



**Manual para la instalación de un proyecto de generación eléctrica solar
fotovoltaica, según RETIE y la GREG**

Francisco Javier Saurith Ovalle

Código: 21131521335

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Valledupar, Colombia

2022

**Manual para la instalación de un proyecto de generación eléctrica solar
fotovoltaica, según RETIE y la GREG**

Francisco Javier Saurith Ovalle

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Electromecánico

Director (a):

Msc. Ing. Ricardo Pino Díaz

Línea de Investigación:

Generación de Energía Eléctrica.

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Valledupar, Colombia

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado: Manual para la instalación de un proyecto de generación eléctrica solar fotovoltaica, según RETIE y la CREG,

Cumple con los requisitos para optar Al título de
Ingeniero Electromecánico

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Valledupar, 05-2022

CONTENIDO	Pág.
Resumen.....	12
Abstracto.....	13
Introducción.....	14
Antecedentes.....	16
1. Objetivos.....	19
1.2 Objetivo general.....	19
1.3 Objetivos específicos.....	19
2 justificación.....	20
2.1 Justificación teórica.....	21
3. Marco teórico.....	22
4. Antecedentes normativos y regulatorios.....	33
4.1 Resoluciones.....	33
4.1.2 Resolución 038 del 2014.....	33
4.1.3 Decreto 2469 del 2014.....	34
4.1.4 Decreto 2143 de 2015.....	34
4.1.5 Resolución 281 del 2015.....	34
4.1.6 Resolución 585 de 2017.....	34
4.1.7 Resolución 121 del 2017.....	35

4.1.8 Decreto 1543 de 2017.....	35
4.1.9 La resolución 030 de 2018.....	35
4.1.10 Normas IEEE y IEC para Sistemas Solares Fotovoltaicos.....	35
4.1.11 UL 1741 del 2010.....	35
4.1.12 UL 1703 del 2015.....	36
4.1.13 IEC TS 62910 de 2015.....	36
4.1.14 IEC 60068-2-5 de 2018.....	36
4.15 IEEE 1547 de 2018.....	36
4.1.16 Normatividad Aplicable a los módulos fotovoltaicos.....	37
4.1.17 Normatividad aplicable a las baterías.....	38
4.1.18 Normatividad aplicable a los inversores en sistemas aislados.....	40
4.1.19 Incentivos tributarios.....	40
5. Propósito del marco normativo.....	41
5.1 Incentivo.....	41
5.2 Registro de proyectos solares.....	42
5.3 Solicitud de conexión de un GD o AGPE.....	43
5.4 Artículo 5 estándares técnicos de disponibilidad del sistema en el nivel de tensión... ..	43
5.5 Artículo 6 información de disponibilidad de red.....	43
5.6 Normatividad técnica colombiana.....	44

5.7 Código eléctrico colombiano.....	44
6. Diseño metodológico.....	45
7. Resultados y análisis de resultados.....	47
7.1 Manual Técnico para un Sistema Solar Fotovoltaico menor 0.1MW e Inscripción de los Proyectos Frente a la UPME y la CREG 030.....	47
7.1.1 Proceso de registro de proyectos de generación ante la UPME.....	47
7.2 Presentación estudio de conexión para autogeneración a pequeña escala y generación distribuida en el sistema interconectado nacional-resolución CREG 030 de 2018.....	53
7.2.1 Información necesaria para la inscripción de proyectos solares fotovoltaicos ante el operador de red.....	56
7.3 Memoria y diseño Eléctrico según normatividad colombiana.....	58
7.3.1 Artículo 10.1 Diseño de las instalaciones eléctricas.....	58
7.4 Memoria del diseño fotovoltaico.....	61
7.4.1 Cálculo del Diseño FV.....	62
7.5 Proceso de construcción.....	72
7.5.1 Canalización.....	73
7.5.2 Símbolo de riesgo eléctrico.....	73
7.5.3 Cajas de registros en suelo.....	74
7.5.4. Código de colores FV.....	74
7.5.5 Límites de aproximación.....	75

7.5.6 Diagramas unifilares.....	76
8. Conclusiones.....	77
9. Recomendaciones.....	78
10. Anexos.....	79
10. Referencias Bibliográficas.....	79

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Curvas corriente-tensión (línea discontinúa) y potencia-tensión (línea continua) de una célula solar.....	23
Figura 2: Grafica de comportamiento de la señal PWM.....	24
Figura 3: Comparación entre un PWM y MPPT.....	25
Figura 4: Funciones del algoritmo de dos etapas...	26
Figura 5: Función del Algoritmo de tres etapas	27
Figura 6: Esquema de un inversor monofásico con topología VSI...	29
Figura 7: Sistema solar fotovoltaico autónomo con respaldo de batería	30
Figura 8: Etapas del Proyecto y aplicaciones de incentivos...	52
Figura 9: Factibilidad punto de conexión AFINIA	54
Figura 10: Factibilidad de conexión. Estado de Transformador AFINIA	55

Figura 11: Histórico consumo la EDS. La Vallenata.....	64
Figura 12: Definición de sombreado según área.....	70
Figura 13: Estimaciones de pérdidas.....	72
Figura 14: Marcación de tubería eléctrica.....	73
Figura 15 Señalización del símbolo del riesgo eléctrico.....	74
Figura 16 Instalación con dictamen conforme.....	75
Figura 17 Tablero de protección.....	76

Lista de tablas

Tabla 1.....	45
Tabla 2.....	49
Tabla 3.....	50
Tabla 4.....	51
Tabla 5.....	58
Tabla 6.....	63
Tabla 7.....	64
Tabla 8.....	67
Tabla 9.....	68
Tabla 10.....	69
Tabla 11.....	71
Tabla 12.....	74

Lista de Ecuaciones

	Pág.
Ecuación 1	29
Ecuación 2	31

Agradecimientos

A mi padre Damaso Rafael Saurith Ramos gracias por siempre darme amor, cariño y respeto en cada momento de mi vida, a mi madre Laura Eliza Ovalle Ramírez gracias por darme ese amor de madre gracias por esos buenos consejos que cada día me hacen un hombre de bien y gracias por siempre estar ahí para mí y nunca dejarme solo en esos momentos en los que ni yo creía en mí, sin usted no estaría en estos momentos culminando mi carrera universitaria.

A mí esposa Neyis Viviana Nuñez Bello y a mis hermosos hijos Juan Pablo Saurith Núñez e Isabella Saurith Núñez por su amor, cariño, y respeto. Por darme fuerza cada día para seguir luchando por nuestros sueños como familia.

A mis hermanos Álvaro Rafael Saurith Ovalle, María Laura Saurith Ovalle, Luis Ángel Saurith Ovalle, les agradezco su apoyo incondicional cada vez que los necesite.

A mis profesores que me brindaron su apoyo, su sabiduría y su amistad en el transcurso de mi carrera en especial los profesores NICOLÁS RÚA y CARLOS MOSCO TE gracias por sus consejos y su apoyo.

A mis compañeros de estudios en especial a Dairo González y Xavier Badillo gracias por esa amistad y ese apoyo que me brindaron en el transcurso de la carrera y fuera de ella.

Infinitas gracias a todos, este título más que mío es de ustedes.

Éxitos en sus vidas.

Resumen

En Colombia la utilización de la energía solar como recurso energético se ha convertido en una alternativa viable para la generación de electricidad; el uso de éste recurso ha venido en constante crecimiento como la muestra UPME en el 2018; en su reporte indica que el país Colombia pasó de contar con menos de 30 MW en 2018, a más 225 MW de capacidad instalada para la generación de energía a partir de fuentes renovables no convencionales, equivalentes al consumo básico de más de 200.000 hogares. Sin embargo, la falta de un marco de un marco común ha hecho que la instalación de sistemas fotovoltaicos siga procedimientos heterogéneos, dando como resultado fallas en dichos sistemas; esta situación a su vez ha generado desconfianza entre los usuarios y consecuentemente podría afectar el crecimiento de este tipo de tecnología en el país.

Dado lo anterior, el objetivo del presente proyecto es diseñar un manual técnico de conexiones y sugerencias este manual seguirá lo establecido en las normas colombianas que estén alineadas con este tema para los diferentes equipos. Para desarrollar el proyecto se aplicaron los conceptos de la memoria eléctrica, los requisitos y formatos establecidos en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctrica (RETIE).

Como resultado se obtuvo una mayor experticia en el desarrollo de proyectos de sistemas fotovoltaicos, y la optimización de procesos cuando se tiene la información adecuada, puesto a que gracias a los beneficios tributarios, económicos y ambientales son una gran apuesta al futuro, así como a la contribución de procesos con mejor precisión y estandarización señalados en el presente trabajo.

Palabras clave: sistema solar fotovoltaico, Retie, Creg 030, operador de red.

Abstract

In Colombia, the use of solar energy as an energy resource has become a viable alternative for electricity generation; the use of this resource has been in constant growth as shown by UPME in 2018; in its report it indicates that the country Colombia went from having less than 30 MW in 2018, to more than 225 MW of installed capacity for power generation from non-conventional renewable sources, equivalent to the basic consumption of more than 200,000 homes. However, the lack of a common framework has caused the installation of photovoltaic systems to follow heterogeneous procedures, resulting in failures in such systems; this situation in turn has generated distrust among users and consequently could affect the growth of this type of technology in the country.

Given the above, the objective of this project is to design a technical manual of connections and suggestions this manual will follow the Colombian standards that are aligned with this issue for different equipment. To develop the project we applied the concepts of electrical memory, requirements and formats established in the Technical Regulation of Electrical Installations (RETIE).

As a result, greater expertise was obtained in the development of photovoltaic system projects, and the optimization of processes when the appropriate information is available, since thanks to the tax, economic and environmental benefits they are a great bet on the future as well as the contribution of processes with better precision and standardization pointed out in this work.

Key words: solar photovoltaic system, Retie, Creg 030, grid operator.

Introducción

La tecnología solar fotovoltaica, que genera electricidad a través del efecto fotoeléctrico que produce la radiación en algunos materiales semiconductores, surge como una importante alternativa para el abastecimiento energético responsable con el ambiente. A medida que se ha incrementado la implementación de sistemas alternativos de generación de energía eléctrica, en Colombia los entes encargados de dirigir, planificar y regular el sistema eléctrico han realizado cambios en la normatividad encaminados a incentivar, planificar y regular estas instalaciones.

Como resultado se han emitido lineamientos encaminados a estandarizar el procedimiento de la instalación de sistemas solares fotovoltaicos para la generación de electricidad consecuentemente, los agentes interesados en utilizar este tipo de sistemas para la generación de electricidad deben garantizar el cumplimiento de los requerimientos técnicos establecidos dentro de la normatividad vigentes. Sin embargo, no existe un documento en Colombia que explique con certeza los procedimientos para la instalación de paneles solares.

De acuerdo con el Manual fotovoltaica-BUN-CA, realizado en San José, Costa Rica, en septiembre del 2002, en el cual nos muestra como en las instalaciones fotovoltaicas pequeñas es frecuente, el uso de fusibles para la protección del sistema en instalaciones medianas y grandes, es necesario utilizar sistemas de protección más complejos, adicionalmente, sistemas de medición y sistemas de control de la carga eléctrica generada; lo que presenta una posible solución para suplir esta demanda y disminuir los problemas causados por la generación eléctrica actual, dado que es una fuente de energía renovable con un gran impacto positivo en el ambiente y la sociedad, gracias a que brinda soluciones a un sin número de problemáticas de la vida cotidiana.

De acuerdo con lo publicado por la página Celsia, 15 febrero 2017; menciona que en estadísticas realizadas por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) evidencian que, de las iniciativas radicadas, el 88,3% tienen que ver con energía solar, en donde 9 de cada 10 propuestas para generar energía, usarán paneles solares; Lo que representa un crecimiento del 32% de julio a noviembre de 2017. También se estima que para antes de 2030 cerca de 10% del consumo energético en Colombia provenga de proyectos solares fotovoltaicos.

El presente trabajo va especialmente dirigido a las empresas dedicadas al desarrollo de proyectos de servicio de energía eléctrica con procesos en autogeneradores a pequeña escala, así como también a los ingenieros electricistas que realizan los procesos de instalación de paneles solares.

Con este proyecto de investigación aplicada se logra desarrollar un manual para la instalación de un sistema solar fotovoltaico para la generación eléctrica, que permite a las organizaciones tener un documento de apoyo que ayude a la estandarización del procedimiento de instalación de nuevos proyectos de generación de energía eléctrica utilizando el sistema fotovoltaico, optimiza los recursos empleados y minimiza de las malas prácticas. El diseño del manual tiene como base el estudio de las normas RETIE, NTC 2050 versión 2020; GREG 030 y las indicaciones del operador de red afinia en AGPE para establecer el proceso de conexión de red.

Antecedentes

A lo largo de la historia hemos evolucionado en muchos campos de la industria, y hemos reforzado nuestro interés por mejorar las condiciones en las que vivimos, desde 1883 cuando el inventor neoyorquino Charles Fritts (1850-1903), logró materializar el efecto fotovoltaico con un artilugio el cuál convirtió en el origen de las actuales placas solares y que hoy en día permiten obtener electricidad directamente de la luz solar.

Se han desarrollado manuales que le permiten a los ingenieros tener las bases adecuadas para abastecer a los consumidores con electricidad proveniente de la energía solar, uno de estos manuales diseñados en (Enero 01 del 2007), por SEI, y Bruno Henríquez Pérez, donde podemos encontrar una panorámica de la electricidad fotovoltaica así como una descripción detallada de las componentes de los sistemas, y ha sido uno de los libros más consultados para la instalación de paneles solares, ya que incluye cálculos de dichos sistemas analizando el sitio, apéndices detallados del mantenimiento, solución de problemas y datos de radiación solar para más de 300 sitios alrededor del mundo.

