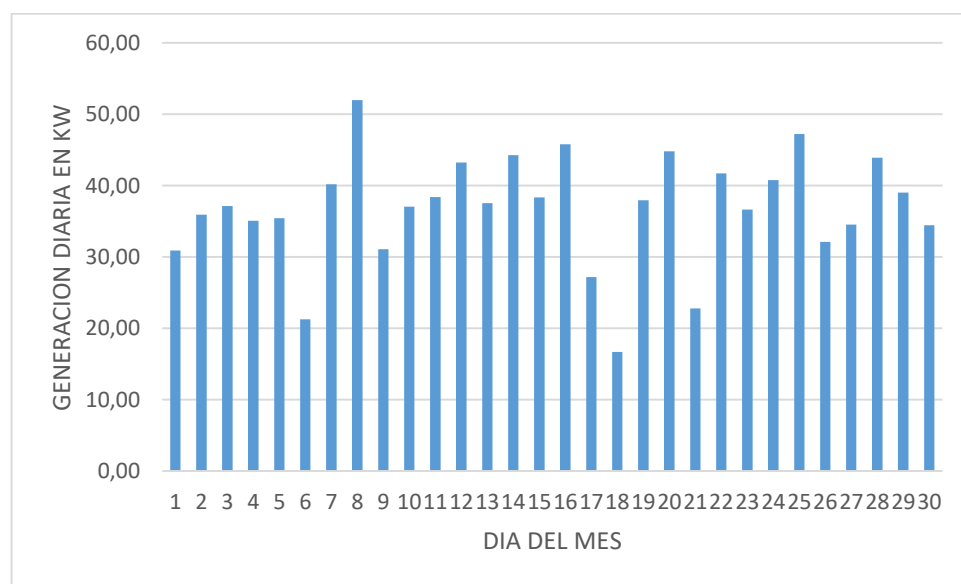
Fuente: Autor

El tercer mes pronosticaba ser igual de eficiente al anterior, mostrando picos de generación por encima de los 50Kw. No obstante, ocurrieron dos eventualidades que afectaron de manera directa la generación de la central. Por un lado, el día 5 de enero en horas de la mañana el personal enviado por parte del ente RETIE llegó a las instalaciones a realizar las pruebas obligatorias para comprobar el estado de la acometida de la central y los estándares de seguridad, pero durante ese proceso sin previa consulta y sin dar aviso en la empresa, manipularon los disyuntores abriendo el circuito y dejando el edificio sin generación. Este error se descubrió a través del monitoreo del software, el cual presentaba dos condiciones: la primera fue una falla en el reporte de generación y la segunda fue la ausencia de reportes de funcionamiento de los micro inversores. Solo hasta el día siguiente, y gracias a

la revisión del panel de protecciones, se evidenció que todos los disyuntores se encontraban en posición de apagados. Esta eventualidad causó la pérdida de 2 días de generación.

Por el otro lado, la contingencia y confinamiento obligatorio producto de la pandemia por Covid-19 alrededor del mundo, ya estaba mostrando de a poco sus efectos en el clima. A esto se sumaron los esfuerzos y decretos nacionales para el aislamiento, lo que aportó aún más al cambio climático. Esto influyó en el hecho de que, durante todo el mes de marzo, la generación superara solo en un 9.68% la marca de los 50Kw, y, por primera vez, se registraran producciones por debajo de los 30Kw.

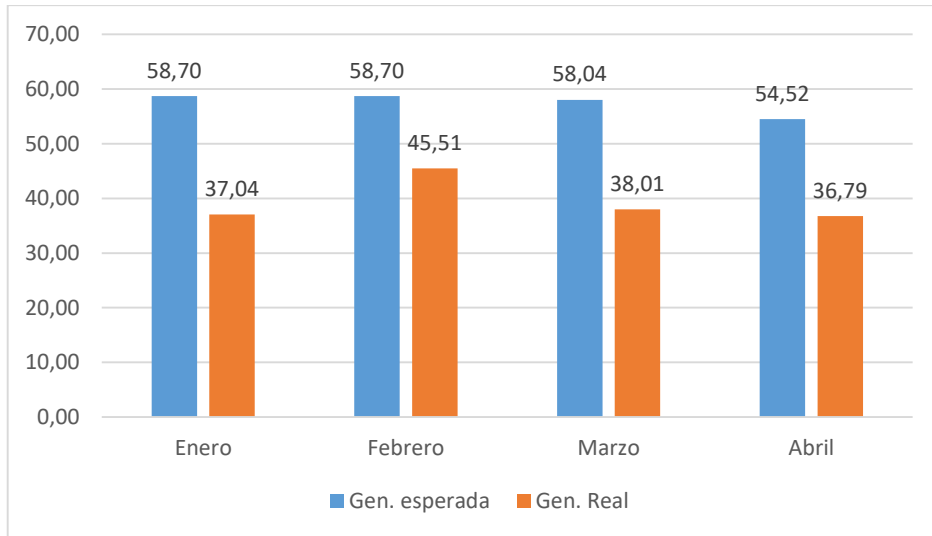
**Gráfica 10. Prueba de generación abril**



Fuente: Autor

En el mes de abril, dada la continuidad de la contingencia mencionada, la generación registró sus números más bajos con producciones que estuvieron en el orden de los 20 a los 47Kw. Siendo la más baja registrada a lo largo de la prueba, con tan solo 16.7Kw, la correspondiente al día 18, sumado a que solo se registró un día con una marca superior a los 50Kw.

