

**OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA CONSIDERANDO GENERACIÓN FOTOVOLTAICA: REVISIÓN
DEL ESTADO DE ARTE**

JORGE ANDRÉS CANTILLO SUAREZ



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA
BUCARAMANGA
2017**

**OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA CONSIDERANDO GENERACIÓN FOTOVOLTAICA: REVISIÓN
DEL ESTADO DE ARTE.**

JORGE ANDRÉS CANTILLO SUAREZ

**MONOGRAFÍA PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL
TÍTULO DE:
ESPECIALISTA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

Director:

INGENIERO ELECTRICISTA Ph.D, JOHANN FARITH PETIT SUAREZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA
BUCARAMANGA**

2017

DEDICATORIA

Este trabajo de grado está dedicado a DIOS, por haber puesto en mi vida personas que con su amor y cariño que me han inculcado valores y me han ayudado a alcanzar mis sueños e ideales de superación, ellos fueron quienes en los momentos difíciles me dieron su apoyo para poder superar los obstáculos y lograr cumplir los objetivos trazados. A todos los profesores, compañeros, amigos que con su ayuda incondicional me han guiado por el camino indicado.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Jehová Dios, quien me guía y me da sabiduría para seguir adelante. A mi familia que me apoya, ayuda y acompaña en los proyectos de mi vida, para contribuir en mi crecimiento profesional y personal, mediante la educación. A mis profesores y compañeros de estudios quienes compartieron sus conocimientos y experiencias durante este proceso de aprendizaje y por último a la universidad por darnos las herramientas necesarias que nos permiten crecer como profesionales.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	16
1. GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA E INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS	21
1.1 INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS	23
1.1.1 Paneles fotovoltaicos	24
1.1.2 Reguladores de carga.....	25
1.1.3 Baterías.....	25
1.1.4 Inversores	26
1.2 CALIDAD DE LA ENERGÍA.....	27
1.3 CONFIABILIDAD DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.....	29
1.3.1 Definiciones básicas	30
1.3.2 Índices de confiabilidad.....	30
2. MARCOS REGULATORIOS DE ALEMANIA, ESPAÑA, CHILE Y COLOMBIA.....	34
2.1 LEY DE ENERGÍAS RENOVABLES (EEG) EN ALEMANIA.....	34
2.1.1 Las energías renovables Ley de 2014 (EEG 2014)	35
2.1.2 Las energías renovables Ley de 2017 (EEG 2017)	37
2.2 REAL DECRETO DE AUTOCONSUMO - ESPAÑA.....	39
2.2.1 Real decreto de autoconsumo 900/2015	40
2.2.2 Régimen retributivo	47
2.3 PRINCIPALES ASPECTO DEL MARCO REGULATORIO EN CHILE - Ley 20.571.....	48

2.3.1. Proceso de conexión de los equipos de generación.....	50
2.4 LEY 1715 INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES AL SISTEMA ENERGÉTICO NACIONAL - COLOMBIA	55
2.4.1 Objetivos principales	55
2.4.2 Competencias administrativas	56
2.4.3 Fundamentos de la ley 1715 de 2014.....	58
3. IMPACTO TÉCNICO DE LA CONEXIÓN DE LAS INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS A LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.....	65
3.1 ESTABILIDAD EN LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	65
3.2 CORRIENTES DE FALLA Y EQUIPOS DE PROTECCIONES	67
3.2.1 Disparo innecesario de protecciones	68
3.2.2 Fallas no detectadas por las protecciones	68
3.3 PÉRDIDAS DE ENERGÍA.....	70
3.4 CALIDAD DE LA ENERGÍA.....	70
3.4.1 Hundimientos de tensión - Sags	71
3.4.2 Armónicos	72
3.4.3 Sobretensión y baja tensión.....	72
4. ANÁLISIS DE LA CONFIABILIDAD EN LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA CON PENETRACIÓN DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA.....	73
4.1 Modelo matemático.....	73
5. CONCLUSIONES	83
CITAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85
BIBLIOGRÁFICAS	93
ANEXOS.....	95

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Categorías y características de fenómenos electromagnéticos en sistemas de potencia	29
Tabla 2. Fenómenos de calidad de la potencia	72

LISTA DE ILUSTRACIÓN

	pág.
Ilustración 1. Capacidad mundial total de energía solar FV, 2004 – 2014	18
Ilustración 2. Capacidad de energía solar fotovoltaica	18
Ilustración 3. Distribución capacidad instalada Energía Total, Marzo 2016	19
Ilustración 4. Matriz energética en Chile, año 2050	20
Ilustración 5. Esquema unifilar de un sistema eléctrico de potencia	23
Ilustración 6. Sistema fotovoltaico	25
Ilustración 7. Inversor	28
Ilustración 8. Análisis de confiabilidad en el tiempo	33
Ilustración 9. Participación de las energías renovables en el suministro eléctrico	37
Ilustración 10. Esquema equipos de medida para instalación de autoconsumo de Tipo 1	44
Ilustración 11. Esquema equipos de medida para instalación de autoconsumo de Tipo 2 > 100 KW	45

	pág.
Ilustración 12. Esquema equipos de medida para instalación de autoconsumo de Tipo 2 < 100 KW	45
Ilustración 13. Aplicación básica de la ley 20.571 de Chile	50
Ilustración 14. Proceso de conexión	55
Ilustración 15. Disparo innecesarios de protecciones	70
Ilustración 16. Fallas no detectadas por las protecciones	70
Ilustración 17. Variación SAIFI con aumento de carga	77
Ilustración 18. Variación ENS con aumento de carga	78
Ilustración 19. Variación SAIDI con aumento de carga	78
Ilustración 20. Variación de la generación de energía en la instalación fotovoltaica	79
Ilustración 21. SAIDI contra la variación de la generación de energía en la instalación fotovoltaica	80
Ilustración 22. CAIDI contra la variación de la generación de energía en la instalación fotovoltaica	81

Ilustración 23. ENS contra la variación de la generación de energía en la instalación fotovoltaica	81
Ilustración 24. Variación de generación fotovoltaica en un día nublado	82
Ilustración 25. SAIFI contra la variación de generación fotovoltaica en un día nublado	83
Ilustración 26. SAIDI contra la variación de generación fotovoltaica en un día nublado	83

LISTA DE ANEXO

	pág.
Anexo A. Modelo de solicitud de conexión	95
Anexo B. Formulario 1: Solicitud de información	96
Anexo C. Formulario 2: Respuesta a la solicitud de información	97
Anexo D. Formulario 3: Solicitud de conexión	99
Anexo E. Formulario 4: Respuesta a solicitud de conexión	101
Anexo F. Manifestación de conformidad	103
Anexo G. Formulario de declaración TE4	105
Anexo H. Formulario 5: Notificación de conexión	110
Anexo I. Formulario 6: Protocolo de conexión de un EG	112

RESUMEN

TÍTULO: OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CONSIDERANDO GENERACIÓN FOTOVOLTAICA: REVISIÓN DEL ESTADO DE ARTE. *

AUTOR: Jorge Andrés Cantillo Suarez **

PALABRAS CLAVE: sistemas de distribución eléctricos, generación distribuida, instalaciones fotovoltaicas, calidad de la energía, confiabilidad de los sistemas eléctricos.

DESCRIPCIÓN: El aumento de la demanda energética, ha incrementado los problemas ambientales a causa de la generación de energía con fuentes no renovables; razón por la cual, se han desarrollado nuevas tecnologías para generar energía utilizando fuentes renovables, y así disminuir la contaminación ambiental y ayudar a cubrir la demanda energética. Una de estas tecnologías, son las instalaciones fotovoltaicas, el cual utiliza como fuente primaria la energía solar. Los sistemas de generación están diseñados de forma centralizada, por lo tanto, el flujo de potencia en las redes se caracteriza por ser unidireccional. Cuando se realiza la conexión de las instalaciones fotovoltaicas a las redes de distribución, los flujos de potencia pueden invertirse, causando diversos problemas operativos, tales como sobretensiones, incremento de niveles de cortocircuito y actuación indebida de protecciones de sobrecorriente, además los valores establecidos de tensión y frecuencia pueden variar, afectando la calidad y seguridad del suministro de energía eléctrica.

En esta monografía se realizó una revisión del estado del arte, sobre la operación de los sistemas de distribución de energía eléctrica cuando se integra las instalaciones fotovoltaicas, se identificaron los problemas técnicos que se presentan y como, se ven afectado los índices de confiabilidad, además se tuvo en cuenta la legislación vigente que hay en Alemania, España, Chile y Colombia, para la conexión de las instalaciones de generación fotovoltaicas a las redes de distribución.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Especialización en Sistema de Distribución de Energía Eléctrica.

Director: INGENIERO ELECTRICISTA Ph.D, JOHANN FARITH PETIT SUAREZ.

SUMMARY

TITLE: OPERATION OF THE DISTRIBUTION SYSTEMS OF ELECTRICITY CONSIDERING PHOTOVOLTAIC GENERATION: REVIEW OF THE STATE OF ART.

AUTHOR: JORGE ANDRES CANTILLO SUAREZ

KEY WORDS: Electric systems of distribution, distributed generation, photovoltaic installations, energy quality, reliability of electrical systems.

DESCRIPTION: The increase of the energetic demand, has augmented the environmental problems because of the generation of energy from non-renewable sources, reason why new technologies to generate energy using renewable sources and in this way decrease the environmental pollution and help to cover the energetic demand, has been developed. One of these technologies are the photovoltaic installations which use as primary sources the sun energy. The generation systems are designed in a centralized way, therefore, the flow of power in the networks is characterized by being unidirectional. When the connection of the photovoltaic installations to the distribution networks is made, the flows of power can invest causing various operational problems such as overvoltage, increased levels of short-circuit and inappropriate action of overcurrent protectors, in addition, the stated values of voltage and frequency may vary, affecting the quality and security of the electric energy supply.

In this monograph has made a revision of the art status about the operation of the electric energy distribution systems, when the photovoltaic installations are joined, also were identified the technical problems that are presented and how the reliability indices are affected, in addition, was taken into account the legislation of Germany, Spain, Chile and Colombia about the connection of the photovoltaic installations of generation to the distribution networks.

* Monograph

** Faculty of Physical-Mechanical Engineerings. School of Electrical Engineering, Electronic and Telecommunication. Specialization in Distribution Systems.

Director: INGENIERO ELECTRICISTA Ph.D, JOHANN FARITH PETIT

INTRODUCCIÓN

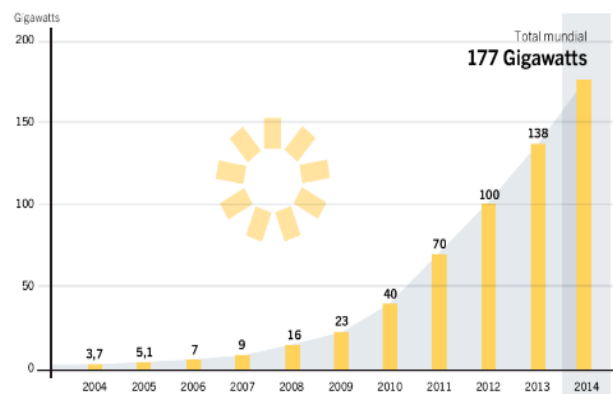
La energía eléctrica es un factor importante para el progreso de la sociedad y un pilar fundamental en el desarrollo de las industrias y tecnologías. Unos de los factores que ha provocado el aumento en la demanda energética ha sido el crecimiento de la población y el desarrollo industrial. De acuerdo a la Unidad de Planeación Minero Energética UPME “Al 2035 el mundo estará consumiendo un tercio más de la energía que consume actualmente. La demanda eléctrica aumentará en dos terceras partes” [1], esto provocará un aumento en la emisión de gases de efectos invernaderos y subproductos contaminantes para el medio ambiente, originando grandes concentraciones de dióxido de carbono - CO_2 e incrementando el desgase de la capa de ozono y por ende el calentamiento global.