Este manual ha sido uno de los pocos referentes que se tienen en la aplicación de proyectos que incluyan paneles solares, nos habla de información específica de cómo instalarlos, desde el punto de vista técnico y cuantitativo, sin embargo, en la práctica no es tan preciso, ya que para un país como Colombia, el cual es muy diverso, en su clima, en alturas, en temperaturas deben adaptarse lineamientos que no están diseñados de forma estandarizada en dicho manual, teniendo en cuenta lo mencionado se observa la necesidad de explorar en esas fallas que hoy en día tenemos por los vacíos que en este existen, puesto a que se busca realizar procesos estandarizados, que nos permita hacer uso de la tecnología con la que hoy por hoy contamos, y así mismo nos permita mantener buenas prácticas en los procesos evitando desperdicios, aumentos innecesarios de costos, demoras en las fechas

de entrega y demás inconvenientes que actualmente nos limitan a hacer uso de esta valiosa herramienta que es la energía solar.

En América Central los sistemas fotovoltaicos se utilizan principalmente para proveer energía a lámparas, radios, reproductoras de cintas, pequeños televisores, teléfonos celulares, bombas de agua, purificadores de agua, refrigeradores de vacunas y equipos profesionales de radiocomunicación, pero no son utilizados como un aliado para la comunidad en general, no son tenidos en cuenta como una alternativa benéfica dentro de los proyectos de construcción sin que los líderes de estos piensen de manera inmediata, en sobre costos, en malas prácticas, en tiempos altos de espera y demás situaciones que desincentivan el uso masivo de paneles solares.

De acuerdo con la información recolectada, se evidencia la necesidad urgente impulsar este tipo de proyectos que nos permitan crecer cada vez más y de acuerdo con las mejoras que se vayan obteniendo contribuir a que en un futuro todas las personas pensemos en tomar esta alternativa como primera medida de solución.

Cabe resaltar que, de acuerdo con el Índice de Transición Energética del Foro Económico Mundial 2020, Colombia escaló 9 posiciones al pasar del puesto 34 al puesto 25, en el último año. Convirtiéndose así en el segundo país de América Latina y el Caribe en este ranking, superando a países como Chile y Costa Rica, con lo que nos da mayor motivación a continuar con la implantación de este tipo de proyectos ya que de esta manera se observa un campo de acción que se debe explotar, no solo por el aporte a una sociedad más competitiva, sino también por todos los beneficios ambientales y económicos que este enfoque trae consigo.

1. Objetivos

1.2 Objetivo general

Crear un manual de procedimientos técnicos para la instalación de un sistema solar fotovoltaico para generar electricidad siguiendo el RETIE y la Resolución CREG 030.

Objetivos específicos

- ✓ Seleccionar los aspectos y recomendaciones técnicas en el RETIE, NTC 2050 ~~s~~ y operador de red Afinia para instalación de sistemas fotovoltaicos.
- ✓ Establecer un proceso de conexión a la red según CREG 030 y operador de red Afinia en AGPE.
- ✓ Explicar el proceso de diligenciamiento de los formatos requeridos para la inscripción de proyectos solares fotovoltaicos en la plataforma de la UPME y definir cada uno de sus componentes.
- ✓ Explicar los aspectos fundamentales a tomar en cuenta para gestionar el riesgo eléctrico en la construcción de un sistema solar fotoeléctrico.
- ✓ Dar a conocer las ventajas legales y económicas que conlleva realizar proyectos con enfoque de energía renovable.

2. Justificación

La creación de este manual se realiza como una acción necesaria a lo observado actualmente en los diferentes procesos de construcción en los que participé de manera directa e indirecta, donde se puede evidenciar que no sólo de manera local, sino que a nivel nacional existen muchos mitos y muy poca información acerca del aprovechamiento de la energía solar.

El objetivo principal es ilustrar los procesos que se deben implementar en Colombia para la instalación de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red, entendiendo así que para llevar a cabo estos procesos se deben tener en cuenta una serie de variables técnicas, metodológicas, ambientales y normativas que puedan dar paso a la conformidad por parte del operador de red, cabe destacar que al llevar a cabo las prácticas sugeridas en el manual, el cuál será objeto de estudio, no sólo se hará un aporte al mejoramiento de los procesos de instalación de paneles solares, sino que también son en gran medida un llamado a tomar ventaja de los beneficios tanto económicos como ambientales que representa este tipo de proyectos.

2.1 Justificación teórica

Con la realización de este manual, se aplicarán teorías que serán de apoyo para el desarrollo de este, en las que se incluyen, teorías de control automático mencionada por William S. (1996), teniendo como referencia también al hallazgo del físico Edmond Becquer, quien en 1839 demostró por primera vez el efecto fotoeléctrico creando la primera célula fotovoltaica; casi 50 años después del descubrimiento del efecto fotovoltaico, en 1883, el inventor americano Charles Fritz desarrollo la primera celda solar de selenio funcional, esta celda solar fue una precursora principal de la tecnología usada hoy día, información que ha sido de gran aporte en los procedimientos que se realizan actualmente, también se incluye para el manual el apoyo de Modelos Matemáticos de Sistemas, Método del cálculo de variaciones entre otros, estudiados en todo el proceso de formación académica donde el conjunto de ellas permita determinar con mayor claridad la importancia implementar en nuestro país la utilización de paneles solares; por lo cual se hace necesario conocer de manera exhaustiva los beneficios, la norma que respalda este tipo de iniciativa, las restricciones con las cuales nos podemos encontrar a la hora de ponerlo en práctica; ya que según lo publicado por SUN SUPPLY_(04 Junio del 2021), quien es el proveedor número uno de energía solar en Colombia manifiesta que *“los paneles solares instalados en Colombia no representan ni el 1% de la capacidad instalada a nivel mundial”*, lo que nos muestra una evidente oportunidad de mejora, tanto en la difusión de este tema, como en el mejoramiento de prácticas que permitan que sea un tema en el que muchos usuarios centren su atención.

3. Marco teórico

Recurso Solar.

El Sol es el primordial participante en la revolución energética por sus características, la masa se convierte en energía constantemente, y a pesar de que sólo una parte de esa energía llega a la tierra, es suficiente para los procesos de transformación energética.

La cantidad de energía solar que llega a la tierra es abundante, no contaminante y subjetivamente inevitable, dando origen a la voluntad de explotarla ya sea directa o indirectamente (Vanesk, L. Albright y L. Engenten, 2012: 671).

En Colombia, existe una gran cantidad de energía solar potencial, ya que en todo el país tenemos un promedio diario multianual alrededor de 4,5 kWh-/m², destacándose la Península de La Guajira con el más alto promedio de 6,0 kWh-/m². (Atlas de Radiación Solar en Colombia. 2004).

Introducción a sistema.

Solares Fotovoltaicos

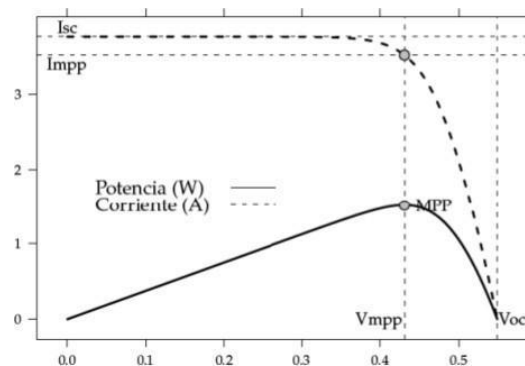
Un sistema fotovoltaico es un conjunto de componentes eléctricos y electrónicos que generan electricidad a partir de la radiación solar. El principal componente de este sistema es un módulo fotovoltaico, y su vez compuesto de células capaces de convertir la energía lumínica incidente en energía eléctrica de corriente continua.

A gran escala, los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar en tres categorías conectado a la red (On-Grid), autónomo (Off-Grid), sistema de calentamiento de agua solar y bombeo (Diseño de Sistemas Fotovoltaicos., 2012, p. 14)

Punto de máxima potencia.

Superpuesta a la curva corriente-tensión, la figura 1 incluye la relación entre la potencia y la tensión, observamos la presencia de un rango que adquiere el nombre de un punto de máxima potencia (Mppt). La localización de este punto viene definida por la condición $dp/dv = 0$. La potencia entregada por la célula en este punto será la considerada como potencia nominal $P_{mmp} = I_{mpp} * V_{mmp}$. Las unidades de esta potencia son vatios pico (Wp), reflejando la idea de potencia máxima alcanzable. (Perpiñán, Colmenares, & Castro, 2012).

Figura 1: Curvas corriente-tensión (línea discontinúa) y potencia-tensión (línea continua) de una célula solar.



Fuente: (Colmenar Santos, Perpiñan Lamigueiro, & Castro Gil, 2012).

Tipos de Células Fotovoltaicas:

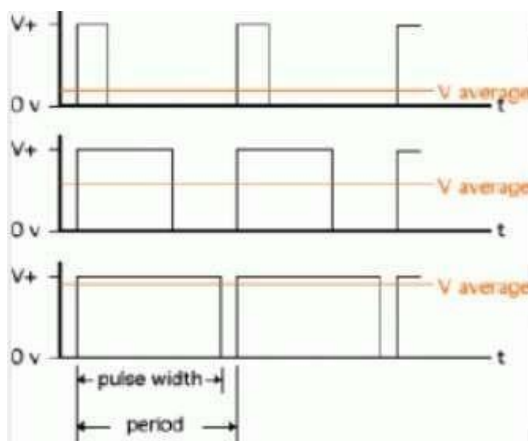
Silicio Mono cristalino (Csi): presentan una estructura totalmente ordenada, cuyo comportamiento uniforme lo convierte en un óptimo semiconductor. Estas células fueron las primeras en ser manufacturadas, ya que se podían emplear las mismas técnicas usadas previamente en la fabricación de diodos y transistores. (Fundación Energizar, 2016).

Silicio Poli Cristalina (pSi): presentan una estructura ordenada por regiones separadas, en la que los enlaces irregulares de las fronteras cristalinas disminuyen el rendimiento, son reconocidas a simple vista, ya que reflejan la luz de forma no uniforme. (Fundación Energizar, 2016).

Efecto de la temperatura en el módulo fotovoltaico.

Al aumentar la temperatura se producirá una disminución de la tensión en el circuito abierto, debido a una disminución del campo abierto de juntura PN, esto se debe a que los electrones unidos a los átomos de la red cristalina comienzan a romper los enlaces que los unen a los átomos generando una corriente interna que se estabiliza cuando el campo eléctrico de la juntura disminuya. (Fundación Energizar, 2016).

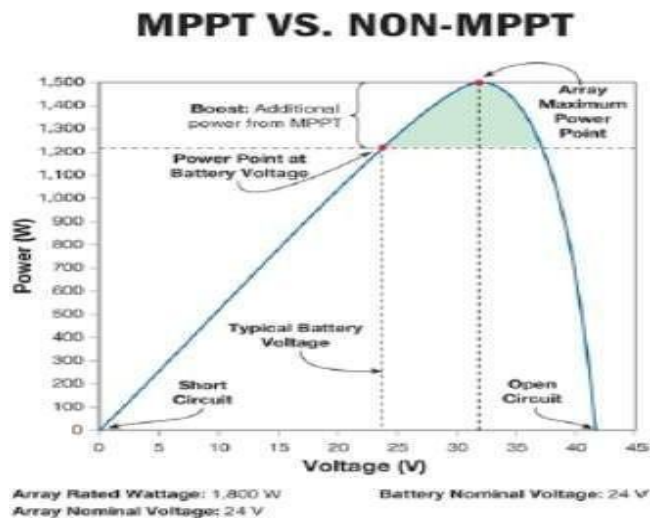
Figura 2: Gráfica de comportamiento de la señal PWM



Fuente: Energía Solar fotovoltaica, (Fundación Energizar, 2016). Diapositivas tomadas del curso intensivo tomado por el autor.

b. Controlador de seguidor de punto máximo de potencia (MPP): Este regular es capaz de trabajar en el punto más grande de potencia de panel solar independiente de la tensión del banco de batería, esto se refiere al crecimiento de la eficiencia de carga hasta de un 30%, estos controladores brindan la posibilidad de situar paneles en serie a tensiones superiores al banco de batería. (Fundación Energizar, 2016).

Figura 3: Comparación entre un PWM y MPPT.



Fuente: Energía Solar fotovoltaica, (Fundación Energizar, 2016). Diapositivas tomadas del curso intensivo tomado por el autor.

Algoritmo de carga.

Dependiendo de la aplicación, estos algoritmos permiten una significativa mejora en la vida de la batería. La carga algoritmo permite creación de una carga programación que brinda una eficiente habituación entre el estado de carga del generador de la batería y el estado de carga de la batería.. (Fundación Energizar, 2016).

Algoritmo de dos etapas.

- Primera etapa (bulk charge): Durante esta etapa, la batería se carga a la tasa más alta posible admitida por el sistema hasta que alcanza una tensión de referencia de 80% de carga total de la batería, que suele ser de 14,4 voltios.
- Segunda etapa (Absorption storage): la duración de esta etapa está determinada por el algoritmo de carga y no por un voltaje de referencia, ya que este puede ser determinado por el tiempo o por minuto de corriente de referencia. (Fundación Energizar, 2016).

Figura 4: *Funciones del algoritmo de dos etapas.*



Fuente: Energía Solar fotovoltaica, (Fundación Energizar, 2016). Diapositivas tomadas del curso intensivo tomado por el autor.

- Finalización del proceso: este sistema ofrece dos opciones al finalizar la segunda etapa, la equalización como alternativa de reinicio y la posibilidad de seleccionar una tercera etapa. (Fundación Energizar, 2016)

Algoritmo de tres etapas.

La ecualización de estos modelos se realizará de manera automática o manual, ya que no forma parte de lapso de carga de 3 etapas.

Cuando se completa la segunda etapa y la batería está completamente cargada, el regulador debe mantener el mismo nivel de carga para evitar los efectos del auto descarga. Una manera de lograr esto es a mantener un constante nivel de flote de tensión, que es alrededor de 13,6 voltios. Este método es muy beneficioso, ya que mantiene la batería en un estado de carga.