**Gráfica 11. Generación teórica Vs. Generación real**

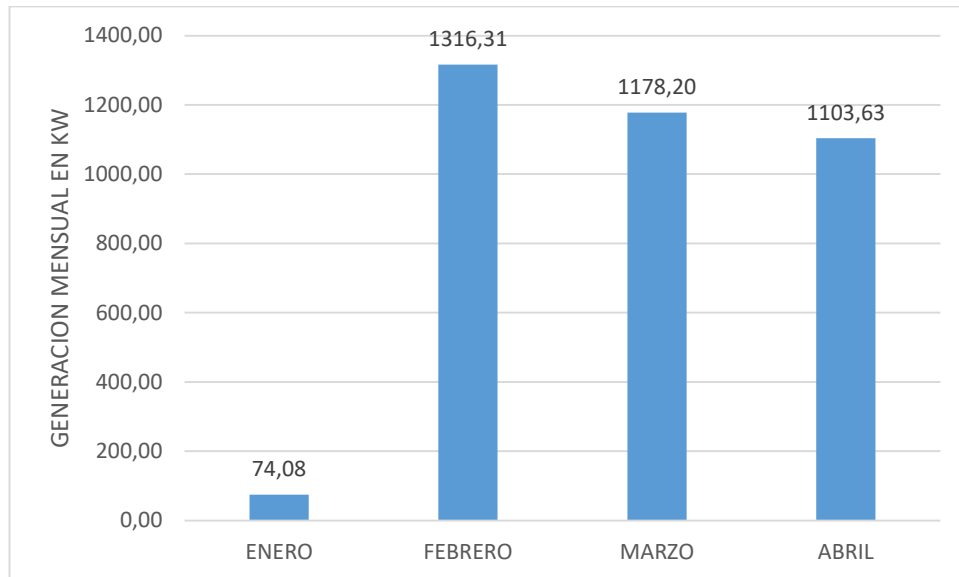


Fuente: Autor

En la gráfica 11 se refleja la diferencia entre los datos teóricos calculados acerca de la generación esperada por la central (color azul) y el promedio de generación diaria, calculada tomando los datos correspondientes a cada mes y dividiéndolos en el número de días (color naranja). Esto confirma que después de febrero, donde el promedio fue el más alto, hay una tendencia descendente en los meses de marzo y abril. Se respalda la afirmación de que factores como el clima y otras variables exógenas influyen en la producción de energía.

Finalmente, en la siguiente gráfica se muestran los consolidados de generación mensual. Se estima que, pese a las eventualidades, la generación permanece por encima del estándar mínimo de producción, que era de 600Kw/mes en las pruebas. Se habla de un registro en este tiempo de entre 83.9% y 119.4% por encima de la carga total consumida por el edificio. Esto permite especular que, gracias a las características geográficas de Barrancabermeja, la recolección energética es más o menos estable, aun con las influencia de factores sujetos a condiciones externas. Es decir, la obtención de electricidad a partir del sol en este punto puede ser confiable, aunque se presenten mes a mes diferencias en la cantidad.

**Gráfica 12. Consolidado de generación mensual (enero-abril)**



*Fuente: Autor*

## **8.5 CERTIFICACIÓN RETIE**

Siguiendo los lineamientos establecidos en el capítulo 2 de la resolución CREG 030 de 2018, donde se manifiestan las condiciones para la conexión de sistemas de autogeneración y entrega de excedentes en líneas de tensión 1, se realiza la gestión para la visita de un ente certificador avalado por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC). Este es el encargado de realizar el estudio y correspondiente dictamen, cuyo objetivo es certificar el sistema de generación, avalándolo como seguro y listo para realizar su conexión al Sistema Interconectado Nacional (SIN). Lo anterior, una vez realizado, permitiría continuar con el proceso para que se habilite la entrega de excedentes, concluyendo de esta manera para llevar a cero los costos por concepto de pagos de servicio público de energía eléctrica.

### **8.5.1 Visita del ente certificador y pruebas del sistema**

El proceso de certificación constó de dos pruebas realizadas en cortos periodos de tiempo durante el transcurso de un día (ver imagen 24). La primera consistió en una prueba de continuidad desde los paneles y micro inversores hasta la caja de protecciones, en la que se realizó una comprobación rápida del correcto funcionamiento del sistema cuando el circuito se encontrara cerrado. Esto hace posible verificar que efectivamente fluyera la electricidad a través del circuito y que, por el contrario, cuando este se estuviese abierto exista continuidad de la corriente.

La segunda prueba consistió en prueba de continuidad y resistencia de la puesta a tierra del sistema, en la que se estima el cabal cumplimiento de las condiciones, a lo que se espera esté garantizada la correcta respuesta en casos de fuerza mayor. Es decir, en el caso de una sobre carga por la caída de un rayo, o cualquier otro factor externo que signifique un riesgo potencial de sobrecarga para el sistema, que la puesta a tierra tenga la capacidad completa de resistir, redirigir y como su nombre lo indica, llevarla a la tierra, evitando daños en el circuito eléctrico de la central.

### **8.5.2 Dictamen**

El proceso de estudio de las pruebas, dictamen y expedición de la certificación RETIE tuvo una duración de 15 días, contados a partir del momento en que se realizaron las pruebas. Tal como se esperaba, el veredicto fue positivo, gracias a las estricta normatividad aplicada a lo largo del proceso. Esta certificación de aceptación del circuito y conexión a la red se encuentra evidenciada en el Acta No. 20402056 de la electrificadora de Santander ESSA.

En general, se resaltaron las buenas prácticas de seguridad adoptadas, que consideraron adecuadas para facilitar el futuro desempeño de la central. Algunas de estas fueron la caja de intemperie para el panel de protecciones, el calibre del

cableado y el cambio del disyuntor totalizador de 1x50 Amperios al de 1x32 amperios, además del orden del cableado. En su conjunto, todo ello facilitó el reconocimiento de la acometida y 10 días después de la emisión de la certificación RETIE, la ESSA realiza la visita de conexión, dando por acabado exitosamente el proyecto.

**Imagen 24. Pruebas para certificación RETIE**



Fuente: Autor

## CONCLUSIONES

A manera de conclusión, se puede afirmar que en general los objetivos del presente proyecto pudieron ser cumplidos a cabalidad, según se había propuesto inicialmente. Así, se registra el paso a paso del proceso total que va desde su formulación inicial hasta el diseño, puesta en marcha y seguimiento de una central de generación fotovoltaica en edificio empresarial. Para esto, fue necesario realizar previo a todo trabajo, un estudio consciente de las necesidades energéticas de la compañía, recolectando así su promedio de consumo y pago de recibos en el tiempo que se estableció para recolectar dicha información que, junto con el estudio de los beneficios ambientales y las facilidades que ofrece el gobierno en términos de reducción de impuestos permitieron establecer los parámetros para presentar una propuesta sólida que vendiera el proyecto de manera eficaz.

De esta manera, se pensó la estructura que mejor se ajustara al escenario de desenvolvimiento, lo que permitió conseguir el reemplazo efectivo de la fuente de energía, teniendo presente las implicaciones, ventajas y desventajas que conllevaba, siendo sorteadas conforme se fueran presentando y dejando satisfecho al cliente el cual es el objetivo mayor de todo proyecto.

Gracias al registro detallado obtenido antes, durante y posterior a la culminación del trabajo, se verifica que esta central cubre el 100% (siendo el promedio de consumo 601.6 kWh) de la demanda energética de la empresa seleccionada. Incluso se comprueba una capacidad por encima de este promedio, generando entre el 87 y 119% adicional (con generaciones de entre 1103 y 1316 kWh). Esto debido a la implementación de la nueva tecnología de inversores conocida como los micro inversores que permiten aislar la generación de cada panel aprovechando al máximo la generación de manera individual y así mismo, poder controlar tanto el rendimiento como el estado de cada panel gracias a la tecnología incluida Envoy incluida en el paquete de micro inversores.