Actualmente el 80% de la energía mundial, es generada con combustibles fósiles [2]. Por esta razón se ha creado una conciencia cada vez mayor sobre la importancia de las energías renovables, ya que ayuda a la disminución de los problemas ambientales, además crear nuevas oportunidades de negocios y le brinda el suministro de energía a comunidades que aún no cuenta con este servicio. En el 2014, la energía renovable tuvo un desarrollo significativo en capacidad instalada y generación de energía; las inversiones realizada en estos proyectos superaron a las inversiones para las plantas generadoras de energías con combustibles fósiles. El crecimiento relevante se dio en el sector eléctrico, las tecnologías que predominaron fueron: eólica, solar fotovoltaica (FV) y energía hidráulica [3].

Las significativas reducciones en los costos y las legislaciones de los países para el desarrollo de las instalaciones de generación fotovoltaicas, han jugado un papel importante en el crecimiento de estas, en la ilustración 1, se observa la potencia total instalada por año en el mundo. Esto ha ayudado a desarrollar estrategias

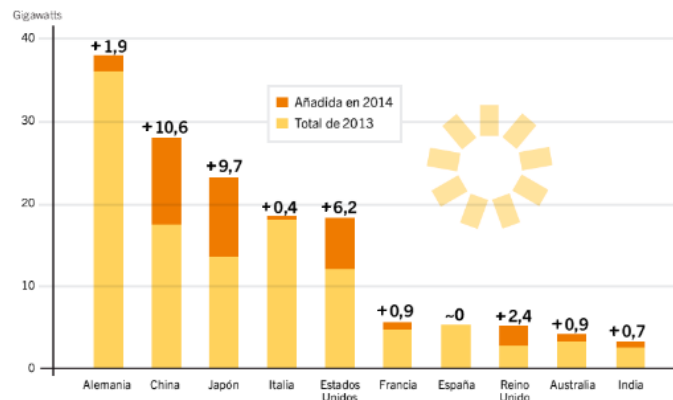
energéticas que contemplan diversificar la matriz de generación para hacer frente al crecimiento de la demanda de energía y los problemas ambientales que se presentan con la generación tradicional [4]. Alemania es uno de los países líderes en la generación de energía con instalaciones fotovoltaicas, en la ilustración 2, se muestra los 10 países que lideran esta generación con sus respectivas potencias.

Ilustración 1. Capacidad mundial total de energía solar FV, 2004 – 2014



Fuente: REN21. Renewables 2015 Global Status Report. Reporte de la situación mundial de las energías renovables 2015

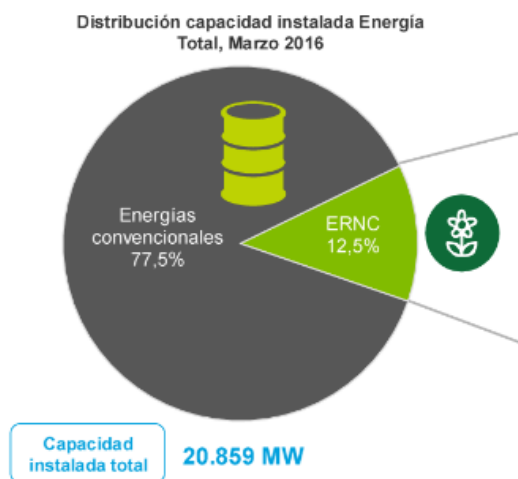
Ilustración 2. Capacidad de energía solar fotovoltaica



Fuente: REN21. Renewables 2015 Global Status Report. Reporte de la situación mundial de las energías renovables 2015

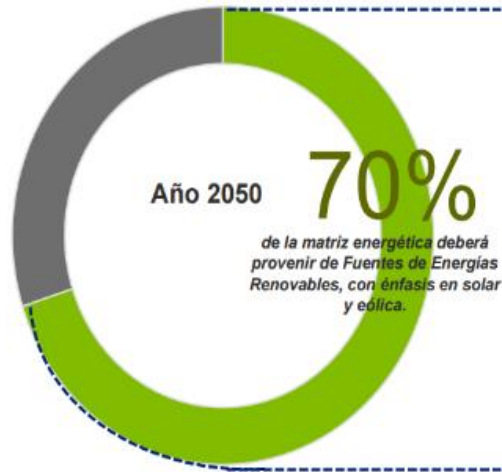
En España se han desarrollado tecnologías para la generación de energía eléctrica con recursos energéticos renovables, específicamente en energía solar fotovoltaica. Estas se han implementado en la construcción de plantas generadoras como el parque fotovoltaico Olmedilla (60 MW), el parque fotovoltaico de Puertollano (47,6 MW), la Planta Solar La Magascona & La Magasquilla (34,5 MW), la Planta Solar Arnedo (34 MW) y la Planta Solar Dulcinea (31,8 MW), además a nivel residencial se han instalado sistema de menor potencia [5]. En base a lo anterior, en la matriz de generación de energía los sistemas fotovoltaicos se han convertido en un factor importante para ayudar a cubrir la demanda energética española. Por otro lado, en Latino América, Chile es uno de los países que ha integrado este tipo de generación en el mercado energético, en marzo de 2016, tenía una participación del 12.5% en la matriz de generación, ver ilustración 3, dicha cifra ha aumentado en gran medida gracias a las iniciativas gubernamentales respecto a la tarificación, transmisión y generación de estas. Para el año 2050 está el objetivo que el 70% de la energía se ha generada con recursos renovables, ver ilustración 4 [6].

Ilustración 3. Distribución capacidad instalada Energía Total en Chile, Marzo 2016



Fuente. Sector energía III: ERNC, perspectivas y dificultades. Chile

Ilustración 4. Matriz energética en Chile, año 2050



Fuente. Sector energía III: ERNC, perspectivas y dificultades. Chile

En general los sistemas de energía eléctrica son diseñados asumiendo una generación centralizada, por lo tanto, las redes de distribución están diseñadas y construidas en modo unidireccional, como consecuencia de esto, el flujo de potencia está dirigido siempre desde las grandes plantas de generación a las subestaciones transformadoras y hacia los centros de consumo. Conforme aumente el nivel de penetración de las instalaciones fotovoltaicas a las redes de distribución, los flujos de potencia pueden invertirse, provocando alteraciones en la operación del sistema tales como sobretensiones, incremento de niveles de cortocircuito y actuación indebida de protecciones de sobrecorrientes, además pueden ocasionar cambios en los valores establecido de tensión y frecuencia, lo cual afectarían la calidad y seguridad del suministro de energía.

Debido al desarrollo de las instalaciones fotovoltaicas y sus conexiones a las redes de distribución, en el presente trabajo se realizará una revisión del estado del arte referente a la operación de los sistemas de distribución de energía eléctrica considerando generación fotovoltaica, el contenido del trabajo es el siguiente.

1. En el capítulo 1 se realiza una breve descripción de los dispositivos y características eléctricas de los sistemas de distribución y de los sistemas fotovoltaicos, además de la conexión de estos sistemas a las redes de distribución.
2. En el capítulo 2 se realiza un análisis de los avances que han tenido las legislaciones a través del tiempo de Alemania y España, también se detalla las legislaciones vigentes de estos países y la de Chile.
3. En el capítulo 3 se documenta el impacto que tiene la conexión de las instalaciones fotovoltaicas en un sistema de distribución.
4. En el capítulo 4 se realiza una revisión de la confiabilidad de los sistemas de distribución con conexión de las instalaciones fotovoltaicas.
5. El capítulo 5 constará de las conclusiones a las que se llegaron después de la realización de este proyecto.

1. GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA E INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

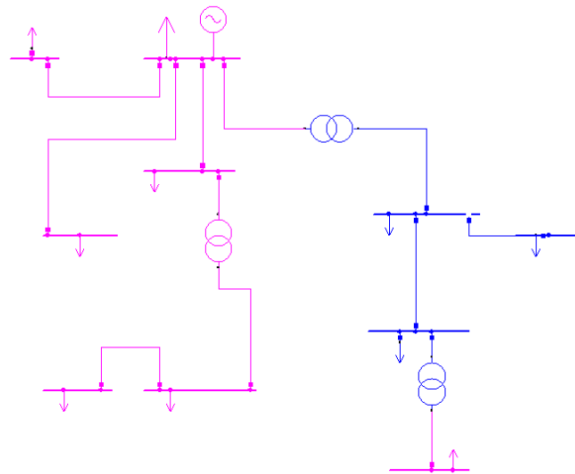
El sistema eléctrico de potencia está conformado por un conjunto de elementos, los cuales tienen como finalidad producir la energía eléctrica en los centros de generación y transportarla hasta los centros de consumo, ver ilustración 1. Este proceso se puede definir por tres grandes etapas:

1. Generación: El sistema de generación está conformado por los equipos e instalaciones cuya función es producir energía eléctrica a partir de fuentes primarias de energía.
2. Transmisión: El sistema de transmisión está conformado por los equipos e instalaciones cuya función es transportar energía de los centros de producción a los principales nodos de consumo (subestaciones de distribución o grandes usuarios).
3. Distribución: El sistema de distribución está conformado por los equipos e instalaciones cuya función es llevar la energía eléctrica hasta el punto donde se ubican los usuarios finales. Consiste en circuitos primarios que alimentan transformadores de distribución, los cuales a su vez alimentan los usuarios mediante redes secundarias de distribución. Por lo general, los circuitos primarios y redes secundarias operan en forma radial.

En el proceso de generación se capta la energía que puede provenir de recursos hídricos, térmicos, nucleares o de la gran variedad de energías renovables, para luego ser transformadas en energía eléctrica. Luego se pasa al proceso de transmisión regional y/o distribución local, que permite llevar la energía eléctrica desde el punto de generación hasta los grandes centros de consumo. En este proceso se pueden encontrar diferentes niveles de tensión como los siguientes: [7]

- ✓ Nivel 4: Sistemas con tensión nominal mayor o igual a 57,5 kV y menor a 220 kV.
- ✓ Nivel 3: Sistemas con tensión nominal mayor o igual a 30 kV y menor de 57,5 kV.
- ✓ Nivel 2: Sistemas con tensión nominal mayor o igual a 1 kV y menor de 30 kV.
- ✓ Nivel 1: Sistemas con tensión nominal menor a 1 kV.

Ilustración 5. Esquema unifilar de un sistema eléctrico de potencia



Los principales elementos de los sistemas distribución son los equipos de maniobra y protección, subestaciones de reducción, transformadores de distribución, líneas de distribución y cargas. Los sistemas de distribución tipo radial son aquellos que consta de una sola fuente de potencia para alimentar a todo el sistema, por lo tanto, se caracteriza por tener una sola trayectoria para el flujo de potencia entre la subestación de distribución y los consumidores.