Figura 5: Función del Algoritmo de tres etapas.



Fuente: Energía Solar fotovoltaica, (Fundación Energizar, 2016). Diapositivas tomadas del curso intensivo tomado por el autor.

Inversor Solar.

El DC / AC convertidor, también conocido como inversor o un ondulator, es un dispositivo electrónico de potencia que convierte la corriente directa a corriente alterna para su consumo comercial o residencial. (López, 2015, p.28).

Características de un inversor comercial.

- Potencia nominal y máxima: Es el porcentaje de carga que el equipo soporta en un determinado periodo de tiempo.
- Ventana de búsqueda de punto de máxima potencia (MPPT): es el rango de tensiones donde el inversor aplica un algoritmo de búsqueda de MPPT del generador fotovoltaico.
- Tensión máxima de entrada: es la máxima tensión que el inversor puede soportar sin sufrir una avería.
- Tensión nominal de salida: es la tensión a la que se puede conectar el inversor para casos específicos según el nivel de tensión mínima del país.
- Eficiencia máxima: es el valor máximo tomado entre la potencia de salida y la potencia de entrada, (Diseños de sistemas fotovoltaicos, 2012, p.21).

Tipos de Inversores.

A grandes rasgos, los inversores tienen la posibilidad de agruparse en tres categorías.

- ✓ Inversor Central, exclusivo inversor dedicado a todo el generador o a un grupo de rama.
- ✓ Inversor por ramas (mesas de string), inversor dedicado a una rama específica del plan fotovoltaico.
- ✓ Módulo AC o Micro inversor, este va a estar dedicado a un módulo del generador.

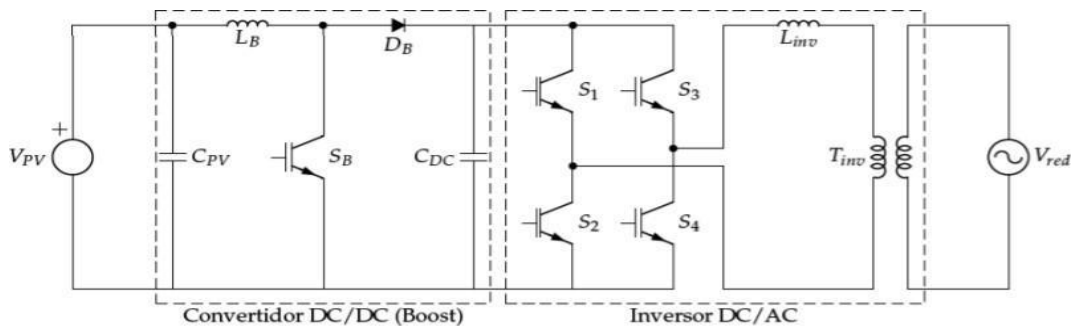
No obstante, la salida de un inversor puede ser monofásica o trifásica, primordialmente un inversor monofásico no supera la potencia de 15Kw (Colmenar, Perpiñan, & Castro, 2012).

Ecuación 1: *Distorsión de armónicos.*

$$THD_v = \frac{1}{V_1} \sqrt{\sum_{n=3,5,\dots}^{\infty} V_n^2} = \sqrt{\sum_{n=3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{n^2}} = 0,4829$$

Fuente: (Colmenar, Perpiñan, & Castro, 2012, p. 22).

Figura 6: *Esquema de un inversor monofásico con topología VSI.*



Fuente tomada de: esquema de conexión la figura incluye un convertidor de DC/AC tipo boost (Elevador), junto con el puente inversor, ambos utilizando dispositivos IGBTs. Este equipo incluye transformador. (Diseños de sistemas fotovoltaicos., 2012, pag.22).

La frecuencia de la onda senoidal es la que se quiere como armónico importante de la onda de salida. La frecuencia de la onda triangular y por consiguiente la frecuencia de conmutación está relacionada con la de la onda senoidal por medio del designado índice de ondulación de frecuencia. Así por ejemplo para un valor de frecuencia de conmutación de 10Khz y para una onda de salida de 50Khz, el primer armónico estaría en torno al orden 200. (Colmenar, Perpiñán, & Castro, 2012, p. 22).

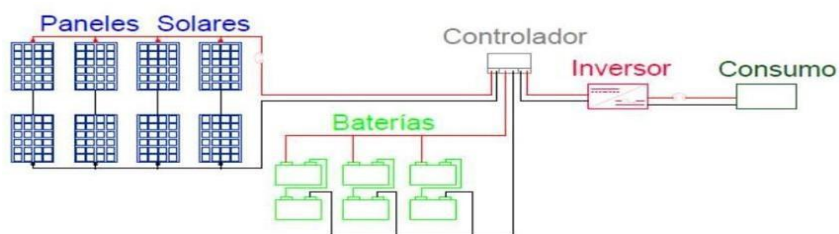
Tipo de sistemas solar fotovoltaico según el inversor.

Sistema solar fotovoltaico aislado.

Este sistema solo recibirá energía eléctrica de paneles fotovoltaicos. Esto significa que la tensión a la salida del inversor entra fijada por la red eléctrica, para lograr hacer que el inversor funcione de manera correcta usando una mezcla de control de corriente y componente inductivos en la salida de manera que el inversor se porte como una fuente de corriente en su salida.

(Universidad Nacional Autónoma de México, 2014, pág. 17)

Figura 7: Sistema solar fotovoltaico autónomo con respaldo de batería



Fuente: Esquema de conexión para un sistema solar fotovoltaico aislado con respaldo de batería. (Calculo y Diseño de sistema solar fotovoltaico para uso doméstico, 2014, p. 16).

Sistema solar fotovoltaico conectado a la red.

Un sistema fotovoltaico interconectado, se basa en módulos fotovoltaicos y un inversor el cual se puede conectar a la red eléctrica pública. De tal modo que, si el sistema fotovoltaico genera una mayor energía de la que se está consumiendo en el hogar, el excedente de energía es inyectado a la red de repartición del comercializador.

Ecuación 2: Zona de no detención en modo isla

$$\Delta P^- = P_{carga} - P_{PV}$$

$$\Delta Q^- = Q_{carga} - Q_{PV} \simeq Q_{carga}$$

Modelando la carga como un circuito paralelo RLC, se puede escribir.

$$P_{carga} = \frac{V^2}{R_{carga}}$$

$$Q_{carga} = \frac{V^2}{\omega L} - V^2 \omega C$$

- $\Delta P > 0 \rightarrow P_{carga} > P_{pv}$. Al producirse la desconexión, dado que P_{pv} no cambia, disminuye la potencia entregada a la carga y por tanto baja la tensión.
- $\Delta P < 0 \rightarrow P_{carga} < P_{pv}$. Al producirse la desconexión, aumenta la potencia entregada a la carga y por lo tanto sube la tensión.
- $\Delta Q > 0 \rightarrow Q_{carga} > 0$. La carga es predominantemente inductiva, al producirse la desconexión dado que el generador fotovoltaico no entrega reactiva (la reactiva debe tender a 0) y por lo tanto aumenta la frecuencia.
- $\Delta Q < 0 \rightarrow Q_{carga} < 0$. La carga es predominantemente capacitiva, al producirse la desconexión la reactiva debe tender a 0, y por tanto disminuye la frecuencia.

Cualquier persona de los cuatros situaciones tienen la posibilidad de detectarse usando rangos de tensión y frecuencia aceptable. Al producirse el corte de interruptor, la tensión o la frecuencia (o ambas) saldrán de aquellos rangos y se dará orden de desconexión al inversor,

no obstante, puede suceder que $\Delta P \cong 0$ y $\Delta Q- \cong 0$, ecuaciones que indican que las cargas y generación eran casi coincidencias antecedentes de la desconexión del interruptor, este caso implicaría una región de no detención (Colmenar, Perpiñán, & Castro, 2012, p.28).

inversores según su aplicación

On grid

La marca de más grande alusión son los Fronius, solo funcionan si hay red, no llevan baterías, tienen la posibilidad de dar excedente e integrar mínimo 2 MMPT y pueden llegar a tolerar hasta 1000Vcc por MPPT.

On grid Backup

Este equipo tiene la propiedad de estar en modo isla con el módulo EPS, para que pueda continuar su trabajo en el instante en que la red falle, sin embargo, se debe tomar en consideración que este quedara sin energía a lo largo de unos segundos a medida que los equipos vuelven y restaura su funcionalidad, no inyectar a la red. Las baterías que soporta son plomo y litio.

4. antecedentes normativos y regulatorios.

Para la planificación, el diseño y creación de instalaciones solares fotovoltaicas, como sistemas energéticos, se tienen que considerar todos los lineamientos y fronteras establecidos por el Ministerio de Minas y Energía, como entidad adscrita al régimen Nacional, delegada de la gestión, regulación, orientación y usos de los recursos naturales.

Decreto 1076 del 2015 este busca asegurar el desarrollo sustentable de proyectos energéticos, acorde los criterios dados por los profesionales competentes, para el territorio Nacional; la normatividad vigente para el uso de sistemas fotovoltaicos en Colombia está regulada por la UPME, a través de la **ley 1715 del 2014**. Mediante esta se regula la alianza de la energía renovable no convencional al sistema energético nacional con el fin de impulsar su desarrollo, intentando minimizar las emisiones (GEI), y la estabilidad del suministro de energía, además intentando encontrar una eficiente administración de la energía renovable no convencional.

4.1 Resoluciones.

La UPME ha emitido una serie de resoluciones destinadas a establecer parámetros de generación de energía eléctrica utilizando fuentes de energía renovables.

4.1.2 Resolución 038 del 2014.

Establece las condiciones técnicas los procedimientos que se aplican a la medición de energía del intercambio comercial en el sistema interconectado nacional y los intercambios con otros países, las transacciones entre agentes y las relaciones entre agentes y usuarios. Cuando se quiere que las resoluciones expedidas por la CREG se hagan referencia al “código de medida” se aplicará la presente resolución. (Comisión de Regulación de energía y Gas, 2014).

4.1.3 Decreto 2469 del 2014.

El Cuál decreta que, al expedir la regulación para la entrega de excedente de los autogeneradores, la CREG tendrá en cuenta que estos tengan las mismas reglas aplicables a una planta de generación con condiciones similares en cuanto a la cantidad de energía que tenga a la red, esto incluye derechos, costos y responsabilidades asignadas al reglamento de operación, (Ministerio de Mina y Energía, 2014).

4.1.4 Decreto 2143 de 2015.

En él se decreta la promoción, desarrollo y utilización de las fuentes no convencionales de energía, además de la deducción especial sobre el impuesto de renta y complementarios, exclusivo de IVA y exención de gravamen arancelario (Presidencia de la República de Colombia., 2015).

4.1.5 Resolución 281 del 2015.

La cual establece que el límite máximo de potencia en autogeneración a pequeña escala será hasta 1MW y corresponderá a la capacidad instalada del sistema de autogeneración. (Unidad de Planeación Minero-Energética- UPME, 2015).

4.1.6 Resolución 585 de 2017.

Establece los procedimientos a través de los cuales la UPME evaluará y emitirá conceptos técnicos sobre las solicitudes que se han presentado con el objeto de determinar si los proyectos evaluados se enmarcan en las acciones y medidas sectoriales y cuantificar su contribución a las metas de la eficiencia energética del plan de acción indicativo PAI 2017-2020 .. (UPME, 2017).

4.1.7 Resolución 121 del 2017.

(Unidad administrativa particular, - Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2017), por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y generación distribuida en el sistema interconectado nacional, que define el proceso de conexión y de medición, como es el mecanismo de remuneración para los autogeneradores a pequeña escala y generadores a gran escala con capacidad instalada que va desde 1MW hasta 5MW.

4.1.8 Decreto 1543 de 2017.

En él se reglamenta el fondo de energías No convencionales y gestión eficiente de la energía (Fenoge).

4.1.9 La resolución 030 de 2018.

Esta resolución tiene como objetivo regular los aspectos operativos y comerciales para permitir la integración de la autogeneración a pequeña escala y de la generación distribuida al SIN. (Ministerio de Mina y Energía., 2018).

4.1.10 Normas IEEE y IEC para Sistemas Solares Fotovoltaicos.

La IEEE y la IEC han impreso normas para tener en cuenta el cumplimiento en los equipos utilizados en los sistemas solares fotovoltaicos.

4.111 UL 1741 del 2010

En este se basa en el uso adecuado de los inversores, convertidores, controladores y equipos de sistema de interconexiones para el uso de recursos de energía distribuida, estos requerimientos cubren módulos AC que combinan módulos fotovoltaicos e inversores para entregar la potencia a la interconexión de generadores de la red y poder mantenerse estable. (Universidad Autónoma del Occidente, 2019)

4.1.12 UL 1703 del 2015.

En este se promueve los estándares de instalaciones para módulos de paneles fotovoltaicos para uso integral en edificaciones o al aire libre, estos requerimientos son enfatizados para sistemas con máximo voltaje de 1500V o menos, también pretenden mejorar las conexiones entre los módulos y el sistema de generación como tal. (Universidad Autónoma del Occidente, 2019).

4.1.13 IEC TS 62910 de 2015.

Éste hace referencia al procedimiento para la medición de baja tensión en los inversores usados en los sistemas solares fotovoltaicos, esta se utiliza cuando el sistema solar está interconectado a media tensión del SIN para su posterior entrega.

4.1.14 IEC 60068-2-5 de 2018.

Este describe los métodos para testeo de los equipos y componentes bajo las condiciones de simulación de radiación solar y los demás parámetros que afectan el sistema fotovoltaico, como lo son la humedad, temperatura y velocidad del viento entre otros. (Universidad Autónoma del Occidente, 2019)

4.15 IEEE 1547 de 2018.

Esta norma establece criterio y requisitos para la interconexión de recursos energéticos distribuidos con sistemas de energía eléctrica interfase asociadas. Las especificaciones técnicas y los requisitos establecidos son universalmente necesario para la interconexión y la interoperabilidad de los recursos energéticos distribuidos y serán suficiente para la mayoría de las instalaciones.