Tal como se puede verificar mediante la evidencia entregada, dicha central fue planeada y ejecutada según una serie de recomendaciones técnicas, legales, etc., lo que implica un sistema adecuado, eficiente y ajustado a las normas vigentes que lo regulan. Esto se ve soportado por el hecho de que el ente regulador pertinente, otorgó la denominada certificación RETIE, avalando así su funcionamiento legal y establecido.

Se dejan expuestos los beneficios que la empresa puede obtener presentando el proyecto ante el ente pertinente, UPME (Unidad de Planeación Minero-Energética), los cuales incluyen el descuento del 50% del valor del proyecto en impuestos de renta, lo cual junto con los formatos de seguimiento realizados durante el desarrollo del proyecto abren también la posibilidad de certificar a la empresa en la ISO 50001 que es la norma que establece el marco para el sistema de gestión eficiente de la energía, certificando a la empresa por el eficiente uso de la energía y el cuidado de los recursos naturales. Todo lo anterior abre paso también para que la empresa adquiera bonos de carbono que abren la posibilidad de adquirir más incentivos económicos que son ofrecidos por el gobierno dirigidos a las empresas privadas que en el marco de su desarrollo contribuyan a mejorar la calidad del medio ambiente.

Respecto al proyecto como tal existen varias reflexiones por hacer sobre el mismo, las cuales permiten dimensionar el profundo alcance que tiene y la gran cantidad de áreas involucradas que deben ser tenidas en cuenta. La primera de ellas responde a las consideraciones técnicas del proyecto dada su naturaleza de ingeniería, toda persona interesada en el montaje de este tipo de estructuras debe estar debidamente informada previo al emprendimiento. El diseño tiene que realizarse de acuerdo con los parámetros científicos exigidos y cumpliendo a cabalidad con la normatividad legal del país. Estos son algunos de los aspectos fundamentales para tener en cuenta, si se desea participar exitosamente en este campo. Cada detalle es válido, desde los componentes, los productores, el lugar, la finalidad, las metas,

entre muchos otros. Con base en esto, se debe proponer el plan de acción que mejor se acomode a los intereses de todas las partes involucradas.

En segundo lugar, se puede pensar sobre los beneficios económicos que acarrea este tipo de proyectos. Hablando en un escenario industrial, las empresas pueden optar por esta alternativa que, según se ha demostrado, significaría una disminución considerable en el consumo energético. Si una compañía es capaz de generar su propia electricidad con el aprovechamiento de la radiación solar, esto reduciría el pago de servicios públicos. El excedente de los pagos antes y después de la instalación de esta central, queda disponible para ser reinvertido en otras áreas que a futuro producirían mayores utilidades. Es decir, esto se convierte en una ventana de oportunidad que, con un manejo estratégico, atrae ganancias.

Otra ventaja de carácter fiscal relacionada a la anterior tiene que ver con los incentivos establecidos por las políticas nacionales. Como se ha estudiado, Colombia ofrece beneficios orientados a estimular la adopción de fuentes de energía limpia, tales como la disminución de determinados impuestos, certificaciones, bonos, etc. Todo ello se junta para crear un paquete atractivo de medidas que ayudan a la economía de los empresarios, a la vez que se lucha por la protección del medio ambiente.

Esto lleva a pensar en dos aspectos de gran importancia y los que finalmente han suscitados gran parte de los movimientos orientados a este fin: el medio ambiente y la sociedad. Respecto del primero, es clara la creciente preocupación el delicado estado del balance ecológico, el cual ha sido gravemente afectado por la explotación intensiva de los recursos naturales, especialmente de las fuentes tradicionales de energía. Situaciones como la polución del aire, del agua, la extinción de especies, disminución de áreas protegidas y más, están en la mira porque afectan directamente el bienestar del ser humano. Por tal razón, entidades supranacionales como la ONU y otras, han procurado ejecutar planes de acción mancomunados con los gobiernos independientes, que tengan por objeto intervenir en este escenario y mejorarlo en lo posible. No se trata solo de perpetuar la obtención de energía, sino

de restaurar el equilibrio, alejando a la humanidad del oscuro devenir que se proyecta.

Con relación al segundo, el aspecto social ocupa un importante puesto en las agendas política de varios de los actores mencionados. Preocupa la gigantesca inequidad socioeconómica, falta de acceso a estos servicios, salud y demás, que se ha visto influenciado por esta misma estructura. Esta es un área que, en mayor o menor medida, estaría influenciada por la consecución de un medio de energía. Mejorando, aunque sea, una de las tantas fallas que la población más vulnerable posee y que muchas veces no tienen soluciones efectivas de largo plazo.

De manera general, este proyecto se constituye como un aporte al debate científico vigente sobre el empleo de estas energías. Tal como se estudió, esta discusión data de décadas, donde constantemente se suman pruebas de diversa naturaleza para apoyar uno u otro argumento, según sea el caso. El propósito de esta investigación es evidenciar las ventajas de la energía solar fotovoltaica, sin desconocer sus limitaciones, costos y proyecciones realistas de lo que esperar con este tipo de centrales.

Claro está, nada de lo aquí presentado esta exento de críticas o faltas comunes a todo trabajo académico disponible. Sin embargo, su valor recae en documentar la aplicación en un escenario común de un estudio científico, diseñado a partir de una buena cantidad de consideraciones previas. El punto era, dar ese necesario salto a lo que el filósofo, economista y sociólogo alemán Karl Marx, se refiere como *Praxis*. Si bien en este punto no se desea entrar en una discusión de carácter filosófico, lo que se desea resaltar de este concepto es su implicación de generar un cambio tangible que abandone su formulación meramente teórica. En otras palabras, es articular “un determinado conocimiento de la realidad social, una crítica radical a dicha realidad y un proyecto para su transformación” [33].

Lamentablemente, a pesar de las recomendaciones y las pruebas aportadas por diferentes fuentes, parte de la teoría ha quedado limitada a su planteamiento escrito

sin generar resultados realistas. Este es el tipo de crítica al que invita Marx, el dejar la comodidad de plantear grandes ideas que no sean capaces de trascender a la vida cotidiana más allá de suscitar malestar o la continuación perpetúa del debate que no aporta evidencia tangible. Si bien este es un proyecto de ingeniería, no por ello deja de resultar valioso al concretar con claridad la aplicación de una alternativa posible, responsable y eficaz en su meta: recolectar, transformar y producir electricidad a partir de la radiación solar.