En los últimos tiempos ha aumentado la utilización de las instalaciones fotovoltaicas para generar energía e inyectarla a las redes. A continuación, se describen los criterios técnicos más importante a la hora de realizar esta conexión [8]:

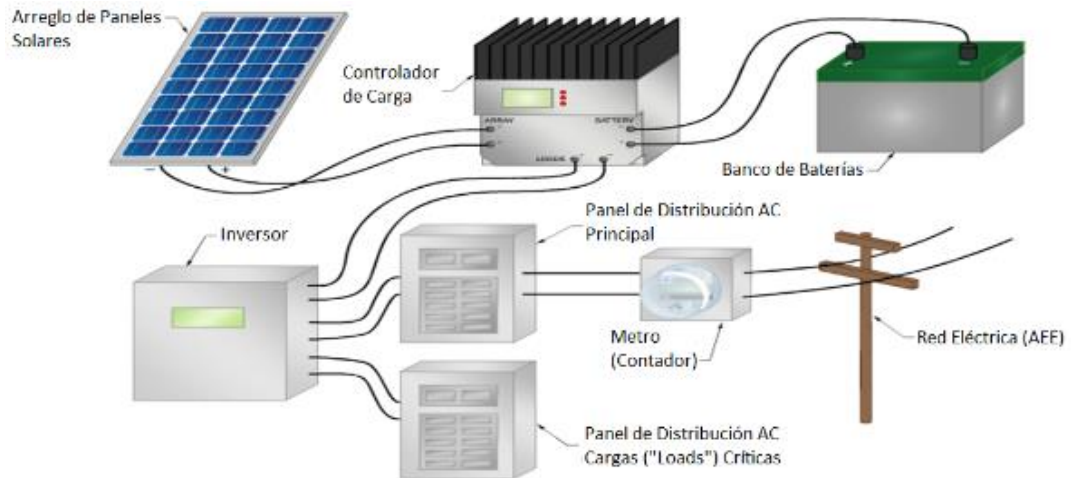
- ✓ Nivel de tensión al cual será conectado: El nivel de tensión de red al cual se conectará se decide en función de la potencia que va a instalar.
- ✓ Nivel de corto circuito: El nivel mínimo de corto circuito es una información importante, esta es suministrada por el operador de red.
- ✓ Coordinación de protecciones: Los requerimientos de protección estarán generalmente basados en la potencia de las unidades generadoras y el impacto que pueda tener en los sistemas de distribución.
- ✓ Seguridad del personal de mantenimiento: Siempre tiene que haber un interruptor visible cercano a la generación. Cuando hay una operación en isla de alguna unidad generadora, al mantener energizada una parte de la red, existe el riesgo de que el personal de mantenimiento no lo note y se pueda provocar un accidente.
- ✓ Aspectos normativos y legales: Se tiene que cumplir todos los aspectos legales y normativos vigentes.

1.1 INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

El efecto fotovoltaico es la conversión de la energía lumínica proveniente del sol en energía eléctrica. Este efecto se basa en el comportamiento de materiales semiconductores, los cuales, bajo ciertas condiciones, son capaces de crear una fuerza electromotriz. Algunos semiconductores son elementos químicos puros, como por ejemplo el boro, silicio y el selenio, y otros son compuestos químicos, como el arseniuro de galio.

Las instalaciones fotovoltaicas están formadas principalmente por un conjunto de módulos fotovoltaicos, controlador de carga, banco de batería y un inversor capaz de convertir la corriente continua del grupo solar en corriente alterna. En la ilustración 2 se pueden apreciar éstos elementos y como se conectan.

Ilustración 6. Sistema fotovoltaico



Fuente: Paneles solares PR. Energía Solar 101 Un Curso Corto Sobre Sistemas Fotovoltaicos.

1.1.1 Paneles fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos transforman la radiación solar en energía eléctrica. Cada uno está compuesto por varias celdas fotovoltaicas; estas a su vez están constituidas por materiales semiconductores. Actualmente la mayoría de los paneles fotovoltaicos en el mercado son de dos tipos: de silicio cristalino y de capa delgada, siendo los paneles de silicio cristalinos los que tienen mayor ventaja y logran desempeñar mejor su papel en los sistemas fotovoltaicos [9].

✓ Tipos de Celdas Solares:

- Celdas Monocristalinas: Estas tipo de celda están fabricadas con silicio más puro, son las más eficientes y rígidas, pero también tienen un alto costo en el mercado. Se utilizan en los módulos fotovoltaicos de alta eficiencia.
- Celda Policristalinas: Estas tipo de celda están fabricadas con un silicio de menor pureza, tienen una eficiencia menor y son más económica que la

monocristalina. Se utilizan en la mayoría de las construcciones de los módulos fotovoltaicos.

- Celdas Amorfas: Son las celdas construidas con un silicio de poca pureza conocido como silicio amorfo, son las menos eficientes y las más económicas. Se utilizan mucho en las calculadoras solares y equipos de bajo consumo eléctrico. Tienen una eficiencia de 5 a 9%.

1.1.2 Reguladores de carga

El regulador o controlador de carga está instalado entre el panel fotovoltaico y el sistema de almacenamiento de energía, su función es proteger el sistema de almacenamiento de energía contra sobrecarga, regulando la energía proveniente de los módulos fotovoltaicos y la demanda por la carga, esto se presenta cuando el consumo de la demanda es elevado y los módulos fotovoltaicos no logran generar la energía requerida, la cual se presenta en las horas de la noche.

Los siguientes son los tipos de reguladores más utilizados en un sistema fotovoltaico.

1. Reguladores conectados en serie entre el panel fotovoltaico y el sistema de almacenamiento de energía.
2. Regulador conectado en paralelo, estos se conectan en paralelo entre el panel fotovoltaico y el sistema de almacenamiento de energía.

1.1.3 Baterías

En un sistema fotovoltaico la función de las baterías es almacenar la energía generada por el sistema, esta es utilizada durante la noche o en los periodos de muy poco sol. Una batería almacena la energía eléctrica en forma de energía química. Cuando las cargas necesitan la energía que esta almacenada en las

baterías, esta energía química es convertida en energía eléctrica, por medio de un proceso de conversión de energía.

Una de las desventajas de las baterías es que su vida útil es menor que la del sistema fotovoltaicos. Esto significa que durante la vida del sistema se tienen que hacer varios reemplazos de baterías, lo que eleva el costo significativamente. Una batería, dependiendo del tipo, puede durar entre 3 a 10 años; pero para que una batería tenga una larga vida no se debe sobrecargar o descargar al máximo y no operar a temperaturas excesivamente altas, estas se deben mantener en un lugar bajo techo que sea fresco y tenga bastante ventilación.

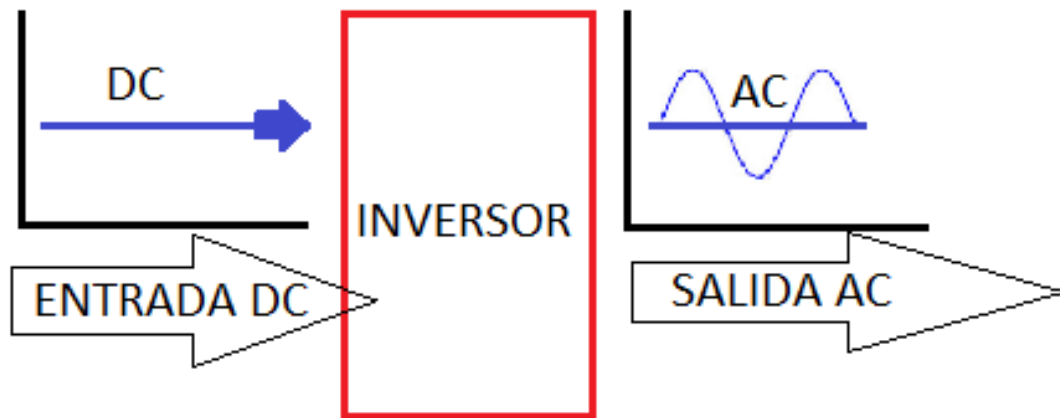
1.1.4 Inversores

Un inversor es un dispositivo que convierte la corriente continua generada por el panel fotovoltaico en corriente alterna [10], dependiendo del tamaño de la carga que se desea alimentar con el sistema fotovoltaico, se calcula el tipo de inversor.

Existen tres tipos de inversores:

1. Inversor conectado a la red sin baterías: Son utilizados en los sistemas que están conectados directamente a la red y no utilizan baterías, los sistemas que utilizan estos inversores dependen de las redes para suplir la energía durante la noche y en días nublados o cuando la demanda es mayor a la energía que supe el sistema fotovoltaico.
2. Inversor independiente: Se emplean en sistemas que están completamente aislados, utilizan baterías y no se conectan a la red. La entrada de este inversor se conecta directamente a las baterías y la salida a los equipos AC.
3. Inversor conectado a la red con almacenamiento en baterías: Se utiliza en sistemas que están conectados a la red, pero también tienen baterías para almacenar energía y ser utilizada cuando el servicio eléctrico no está disponible.

Ilustración 7. Inversor



1.2 CALIDAD DE LA ENERGÍA

De acuerdo a la norma IEEE 1159, el término calidad de la energía se refiere a la amplia variedad de fenómenos electromagnéticos que caracterizan la tensión y la corriente, en un tiempo y lugar determinado del sistema eléctrico de potencia. De acuerdo a esta norma las perturbaciones electromagnéticas que afectan la calidad de la energía se clasifica de la siguiente manera [11].

- ✓ Transitorios.
- ✓ Variaciones RMS de corta duración.
- ✓ Variaciones RMS de larga duración.
- ✓ Desbalances.
- ✓ Distorsiones en la forma de onda.
- ✓ Fluctuaciones de tensión.
- ✓ Variaciones de frecuencia.

En la tabla 1, se encuentra las categorías y características de estos fenómenos electromagnéticos.

Los efectos asociados a problemas de calidad de la energía son:

- ✓ Incremento en las pérdidas de energía.
- ✓ Daños a la producción, a la economía y la competitividad empresarial.
- ✓ Incremento del costo, deterioro de la confiabilidad, de la disponibilidad y del confort.

Tabla 1. Categorías y características de fenómenos electromagnéticos en sistemas de potencia

Categoría	Contenido Típico Espectral	Duración Típica	Magnitud Típica del Voltaje
1.0 Transitorios			
1.1 Impulsos			
1.1.1 Nanosegundos	5 ns de elevación	<50 ns	
1.1.2 Microsegundos	1 μ s de elevación	50 ns - 1 ms	
1.1.3 Milisegundos	0.1 ms de elevación	> 1 ms	
1.2 Oscilatorios			
1.2.1 Baja Frecuencia	< 5kHz	0.3 - 50 ms	0 - 4 pu
1.2.2 Frecuencia Media	5 - 500 kHz	20 μ s	0 - 8 pu
1.2.3 Alta Frecuencia	0.5 - 5MHz	5 μ s	0 - 4 pu
2.0 Variaciones de Corta duración			
2.1 Instantáneas			
2.1.1 Hundimientos de tensión - Sag		0.5 - 30 ciclos	0.1 -0.9 pu
2.1.2 Elevaciones - Swell		0.5 - 30 ciclos	1.1 - 1.8 pu
2.2 Momentáneas			
2.2.1 Interrupción		0.5 ciclos - 3 seg	< 0.1 pu
2.2.2 Hundimientos de tensión – Sag		30 ciclos - 3 seg	0.1 - 0.9 pu
2.2.3 Elevaciones – Swell		30 ciclos - 3 seg	1.1 - 1.4 pu
2.3 Temporal			
2.3.1 Interrupción		3 seg -1 min	< 0.1 pu
2.3.2 Hundimientos de tensión – Sag		3 seg -1 min	0.1 -0.9 pu
2.3.3 Elevaciones - Swell		3 seg -1 min	1.1 -1.2 pu

Tabla 1. (Continuación) Categorías y características de fenómenos electromagnéticos en sistemas de potencia

Categoría	Contenido Típico Espectral	Duración Típica	Magnitud Típica del Voltaje
3.0 Variaciones de larga duración			
3.1 Interrupción sostenida		> 1 min	0.0 pu
3.2 Bajo voltaje		> 1 min	0.8 -0.9 pu
3.3 Sobrevoltaje		> 1 min	1.1 - 1.2 pu
4.0 Desbalance en voltaje		Estado Estable	
4.1 Tensión		Estado Estable	0.5 – 2 %
4.2 Corriente		Estado Estable	1.0 – 30 %
5.0 Distorsión de Forma de Onda			
5.1 Componente de directa		Estado Estable	0 - 0.1 %
5.2 Contenido armónico	0 - 9 kHz	Estado Estable	0 – 20 %
5.3 Interarmónicas	0 - 9 kHz	Estado Estable	0 – 2 %
5.4 Muecas en el voltaje		Estado Estable	
5.5 Ruido	Banda – ancha	Estado Estable	0 – 1 %
6.0 Fluctuaciones de Voltaje	< 25 Hz	Intermitente	0.2 – 2 Pst
7.0 Variaciones de frecuencia		< 10 s	+ - 0.10 Hz
Fuente: IEEE 1159. Categorías y características de fenómenos electromagnéticos en sistemas de potencia.			