4.1.16 Normatividad Aplicable a los módulos fotovoltaicos.

Los módulos fotovoltaicos deberán cumplir con la siguiente normatividad

- IEC 61215: Módulos fotovoltaicos terrestres de silicio cristalino: calificación de diseño y aprobación de tipo
- Regla NTC 2883:2006; Módulos Fotovoltaicos de Silicio Cristalino para Aplicación Terrestre. Calificación del Diseño y Aceptación de Tipo.

- IEC 60721: Módulos fotovoltaicos de lámina delgada para uso terrestre. calificación del diseño y homologación
- IEC 61701; prueba de corrosión en presencia de niebla salina; requisitos de los módulos fotovoltaico en aire cargado de sal, para instalaciones en medios con elevado nivel de contaminación salina o regla como la ASTM E 1524 (12.02). De igual manera, la UL 4703 para conductores y UL 6703 para conectores. En Colombia NTC5512, 2013.
- IEC 61730-1-2016; Cualificación de seguridad del módulo Fotovoltaicos - Parte 1: Requisitos para la construcción.
- IEC 61730-2-2016; Cualificación de seguridad del módulo fotovoltaico (PV) - Parte 2: Requisitos para las pruebas. En Colombia Norma NTC 5899-1 / 2 de 2011.
- IEC 62108; Módulo y Conjuntos Concentradores Fotovoltaicos (CPV) - Cualificación de Diseño y Homologación, para módulo Fotovoltaicos con radiación concentrada.
- IEC 62548 :. 2016 Arreglos fotovoltaicos (PV): requisitos de diseño
- IEC 60904-1:2016, Dispositivos fotovoltaicos - Parte 1: Medición de las características de voltaje de corriente fotovoltaica, para un rango de temperaturas entre 25 ° C y 50 ° C, y niveles de irradiancia entre 700 y 1100 W / m².
- ASTM E1462; Integridad del aislamiento y continuidad del camino a tierra de la energía fotovoltaica.
- ASTM E1830;. Determinación de la integridad mecánica de módulos fotovoltaicos.
- ASTM E1596; Envejecimiento por radiación solar de módulos fotovoltaicos

- IEC 61345 :1998;. Prueba UV para módulos fotovoltaicos (PV) Retirada Inactiva
- ASTM E1038; Determinación de la resistencia de los módulos fotovoltaicos al granizo por impacto con bolas de hielo propulsadas.
- ASTM E1171; Módulos fotovoltaicos en ambientes cíclicos de temperatura y humedad.

4.1.17 Normatividad aplicable a las baterías.

- Las baterías deberán cumplir con la normatividad que existe para dichos recursos y disponer de las certificaciones de productos en los casos donde se aplique.
- IEC 60896-11. Requisitos en general y procedimientos de ensayo de baterías plomo-ácido tipo ventiladas.
- IEC 60896-21. Esta última titulada: Baterías estacionarias de plomo-ácido - Parte 21: Tipos regulados por válvula - Métodos de examen, NO CUBRE las baterías de ácido-plomo regulada por válvula (libres de mantenimiento) usadas en sistemas fotovoltaicos requisitos en general y procedimientos.
- IEC 61056-1. Requisitos en general y propiedades funcionales para baterías VRLA (batería de ácido-plomo regulada por válvula) portátiles. Procedimientos de ensayo y su equivalente JIS C-8702-1.
- IEC 60896-1. Requisitos en general y procedimientos de ensayo de baterías plomo-ácido tipo ventiladas.
- IEC 61427-1: Pilas y baterías secundarias para almacenamiento de energía renovable - Gral. requisitos y métodos de examen - Parte 1: Aplicación fotovoltaica fuera de la red e IEC 614272: Celdas y baterías secundarias para

almacenamiento de energía renovable - Gral. requisitos y métodos de examen -
 Parte 2: Aplicaciones en red; las cuales si cubren en su integridad las baterías
 usadas en sistemas fotovoltaicos.

- IEC 62133-1:2017; Celdas secundarias y baterías que contienen electrolitos alcalinos u otros no ácidos. Requisitos de seguridad para celdas secundarias selladas portátiles y para baterías fabricadas con ellas, para uso en aplicaciones portátiles. Parte 1: Sistemas de níquel.
- IEC 62133-2:2017;. Pilas y baterías secundarias que contienen electrolitos alcalinos u otros electrolitos no ácidos. Requisitos de seguridad para pilas de litio secundarias sellados portátiles y para baterías fabricadas con ellas para su uso en aplicaciones portátiles. Parte 2: Sistema de litio.
- UL 62133:2017; Pilas y pilas secundarias que contienen electrolitos alcalinos u otros electrolitos no ácidos: requisitos de seguridad para pilas secundarias selladas portátiles y pilas fabricadas con ellas para su uso en aplicaciones portátiles.

4.1.18 Normatividad aplicable a los inversores en sistemas aislados.

Los inversores deberán cumplir con la normatividad que existe para dichos recursos y disponer de las certificaciones de producto en los casos que proceda. Las reglas aplicables a los inversores son las próximas:

- IEC 62109-1: seguridad de los convertidores de potencia para uso en sistemas de energía fotovoltaica - Parte 1: Gral. Requisitos.

- IEC 62109-2: seguridad de los convertidores de potencia para su uso en sistemas de energía fotovoltaica. Parte 2: Requisitos especiales para inversores.
- IEC 61727. sistemas fotovoltaicos: características de la interfaz de la red eléctrica (Sistemas fotovoltaicos – Propiedades de la interfaz con la red en el punto de conexión) para inversores de sistemas fotovoltaicos de potencias ≤ 10 kVA, usados en instalaciones residenciales o semejantes monofásicas o trifásicas o que se conecten a la red de repartición a baterías
- UL1741. Estándar para inversores, convertidores, controladores y equipos de sistemas de interconexión para uso con recursos energéticos distribuidos.

4.1.19 Incentivos tributarios.

El propósito de la Ley 1715 de 2014 es promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, particularmente aquellas con carácter renovable, en el sistema energético nacional a través de su participación al mercado eléctrico,

la colaboración en las zonas no interconectadas, y otros usos energéticos como un importante componente de la economía del desarrollo. (Unidad de Planeación Minero-Energética - Cartilla IGE Incentivo Tributario, 2020).

5. propósito del marco normativo.

- Orientar las políticas públicas y definir los instrumentos tributarios, arancelarios y de participación en el mercado energético colombiano que garanticen el cumplimiento de los compromisos adquiridos por el gobierno nacional. (Unidad de Organización Minero Energética - Cartilla IGE Incentivo Tributario., 2020)

- Incentivar la penetración de las fuentes de energía, principalmente las de carácter renovable, en el sistema energético colombiano, la eficiencia energética y la respuesta de la demanda en todos los sectores y actividades con criterios de sostenibilidad medioambiental, social y económica. (Unidad de Planificación Minero-Energética - Cartilla IGE Incentivo Tributario., 2020)
- Estimular la inversión, la investigación y el desarrollo para la producción y utilización de energía a partir de fuentes no convencionales, principalmente aquellas de carácter renovables, mediante el establecimiento de incentivos tributarios o contables. (Unidad de Planeación Minero Energética - Cartilla IGE Incentivo Tributario., 2020)

5.1 Incentivos.

5.1.1. Deducción especial en la determinación del impuesto sobre la renta.

Los contribuyentes declarantes del impuesto sobre la renta que realicen de forma directa nuevas erogaciones en investigación, desarrollo e inversión para la producción y utilización de energía a partir FNCE o gestión eficiente de la energía, tendrán derecho a deducir hasta el 50% el precio de las inversiones. El precio para deducir anualmente no puede ser superior al 50% de la renta líquida del contribuyente. (Incorporado al Decreto 1073 de 2015). (Unidad de Planeación Minero Energética - Cartilla IGE Incentivo Tributario., 2020).

5.1.2 Depreciación acelerada.

Gasto que la ley permite que sea deducible al momento de declarar el impuesto sobre la renta, por una proporción del valor del activo que no puede superar el 20% anual. Artículo 14 de la Ley 1715 de 2014 - Artículo 2.2.3.8.5.1. Del Decreto 2143 de 2015 (incorporado al Decreto 1073 de 2015). (Unidad de Planeación Minero Energética - Cartilla IGE

Incentivo Tributario., 2020).

5.1.3 Exclusión de bienes y servicios de IVA.

Por la compra de bienes y servicios, equipos, maquinaria, elementos y/o servicios nacionales o importados. Artículo 12 de la Ley 1715 de 2014 - Artículo 2.2.3.8.3.1. del Decreto 2143 de 2015 (incorporado al Decreto 1073 de 2015). - Ley 1715 art. 12, Decreto 2143 Artículo.

5.1.4 Exención de gravámenes arancelarios.

Exención del pago de los derechos arancelarios de importación de maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente para labores de pre-inversión y de inversión de proyectos con FNCE. Ley 1715 art. 13, Decreto 2143 de 2015 Arts. 2.2.3.8.4.1 (Unidad de Planeación Minero Energética - Cartilla IGE Incentivo Tributario, 2020).

5.2 Registro de proyectos solares para incentivos tributarios.

En la página de la UPME hay una serie de pasos para el registro de proyectos de generación de energía eléctrica, los cuales tienen como objetivo facilitar el cumplimiento de la ley 143 de 1994, para detectar las posibilidades de abasto eléctrico a mínimo precio. (Estudio de Prefactibilidad de un sistema solar fotovoltaico de 1MW para generación de energía eléctrica., 2019).

5.3 Solicitud de conexión de un GD O AGPE – Nivel de tensión 1.

5.4 Artículo 5. Estándares técnicos de disponibilidad del sistema en el nivel de tensión 1.

Con anterioridad a hacer una solicitud de conexión de un GD o un AGPE a un sistema de repartición local en el grado de tensión 1, el solicitante tendrá que comprobar, en la página web del OR, que la red a la cual quiere conectar tenga disponibilidad para eso y cumplan con los siguientes parámetros. (Comisión de Regulación de Energía y Gas - CREG 030, 2018).

- A. La sumatoria de la potencia instalada de los GD o AGPE que entregan energía a la red debe ser igual o menor al 15% de la capacidad nominal del circuito, transformador o subestación donde se solicite el punto de conexión. La capacidad nominal de una red está definida por la capacidad del transformador. (Comisión de Regulación de Energía y Gas - CREG 030, 2018).
- B. La proporción de energía en una hora puede dar los GD o AGPE que entregan energía la red cuyo sistema de producción de energía sea diferente al formado por fotovoltaico sin capacidad de almacenamiento, conectados al mismo circuito o transformador de grado de tensión 1, no debe superar el 50% de promedio anual de las horas de mínima demanda diaria de energía registrada para el año anterior al de solicitud de conexión. (Comisión de Regulación de Energía y Gas - CREG 030, 2018).

5.5 Artículo 6. Información de disponibilidad de red.

Los OR deben contar con información suficiente para que un potencial AGPE o GD observe el estado de la red y las propiedades técnicas primordiales del punto de conexión anhelado. Basado en la identificación de la cuenta, código de circuito o transformador al que pertenece el cliente, tendrá que desplegar la información vinculada, tomando en cuenta al menos la siguiente (Comisión de Regulación de Energía y Gas - CREG 030, 2018).

5.6 Normatividad técnica colombiana.

La Norma Técnica Colombiana (NTC 2050), cuyo objetivo de este código es la salvaguardia de las personas y de los bienes contra los riesgos que pueden surgir por el uso de la electricidad. Este código contiene disposiciones que se consideran necesarias para la seguridad. El cumplimiento de estas y el mantenimiento adecuado darán lugar a una instalación prácticamente libre de riesgos, pero no necesariamente eficiente, conveniente o adecuada para el buen servicio o para ampliaciones futuras en el uso de la electricidad. (Norma técnica colombiana NTC 2050, 1998 (Primera actualización)).

5.7 Código Eléctrico Colombiano.

En Colombia, la normatividad riesgo eléctrico ha evolucionado de manera significativa, desde que la energía se convirtió en un gran aliado para humanidad, además los riesgos asociados a la manipulación de la corriente eléctrica han tenido un impacto severo en la salud de los individuos, los peligros eléctricos se materializan en especial por ignorar las reglas de seguridad, por esta razón, es importante la recopilación de toda la legislación del riesgo eléctrico que rige en Colombia, para garantizar una manipulación segura al interior de las empresas.

5.7.1. El Artículo 690. Sistemas solares fotovoltaicos.

Sistemas solares fotovoltaico, diferentes a los comprendidos en el Artículo 691; los sistemas a los que hace referencia este artículo tienen la posibilidad de ser interactivos con otras fuentes de generación eléctrica o ser autónomos o los dos, y tienen la posibilidad de estar conectados o no a sistema de almacenamiento de energía eléctrica como por ejemplo batería, la salida de implementación de dichos sistemas pueden ser de corriente continua o de corriente alterna. (Código Eléctrico Colombiano, 2020).

6. Diseño metodológico

Para llevar a cabo el cumplimiento de los objetivos del proyecto, tendremos en cuenta las siguientes etapas:

Tabla 1

Cronograma de actividades

Objetivos Específicos	Actividad	Método
Seleccionar los aspectos y recomendaciones técnicas en el RETIE, NTC 2050 Versión 2020 y operador de red Afinia para instalación de SFV.	Analizar las resoluciones por el operador de red Afinia.	Revisar las condiciones y documentaciones exigido por caribe mar en su página de información.
	Analizar artículo 690 de la NTC 2050.	Se consulta los criterios técnicos para la realización de un proyecto solar fotovoltaico.
	Identificar los artículos según RETIE para la canalización, cableado y protecciones.	Utilizaremos el artículo de instalaciones especiales en el RETIE y diseño simplificado.
Establecer proceso de conexión a la red según CREG 030 y operador de red Afinia.	Identificar los parámetros y métodos para la inscripción de proyectos frente afinia.	Revisar el acuerdo 1322 el cual establece los requisitos de protección para la conexión de sistema de generación SIN.