## **RECOMENDACIONES**

Para finalizar, se realizan algunas recomendaciones sobre el proyecto. Respecto a su parte técnica y formal, el objetivo es continuar asegurando el correcto funcionamiento de la central, velando por vigilar e intervenir en aquellos elementos

que inciden en su desempeño general. Siendo así, se recomienda llevar la continuidad en el control de generación y consolidado mensual. Esta recolección de información permite tomar decisiones adecuadas según sean necesarias, teniendo en cuenta el desarrollo histórico de la central. Con estos datos se pueden reajustar los límites de consumo energético, para de esta manera asegurar una capacidad y rendimiento óptimos que resulten beneficiosos para la empresa. Además, se controla la exportación energética a partir de la cual se calcula la remuneración, representando ahorro y ganancias.

Asimismo, se aconseja llevar a cabo, durante la rutina de mantenimiento bimestral, una limpieza sencilla a los paneles como medida preventiva. Con esto se busca retirar cualquier suciedad que pueda afectar la eficiencia del sistema y lo afecte en el largo plazo. Si bien esto no se debe limitar solamente a este punto, sino que se puede expandir a otras áreas de la central, pues se apunta a desarrollar herramientas que vayan desde la vigilancia, seguimiento, hasta el diseño de planes de acción necesitados en diferentes casos. Así, en escenarios donde haya daños, retrasos, alternativas, o cualquier otro factor que influya, se pueden evitar demoras puesto que se tienen diseñadas las medidas que sean beneficiosas y ajustables.

Respecto a la parte académica, se retoma la intención manifiesta de las conclusiones del proyecto. La meta es generar un sentimiento de acción que invite a dejar las consideraciones teóricas para demostrar, mediante hechos factibles, las ventajas, implicaciones y consideraciones para tener en cuenta en el uso de fuentes de energía alternativa. Esta investigación comprueba el alcance que puede tener y se recomienda participar atendiendo a las consideraciones explicadas.

## **CUADRO DE COSTOS**

En el cuadro que se presenta a continuación, se realiza un desglose monetario en los que incurre el proyecto. Se enlistan los items correspondientes a ser empleados, mano de obra, asesorías, elementos relacionados a permisos y demás asuntos

legales, junto con otros de amplia categorización. Se debe aclarar que la empresa designada ha asumido estos costos en su totalidad.

ITEM	DESCRIPCION	CATEGORIA	CANTIDAD	H/MES	VALOR/MES	VALOR TOTAL
1.	Contrato de instalación del KIT y savings 11,94KW.	A	1	192	\$ 16.613.737	\$ 16.613.737
2.	Panel Trina solar policristalino 385W HF con micro inversor ENPHASE IQ7.	A	31	-	\$1.063.861	\$32.979.691
3.	Estructura fotovoltaica, tubería, software e instalación del software, asesoría, entre otros.	A	1	192	\$8.594.475	\$ 8.594.475
					<b>TOTAL</b>	\$ 58.187.903

## BIBLIOGRAFIA

[1] H, Lusting. "Balance de la energía en el mundo" en: *La energía en el mundo. Lo que el sol nos permite*. El correo de la UNESCO: una ventana abierta sobre el mundo, XXVII, no.1 (1473), pp.4-13, ene.1974 [En línea]. Disponible en: [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000074866\\_spa](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000074866_spa)

[2] M, Jefferson. "Sustainable energy development: performance and prospects", *Renewable Energy*, vol. 31, no.5, pp. 571-582, apr. 2006.

[3] A, Menéndez y J.L, Rodil. "Prólogo y capítulo 1", *Energía solar fotovoltaica*. Pp. 15-29. Bureau Veritas Formación, sin fecha. [En línea]. Disponible en: [http://fundacionconfemetal.com/media/blfa\\_files/Energ\\_a\\_Solar\\_fotovoltaica\\_P\\_gin.as.pdf](http://fundacionconfemetal.com/media/blfa_files/Energ_a_Solar_fotovoltaica_P_gin.as.pdf)

[4] Grupo NAP. *Energía solar fotovoltaica*. G, Sala Pano (ed.). Madrid-España: Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación, 2002.

[5] "Informe de la secretaria de la comisión solar mundial sobre la elaboración de un plan de acción en materia de energía renovable", *Conferencia General de la UNESCO*, 28ª reunión. Paris, oct. 23, 1995. [En línea] Disponible en: [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000101875\\_spa](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000101875_spa)

[6] A, Zahedi. "Solar photovoltaic (PV) energy; latest developments in the building integrated and hybrid PV systems". *Renewable Energy*, vol. 31, no. 5, pp.711-718, apr.2006.

[7] M, Zelaya Aguilar. "Principios de la energía solar fotovoltaica". *Energía Integral S. de R.L de C.V*, feb.24, 2015 [En línea]. Disponible en: <https://es.overleaf.com/articles/principios-de-la-energia-solar-fotovoltaica/wzhydpwgckhw>

[8] J, Trespalacios. "La historia fotovoltaica". *ETO*, vol. 2, pp.1-9, mar.12, 2015 [En línea]. Disponible en: [https://www.academia.edu/37429629/La\\_historia\\_fotovoltaica](https://www.academia.edu/37429629/La_historia_fotovoltaica)

[9] "Funcionamiento de los paneles solares", *CELSIA S.A E.S.P*, Jun.5, 2018. [En línea]. Disponibe en: <https://blog.celsia.com/new/que-son-como-son-paneles-solares/>

[10] H, Rodríguez Murcia. "Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas" *Revista de Ingeniería*, no. 28, pp. 83-89, nov. 2008. Bogotá D.C: Universidad de los Andes.

[11] "Objetivo de desarrollo sostenible". *ONU - Organización de las Naciones Unidas Guatemala*, 2014. [En línea] Disponible en: <https://onu.org.gt/objetivos-de-desarrollo/>

[12] Aguer et al. *El ahorro energético: estudio de viabilidad económica*. Madrid, España: Ediciones Diaz de Santos S.A, 2004.

[13] “Antecedentes de los Objetivos de Desarrollo Sostenible”. *PNUD - Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/background/>

[14] “Clima de Colombia”. *PROCOLOMBIA, sitio oficial de turismo de la República de Colombia*, [En línea]. Disponible en: <https://www.colombia.travel/es/informacion-practica/clima>

[15] “Radiación solar”. *IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*, 2014, [En línea]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar>

[16] J.C, Becerra Sanchez. *Revisión de la radiación promedio de los municipios de la provincia de mares-Santander–Bucaramanga*, 2017. 10.13140/RG.2.2.25117.72164.