1.3 CONFIABILIDAD DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

La confiabilidad es la probabilidad de que un componente o sistema cumplirá su función de modo satisfactorio durante un periodo de tiempo determinado en un entorno natural. Por su parte la confiabilidad de Sistemas de Distribución: Es la capacidad para abastecer de servicio de energía eléctrica con el mínimo de interrupciones.

1.3.1 Definiciones básicas

Las siguientes son algunas definiciones para tener en cuenta a la hora de evaluar la confiabilidad [12] [13]:

- ✓ Seguridad: La habilidad o respuesta del sistema ante una determinada contingencia, viene dada por el tipo de respuesta que tenga el sistema.
- ✓ Falla: Es la incapacidad de un componente o sistema de desempeñar una función requerida.
- ✓ Disponibilidad: Es el porcentaje de tiempo de un componente o sistema reparable en que trabaja o está listo para trabajar en óptimas condiciones.
- ✓ Indisponibilidad: Es el porcentaje de tiempo de un componente o sistema reparable de estar fuera de servicio debido a fallas o a salidas programadas.
- ✓ Mantenimiento: Conjunto de acciones y procedimientos orientados a revisar y/o reparar indeterminado equipo para mantenerlo disponible y en operación.
- ✓ Reparación: Es toda tarea que se efectúa en un componente a fin de restablecer su estado de disponibilidad luego de la falla.
- ✓ Desconexión: Estado de no disponibilidad de un componente de la red, produzcan o no interrupción del suministro.
- ✓ Reconexión: Es el procedimiento mediante el cual se lleva un sistema de distribución de un estado de reposo a un estado de operación normal.

1.3.2 Índices de confiabilidad

La habilidad del sistema de distribución de energía eléctrica para cumplir su función o confiabilidad, puede medirse mediante los siguientes índices [12]:

- ✓ Relativos a la falla:
 - Tasa de falla promedio (λ).
 - Tiempo promedio de falla anual (U).
 - Tiempo promedio de falla (r)

- ✓ Relativos al sistema:
 - Índice medio de frecuencia de interrupción del sistema – SAIFI.
 - Índice medio de duración de interrupción del sistema – SAIDI.
 - Índice medio de frecuencia de interrupción a los usuarios – CAIFI.
 - Índice medio de duración de interrupción a los usuarios - CAIDI.
 - Índice medio de disponibilidad del Sistema - ASAI.
 - Energía no Suministrada – ENS.

1.3.3 Tipos de análisis o estudios en confiabilidad

El tipo de modelamiento a utilizar depende de la información de que se disponga para estudiar el fenómeno o proceso de interés [14].

A. Cualitativo o cuantitativo

- ✓ Cualitativo: Es un análisis subjetivo, no se establecen índices numéricos. Es conocido como juicio de ingeniería
- ✓ Cuantitativo: Es una evaluación objetiva. Se fijan índices numéricos, los cuales pueden ser determinísticos o probabilísticos. Sin embargo, la probabilidad puede ser calculada por medio de un análisis de ingeniería por lo cual también sería subjetivo.

B. Determinístico o probabilístico

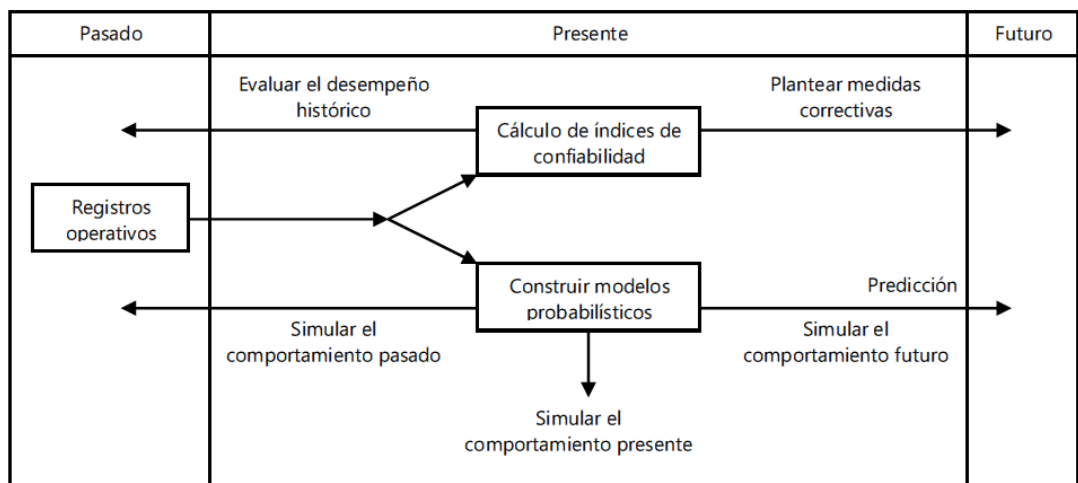
- ✓ Determinístico: Las variables se consideran fijas o con funciones que calculan su valor para cualquier instante en el tiempo. Generalmente, se elige el peor escenario lo cual conlleva a realizar cambios en la configuración del sistema. Además, se conocen todos los factores de las ecuaciones que modelan los componentes o el sistema y no existe incertidumbre con respecto a las ecuaciones a utilizar ni con respecto al valor de sus parámetros.
- ✓ Probabilístico: Las variables se consideran aleatorias, es decir no tienen un valor fijo ni existe una función que permita determinar su

valor en un instante de tiempo dado. En este tipo de análisis se puede determinar el "riesgo" del análisis, que en este caso es la probabilidad de que lo que se asume ocurra o no.

C. Histórico y predictivo

- ✓ Predictivo: Mediante un estudio se predicen u obtienen los índices del componente o sistema para un instante de tiempo o periodo de tiempo futuro. Se determinan los valores esperados de los índices de confiabilidad o las funciones de probabilidad
- ✓ Histórico: Se estudia el componente o sistema basado en los datos de su comportamiento operativo pasado, con esta información se establecen índices históricos o medidas de desempeño que generalmente son estadísticas. En la ilustración 4, se muestra un esquema donde se indica los tipos de estudios de confiabilidad que se pueden hacer a partir de los datos en diferentes instancias del tiempo [14].

Ilustración 8. Análisis de confiabilidad en el tiempo



Fuente: Confiabilidad de Sistemas Eléctricos de Potencia. Carlos J. Zapata

D. Analítico o de simulación

- ✓ Analítico: Se representa el componente o sistema bajo estudio por medio de un modelo matemático (ecuación o conjunto de ecuaciones) y se evalúan los índices de confiabilidad por medio de soluciones matemáticas directas.
- ✓ Simulación: Se simula el comportamiento aleatorio del componente o sistema y se evalúan los índices de confiabilidad en forma indirecta por medio de técnicas numéricas.

2. MARCOS REGULATORIOS DE ALEMANIA, ESPAÑA, CHILE Y COLOMBIA

Debido a las políticas y legislaciones que fomentan la generación de energía con recursos renovables, la disminución en los costos de los equipos y los beneficios tributarios, han contribuido al crecimiento del mercado y a una competencia alta a nivel mundial, esto ha ayudado para que la generación con instalaciones fotovoltaicas pueda competir con la generación de energía por medio de combustibles fósiles, particularmente en el sector eléctrico; en muchos países estos sistemas se han convertido en un factor importante para la generación de energía, en 2014, la energía solar fotovoltaica registró un crecimiento anual, con 40 GW instalados aproximadamente, para una capacidad mundial alrededor de 117 GW [3]. A continuación, se realiza una revisión de la legislación que regula la conexión de las instalaciones fotovoltaicas a las redes de distribución de Alemania, España, Chile y Colombia.

2.1 LEY DE ENERGÍAS RENOVABLES (EEG) EN ALEMANIA

Desde la década de los noventa, Alemania lidera una política de generación de energía por medio de fuentes renovables, para cambiar su estructura de generación, la cual se rige principalmente por los combustibles fósiles y energía nuclear [15]. En el año 1990 el parlamento federal de Alemania, el Bundestag, aprobó la primera legislación para fomentar el uso de las energías renovables no convencionales ERNC, para la generación de energía eléctrica, desde esta legislación se aumentó este tipo de generación, obligando a crear nuevas leyes para su regulación. En abril de 2000 comenzó a regir la Ley Erneuerbare Energien Gesetz (EEG, por sus siglas en alemán) o la Ley de energías renovables, con el fin de garantizar una retribución fija por la energía inyectada a la red, desde entonces se ha desarrollado de forma continua leyes para promover la generación con fuentes renovables y aumentar la

participación en el mercado energético, además establecer las condiciones y parámetros para una correcta planificación e inyección en la red, y así garantizar un desarrollo sostenible, continuo y seguro del suministro de energía, el desarrollo cronológico de estas legislaciones ha sido el siguiente [16]:

1. Ley 1990: Se propone una política para promover la producción de electricidad a través de fuentes de energía renovable.
2. Ley de 2000 (EEG 2000): Se aprueba la Ley de Energía Renovable y se estableció como meta cerrar todas las plantas nucleares hacia el año 2022.
3. Ley de 2004 (EEG 2004): Se incluyó la energía fotovoltaica sin restricciones.
4. Ley de 2009 (EEG 2009): Se anexo el "instrumentos de mercado".
5. Ley de 2012 (EEG 2012): Se realizó los acuerdos de cogeneración con la industria y las condiciones de la generación fotovoltaica, además se eliminó la prima a la energía autoconsumida.
6. Ley de 2014 (EEG 2014): Se estipulo los pagos parciales de tasa a las energías renovables en autoconsumo.
7. Ley de 2017 (EEG 2017): Se presenta la siguiente fase de la transición energética.

2.1.1 Las energías renovables Ley de 2014 (EEG 2014)

Con la ley EEG 2014, se pretendía brindar los mecanismos para el desarrollo de las energías renovables e incrementar el consumo bruto de electricidad producida a partir de energías renovables entre un 40% y un 45% en 2025 y entre un 55% y un 60% en 2035, ver ilustración 5 [17].

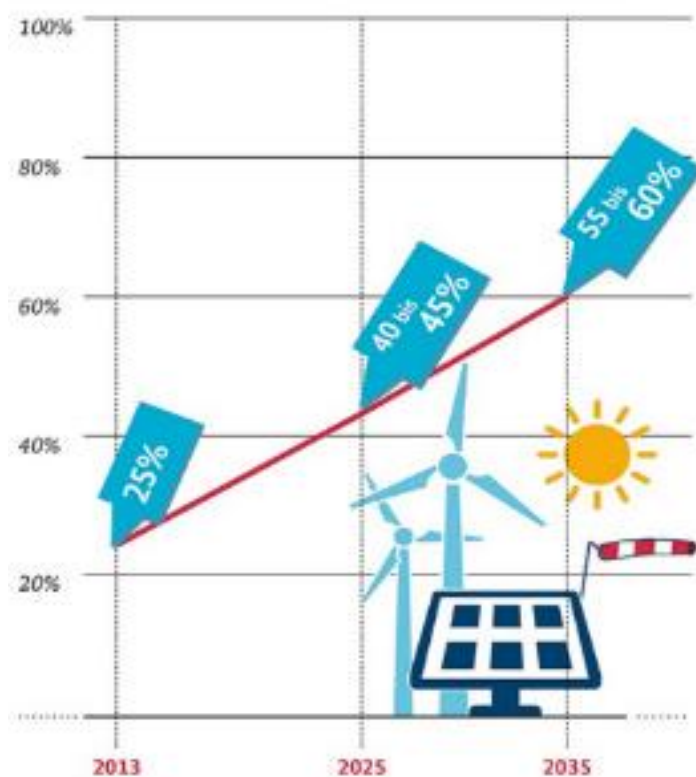
✓ Puntos clave de la reforma del EEG en 2014

- Control de la expansión de las energías renovables: El desarrollo de la energía renovable debe ser mejor controlada y más predecible, por lo tanto, se establecieron los porcentajes de expansión anuales para cada tecnología

de energía renovable; para la energía solar se estableció una construcción adicional anual de 2,5 gigavatios.