	Analizar los incentivos	Presentación de las distintas leyes que aplican según la ley 1715 para los incentivos tributarios como la exención de gravamen arancelario y exclusión de IVA.
Determinar condiciones técnicas para el diseño de un sistema de generación solar fotovoltaica.	Identificar el proceso de inscripción de los proyectos frente a UPME.	Estudio de la cartilla de presentación de la UPME 2020
Elaborar manual técnico para la instalación de un sistema de generación solar fotovoltaica de AGPE.	Realizar método de inscripción frente a la UPME.	Utilizaremos las cartillas de presentación y formatos de inscripción.
Realizar método de inscripción frente a la afinia.	Verificar los parámetros según Caribe Mar	
Realizar conceptos técnicos para memoria eléctrica del Sistema fotovoltaico. Memoria Eléctrica para el proyecto solar de AGPE.	Utilizaremos fórmulas para el Dimensionamiento y ejemplos de Software como PvSys. Se basará el diseño según el RETIE.	

Fuente: Autor 2021

7. Resultados y análisis de resultados

7.1 Manual Técnico para un Sistema Solar Fotovoltaico menor 0.1MW e Inscripción de los Proyectos Frente a la UPME y la CREG 030.

La realización de este manual se basó en la experiencia obtenida a nivel personal, en el proyecto de Terpel “La Vallenata”, en los diferentes procesos de construcción y gestión por parte de Fluxsolar y Smart Space Ing, donde se instalaron 96kW de sistema solar fotovoltaico conectado a la red.

Este manual tuvo como principal objetivo, ilustrar los procesos en Colombia para la instalación de un Sistema solar fotovoltaico conectado a la red, pero antes de llegar a este proceso debemos pasar por una serie de variantes técnicas y legales, para que se pueda dar la conformidad por parte del operador de red, es importante aclarar que la principal estrategia de estos proyectos estará basado en los incentivos tributarios que estos pueden obtener mediante la inclusión de excedentes e inscripción frente a la UPME.

Basado en la necesidad identificada en toda la experiencia vivida y en los clientes que esperan poder dar lugar a la inclusión de energías limpias en sus proyectos comerciales, nace la realización del documento, puesto que en Colombia aun hace falta impulsar y desarrollar más proyectos que además de ser atractivos por su infraestructura, también sean atractivas por su aporte al ambiente y a la maximización de beneficios económicos.

7.1.1 Proceso de registro de proyectos de generación ante la UPME.

Para la inscripción de proyectos solares en la UPME, se realiza el registro de los formatos requeridos por esa entidad, y los datos básicos para su diligenciamiento se

encuentran a través del uso de la ingeniería básica a través de un flujograma obtenido en la página de la UPME, se explica todo el paso a paso del proceso de inscripción del proyecto, inicialmente explicaremos el proceso de llenado de los documentos.

Este documento lo guiará en el diligenciamiento de cada una de las casillas de los Formatos 1, 2 y 3, que son los documentos anexos a la Resolución UPME 196 de 2020 y que se deben entregar en su solicitud de incentivos tributarios para proyectos de Gestión Eficiente de la Energía (GEE).

La celeridad en la expedición del certificado para los incentivos tributarios depende directamente de la completitud y la calidad de la información que entregue a la UPME. De acá la importancia del correcto diligenciamiento de los datos que se piden en los Formatos 1, 2 y 3, de acuerdo con los lineamientos explicados en esta cartilla, con ello se evita que su solicitud sea rechazada o des devuelta con requerimiento de aclaraciones, generando reproceso que dilaten la expedición de su certificado. (Unidad de Planeación Minero-Energética - Cartilla GEE Incentivo Tributario, 2020) Estos formatos se deben entregar como anexos a la solicitud.

En la sección de solicitantes se debe consignar la información referente a las personas naturales o jurídicas que solicitan los incentivos. Las casillas del formato se deben diligenciar con la información según corresponda.

Tabla 2: Formato 1. Información del Solicitante.



SOLICITUD DE INCENTIVOS TRIBUTARIOS PARA PROYECTOS
DE EFICIENCIA ENERGÉTICA/GESTIÓN EFICIENTE DE LA ENERGÍA
EXCLUSIÓN DE IVA, DEDUCCIÓN O DESCUENTO EN RENTA
RESOLUCIÓN UPME 196 DE 2020



El futuro
es de todos

Presidencia
de la República

FORMATO 1. Información solicitantes

Haga clic aquí antes de diligenciar el Formato 1

En esta sección se identifica a los solicitantes su actividad económica y a la persona de contacto con la cual se podrán resolver inquietudes con respecto a la solicitud.

Solicitantes

	a1. Datos de solicitante principal	a2. Datos de solicitante secundario
a1. Tipo de solicitante	Persona natural <input type="checkbox"/>	Persona natural <input type="checkbox"/>
	Persona jurídica <input type="checkbox"/>	Persona jurídica <input type="checkbox"/>
Rol		
Razón social o nombre completo del solicitante		
Tipo de identificación		
Número de identificación		
Código de actividad económica CIIU Revisión 4	Código CIIU Rev. 4	Código CIIU Rev. 4
Departamento		
Municipio		
Dirección		
Teléfono fijo		
Teléfono celular		
correo electrónico de notificación		
b1. Representante legal o apoderado		
Nombre del representante legal		
Tipo de identificación		
Número de identificación		
c1. Contacto 		
Nombre del contacto responsable del proyecto		
Cargo		
Teléfono fijo		Teléfono celular
e-mail		

Declaración

Con la presente solicitud declaro que toda la información suministrada con miras a obtener la certificación que permite acceder a los incentivos establecidos en el Art 424-7, 428-F y 225 del estatuto tributario y en el artículo 11 de la Ley 1715 de 2014, es veraz y me hago responsable por ella. Así mismo, autorizo a la UPME para que de conformidad con el artículo 67 del Código de Procedimiento Administrativo y de lo Contencioso Administrativo, notifique todas las actuaciones surtidas en desarrollo del trámite al correo electrónico de notificaciones informado en el presente documento.

Firma del R.L. del solicitante principal
C.C / C.E

Firma del R.L. del solicitante secundario
C.C / C.E

En el formato 3 se registran los datos que conciernen al tipo, marca, modelo, costo, normas y otras características técnicas de los equipos utilizados para el desarrollo del proyecto, los datos dependerán de la información consignada en el Formato 2.

Tabla 4: *Formato 3, Equipos objeto de Incentivos*



FORMATO 3. Equipos objeto del incentivo

En esta sección se relacionan los elementos, equipos, maquinaria o servicios por los cuales se pretende obtener los incentivos tributarios y se indican sus características técnicas.

Por favor seleccione del Formato 2 el sector y la acción o medida del proyecto para que se desplieguen las casillas correspondientes.

Sector	
Acción o Medida	

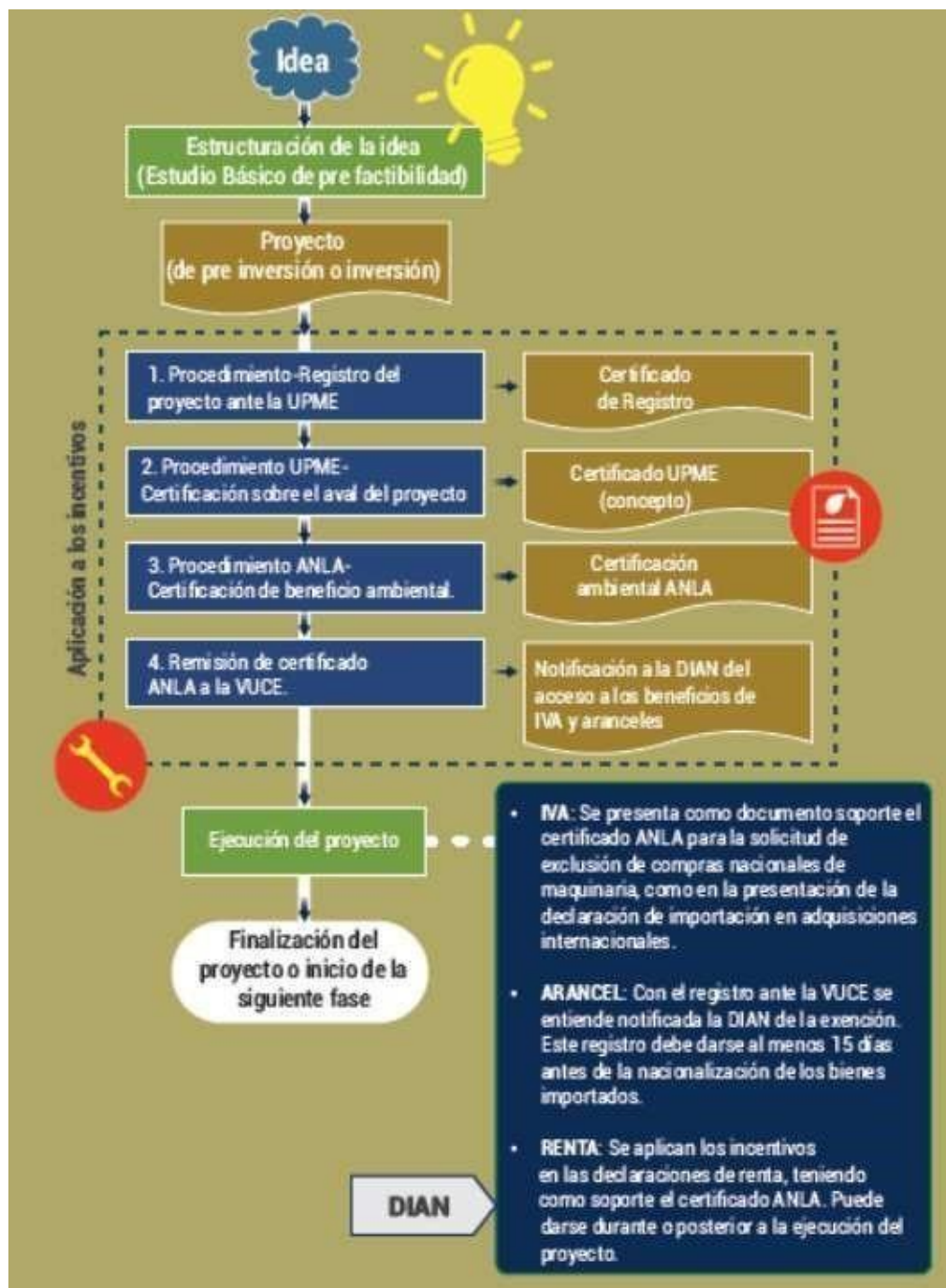
Fuente: Documentación de procesos UPME. (Unidad de Planeación Minero Energética - Cartilla GEE Incentivo Tributario, 2020).

El proceso de diligenciamiento será cargado como anexo, se debe tener en cuenta la veracidad de los formatos, los cuales también lo estaremos entregando como anexo.

A. Anexo. Cartilla de Incentivo GEE.

B. Anexo. Formato resolución 196 de 2020 UPME.

Figura 8: Etapas del Proyecto y aplicaciones de incentivos.



Fuente: Cartilla de incentivo tributaria IGE de la ley 1715. (Unidad de Planeación Minero-Energética - Cartilla IGE Incentivo Tributario., 2020).

7.2 Presentación estudio de conexión para autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el sistema de interconectado nacional - resolución CREG 030 de 2018.

Contiene los requisitos mínimos que debe tener un estudio de conexión de Auto generadores a Pequeña Escala (AGPE) entre 0.1 MW y 1 MW y los Auto generadores entre 1 MW Y 5 MW, incluyendo los Generadores Distribuidos (GE) menores a 0,1 MW. Dadas las escalas mencionadas, el promotor deberá especificar:

- Potencia instalada.
- Tipo de tecnología a utilizar.
- Ubicación del proyecto.
- Características técnicas de los componentes del proyecto.
- Nivel de tensión de conexión

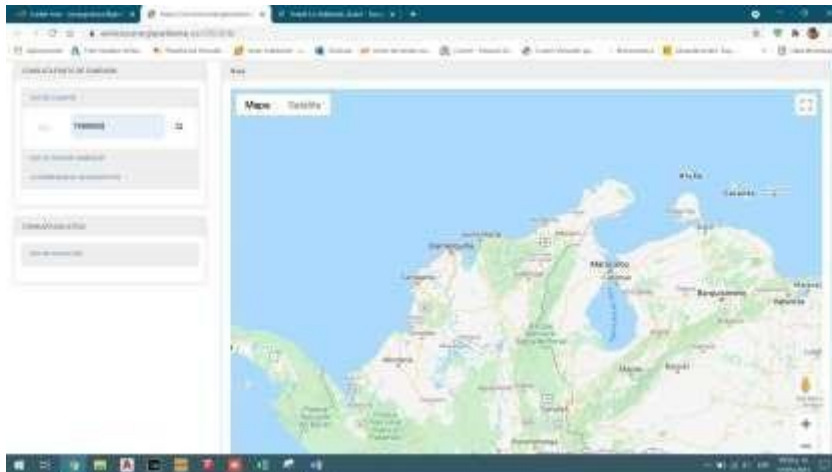
Además, especificar si contempla exportar excedente a la red, si el proyecto es residencial, comercial o industrial y la fecha estimada de entrada en operación.