[17] LVB Staff. “¿Qué es la energía solar fotovoltaica y cuáles son sus aplicaciones más comunes?”, *La Brújula Verde, magazine virtual independiente*, mar.26, 2020, [En línea]. Disponible en: <https://www.labrujulaverde.com/2020/03/que-es-la-energia-solar-fotovoltaica-y-cuales-son-sus-aplicaciones-mas-comunes>

[18] “Photovoltaic (solar cells) systems”. *Renewable Energy World, Newsletter*, 2020, [Online]. Available: <https://www.renewableenergyworld.com/types-of-renewable-energy/what-is-solar-energy/photovoltaic-systems/>

[19] “Tipos de paneles solares”. *Delta Volt SAC*, 2010-2020, [En línea]. Disponible en: <https://deltavolt.pe/energia-renovable/energia-solar/paneles-solares>

[20] “Como funciona un inversor”. *MPPT Solar*, 2011-2020, [En línea]. Disponible en: <https://www.mpptsolar.com/es/esquema-funcionamiento-inversor.html>

[21] U.A, Bakshi and A.P, Godse. “8.2. The depletion mode MOSFET”. *Electronic Circuits* ISBN 978-81-8431-284-3, 2007.

[22] Mecafenix, F. “¿Cómo funciona un tiristor?”, *Ingeniería Mecafenix*, enciclopedia de ingeniería, oct.22, 2018, [En línea]. Disponible en: <https://www.ingmecafenix.com/electronica/que-es-un-tiristor-y-como-funciona/>

[23] M. H, Rashid. *Electrónica de potencia. Circuitos, dispositivos y aplicaciones*. Segunda edición. Sánchez García, G. (trad.). Nualpan de Juárez, México: Prentice Hall Panamericana S.A, 1995.

[24] *Enphase Energy Inc*, official website, 2020. [Online]. Available: <https://enphase.com/en-us>

[25] “Cómo funciona el sistema de micro inversores”, *Enphase Energy Inc.*, 2020, [En línea]. Disponible en: <https://enphase.com/es-lac/soporte/como-funciona-el-sistema-de-microinversores-de-enphase>

[26] “Envoy”, *Enphase Energy Inc.*, 2020, [En línea]. Disponible en: <https://enphase.com/es-lac/productos-y-servicios/envoy>

[27] “Software de monitoreo Enlighten”. *Enphase Energy Inc.*, 2020, [En línea]. Disponible en: <https://enphase.com/es-lac/soporte/como-funciona-el-sistema-de-microinversores-de-enphase>

[28] “Quiénes Somos”. *UPME - Unidad de Planeación Minero Energética*, sitio web oficial, [En línea]. Disponible en: <https://www1.upme.gov.co/Entornoinstitucional/NuestraEntidad/Paginas/Quienes-Somos.aspx>

[29] “¿Que es el RETIE?”. *CODENSA grupo ENEL*, 2020, [En línea]. Disponible en: <https://www.codensa.com.co/preguntas-frecuentes/Residencial/Energia/Normatividad-y-seguridad/Que-es-el-RETIE>

[30] “Quienes Somos”. *CREG – Comisión de Regulación de Energía y Gas*, 2017, [En línea]. Disponible en: <https://www.creg.gov.co/creg/quienes-somos/mision-y-vision>

[31] “Resolución 030”. *CREG – Comisión de Regulación de Energía y Gas*, Titulo1. Art. 1, 2 y 3, feb.26, 2018.

[32] G, Valentini. “Diferencias entre un inversor central y un Micro inversor”, *Green Dates*, revista online, mar.16, 2018, [En línea]. Disponible en: <http://greendates.com.mx/diferencia-entre-inversor-y-microinversor/>

[33]. A, Olivé. “El concepto de praxis en Marx: la unidad de ética y ciencia”, *Marx desde cero*, blog, abr. 18, 2015, [En línea]. Disponible en: <https://kmarx.wordpress.com/2015/04/18/el-concepto-de-praxis-en-marx-la-unidad-de-etica-y-ciencia/>

## **BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA**

VENEMEDIA. *Concepto de definición*. Diccionario virtual, 2011-2019, [En línea]. Disponible en <https://conceptodefinicion.de>

*Energía solar*. Blog online. 2020, [En línea]. Disponible en <https://solar-energia.net/mapa-web>

“Guía para citar y referenciar. IEEE Style”. *Biblioteca de la Universidad Pública de Navarra*. Oficina de Referencia, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://goo.gl/LaUj46>.

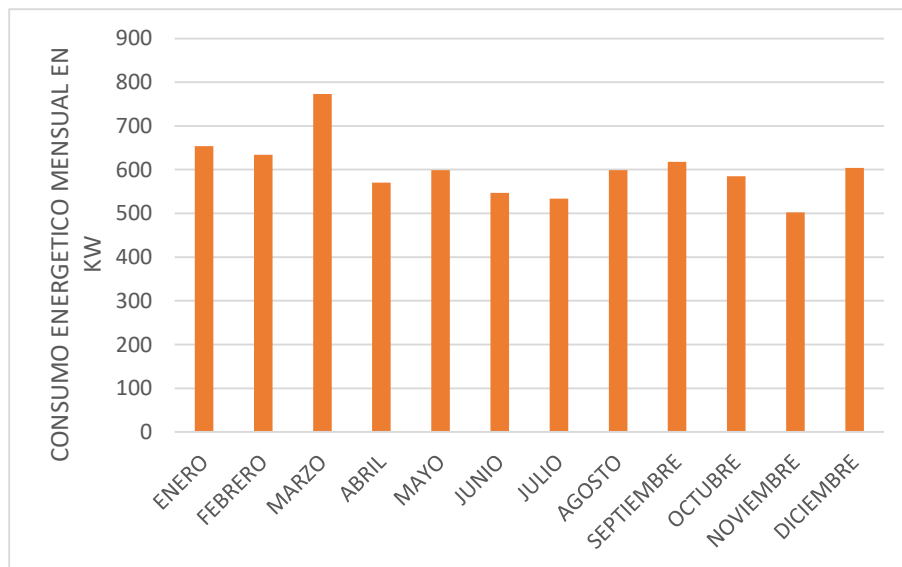
Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. *Normas Icontec: Guía [2020]*. 2020, [En línea]. Disponible en <https://www.unitecnar.edu.co/sites/default/files/pdfs/normas-icontec-version-2.pdf>