- Ampliar el mercado de energía renovable: Unos de los objetivos de la reforma de EEG en 2014, fue aumentar la integración de las energías renovables en el mercado eléctrico nacional y europeo.
- La reforma de EEG en 2014 en el contexto europeo: A medida que se iban realizado los procedimientos parlamentarios, se revisaban la legislación a nivel europeo con el propósito de asegurar su compatibilidad con las normas estatales de la Unión Europea, de acuerdo a esto en las licitaciones que se realicen para las nuevas plantas de generación se estableció un 5 % para proyectos extranjero.

Ilustración 9. Participación de las energías renovables en el suministro eléctrico



Fuente: Portal de Información de Energía Renovable

2.1.2 Las energías renovables Ley de 2017 (EEG 2017)

El 8 de julio de 2016 entro en vigencia la ley EEG 2017, en la cual se presenta la siguiente fase de la transición energética, con esta reforma se tendrá más competencia y un crecimiento continuo seguro [18].

- ✓ Puntos clave de la reforma del EEG en 2017
 - Esta transición energética tiene como objetivo aumentar la participación de las energías renovables, lo cual ayudará a disminuir la dependencia de los combustibles fósiles y la energía nuclear en los sistemas de generación.
 - El desarrollo de las nuevas potencias que se programa a instalar cada año se hará por medio de licitaciones públicas, con el propósito de mejorar la planificación. Las instalaciones nuevas se realizarán con mayor competencia entre los operadores de planta y se harán con la mayor eficiencia de los costos [19].
 - El desarrollo de las energías renovables debe de estar sincronizado con la expansión de las redes eléctricas, debido a que no tiene sentido generar energía que no se pueda transportar a los usuarios finales.

- ✓ Trámites de conexión
 - Para proyectos a gran escala (a partir de 500 kWp), los procedimientos difieren considerablemente si se trata de una instalación en tejado o en suelo, para esta última se debe obtener una autorización de las autoridades locales y se debe realizar una evaluación de impacto ambiental.

 - Para las instalaciones pequeñas (hasta 5 kWp) normalmente no se requieren autorización para realizar la construcción, para inyectar la energía generada hay que solicitar unas series de permisos con el operador de red y la autoridad fiscal, los cuales son los siguientes [20]:

1. Conexión a la red.
2. Uso de la red.
3. Autorización de vertido.
4. Autorización como productor de electricidad.

La duración de los procedimientos varía según el tipo de instalación. Para pequeñas instalaciones los trámites pueden durar menos de 2 meses, mientras que para grandes proyectos los tiempos pueden demorarse hasta 1 año.

✓ Remuneración de la energía generada (Primas)

Las Primas es un instrumento político que fomenta el uso de las fuentes renovables para la generación de energías, con este incentivo se pretende que se realicen inversiones en este tipo de generación. En la ley EEG del 2012 a los operadores se les garantizaba una remuneración constante por 20 años correspondiente al año de instalación, que sería estipulada por la EEG vigente en el momento de la construcción, además se creó un modelo de integración de mercado, con las siguientes condiciones:

- Para instalaciones de 0 a 10kWp: el 80% de la producción de electricidad puede ser bonificada.
- Para instalaciones de 10 a 10000 kWp será bonificada al 90%.
- Para instalaciones de más de 1 MWp permanecerá al 100%.

La ley EEG del 2017, modifico la forma de fijar el precio de la energía generada con fuentes renovables, el cual no sería fijado por el gobierno sino a través de licitación en el mercado [21].

2.2 REAL DECRETO DE AUTOCONSUMO - ESPAÑA

El crecimiento y desarrollo de la generación de energía eléctrica con instalaciones fotovoltaicas antes del año 2000 era muy bajo, y su venta a la red estaba promovida por medios de primas que cobraban los generadores por cada kWh inyectado a la red sobre el precio existente en el mercado. Ante esta situación en el 2004 se creó una resolución ministerial que eliminaba las barreras económicas y estableció por primera vez, un régimen jurídico para la conexión de las tecnologías de energía renovable a la red eléctrica. El Real Decreto 436/2004, igualó las condiciones de producción a gran escala de las plantas de energía solar térmica y fotovoltaica, este decreto permitió el desarrollo e impulso el avance tecnológico en las plantas generadoras de este tipo.

En el 2007 el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo publicó el Real Decreto RD 661/2007 para regular la generación de energía en el régimen especial y determinar una tarifa para la energía inyectada a la red, instituyendo una prima y tarifa regulada fija. Con estos cambios, la generación con instalaciones fotovoltaicas resultó muy beneficiadas, experimentando grandes avances y ubicando a España como el país con mayor potencia fotovoltaica instalada en el mundo en el año 2008 [22]. Debido al crecimiento de este tipo de generación en septiembre de 2008, se publicó un nuevo Real Decreto: el RD 1578/2008, el cual tenía como objetivo reducir las primas para evitar un aumento en los problemas del sistema tarifario y limitar el crecimiento de la potencia instalada.

El 18 de noviembre del 2011 se publicó el Real Decreto 1699/2011, por el que se regula la conexión de las instalaciones de generación de pequeña potencia a las redes, estableciendo las condiciones administrativas y técnicas básicas para realizar dicha conexión. El 6 de junio se publicó el Real Decreto 413/2014, donde se regula el régimen jurídico y económico de la actividad de generación de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.

2.2.1 Real decreto de autoconsumo 900/2015

El 9 de octubre del 2015 el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo publicó el Real Decreto 900/2015, con el fin de regular las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo, buscado un desarrollo ordenado que garantice unas condiciones técnica y económica para el sistema eléctrico. Este decreto aplica para las instalaciones de generación conectadas a las redes, aun cuando no inyecten energía a las redes de transporte y distribución en ningún instante, no tiene aplicación para las instalaciones aisladas y a los grupos de generación de emergencia utilizados exclusivamente en caso de presentarse alguna interrupción en el suministro de energía eléctrica [23].

Este decreto define dos tipos de instalaciones de autoconsumo y los requisitos generales que deben cumplir [23].

A. Instalaciones de autoconsumo Tipo 1 - Suministro con autoconsumo: Esta modalidad, está dirigida básicamente para instalaciones pequeñas de tipo residenciales.

- ✓ Pueden inyectar su excedente de energía, aunque en ningún caso serán remuneradas.
- ✓ Debe registrarse en el registro administrativo de autoconsumo.
- ✓ No se debe realizar la inscripción en el RAIPRE (Registro Autonómico de Instalaciones de Producción en Régimen Especial).
- ✓ La potencia contratada de suministro por el usuario no será superior a 100 kW.
- ✓ La potencia de la instalación generadora será igual o inferior a la potencia contratada de suministro por el usuario.
- ✓ El titular del suministro y de la generación debe ser el mismo, será considerado sujeto consumidor.
- ✓ Las instalaciones de generación y el punto de suministro deberán cumplir los requisitos técnicos establecido en la normativa del sector eléctrico y en la

reglamentación de calidad y seguridad, además lo establecido en el Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, donde se regula la conexión a red de las instalaciones de producción de energía eléctrica menor de 100 KW.

B. Instalaciones de autoconsumo Tipo 2 - Producción con autoconsumo:

- ✓ Pueden inyectar su excedente de energía y estas será remuneradas.
- ✓ Debe registrarse en el registro administrativo de autoconsumo.
- ✓ Se tiene que realizar la inscripción en el RAIPRE.
- ✓ La potencia contratada de suministro por el usuario no tendrá límite.
- ✓ La potencia de la instalación generadora será igual o inferior a la potencia contratada de suministro por el usuario.
- ✓ El titular de las instalaciones de generación si hay varias debe ser el mismo.
- ✓ El titular del suministro y de la generación pueden ser diferentes, se consideran los sujetos consumidor y generador.
- ✓ Las instalaciones de generación y el punto de suministro deberán cumplir los requisitos técnicos establecido en la normativa del sector eléctrico y en la reglamentación de calidad y seguridad, además debe cumplir lo establecido en los siguientes decretos:
 - Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, donde se regula la conexión a red de las instalaciones de producción de energía eléctrica menor de 100 KW
 - Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, donde se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia.
 - Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.

Almacenamiento de energía con baterías: se podrán instalar elementos de almacenamiento de energía en las instalaciones de autoconsumo, cumpliendo unas

especificaciones técnicas de seguridad y de medición. Las instalaciones que cuente con baterías para gestionar la energía generada, se les nombran "instalaciones asistidas"; sobre este tipo de instalación, se establece lo siguiente [23]:

- ✓ Se permite expresamente el uso de baterías para almacenamiento de energía procedente de la generación.
- ✓ Se deberán instalar con protecciones reglamentarias.
- ✓ En el circuito de generación (entre generador y contador de generación), además de las baterías, no puede existir ninguna carga de consumo.

Régimen jurídico de las instalaciones: Cuando se instala un sistema de generación, esto cambia las condiciones jurídicas de las instalaciones en lo siguiente [23]:

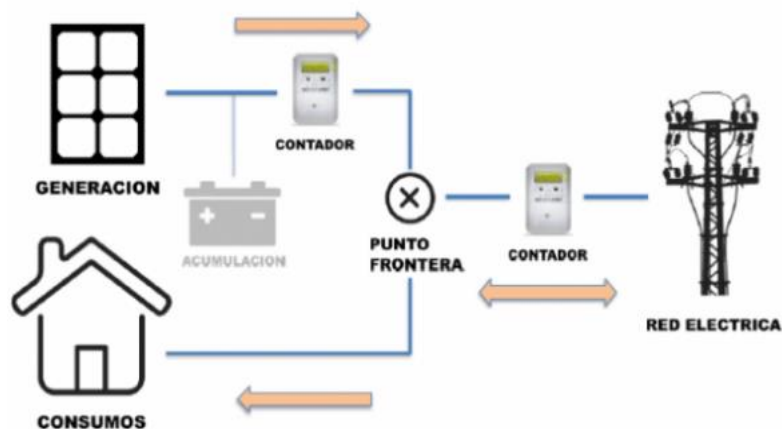
- ✓ Para ambos tipos de instalaciones se requiere modificar el contrato de conexión a las redes con la empresa distribuidora, de forma que se especifique el tipo de instalación de autoconsumo que se va a instalar.
- ✓ El tiempo de permanencia en la modalidad elegida será de 1 año.
- ✓ Para la modalidad Tipo 1 con potencia contratada inferior o igual a 10Kw, sin inyectar energía a las redes, los usuarios están exentos del pago de estudios de acceso y conexión a la red.
- ✓ Para la modalidad Tipo 1 con potencia contratada inferior o igual a 10Kw, con inyección de energía a la red y la modalidad Tipo 2, el generador deberá pagar el peaje de generación en relación a la energía inyectada a la red y cumplir el procedimiento de conexión establecido en el RD 1699/2011.

Requisito del sistema de medida: Lo siguientes son los requisitos de los sistemas de medidas [23]:

- ✓ Es de carácter obligatorio instalar dispositivos de medida en ciertos puntos de la instalación que varían según el tipo de modalidad.