El operador deberá mostrar el impacto de la conexión del nuevo proyecto al Sistema de Distribución Local (SDL) de CARIBE MAR, teniendo en cuenta las solicitudes de conexión Auto generadores a Pequeña Escala (AGPE) entre 0.1 MW y 1 MW y los Auto generadores entre 1 MW Y 5 MW, incluyendo los Generadores Distribuidos (GE) menores a 0,1 MW. (Caribe Mar- Solicitud del Punto de conexión AGPE- AFINIA-CREG 030, 2018)

El proyecto del EDS. La Vallenata es la referencia para aterrizar un proceso según lo establecido por la CREG 030, este proyecto está en el rango de auto generadores a pequeña escala por estar ubicado en el rango de 0 a 1MW ya que se tiene 96 kW en inversores. Al ser un proyecto menor a 1MW no se deberá presentar estudio de conexión.

- Como primer paso debemos ingresar a <https://servicios.energiacaribemar.co/CREG030/> para realizar nuestra factibilidad de conexión con nuestro operador afina.
- Cuando ya estemos en la página, debemos ubicar el NIC del recibo de energía que aparece en el costado derecho superior de la factura, o el código del transformador.

Figura 9: *Factibilidad punto de conexión AFINIA.*

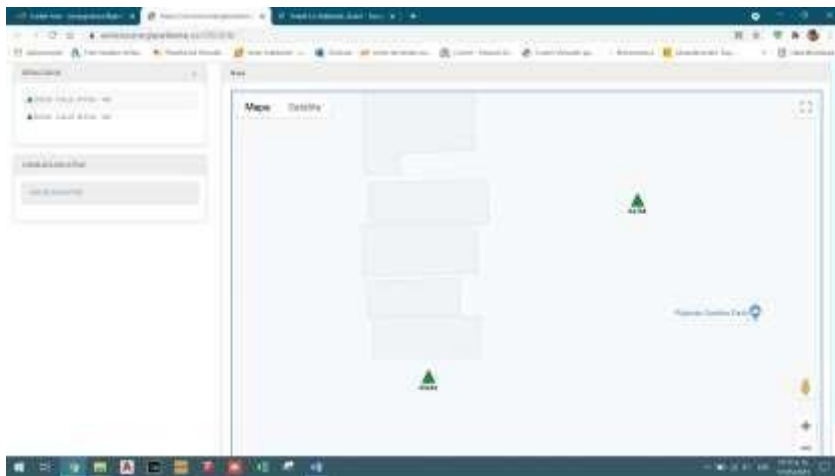


Fuente: Página oficial de servicio de energía Caribe Mar. (Caribe Mar - Servicio de Punto de conexión CREG 030, 2018).

A continuación, los pasos para para la presentación del estudio:

1. Una vez cargada la página, se selecciona el transformador que haga referencia a la energización de nuestro predio, como lo solicita en resolución de la CREG 030 se debe marcar con colores los estados de carga del transformador, en este caso por encontrarse en verde, es viable nuestro punto de conexión.

Figura 10: *Factibilidad de conexión. Estado de Transformador AFINIA*



Fuente: Página oficial de servicio de energía Caribe Mar. (Caribe Mar - Servicio de Punto de conexión CREG 030, 2018).

2. Una vez seleccionado el transformador, se continúa con la creación de la solicitud y la aceptación de los términos y condiciones.
3. Al terminar el paso anterior, se despliega el formulario para solicitud de conexión simplificada de autogeneradores a pequeña escala con potencia menor a 100 kW. Aquí se deben agregar todos los datos del proyecto, así como información externa de relevancia como diagramas unifilares,

certificados anti-islas, certificado de programación de frecuencia y tensión del inversor según el acuerdo 1322.

4. Los datos que se proporcionan son obtenidos desde la ingeniería de detalle. Algunos datos a tener en cuenta son.

7.2.1 Información necesaria para la inscripción de proyectos solares fotovoltaicos ante el operador de red.

Información del sistema fotovoltaico.

- Potencia por unidad de modulo fotovoltaico (Wp).
- Numero de módulos fotovoltaicos instalados.
- Fecha de instalación
- Indicar si posee relé de flujo inverso.
- Capacidad en DC de total de bloque de generación (KW-DC).
- Voltaje de salida del Inversor
- Potencia total en AC de los Inversores.
- Números de fases del sistema de distribución.
- Indicar los elementos de protección, control y maniobra.
- Especificar las características del inversor.
- Datos del Punto de conexión.

- Potencia para entregar a la red
- Nivel de tensión.

Información del sistema de medición.

- ¿El medidor es bidireccional? / ¿el medidor tiene perfil horario?

Proyecciones de energía generada y consumida en (kwh-mes)

- Proyección de la energía generada por el sistema a entregar a la red del OR por mes (kWh-mes)
- Proyección de la energía generada por el sistema para consumo interno por mes.

A dicha solicitud se le deben anexar los siguientes documentos (proyectos con potencia instalada menores o iguales a 100 kW) (kWh-mes)

- Formulario de solicitud de conexión simplificada AGPE y GD.
- Diagrama unifilar del proyecto.
- Esquema de protecciones de voltaje y de frecuencia en el punto de conexión.
- Características de la protección anti-isla.
- Esquema y cálculos del tipo de conexión a tierra tanto para la tecnología de generación como para punto de conexión.
- Declaración de cumplimiento del RETIE o el diagrama de inspección y verificación de cumplimiento RETIE, según aplique.
- Certificado de conformidad de producto RETIE en AC en el punto de conexión.

Tabla 5: *Formulario de Inscripción de Punto de conexión. Afinia.*

The image shows a web browser window displaying a form titled "FORMULARIO PARA SOLICITUD DE CONEXIÓN SIMPLIFICADA DE AUTOGENERADORES A PEQUEÑA ESCALA Y GENERADORES DISTRIBUIDOS CON POTENCIA INSTALADA EN 100 KW". The form is organized into three main sections:

- Tipo de generación:** Includes fields for "Tipo" (with a dropdown), "Si es autogenerador, energía conectada a la red" (checkbox), "Fecha prevista de acceso al operador comercial, si es generador distribuido" (date field), and "Fecha estimada de conexión del proyecto, si es autogenerador" (date field).
- Información cliente:** Includes fields for "Código cliente" (dropdown), "No. de cuenta cliente" (text), "Nombre del cliente" (text), "Código de Ciudadanía/OT" (text), "Dirección del cliente" (text), "Ciudad" (text), "Email" (text), "Teléfono/Celular" (text), "Tipo de Cliente" (dropdown), and "Cargo" (text).
- Información inmueble:** Includes fields for "Dirección de ubicación del proyecto" (text), "Ciudad" (text), and "Departamento" (text).

Fuente: Página oficial de servicio de energía Caribe Mar. (Caribe Mar - Servicio de Punto de conexión CREG 030, 2018).

7.3 Memoria y diseño Eléctrico según normatividad colombiana

Para la realización de estos requerimientos la investigación se basa en el **Artículo 10°**.

Requerimientos Generales de las Instalaciones Eléctricas.

7.3.1 Artículo 10.1 Diseño de las instalaciones eléctricas.

Toda instalación eléctrica a la que le aplique el RETIE debe contar con un sueño realizado por uno o varios profesionales legalmente competentes para desarrollar esa actividad. El tipo de instalación definirá si el diseño es detallado o simplificado.

El diseño detallado según el tipo de instalación y complejidad debe cumplir los aspectos que

le apliquen de la siguiente lista:

1. Memoria

1.1. Memoria descriptiva

1.1.1. Preámbulo

1.1.2. Peticionario y Objeto

1.1.3. Emplazamiento

1.1.4. Descripción de la instalación

1.1.4.3 Instalación de BT

1.2. Cálculos justificativos

1.2.1. Cálculos Eléctricos: Regulación y Capacidad

1.2.1.1. Análisis y cuadros de cargas iniciales y futuras, incluyendo análisis de factor de potencia y armónicos.

1.2.1.2. Análisis del nivel tensión requerido.

1.2.1.3. Cálculos de regulación MT y BT.

1.2.1.4. Cálculo de transformadores incluyendo los efectos de los armónicos y factor de potencia en la carga

1.2.1.5. Cálculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de pérdidas, las cargas resultantes y los costos de la energía.

1.2.1.6. Cálculos de canalizaciones (tubo, ductos, canaletas y electroductos) y volumen de encerramientos (cajas, tableros, consultas, etc.).

1.2.1.7. Cálculos de pérdidas de energía, teniendo en cuenta los efectos de armónicos y factor de potencia.

1.2.2. Cálculos Eléctricos: Cortocircuito, Protecciones y PT

1.2.2.1. Análisis de cortocircuito y falla a tierra.

1.2.2.2. Cálculo y coordinación de protecciones contra sobre corrientes. En baja tensión se permite la coordinación con las características de limitación de corriente de los dispositivos según IEC 60947-2 Anexo A.

1.2.2.3. Verificación de los conductores, teniendo en cuenta el tiempo de disparo de los interruptores, la corriente de cortocircuito de la red y la capacidad de corriente del conductor de acuerdo con la norma IEC 60909, IEEE 242, capítulo 9 o equivalente.

1.2.2.4. Cálculo de puesta a tierra y estudio de resistividad.

1.2.3. Cálculos Eléctricos: Aislamiento, y protección contra Rayos, Riesgo eléctrico.

1.2.3.1. Análisis de coordinación de aislamiento eléctrico.

1.2.3.2. Análisis de nivel de riesgo por rayos y medidas de protección contra rayos.

1.2.3.3. Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos.

1.2.3.4. Cálculo de campos electromagnéticos para asegurar que, en espacios destinados a actividades rutinarias de las personas, no se superen los límites de exposición definidos en la Tabla 14.1 del RETIE.

1.2.3.5. Clasificación de áreas.

1.2.4. Cálculos mecánicos

1.2.4.1. Datos de la Red

1.2.4.2. Cálculos mecánicos De Conductores

1.2.4.3. Cálculos mecánicos De Postes Auto soportados.

1.2.4.4. Cálculos mecánicos De Postes Con Retenida.

1.2.4.5. Calculo mecánico de cimentaciones y estudio de suelos. (Ministerio de Minas y Energía, 2013)

La realización y demostración de este punto se explica en el Anexo C. Memoria Eléctrica de un Sistema Fotovoltaico. Para tener una simplicidad en el libro general.

NOTA: Los datos y cálculos obtenidos en la memoria eléctrica fueron adecuados a un proyecto de generación solar fotovoltaica en la ciudad de Valledupar por parte de la empresa la empresa Fluxsolar Chile y cuyo proceso de construcción, diseño y gestión estuvo a cargo de la empresa Colombiana Smart Space Ing. definido como proyecto referencia para el desarrollo del manual objeto de esta investigación.

Es importante decir que este proyecto pertenece a la empresa Fluxsolar Chile, el cual para sus de la cual hago parte de su equipo técnico.

7.4 Memoria del diseño fotovoltaico.

De acuerdo con la información consultada y soportada en el presente escrito, se indicará mediante un software el proyecto de 96 kW en consumo.

Los diseños fotovoltaicos deben ir encaminado al ahorro energético en su facturación y con la oportunidad de recibir respaldos a través de incentivos tributarios de las grandes

empresas, este diseño se basa en lograr un ahorro aproximado de los 75% del valor total de la facturación y entendiendo así, que poco a poco deben aumentar los excedentes que se tendrán al momento de los consumos llanos de la carga.

Este diseño estar presentado sobre los 15% de ocupación de la red de media y no del transformador, dado a que la medida es indirecta sobre su subestación local.

El transformador existente es de 300kV a 440V de la salida, se pretende cun ahorro máximo del 75% que refiere a una potencia en inversores de 96 kW, esto se contempla estar dentro de los Autogeneradores a pequeña escala como lo señala la ley 1715 y la CREG 030 del 2018, estaremos bajo 0 1MW.

7.4.1 Cálculo del Diseño FV.

Dado que el proyecto se desarrolla para un ahorro energético del 75% de consumo, con una carga promedio diaria del 656 Kwh/Día según promedio mensual de recibo de consumo energético.

- El factor de pérdida estará dado por el rendimiento de los equipos y accesorios utilizados en el proyecto, estimado al alrededor del 15 al 20% del consumo.

Tabla 6: Rendimiento de un sistema solar fotovoltaico

RENDIMIENTO DEL SISTEMA FV

Fase de conversión	Rendimiento parcial	Rendimiento acumul.
Nominal	0%	100%
Irradiación global reducida por sombreado topográfico	-1%	99%
Suciedad paneles solares	-3,50%	95,54%
Angulo Azimut	0,00%	95,54%
Conversión y desempeño fuera del punto STC (calor)	-4,00%	91,71%
Conexión y diodos panel solar	-0,30%	91,44%
Consumo propio inversor	-0,10%	91,35%
Conversión DC/AC inversor (según ficha técnica)	-3,50%	88,15%
% conductores	-2,30%	86,12%
Disponibilidad reducida / Limitación de potencia domingos	-1,30%	85,00%

Perdidas del SFV= 15%

Fuente: Curso tomado por el autor. (Curso intensivo de Diseño e Instalación de sistema fotovoltaico- Electricaribe, 2020)

Figura 11: Histórico consumo la EDS. La Vallenata



Fuente: Facturación del consumo energético. Entregado por Terpel Energía.

Con este histórico se puede obtener el promedio de consumo kWh/mes, sin embargo, lo que se busca es obtener el consumo diario, para lo cual se divide el consumo promedio mensual por los días del mes así: Consumo promedio actual mensual (Kwh/mes): 21.171 Kwh/mes

- *Consumo diario promedio = Consumo mensual promedio ÷ 31 Dias = 656 Kwh/Dia*

Tendiendo nuestro consumo diario establecemos el bloque de generación según las horas solar pico de la ubicación geográfica.

Tabla 7: Irradiación en la ciudad de Valledupar.

DATOS DE GENERACIÓN DE IRRADIANCIA EN KWH/M2- EN VALLEDUPAR											
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
5,41	5,47	5,67	5,3	5,07	5,18	5,36	5,19	5,01	4,72	4,75	4,96
PROMEDIO					5,175						

Fuente: Solar Electricity Handbook; 2019 Edition.