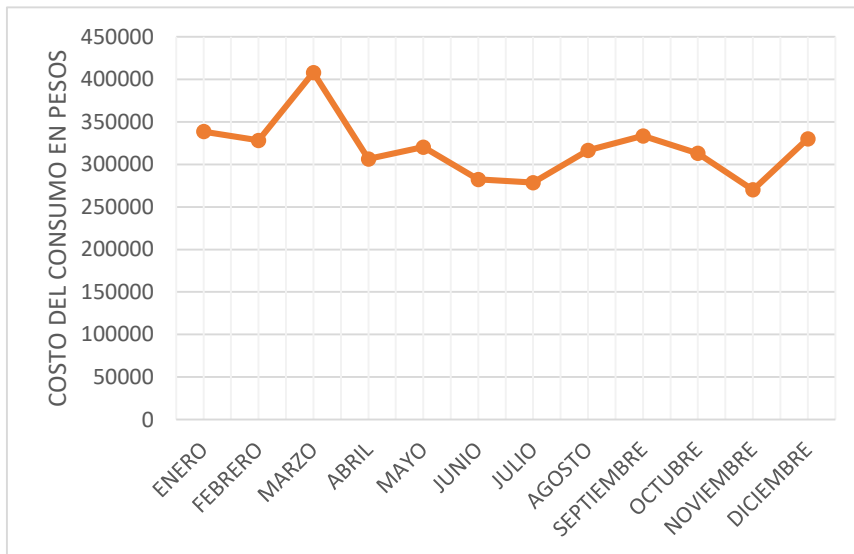
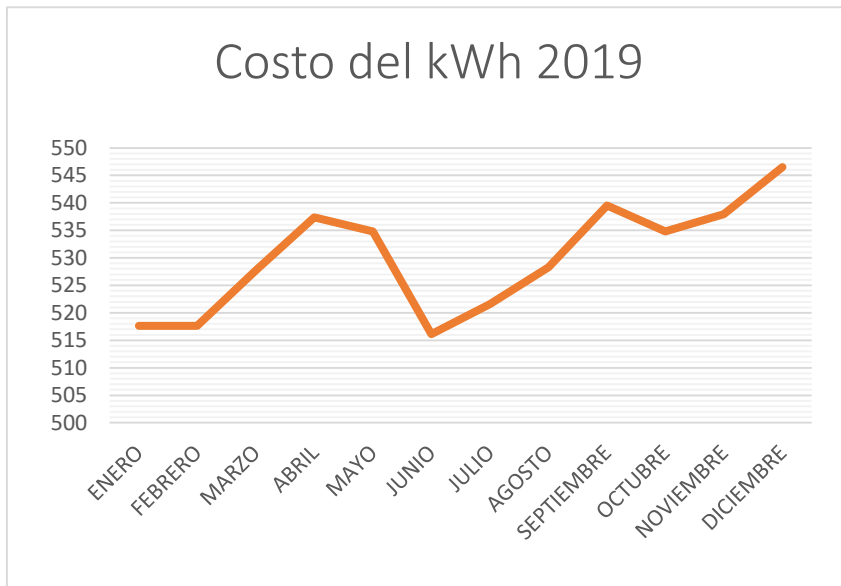
## **ANEXOS**

### **ANEXO A. Historial de consumo y pago de servicios de PSIG 2019**

HISTORICO DE CONSUMOS 2019						
PERIODO	LECTURA ACTUAL	LECTURA ANTERIOR	CONSUMO	META	COSTO KWh \$	COSTO TOTAL CONSUMO \$
ENERO			654	800	517.66	\$ 338,550
FEBRERO	19787	19153	634	800	517.66	\$ 328,196
MARZO	20560	19787	773	800	527.71	\$ 407,920
ABRIL	21130	20560	570	800	537.35	\$ 306,290
MAYO	21729	21130	599	800	534.78	\$ 320,333
JUNIO	22276	21729	547	800	516.14	\$ 282,329
JULIO	22810	22276	534	800	521.61	\$ 278,540
AGOSTO	23409	22810	599	800	528.27	\$ 316,434
SEPTIEMBRE	24027	23409	618	800	539.54	\$ 333,436
OCTUBRE	24612	24027	585	800	534.81	\$ 312,864
NOVIEMBRE	25114	24612	502	800	537.93	\$ 270,041
DICIEMBRE	25718	25114	604	800	546.5	\$ 330,086
Costo Total energía 2019						\$ 3,825,017

DATO	VALOR
Consumo promedio	601.5833333
Costo promedio de kWh	529.9966667
Costo promedio de consumo	318751.4258





Fuente: Autor

## ANEXO B. Cuadro de cargas PSGI S.A.S



CUADRO DE CARGAS OFICINA PSIG S.A.S  
Elaboró:

TABLERO	CTO	EQUIPO	R	S	T	W	TOTAL	FP	CARGA V.A	I	CALIBRE	PROTECCION	OBSERVACION
N1 126 vol.	1	Iluminación sala de conferencias, archivo, sala amable	100w			100	0.95	105.263158	0.835421888	14 AWG	1X30	Bombillos led de 20 w (5)	
	2	Toma especial debajo escalera primer piso.	100w			100	0.95	105.263158	0.835421888	14 AWG	1X30	Monitor de video	
	3	Iluminación oficinas, modulos, baño y oficinas gerencia arriba	400w			400	0.95	421.052632	3.341687552	14 AWG	1X30	Lamparas	
	4	Toma especial debajo escalera primer piso.		1200w		1200	0.95	1263.15789	10.02506266	14 AWG	1X30	equipo	
	5	Iluminación parqueadero-patio.			100w	100	0.95	105.263158	0.835421888	14 AWG	1X30	lamparas 50w	
	6	Toma última oficina primer piso y toma nevera cocina.	200w		200w	200	0.95	210.526316	1.670843776	14 AWG	1X30	Nevera-cafeteria	
	7	Iluminación pasillo corredor-afuera.	200w			200	0.95	210.526316	1.670843776	14 AWG	1X30	Lamparas	
	8	Toma cocina y lavamanos de los baños primer piso.	200w			200	0.95	210.526316	1.670843776	14 AWG	1X30	Horno microonda	
	9	Reflector Poste.	100w			100	0.95	105.263158	0.835421888	14 AWG	1X30	lampara	
	10	Toma corriente oficina principal entrada.		100w		100	0.95	105.263158	0.835421888	14 AWG	1X30		
	11	Reflector Poste.			100w	100	0.95	105.263158	0.835421888	14 AWG	1X30		
	12	Tomas oficina de gerencia segundo piso.	100w			100	0.95	105.263158	0.835421888	14 AWG	1X30		
	13	Iluminación archivo y últimas oficinas primer piso.	400w			400	0.95	421.052632	3.341687552	14 AWG	1X30		
	14	Tomas secretaria, sala amable y oficina modulos segundo piso.	400w			400	0.95	421.052632	3.341687552	14 AWG	1X30		
	15	Iluminación oficina principal primer piso.	100w			100	0.95	105.263158	0.835421888	14 AWG	1X30		
	16	Toma corriente archivo primer piso.	100w			100	0.95	105.263158	0.835421888	14 AWG	1X30		
	17	Toma corriente debajo de los tableros e iluminación materia.		100w		100	0.95	105.263158	0.835421888	14 AWG	1X30		
	18	Tomas oficina principal en la entrada donde esta el citofano.	990w			990	0.95	1042.10526	4.611085235	14 AWG	1X30		
N° 2 226 vol.	1	Aire Segundo piso-oficina Cont		990w		990	0.95	1042.10526	4.611085235	14 AWG	1X30		
	2	Aire Segundo piso-oficina Cont		548w		548	0.95	576.842105	2.552398696	14 AWG	1X30		
	3	Aire primer piso-oficina Recep 23 300 Btu/h	548w			548	0.95	576.842105	2.552398696	14 AWG	1X30		
	4	Aire primer piso-oficina Recep 23 300 Btu/h	620w			620	0.95	652.631579	2.887750349	14 AWG	1X30		
	5	Aire segundo piso-sala conferencia. 18000 Btu/h	620w			620	0.95	652.631579	2.887750349	14 AWG	1X30		
	6	Aire segundo piso-sala conferencia. 18000 Btu/h	670w			670	0.95	705.263158	3.120653442	14 AWG	1X30		
	7	Aire primer piso-oficinas ING 12000 BTU	670w			670	0.95	705.263158	3.120653442	14 AWG	1X30		
	8	Aire primer piso-oficinas ING 12000 Btu/h	545w			545	0.95	573.684211	2.53842571	14 AWG	1X30		
	9	Aire segundo piso-oficinas Gerencia 12000 Btu/h	545w			545	0.95	573.684211	2.53842571	14 AWG	1X30		
	10	Aire segundo piso-oficinas Gerencia 12000 Btu/h	100w			100	0.95	105.263158	0.465766185	14 AWG	1X30		
	11	Toma corriente oficina principal -arriba de la puerta.		100w		100	0.95	105.263158	0.465766185	14 AWG	1X30		
	12	Toma corriente oficina principal -arriba de la puerta.			100w	100	0.95	105.263158	0.465766185	14 AWG	1X30		
	13	Disponible				100w	0.95	0	0	14 AWG	1X30		
	14	Toma segundo piso	100w			100	0.95	105.263158	0.465766185	14 AWG	1X30		
	15	Disponible				100w	0.95	0	0	14 AWG	1X30		
	16	Toma segundo piso				100	0.95	105.263158	0.465766185	14 AWG	1X30		
	17	Disponible				100w	0.95	0	0	14 AWG	1X30		
	18	Disponible				10946	0.95	11522.1053	0	14 AWG	1X30		

TRAMO	LONGITUD AÑOS	CARGA KVA PROY 15	MOMENTO AMP	I	CALIBRE CONDUCTOR	F.P	CONSTANTE KG	CONSTANTE K	REGULACIÓN TOTAL
A	10	4582	45820	36	4	0.9	103.35	0.1002023455	0.2023
B	10	4582	45820	36	4	0.9	103.35	0.1002023455	0.2023
									0.4046

Fuente: Autor

## ANEXO C. Radiación mensual de Barrancabermeja

PROMEDIO TEÓRICO						
RADIACIÓN PROMEDIO EN BARRANCABERMEJA						
MES	T aire (°C)	Humedad relativa (%)	Radiación horizontal diaria (kWh/m <sup>2</sup> /día)	Patm (kPa)	Velocidad del viento (m/s)	T en tierra (°C)
Enero	23.3	65.6%	5.34	91.9	2	24.3
Febrero	24.7	59.8%	5.34	91.8	1.9	26.4
Marzo	24.5	66.0%	5.28	91.8	1.7	26.2
Abril	23.7	76.6%	4.96	91.8	1.6	24.9
Mayo	23.2	80.1%	5.01	91.9	1.6	23.9
Junio	23.1	76.3%	5.16	91.9	1.8	23.6
Julio	23.4	70.0%	5.57	92	1.8	24
Agosto	23.6	69.1%	5.55	92	1.6	24.4
Septiembre	23	75.8%	5.27	91.9	1.5	23.8
Octubre	22.4	81.9%	4.8	91.9	1.5	23.2
Noviembre	22.3	81.5%	4.72	91.8	1.5	23
Diciembre	22.4	76.2%	4.86	91.8	1.9	22.8
<b>PROMEDIO ANUAL</b>	23.3	73.2%	5.16	91.9	1.7	24.2