- ✓ Los equipos de medida, deben cumplir con las especificaciones que establece el real decreto 1110/2007.
- ✓ Los medidores se deben ubicar en las instalaciones internas, lo más cerca posible del punto frontera con la red.
- ✓ Los medidores se tienen que integrar en el sistema de telemedida y telegestión del operador red encargado de las lecturas.
- ✓ Requisitos de Modalidad Tipo 1: Es obligatorio instalar un equipo de medida que registre la energía total generada por la instalación y otro en el punto de frontera. Opcionalmente, se podrá instalar un equipo de medida que registre la energía total consumida por el usuario. Las especificaciones técnicas y de comunicación de los equipos serán iguales. El esquema de los equipos de medida se puede observar en la ilustración 6

Ilustración 10. Esquema equipos de medida para instalación de autoconsumo de Tipo 1

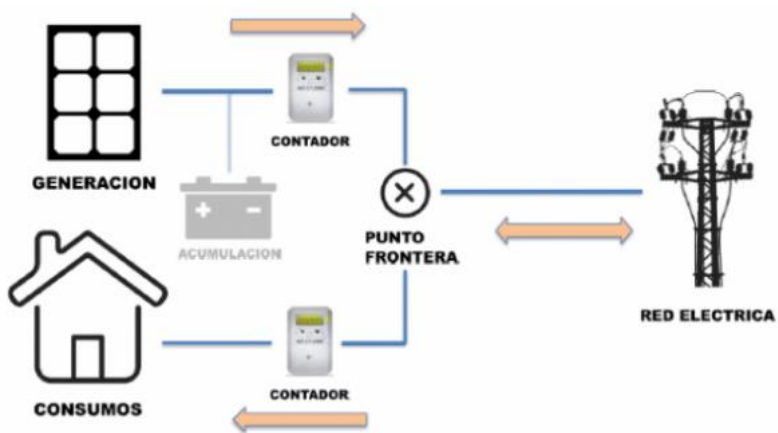


Fuente: SOLARMAT - RD 900/2015

- ✓ Requisitos de Modalidad Tipo 2: Las especificaciones técnicas y de comunicación de los equipos de medidas serán los establecidos en la norma

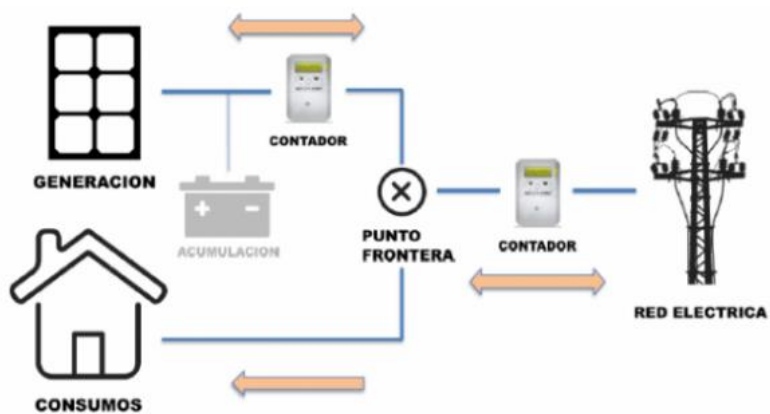
técnica. El esquema de los equipos de medida para las instalaciones que superen los 100 KW se puede observar en la ilustración 7, y para las instalaciones que no superen los 100 KW se puede observar en la ilustración 8.

Ilustración 11. Esquema equipos de medida para instalación de autoconsumo de Tipo 2 > 100 KW



Fuente: SOLARMAT - RD 900/2015

Ilustración 12. Esquema equipos de medida para instalación de autoconsumo de Tipo 2 < 100 KW



Fuente: SOLARMAT - RD 900/2015

Costo de operación de las instalaciones de autoconsumo: el valor de la conexión a las redes de transporte, distribución y los cargos asociados a los costos del sistema de los usuarios acogidos a cualquiera de las instalaciones con autoconsumo se realizará en base al artículo 16 de la Ley 24/2013, del 26 de diciembre, este cobro se realiza para garantizar la sostenibilidad económica del sistema eléctrico.

- ✓ Autoconsumidor aislado del sistema eléctrico: los usuarios que generen y consuman su propia energía sin estar conectados a la red eléctrica no asumen ningún costo del sistema eléctrico.
- ✓ Autoconsumidor conectado al sistema eléctrico: los usuarios que tenga instalaciones de autoconsumo conectadas a las redes deben contribuir a la financiación de los costos y servicios del sistema, por lo cual debe asumir las siguientes tarifas:
 - Peajes de acceso a las redes: peajes de acceso a las redes de transporte y distribución para cubrir los gastos de dichas redes y serán valorizado de acuerdo al uso que se realiza de ellas.
 - Cargos asociados a los costos del sistema eléctrico: principalmente destinados a cubrir el régimen retributivo específico de la generación de energía renovables, la cogeneración de alta eficiencia y residuos, el elevado valor de la producción en los territorios no peninsulares, y las anualidades correspondientes al déficit del sistema eléctrico.
 - Cargo por otros servicios del sistema: Costos que tienen por objetivo retribuir el respaldo que requiere el sistema para garantizar el balance entre la generación y la demanda en el horizonte diario y en tiempo real como la capacidad necesaria para dicho equilibrio a medio y largo plazo.

Procedimiento de conexión y acceso en las modalidades de autoconsumo: se debe solicitar una nueva conexión o modificar la existente a la empresa distribuidora de la zona, aunque no se vaya a inyectar energía a las redes. Además, se debe

formalizar el contrato técnico de acceso, y registrarse en el administrativo de autoconsumo. Para los dos tipos de autoconsumo se debe seguir el procedimiento de conexión y acceso establecido en el capítulo II del Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre.

Procedimiento de legalización de las instalaciones de autoconsumo: el procedimiento para legalizar las instalaciones es el siguiente:

- ✓ Solicitud licencia de obras ante la identidad correspondiente.
- ✓ Solicitud ante la compañía distribuidora de punto de acceso y conexión por medio del formulario solicitud de conexión, ver Anexo A.
- ✓ Solicitud autorización y puesta en servicio de la instalación.
- ✓ Solicitud formalización contrato de acceso, conexión y primera verificación.

Contratos de acceso en las modalidades de autoconsumo: los usuarios que realicen cualquier tipo de instalación de autoconsumo, tiene que suscribir o modificar el contrato de acceso con la empresa distribuidora. El usuario con instalación de producción, en la modalidad de autoconsumo tipo 2, deberá realizar un contrato de acceso con la distribuidora para sus servicios auxiliares de producción, se podrá hacer un solo contrato tanto para acceder a la red del consumidor y de los servicios auxiliares del productor si se cumple lo siguiente [23]:

- ✓ Las instalaciones de producción deben tener una potencia instalada menor a 100 kW.
- ✓ El consumidor y titular de las instalaciones de producción tienen que ser el mismo.
- ✓ Se debe disponer de la siguiente configuración de medida:
 - Un equipo de medida bidireccional que mida la energía total generada.
 - Un equipo de medida bidireccional ubicado en el punto frontera de la instalación.

- Un equipo de medida que registre la energía consumida total por el usuario asociado.

2.2.2 Régimen retributivo

Debido al déficit tarifario del sistema eléctrico español, se han realizado unas modificaciones a las legislaciones, destinadas a recortar las primas a las energías renovables. El 23 de diciembre del 2010 se publicó en el boletín oficial del estado el Real Decreto ley 14/2010, donde se establecen medidas urgentes para la corrección del déficit tarifario del sector eléctrico, además modifica el régimen económico de los proyectos de producción de energía eléctrica por medio de instalaciones fotovoltaicas. En este decreto se establecen las siguientes medidas [24]:

1. Se crea un peaje por inyectar energía a las redes de distribución y transporte de 0,5 euros por MWh, este valor será pagado por los propietarios de las instalaciones fotovoltaicas a partir del 1 de enero de 2011.
2. Se limitan las horas equivalentes de funcionamiento de las instalaciones fotovoltaicas independientemente de cual sea su régimen retributivo, incluyendo las instalaciones acogidas a los Reales Decretos 661/2007, 1578/2008 y 1565/2010.

Otra medida que se realizó para garantizar la estabilidad financiera del sector eléctrico fue la entrada en vigencia el 12 de julio del 2013 del Real Decreto ley 9/2013. Unas de las razones para publicar este decreto, es porque los costos asociados a las actividades reguladas y al funcionamiento del sector eléctrico son muy superiores a los recadados realizado por la administración y a los pagos de los consumidores. Bajo este contesto el objetivo principal de este decreto era sustituir el régimen de primas a las renovables por un sistema de carácter retroactivo y basado en la rentabilidad de la inversión de una empresa eficiente y bien gestionada. Por lo tanto, se establecieron las siguientes condiciones [25]:

1. Se deroga los Reales Decretos 661/2007 y 1578/2008, donde todas las instalaciones de Régimen Especial estaban acogidas. (Solares, Eólicas, Hidráulicas, Biomasa, Biogás, Residuos y Cogeneraciones).
2. Se eliminan los ingresos por complemento por reactiva y complemento por eficiencia.
3. Las tarifas en lugar de ser actualizadas cada año por el IPC, pasaran a ser revisadas cada 6 años.
4. Se pagará por Unidad de Potencia Instalada.
5. Se pagará por Producción realizada, que se calculará de nuevo por cada tecnología en función de una “central tipos” con los siguientes parámetros:
 - ✓ Coste estándar de la explotación de la Central Tipos.
 - ✓ El valor estándar de la inversión inicial de la Central Tipos.

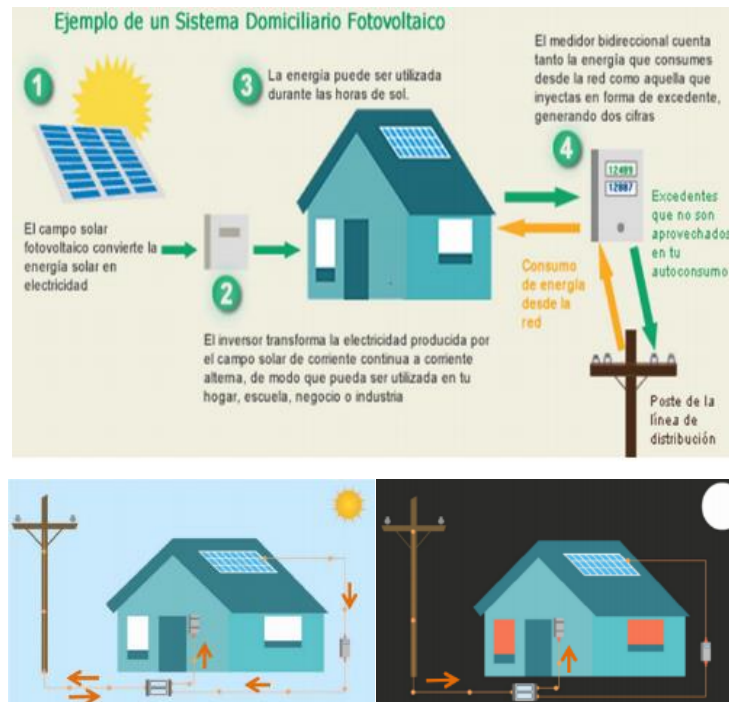
En la actualidad para calcular la retribución de la generación de energía a las instalaciones renovables, cogeneración y residuos, se realiza por medio a lo establecido en la Orden ETU/130/2017, publicada el 17 de febrero del 2017. En la cual se fija un precio de referencia de 42,84 euros por megavatio hora (MWh) para 2017, de 41,54 euros para 2018 y de 41,87 euros para 2019.

2.3 PRINCIPALES ASPECTO DEL MARCO REGULATORIO EN CHILE - Ley 20.571

De acuerdo a la Asociación Chilena de Energía Solar ACESOL [26], en octubre del 2014, entro a regir la ley 20.571, conocida también como Netbilling y Netmetering. Este marco regulatorio tiene como objetivo otorgar el derecho a los usuarios regulados del sistema de distribución de energía eléctrica, que sean autogeneradores de energía mediante fuentes renovables no convencionales, conectarse a las redes y vender sus excedentes de energía directamente a las empresas distribuidoras eléctricas, la cual será remunerada de acuerdo a los

precios regulados. La aplicación básica de la ley se puede observar en la ilustración 9.

Ilustración 13. Aplicación básica de la ley 20.571 de Chile



Fuente: Asociación Chilena de Energía Solar ACESOL

En base al diario oficial de la república de Chile, la ley 20.571 realizó varias modificaciones a la Ley General de Servicios Eléctrico, con el objetivo de regular y establecer el valor de las tarifas eléctricas para los generadores residenciales, además estableció un reglamento que determina los requisitos que deben cumplir los sistemas de generación para conectarse a las redes de distribución e inyectar los excedentes de energía a éstas. Este reglamento contempla los siguientes puntos [27]:

1. Medidas necesarias para mantener la seguridad de las personas, los bienes y la continuidad del suministro.

2. Especificaciones técnicas y de seguridad que debe cumplir los equipos necesarios para la inyección de la energía.
3. Mecanismo para determinar los costos de las adecuaciones o modificaciones que se deben realizar a las redes.
4. Capacidad instalada permitida por cada usuario final o por el conjunto de usuarios en una misma red de distribución o en cierto sector de ésta.