Para calcular la potencia del bloque de generación utilizaremos las HSP (5.175) y el consumo promedio diario (656kWH/DÍA): $Bloque\ GEN = (Consumo\ promedio\ diario \div HSP) * 75\%$

Resultado = 95.25 Kwh

Teniendo como compromiso el no sobrepasar los 0 1MW que es igual a 100 kW tomaremos el 75% de su consumo en horas de 126.7kWh para lo cual tendremos 95.25 Kwh = 96Kwh.

Los inversores para instalar tienen una potencia 96kW, dado a que se deben seleccionar de acuerdo al consumo en horas del sistema.

El redimiendo del sistema se estima del 25% para darle una mayor seguridad al sistema en su generación con las diferentes dificultades y sombras que se pueden presentar en el sistema. Para mantener nuestra generación mínima del 96kWh debemos agregarle un 25% más al sistema de generación para que no se produzca pérdidas o generaciones inestables en el sistema.

- Potencia del bloque de generación.

$Potencia\ Bloque\ GEN = Potencia\ entregada * 25\% = 120Kwh$

El número de módulo fotovoltaico se da por el bloque de generación sobre la potencia unitaria del módulo, en este caso se selecciona el Módulo Monoperc de 480wp de la marca Canadian solar.

$\#de\ modulos = potencia\ del\ bloque\ GEN \div Potencia\ del\ modulo\ fotovoltaico$

$\#de\ modulos = 120000W \div 480W = 250\ modulos$

- Información de los Inversores Seleccionado.

La selección de las potencias y fabricante del inversor es considerada por el Diseñador, ya que se deben contemplar varias opciones y funcionalidades de los equipos; para este caso se

toma el fabricante de Huawei y se dividen las potencias en dos inversores por la disponibilidad

que se tiene del fabricante. Se tienen dos inversores uno de 60kW y otro de 36kW, sincronizados entre ellos en la salida AC y la entregada por la red normal que tendrá una tensión de 440Vca.

ELEMENTO MODELO

Módulos Fotovoltaicos Canadian Solar CS3Y480MS

Inversor On-Grid 1 HUAWEI SUN200060KTL-M0

Inversor On-Grid 2 HUAWEI SUN2000_36KTL

Las principales características de los inversores para su aplicación en Colombia, método de protección de frecuencia y tensión según el acuerdo 1322, este solo será de parametrización de los inversores, así mismo debemos tener presente que nuestros Sting no deben superar los 1000Vdc en sistema comerciales y generación, pero no se pueden pasar de 600Vdc en unidades de vivienda, esto es según el artículo 690 de la NTC 2050.

Estos inversores ya vienen integrados las protecciones y MPPT, agregando a si un plus importante para el equipo en integración y funcionalidad.

Es de suma importancia que la ficha técnica especifique de manera clara la protección anti- isla, para que pueda ser aprobado por OR, así mismo se puede obtener una protección de flujo inversor cuándo los sistemas conectados tienen almacenamiento o son sistema de respaldo energético también.

Tabla 8: Ficha Técnica de Inversor de 60-60KTL-M0

SUN2000-60KTL-M0
Technical Specification

Technical Specification	SUN2000-60KTL-M0
Efficiency	
Max. efficiency	98.9% @480 V; 98.7% @380 V / 400 V
European efficiency	98.7% @480 V; 98.5% @380 V / 400 V
Input	
Max. Input Voltage ¹	1,100 V
Max. Current per MPPT	22 A
Max. Short Circuit Current per MPPT	30 A
Start Voltage	200 V
MPPT Operating Voltage Range ²	200 V ~ 1,000 V
Rated Input Voltage	600 V @380 Vac / 400 Vac; 720 V @480 Vac
Number of MPP trackers	6
Max. input number per MPP tracker	2
Output	
Rated AC Active Power	60,000 W
Max. AC Apparent Power	66,000 VA
Max. AC Active Power (cosφ=1)	66,000 W
Rated Output Voltage	220 V / 380 V, 230 V / 400 V, default 3W + N + PE; 3W + PE optional in settings; 277 V / 480 V, 3W + PE
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz
Rated Output Current	91.2 A @380 V, 86.7 A @400 V, 72.2 A @480 V
Max. Output Current	100 A @380 V, 95.3 A @400 V, 79.4 A @480 V
Adjustable Power Factor Range	0.8 leading... 0.8 lagging
Max. Total Harmonic Distortion	< 3%
Protection	
Input-side Disconnection Device	Yes
Anti-islanding Protection	Yes
AC Overcurrent Protection	Yes
DC Reverse-polarity Protection	Yes
PV-array String Fault Monitoring	Yes
DC Surge Arrester	Type II
AC Surge Arrester	Type II
DC Insulation Resistance Detection	Yes
Residual Current Monitoring Unit	Yes
Communication	
Display	LED indicators; WLAN adaptor + FusionSolar APP
RS485	Yes
USB	Yes
Monitoring BUS (MBUS)	Yes (isolation transformer required)
Smart Dongle-4G	4G / 3G / 2G via Smart Dongle - 4G (Optional)
General Data	
Dimensions (W x H x D)	1,075 x 555 x 300 mm (42.3 x 21.9 x 11.8 inch)
Weight (with mounting plate)	74 kg (163.1 lb.)
Operating Temperature Range	-25°C ~ 60°C (-13°F ~ 140°F)
Cooling Method	Natural Convection
Max. Operating Altitude	4,000 m (13,123 ft.)
Relative Humidity	0 ~ 100%
DC Connector	Amphenol Helios H4
AC Connector	Waterproof PG Terminal + Terminal Clamp
Protection Degree	IP65
Topology	Transformerless
Nighttime Power Consumption	< 2 W
Standard Compliance (more available upon request)	
Certificate	EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, EN 50530, IEC 62116, IEC 60068, IEC 61683
Grid Connection Standards	IEC 61727, VDE-AR-N4105, VDE 0126-1-1, BDEW, VDE 4120, UTE C 15-712-1, CEI 0-16, CEI 0-21, RD 661, RD 1699, P.O. 12.3, RD 413, EN-50438-Turkey, EN-50438-Ireland, C10/11

¹ The maximum input voltage is the upper limit of the DC voltage. Any higher input DC voltage would probably damage inverter.

² Any DC input voltage beyond the operating voltage range may result in inverter improper operating.

Tabla 9: Ficha técnica de inversor de 36kTL

Technical Specifications	SUN2000-36KTL
	Efficiency
Max. Efficiency	98.6%
European Efficiency	98.4%
	Input
Max. Input Voltage	1,100 V
Max. Current per MPPT	22 A
Max. Short Circuit Current per MPPT	30 A
Start Voltage	250 V
MPPT Operating Voltage Range	200 V ~ 1,000 V
Rated Input Voltage	620 V
Number of Inputs	8
Number of MPP Trackers	4
	Output
Rated AC Active Power	36,000 W
Max. AC Apparent Power	40,000 VA
Max. AC Active Power (cos ϕ =1)	Default 40,000 W; 36,000 W optional in settings
Rated Output Voltage	220 V / 380 V, 230 V / 400 V, default 3W + N + PE; 3W + PE optional in settings
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz
Rated Output Current	54.6 A @380 V, 52.2 A @400 V
Max. Output Current	60.8 A @380 V, 57.8 A @400 V
Adjustable Power Factor Range	0.8 LG ... 0.8 LD
Max. Total Harmonic Distortion	< 3%
	Protection
Input-side Disconnection Device	Yes
Anti-islanding Protection	Yes
AC Overcurrent Protection	Yes
DC Reverse-polarity Protection	Yes
PV-array String Fault Monitoring	Yes
DC Surge Arrester	Type II
AC Surge Arrester	Type II
DC Insulation Resistance Detection	Yes



- Con las nuevas tecnologías los diseños se podrán simular bajo software especializados en el sector fotovoltaico, para este caso realizaremos la simulación desde el Software de PVSYST V6.84.

Tabla 10: *Parámetros de simulación de equipos.*

Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación					
Proyecto : Terpel Colombia_La Valleta					
Sitio geográfico		Valledupar		País Colombia	
Ubicación		Latitud	10.45° N	Longitud	-73.25° W
Tiempo definido como		Hora Legal	Huso horario UT-5	Altitud	139 m
Datos meteorológicos:		Valledupar		Solargis - Sintético	
Variante de simulación : Valleta_SinSombra_Panel480W_251_Sombras					
Fecha de simulación 11/02/21 18h21					
Parámetros de la simulación		Tipo de sistema		Cobertizos de tierra	
Orientación plano captador		Inclinación		5° Acimut 0°	
Configuración de los cobertizos		Núm. de cobertizos		8	
Ángulo límite de sombreado		Separación entre cobertizos		6.00 m	
		Ángulo de perfil límite		Ancho receptor 4.53 m	
		Fabricante		Falta de ocupación del suelo (GCR) 75.8 %	
Modelos empleados		Transposición		Perez Difuso Perez, Meteorom	
Horizonte		Sin horizonte			
Sombreados cercanos		Sombreado lineal			
Necesidades del usuario :		Carga ilimitada (red)			
Características de los conjuntos FV (2 Tipo de conjunto definido)					
Módulo FV		Si-mono		Modelo CS3Y-480MS	
Base de datos PV/syst original		Fabricante		Canadian Solar Inc.	
Sub-conjunto "HW 60k"					
Número de módulos FV		En serie		16 módulos En paralelo 10 cadenas	
Núm. total de módulos FV		Núm. módulos		160 Pnom unitaria 480 Wp	
Potencia global del conjunto		Nominal (STC)		76.8 kWp En cond. de funciona. 70.4 kWp (50°C)	
Caract. funcionamiento del conjunto (50°C)		U mpp		636 V I mpp 111 A	
Sub-conjunto "HW 36k"					
Número de módulos FV		En serie		13 módulos En paralelo 7 cadenas	
Núm. total de módulos FV		Núm. módulos		91 Pnom unitaria 480 Wp	
Potencia global del conjunto		Nominal (STC)		43.7 kWp En cond. de funciona. 40.0 kWp (50°C)	
Caract. funcionamiento del conjunto (50°C)		U mpp		517 V I mpp 77 A	
Total		Potencia global conjuntos		Nominal (STC) 120 kWp Total 251 módulos	
		Superficie módulos		592 m²	
Sub-conjunto "HW 60k" : Inversor					
Parámetros definidos por el usuario		Modelo		SUN2000-60KTL-M0_400Vac	
Características		Fabricante		Huawei Technologies	
		Voltaje de funcionam.		200-1000 V Pnom unitaria 60.0 kWac	
				Potencia máx. (=>30°C) 66.0 kWac	
Paquete de inversores		Núm. de inversores		1 unidades Potencia total 60 kWac	
				Relación Pnom 1.28	
Sub-conjunto "HW 36k" : Inversor					
Parámetros definidos por el usuario		Modelo		SUN2000_36KTL_400VAC	
Características		Fabricante		Huawei Technologies	
		Voltaje de funcionam.		200-1000 V Pnom unitaria 36.0 kWac	
				Potencia máx. (=>35°C) 40.0 kWac	
Paquete de inversores		Núm. de inversores		1 unidades Potencia total 36 kWac	
				Relación Pnom 1.21	
Total		Núm. de inversores		2 Potencia total 96 kWac	

Figura 12: Definición de sombreado según área.

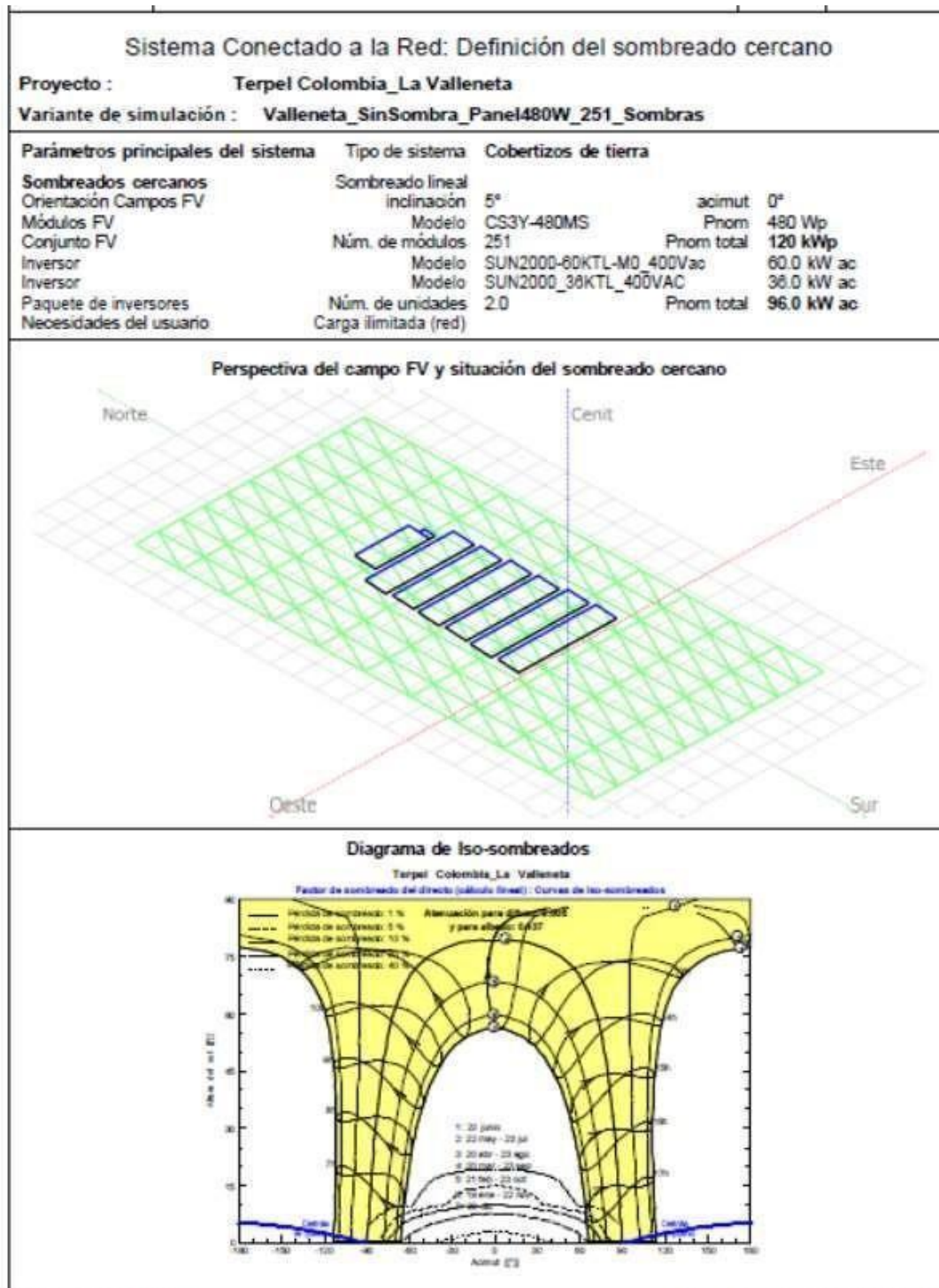


Tabla 11: Energía Producida durante los meses.