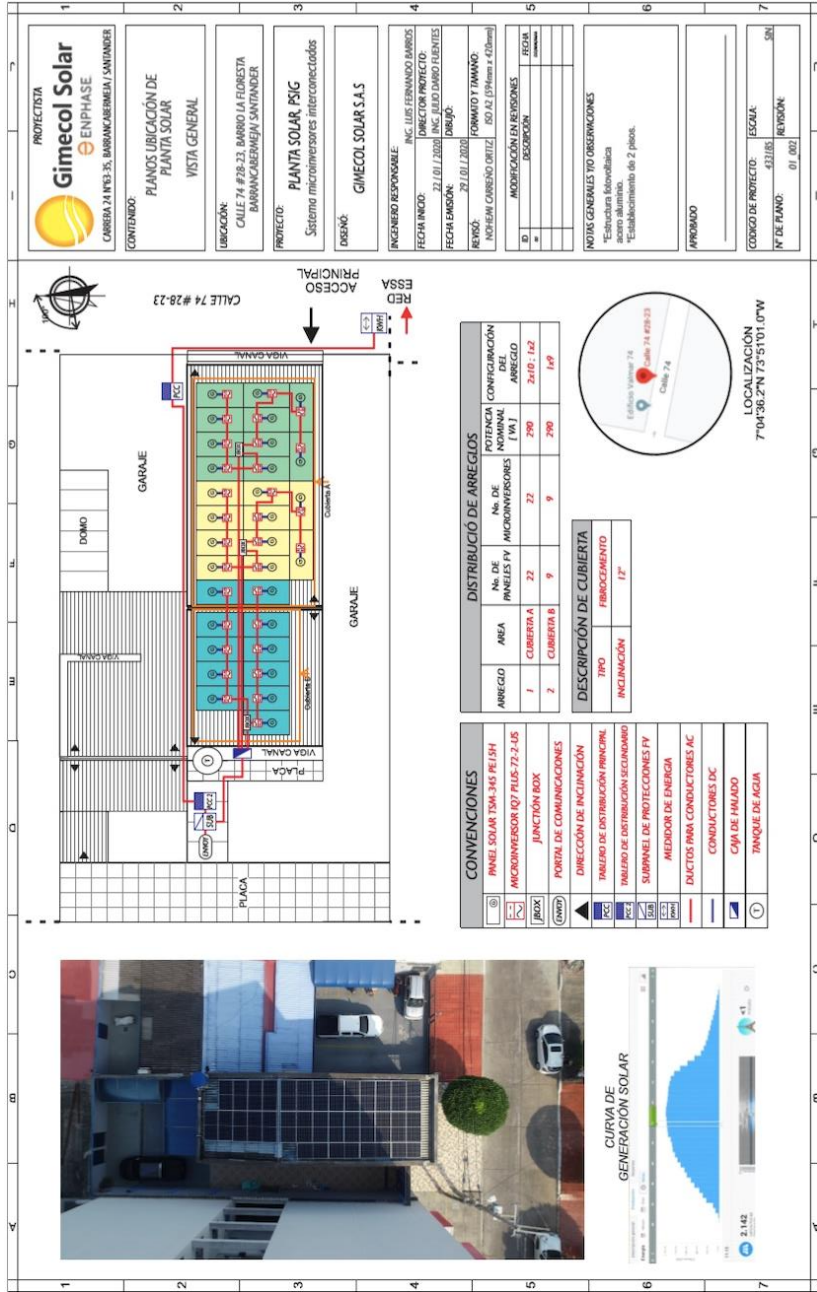
<b>Latitud</b>	°N	7°04'36,2"
<b>Longitud</b>	°W	73°51'01"
<b>Elevación</b>	m	831

Codigo de color	Promedio de radiación
	4,0 a 5,0 (kW)
	5,0 a 5,5 (kW)
	5,5 a 6,0 (kW)

Fuente: Autor\*

\*Con base en datos recolectados del Instituto de Meteorología y Ambiente IDEAM

## ANEXO D. Plano general de la central



Fuente: Autor

## ANEXO E. Eficiencia de los paneles solares

DESEMPEÑO ESPERADO DE LA CENTRAL							
MES	Radiación Teórica Promedio IDEAM (kWh/m <sup>2</sup> /día)	Generación Promedio Teórico de central $\eta=100\%$ (Gp100) [KWh/día]	Radiación Teórica promedio $\eta=19,7\%$ (Rt19) [kWh/m <sup>2</sup> /día]	Generación Teórica Promedio de la Central $\eta=19,7\%$ (Gt19) [KWh/día]	Generación Real Promedio de la Central (Gr) [KWh/día]	Promedio de Generación Real $\eta=19,7\%$ (Pg19) [KWh/m <sup>2</sup> /día]	Margen de Diferencia Pr19 Vs. Gr [%]
Enero	5.34	297.97	1.05	58.70	37.04 *	0.66	37%
Febrero	5.34	297.97	1.05	58.70	45.51	0.82	22%
Marzo	5.28	294.62	1.04	58.04	38.01 **	0.68	35%
Abril	4.96	276.77	0.98	54.52	36.79	0.66	33%
Mayo	5.01	279.56	0.99	55.07		0.00	100%
Junio	5.16	287.93	1.02	56.72		0.00	100%
Julio	5.57	310.81	1.10	61.23		0.00	100%
Agosto	5.55	309.69	1.09	61.01		0.00	100%
Septiembre	5.27	294.07	1.04	57.93		0.00	100%
Octubre	4.80	267.84	0.95	52.76		0.00	100%
Noviembre	4.72	263.38	0.93	51.89		0.00	100%
Diciembre	4.86	271.19	0.96	53.42		0.00	100%
<b>PROMEDIO ANUAL</b>	5.16	287.65	1.02	56.67	13.11	0.23	77%
At [m]	55.80						

Fuente: Autor

\*Promedio bajo por ser solo dos (2) días de producción.  
 \*\*El promedio se ve afectado debido a una falla en los días 5 y 6 por causa de los operadores RETIE.

## ANEXO F. Generación solar diaria de la central

Generación solar PSIG 2020												
Mes Día	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	0.00	51.10	52.40	30.89								
2	0.00	35.62	47.79	35.95								
3	0.00	36.49	47.93	37.16								
4	0.00	30.73	40.89	35.10								
5	0.00	53.88	0.00 *	35.43								
6	0.00	49.37	0.00	21.25								
7	0.00	52.64	37.24	40.20								
8	0.00	52.43	35.23	51.99								
9	0.00	52.83	36.76	31.07								
10	0.00	51.67	44.52	37.04								
11	0.00	47.49	28.12	38.42								
12	0.00	49.00	26.62	43.22								
13	0.00	51.21	29.50	37.56								
14	0.00	44.63	34.77	44.29								
15	0.00	50.69	44.28	38.37								
16	0.00	37.91	50.63	45.80								
17	0.00	51.32	52.22	27.19								
18	0.00	51.86	48.77	16.70								
19	0.00	51.83	45.60	37.96								
20	0.00	50.82	26.08	44.81								
21	0.00	44.76	43.09	22.81								
22	0.00	39.57	43.56	41.70								
23	0.00	34.48	45.66	36.67								
24	0.00	33.68	24.48	40.77								
25	0.00	39.84	40.90	47.24								
26	0.00	44.31	43.53	32.13								
27	0.00	41.80	37.29	34.56								
28	0.00	40.81	49.58	43.90								
29	0.00	43.54	47.32	39.01								
30	30.40	N/A	44.08	34.44								
31	43.68	N/A	29.36	N/A		N/A			N/A		N/A	
<b>Total mes</b>	<b>74.08</b>	<b>1316.31</b>	<b>1178.20</b>	<b>1103.63</b> **	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Autor

\*Se pierde la producción y conexión con el Envoy porque los operadores RETIE dejan el tablero de protecciones apagado y no informan al personal de PSIG.

\*\*Nota: Los números rojos indican pérdida por no tener conexión vigente con la ESSA hasta la fecha.