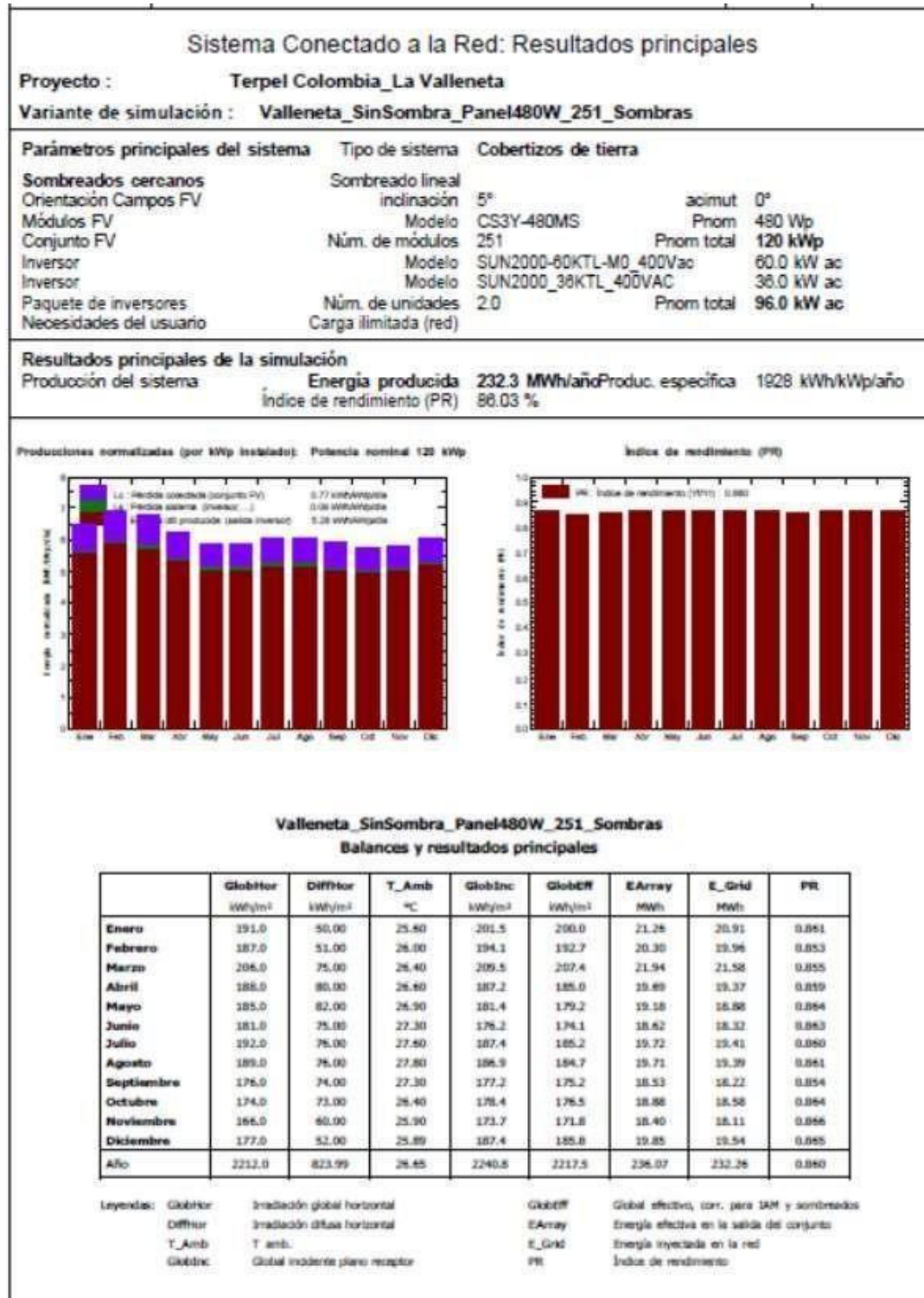
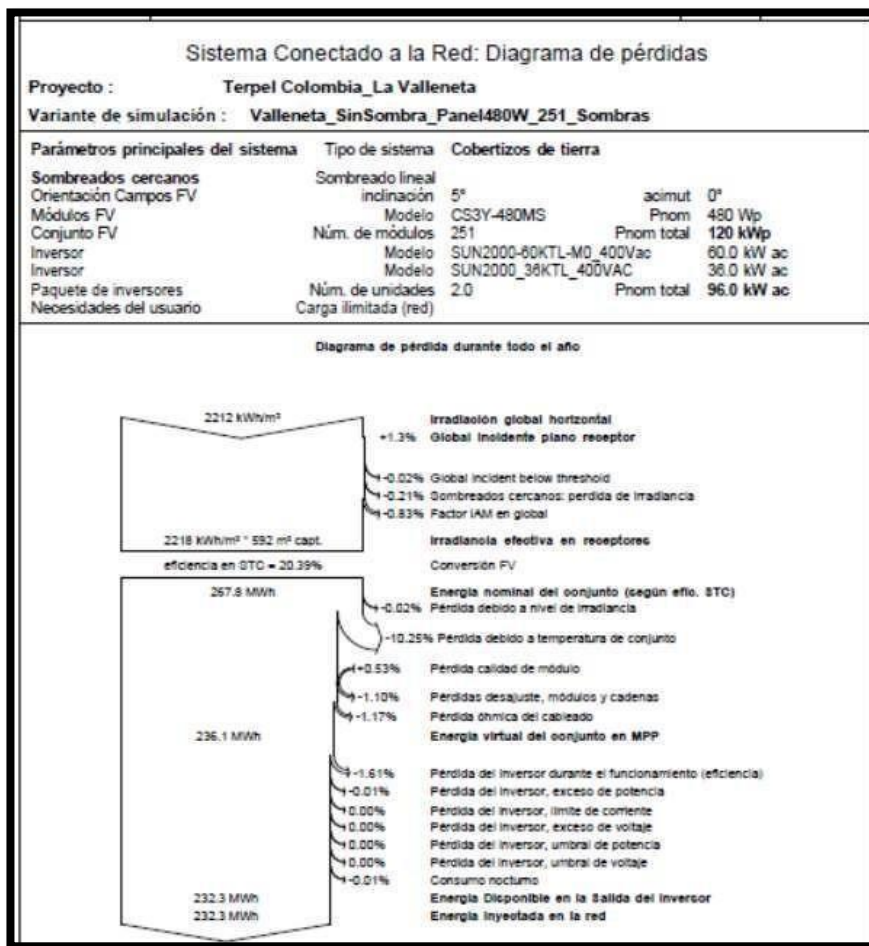


Figura 13: Estimaciones de pérdidas



7.4 Proceso de construcción.

El proceso de construcción del proyecto se realiza bajo los criterios establecidos en el RETIE y la NTC 2050. Se toman los artículos más precisos para el cumplimiento del dictamen RETIE, también es importante que se tenga dentro de los materiales y accesorios utilizados la certificación de producto de estos.

7.4.1 Canalización.

Las canalizaciones son conductos cerrados, sección circular, rectangular o cuadrada, de diferentes tipos (canaleta, tubos o conjunto de tubos, prefabricadas con barra o con cable, ductos subterráneos, entre otros) destinada al alojamiento de conductores eléctricos de las

instalaciones. También constituyen en un sistema de cableado. (Reglamento técnico de instalaciones eléctricas- RETIE, 2013). La tubería recomendada será la IMC por estar expuesta constantemente a daños físicos y atmosféricos. Artículo 20.6 del RETIE

- Tubo conduit metálico intermedio (tipo)
- Se deben marcar con una franja de color naranja de al menos 10cm de ancha para su distinguirlas.

Figura 14: *Marcación de tubería eléctrica.*



Fuente: Proyectos personales de sistemas de generación fotovoltaica.

7.4.2 Símbolo de riesgo eléctrico.

Es importante que todas las partes expuestas que sean conductores o alojen conductores eléctricos, estén marcados con un símbolo eléctrico como lo señala el Artículo 6.2 del RETIE

Figura 15: *Señalización de símbolo de riesgo eléctrico*



7.4.3 Cajas de registros en suelo.

La canalización que utilicen subterránea y que tengan dentro de recorridos cajas de pasos subterránea, se deben sellar según la NTC 2050 sección 230.8; así mismo se deberán identificar los conductores en todo el registro que se tenga en proyecto para la rápida identificación de los niveles de tensión y dirección de los mismos.

7.4.4. Código de colores FV.

Según el artículo 6.3 del RETIE el código de color para sistema de corriente continua, se deberá marcar el conducto positivo rojo y el negativo de blanco.

Tabla 12: *Tabla de código de colores para conductores CC. (Ministerio de Minas y Energía, 2013)*

Tabla 6.6 Código de Colores para conductores c.c.

Sistema c.c.	TN-S	TN-S	TN-C	TN-C	T-T	T-T
Tensión nominal (voltios)	Hasta 125	Hasta 125	Hasta 125	Hasta 125	Hasta 125	Hasta 125
Conductor positivo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo
Conductor negativo	Blanco	Azul	Blanco	Azul	Blanco	Azul
Conductor medio	No aplica	Blanco	No aplica	Blanco	No aplica	Blanco
Tierra de protección	Verde o Verde/ amarillo	Verde o Verde/ amarillo	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica

Fuente: Tabla de código de colores para conductores CC. (Ministerio de Minas y Energía, 2013).

7.4.5 Límites de aproximación.

Se deben aplicar los límites de aproximación teniendo en cuenta los circuitos de corriente continua y los de corriente alterna con los límites técnicos y restringidos. (RETIE: Art. 13.4, j). (Ministerio de Minas y Energía, 2013).

Figura 16: *Instalación con dictamen conforme*



Fuente: Proyectos personales de sistemas de generación fotovoltaica.

En resumen, el proceso de construcción de un sistema solar fotovoltaico se evidencia en la figura 44, donde se visualiza la marcación de las tuberías eléctricas, el uso de la tubería IMC, así mismo la dirección desde y hacia donde se dirigen estas tuberías para que los operarios de mantenimientos o personas externas a los proyectos tengan disponible la identificación correcta del proyecto.

Se podrán observar el código de colores de los conductores de corriente continua, las marcaciones de riesgo eléctrico en los inversores, también se deberá indicar las potencias de los inversores y el nivel de tensión de operación.

7.4.6. Diagramas unifilares.

Los diagramas unifilares deben agregarse a los tableros de protecciones o seccionamiento del sistema para que se pueda identificar de la mejor manera, así como el diagrama unifilar al interior del gabinete principal. **(RETIE: Art. 20.23.1.4).**

Figura 16: *Tablero de protección.*



Fuente: Proyectos personales de sistemas de generación fotovoltaica.

8. Conclusiones

- Con la identificación de los aspectos más importantes de la normatividad y recomendaciones técnicas de la norma NTC 2050 – Versión 2020 y formatos establecido en el RETIE, se crea el manual para la instalación de un sistema solar fotovoltaico para generar electricidad, permitiendo llegar al objetivo principal, el cuál es establecer en este documento una serie indicaciones que permitan realizar el proceso de instalación de paneles solares de manera tal que se eviten malas prácticas, insuficiencias en la calidad y desperdicios de energía y recursos.

- Se establece y documenta el proceso de conexión a red de acuerdo a la CREG y a las actividades que realiza Afinia como operador de servicio en el Caribe en Autogeneradores a Pequeña Escala (AGPE), para el desarrollo del manual objeto de este trabajo.

- Con la identificación y documentación del procedimiento correcto para el diligenciamiento de los formatos necesarios para los proyectos solares fotovoltaicos, se logra optimizar el proceso de inscripción del proyecto en la plataforma UPME.

- La gestión del riesgo eléctrico es un proceso fundamental en la implementación de Sistemas solares fotoeléctricos, pues permite garantizar el correcto control, verificación y funcionamiento de los componentes del Sistema, por lo cual son de necesaria inclusión en el manual del sistema solar

fotovoltaico; además del objetivo principal de los proyectos energéticos con Sistemas fotovoltaicos, con la disminución de costos de consumo de energía, los beneficios tributarios representan un valor agregado que incentiva en la implementación de estos proyectos, ya que representan un ahorro sustancial para las entidades que los llevan a cabo.

9. Recomendaciones

Con la nueva actualización que se pretende hacerle al RETIE, se modificarán y agregarán nuevos aspectos para los sistemas de generación fotovoltaica, por eso se hace importante que algunos parámetros se actualicen, tales como los certificados de conformidad de los productos, en especial los inversores, controladores y estructura.

10. Anexos

- A.** Anexo A: Cartilla Incentivo GEE
- B.** Anexo B: Formato resolución 196 del 2020 UPME.
- C.** Anexo C: Memoria Eléctrica de un Sistema Fotovoltaico.
- D.** Anexo D: Referencia bibliográfica y Webgrafia