Pueden acogerse a lo establecido en la ley, los clientes regulados que tengan sistemas de generación de energía eléctrica por medio renovables no convencionales, para suplir su propia energía e inyectar a las redes de distribución los excedentes, cuya capacidad instalada no supere los 100 kilowatts y cumplan los requerimientos estipulados en la ley y en el reglamento técnico.

Las Empresas Distribuidoras deben permitir a los usuarios realizar la conexión de los sistemas de generación a las redes distribución, para inyectar los excedentes de energía de esta. Estas conexiones deben cumplir con las exigencias de seguridad y calidad de servicio que les impone la normativa vigente para no poner en riesgo la operación del sistema. De acuerdo a lo estipulado en el reglamento la instalación, operación, mantenimiento, reparación y certificación de las unidades de generación y restantes componentes de los equipos de generación, serán sometidos a lo dispuesto en la Ley General de Servicios Eléctricos.

2.3.1. Proceso de conexión de los equipos de generación

De acuerdo al diario oficial de la republica de chile [27], los usuarios podrán solicitar información a la empresa distribuidora, referente a la capacidad instalada permitida, transformadores de distribución y alimentadores, mediante el formulario “solicitud de información”, ver anexo B, todo esto, permite un adecuado diseño, instalación y conexión de los equipos de generación. Esta información deberá ser entregada por

la empresa en un plazo no mayor a 10 días hábiles contado desde la recepción del requerimiento, por medio del formulario “respuesta a la solicitud de información”, ver anexo C.

Para iniciar el proceso de conexión, el usuario presentara una solicitud de conexión a la red, a la empresa distribuidora respectiva, mediante el formulario “solicitud de conexión”, ver anexo D. La empresa distribuidora responderá la solicitud de conexión por medio del formulario “respuesta a solicitud de conexión”, en un plazo máximo de 20 días hábiles, ver anexo E. El usuario tendrá 20 días hábiles a partir de la fecha que fue notificado respecto a su solicitud de conexión, para manifestar su conformidad con la empresa distribuidora, a través del formulario “manifestación de conformidad”, ver anexo F.

Cuando se requiera realizar obras adicionales en las redes de distribución para la conexión de los equipos de generación, el usuario podrá ajustar su capacidad instalada a una menor o igual a la capacidad permitida, para no incurrir en estos gastos adicionales. En caso que sea necesarias realizar las obras adicionales, el costo de estas serán asumidas por el propietario de los equipos y la empresa distribuidora entregara detalladamente las obras adicionales que se requieran para realizar la conexión de los equipos de generación. La valorización de estas obras se calculará teniendo en cuenta todos los requerimientos exigido por la normatividad vigente para cumplir los estándares de seguridad y calidad de suministro. Los siguientes son los parámetros de la red de distribución eléctrica que las empresas distribuidoras utilizan para establecer la capacidad instalada permitida:

1. Potencia de cortocircuito asociada al transformador de distribución correspondiente a la red de distribución eléctrica, expresada en kilovolt-amperes.
2. Capacidad del transformador de distribución o del alimentador, expresada en kilovolt-amperes.

3. Capacidad de apertura en cortocircuito de la protección asociada a la red de distribución eléctrica, expresada en amperes, y la coordinación de protecciones.
4. Capacidad de los conductores que se verán influidos por la conexión de los equipos de generación del usuario, expresada en amperes.
5. Perfil de demanda del transformador de distribución o del alimentador asociado.

Los equipos utilizados en las instalaciones fotovoltaicas, deben estar autorizados por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, además, deben cumplir con los requerimientos exigidos por la norma técnica. Las instalaciones de los equipos de generación deberán ser instaladas por técnicos eléctricos idóneos que estén autorizados por la superintendencia. Cuando se finalice las obras el usuario deberá realizar una declaración de puesta en servicio de los equipos de generación ante la superintendencia, mediante el formulario “declaración TE4”, ver anexo G, esta será realizada por el técnico electricista, quien certificara la instalación de los equipos, los cuales han sido diseñados y ejecutado de acuerdo a lo establecido en el reglamento y normatividad técnica.

El usuario deberá presentar una notificación de conexión, por medio del formulario “notificación de conexión”, ver anexo H. Después de haber recibido la notificación de conexión, hay un plazo de 5 días hábiles para que las partes firmen el contrato de conexión, el cual deberá contener la siguiente información:

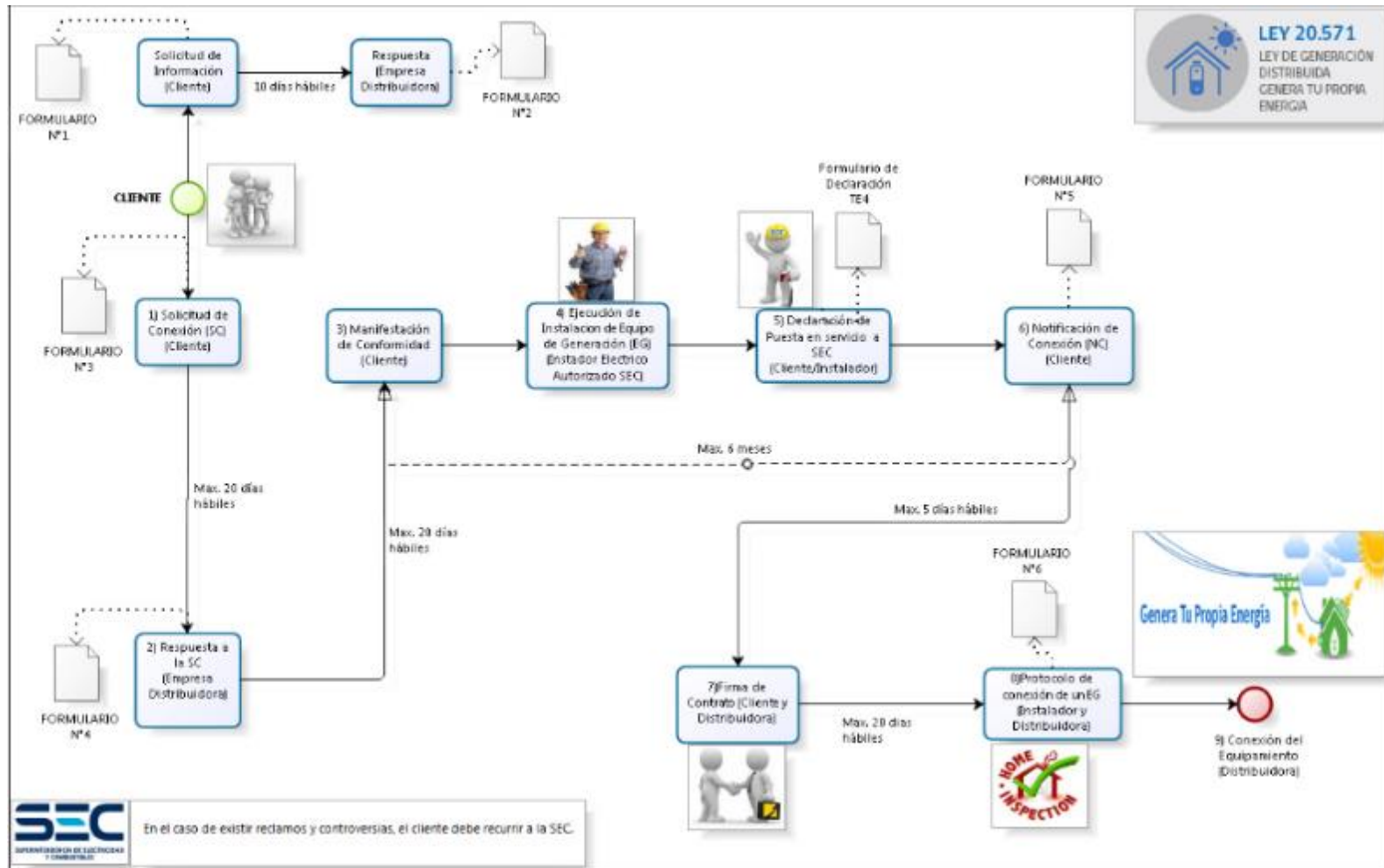
1. Identificación del usuario y la Empresa Distribuidora de energía eléctrica.
2. Tarifa establecida de acuerdo a la normatividad vigente.
3. Capacidad instalada del equipamiento de generación.
4. Propiedad del equipo medidor y modalidad de lectura.
5. Especificaciones técnicas principales de los equipos de generación.
6. Ubicación de la conexión y certificados de las unidades de generación y sus elementos del sistema.
7. Fecha de Conexión de los equipos de generación.

8. Causales de término o resolución del contrato de conexión.
9. Tiempo del contrato.
10. Medio de comunicación acordado.

Cuando se realice la firma del contrato, la empresa distribuidora supervisará la conexión de los equipos de generación, mediante una verificación de información de acuerdo a los estipulados en el formulario “protocolo de conexión de un EG”, ver anexo I. La fecha de conexión será aquella indicada en el contrato y no debe exceder 20 días hábiles respecto a la fecha de suscripción de dicho contrato.

La medición de la energía eléctrica inyectada por los equipos de generación, será realizada por la empresa distribuidora, por medio de un equipo de medición que el usuario disponga. El valor de la energía inyectada será cuantificado al precio de generación y transmisión que las empresas distribuidoras factura mensualmente a sus clientes finales, el cual está sometido a la regulación de precios. Los pagos por la energía inyectada, se realizarán por medio de descuentos en las facturas correspondientes al mes en el cual se realizaron. De existir un saldo a favor del usuario, el mismo se imputará y descontará en la o las facturas subsiguientes. El proceso de conexión se indica en la ilustración 10.

Ilustración 14. Proceso de conexión



Fuente: Asociación Chilena de Energía Solar ACESOL

2.4 LEY 1715 INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES AL SISTEMA ENERGÉTICO NACIONAL - COLOMBIA

El gobierno nacional de Colombia en busca de incentivar la generación de energía eléctrica con tecnologías no convencionales, con el fin de tener un sistema más limpio y amigable con el medio ambiente, donde se realice un uso eficiente de los recursos, se diversifique la matriz de generación y poder atender la creciente demanda energética, se crea la ley 1715. Por medio de esta ley se regula e incentiva la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional, con unos criterios de sostenibilidad medioambiental, social y económica [28].

2.4.1 Objetivos principales

1. Promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en la generación de energía, mediante los siguientes lineamientos:
 - ✓ Integración al mercado eléctrico.
 - ✓ Participación en las zonas no interconectadas.
 - ✓ Usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético.

2. Promover la gestión eficiente de la energía, mediante los siguientes lineamientos:
 - ✓ Eficiencia energética.
 - ✓ Respuesta de la demanda.

2.4.2 Competencias administrativas

Las siguientes son las competencias administrativas establecidas para las diferentes entidades del gobierno por la Ley 1715 de 2014. Los lineamientos que se establezcan por estas entidades deberán estar de acuerdo a los principios y criterios determinado en esta ley, las leyes 142 y 143 de 1994 y los lineamientos de política energética que se fijen para tal fin [28]:

A. Ministerio de Minas y Energía (MME).

- ✓ Expedir los lineamientos de política energética conforme a la ley, referente a la generación con fuente no convencionales de energía en las zonas no interconectadas, la entrega de excedentes de energía de autogeneración a pequeña y gran escala en el sistema interconectado nacional, la conexión y operación de la generación distribuida, el funcionamiento del fondo de energías no convencionales y gestión eficiente de la energía y demás medidas para el uso eficiente de la energía.
- ✓ Establecer los reglamentos técnicos que rigen la generación con las diferentes fuentes no convencionales de energía, la generación distribuida y la entrega de los excedentes de la autogeneración a pequeña escala en la red de distribución.
- ✓ Participar en la elaboración y aprobación de los planes de fomento a las fuentes no convencionales de energía y los planes de gestión eficiente de la energía.
- ✓ Propender por un desarrollo bajo en carbono del sector de energético a partir del fomento y desarrollo de las fuentes no convencionales de energía y la eficiencia energética.

B. Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG).

- ✓ Establecer los procedimientos para la conexión, operación, respaldo y comercialización de energía de la autogeneración distribuida.

- ✓ Establecer los mecanismos regulatorios para incentivar la respuesta de la demanda y la mejora de la eficiencia energética en el Sistema Interconectado Nacional.

C. Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME).

- ✓ Definir el límite máximo de potencia de la Autogeneración a Pequeña Escala.
- ✓ Realizar programas de divulgación masiva y focalizada sobre la Autogeneración de Pequeña Escala y el uso eficiente de la energía.

D. Ministerio de Hacienda y Crédito Público.

- ✓ Otorgar subvenciones y otras ayudas para el fomento de investigación y desarrollo de las fuentes no convencionales de energía y el uso eficiente de la energía a las universidades públicas y privadas, ONG y fundaciones sin ánimo de lucro que adelanten proyectos en este campo debidamente avalados por Colciencias, según lo establecido en la Ley 29 de 1990 y el Decreto número 393 de 1991.
- ✓ Participar conjuntamente con los Ministerios de Minas y Energía y de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en la elaboración y aprobación de los Planes de gestión eficiente de la energía y los planes de fomento a las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable.

E. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

- ✓ Participar conjuntamente con los Ministerios de Minas y Energía y de Hacienda y Crédito Público en la elaboración y aprobación de los planes de gestión eficiente de la energía y los planes de desarrollo de fuentes no convencionales de energía.
- ✓ Evaluar los beneficios ambientales con respecto a la promoción, fomento y uso de fuentes no convencionales de energía.

- ✓ Establecer el procedimiento y los requisitos para la expedición de la certificación de beneficios ambientales, para el otorgamiento de los beneficios tributarios por el uso de fuentes no convencionales de energía, la cogeneración, autogeneración y la generación distribuida, así como por la gestión eficiente de la energía.
- ✓ Apoyar al Ministerio de Minas y Energía para velar por un desarrollo bajo en carbono del sector energético, a partir del fomento y desarrollo de las fuentes no convencionales de energía y la eficiencia energética.

2.4.3 Fundamentos de la ley 1715 de 2014

De acuerdo a las competencias administrativas determinadas por la Ley 1715 de 2014, la CREG, el Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo y la UPME han expedido los siguientes decretos y resoluciones para regular y establecer los mecanismos, lineamientos para la generación de energía por medio de fuentes no convencionales de energía renovable.

A. Decreto 2469 de 2014 - MME

Establece los lineamientos de regulación para la entrega de excedentes de energía de los autogeneradores a pequeña y gran escala a la red de distribución o transmisión [29].

- ✓ La regulación para la entrega de excedentes de los autogeneradores será la misma aplicable a una planta de generación con condiciones similares en cuanto a la cantidad de energía que entrega a la red. entrega a la red. Esto incluye los derechos, costos y responsabilidades asignados en el reglamento de operación, reportes de información, condiciones de participación en el mercado mayorista, en el despacho central y en el esquema de Cargo por Confiabilidad, entre otros.

- ✓ Los autogeneradores a gran escala deberán suscribir un contrato con el operador de red o transportador al cual se conecten. Los operadores de red o transportadores según sea el caso, diseñarán estos contratos, los cuales serán estándar y deberán estar publicados en las páginas web de la respectiva empresa.
- ✓ El autogenerador de energía eléctrica deberá cumplir cada uno de los siguientes parámetros:
 - La energía eléctrica producida se entrega para su propio consumo, sin necesidad de utilizar activos de uso del Sistema de Transmisión Nacional y/o sistemas de distribución.
 - El excedente de energía puede ser superior en cualquier porcentaje al valor de su consumo propio.
 - El autogenerador deberá someterse a las regulaciones establecidas por la CREG para la entrega de los excedentes de energía a la red, por lo que deberá ser representado ante el mercado por un agente comercializador o generador.
 - Los activos de generación pueden ser de propiedad de la persona natural o jurídica o de terceros y la operación de dichos activos puede ser desarrollada por la misma persona natural o jurídica o por terceros.

B. Decreto 2492 de 2014 - MME

Establece los lineamientos para la ejecución de los mecanismos de respuesta de la demanda [30].

- ✓ La CREG, deberá incluir en el diseño de los cargos que remuneran las actividades de transmisión y distribución, tarifas horarias de forma tal que permitan incentivar económicamente el uso más eficiente de la infraestructura y la reducción de costos de prestación del servicio. De igual forma deberá diseñar mecanismos en la fórmula tarifaria que permitan que al usuario final lleguen señales horarias. Las tarifas horarias y demás opciones

tarifarias solo aplicarán a los usuarios que cuenten con el equipo de medida necesario para su implementación.

- ✓ En la elaboración del plan energético nacional, el plan de expansión de referencia y el plan indicativo de expansión de cobertura de energía eléctrica, la unidad de planeación minero energética, UPME, deberá considerar criterios de respuesta de la demanda.
- ✓ La CREG diseñará los mecanismos necesarios para que los usuarios, voluntariamente, puedan ofertar reducciones o desconexiones de demanda en el mercado mayorista con el objetivo de dar confiabilidad al sistema interconectado nacional, respaldar obligaciones de energía firme, reducir los precios en la bolsa de energía y los costos de restricciones.

C. Resolución 024 de 2015 - CREG

Regula la actividad de autogeneración a gran escala en el sistema interconectado nacional [31].

- ✓ Condiciones para la conexión al SIN del autogenerador a gran escala. Las condiciones están establecidas en la Resolución CREG 106 de 2006 y las establecidas en el anexo denominado código de conexión de la Resolución CREG 025 de 1995. Para la conexión a los STR o SDL serán las que se encuentran en la Resolución 106 de 2006 y en el numeral 4 del anexo general de la Resolución CREG 070 de 1998, y todas aquellas que las modifiquen o sustituyan.
- ✓ Sistemas de medida. La frontera de comercialización y la frontera de generación del autogenerador a gran escala deberán cumplir con lo establecido en el código de medida, Resolución CREG 038 de 2014. Es requisito indispensable para acceder al mercado, que el autogenerador a gran escala instale un equipo de medición con capacidad para efectuar telemedida, de modo que permita determinar la energía demandada y

entregada hora a hora, de acuerdo con los requisitos establecidos en el código de medida del código de redes y el reglamento de distribución.

- ✓ Condiciones de respaldo y suministro de energía: El autogenerador estará obligado a suscribir un contrato de respaldo con el operador de red o transportador al cual se conecte, acorde con las condiciones de la conexión. El operador de red o el transportador deberán prestar el servicio de respaldo a los autogeneradores cuyas plantas se encuentren ubicadas en su mercado, cuando estos lo requieran. Se entenderá que un autogenerador usa el servicio de respaldo cuando utiliza la red para consumo en cualquier hora. En condiciones de escasez, la energía que consuma del SIN un autogenerador y que sea superior a su línea base de consumo, será liquidada al comercializador que atiende la demanda al precio de la bolsa. Este a su vez podrá trasladar el costo al autogenerador.
- ✓ Condiciones para los autogeneradores a gran escala que entregan excedentes: El autogenerador a gran escala que quiera entregar excedentes a la red deberá ser representado por un generador en el mercado mayorista, en cuyo caso las partes acordarán libremente las condiciones de dicha representación. Se aplicarán las condiciones establecidas para plantas no despachadas centralmente si la potencia máxima declarada es menor a 20 MW, y en caso contrario, las establecidas para las plantas despachadas centralmente. Esta, deberá ser declarada al Centro Nacional de Despacho por el agente representante y corresponderá a la máxima capacidad que se puede entregar a la red en la frontera de generación y será igual o inferior a la establecida en el contrato de conexión.

D. Resolución 281 de 2014 - UPME

Define que el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala será de un (1) MW y corresponderá a la capacidad Instalada del sistema de generación del autogenerador [32].

Autogeneración a pequeña escala

De acuerdo al decreto número 348 de 01 marzo del 2017, donde se adiciona el decreto 1073 de 2015, el cual incentivamos la autogeneración a pequeña escala y establece los siguientes lineamientos de política para la gestión eficiente de la energía y entrega de excedentes de autogeneración de pequeña escala al Sistema de Transmisión Regional (STR) o al Sistema de Distribución Local (SDL) según corresponda [33].

- ✓ Parámetros para ser considerado autogenerador a pequeña escala: Para ser considerado autogenerador de energía eléctrica a pequeña escala deberá cumplir con los siguientes parámetros:
 - La potencia instalada debe ser igual o inferior al límite máximo determinado por la UPME para la autogeneración a pequeña escala.
 - La energía eléctrica generada por la persona natural o jurídica se utilizará para su propio consumo, sin necesidad de utilizar activos de uso del Sistema de Transmisión Regional y/o Sistemas de Distribución Local.
 - La cantidad de energía sobrante o excedente podrá ser cualquier porcentaje del valor de su consumo propio.
 - Los activos de generación pueden ser de propiedad de la persona natural o jurídica o de terceros y la operación de dichos activos puede ser desarrollada por los propietarios o por terceros.
- ✓ Condiciones para la conexión y entrega de excedentes de energía: La comisión reguladora de energía y gas CREG establecerá los trámites para la conexión y entrega de excedente de energía al sistema de transmisión regional o al sistema de distribución local, estos se expedirán conforme a los principios establecidos en las Leyes 142 y 143 de 1994 y los lineamientos de política energética adoptados por el Ministerio de Minas y Energía, los cuales deberán contemplar los siguientes aspectos:

- Los tiempos máximos que deberá cumplir tanto el autogenerador como el operador de red en las diferentes etapas del proceso de conexión para la entrega de excedentes.
- Los requisitos técnicos mínimos necesarios para salvaguardar la correcta operación de la red. Estos requisitos no podrán contradecir lo establecido en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas, RETIE.

Los operadores de red podrán negar la conexión cuando exista razones técnicas, las cuales deberán ser justificadas.

- ✓ Contrato de respaldo. Los autogeneradores con capacidad instalada menor o igual a 0,1 MW, entre los que están los usuarios residenciales, comerciales y pequeñas industrias que generen su propia energía con paneles solares, entre otras tecnologías no deben realizar contrato de respaldo de disponibilidad de capacidad de red.
- ✓ Remuneración de excedentes de energía. La CREG definirá el mecanismo de remuneración de los excedentes de autogeneración a pequeña escala. Para el caso de los autogeneradores que generen con fuentes no convencionales de energía renovable FNCER, los excedentes que inyecten a la red de distribución serán registrados mediante un esquema de medición bidireccional.

E. Decreto 2143 de 2015 - MME

Establece los lineamientos de política en materia de la aplicación de los incentivos a la inversión en proyectos de fuentes no convencionales de energía y gestión eficiente de la energía contemplados en el Capítulo III de la Ley 1715 de 2014 [34].

- ✓ Deducción de renta: Las personas o empresas que realizan declaración de renta y destinen recursos para proyectos de energías renovables, podrán disminuir en un 50% la declaración de renta de la inversión total realizada en el proyecto hasta por 5 años, este valor a deducir por este concepto, en ningún caso podrá ser superior al 50% de la renta líquida del contribuyente, determinada antes de restar el valor de la inversión. Esta reducción será aprobada cuando se expida

un certificado de beneficio ambiental generado por la entidad competente de acuerdo a la ley 1715.

- ✓ Exclusión de impuesto sobre el valor agregado (IVA): Las compras involucradas en el proyecto como los equipos, elementos, maquinaria o asesorías en etapa de diseño, ejecución e implementación quedaran excluido de este impuesto, logrando así la reducción de los costos de los diferentes proyectos de energías alternativas.
- ✓ Exención de Aranceles: Los proyectos de energías alternativas que requieren de equipos, maquinarias, material e insumo fabricados en el exterior y que en el respectivo proceso de importación estén sujetos a los aranceles, el inversionista podrá solicitar una exención arancelaria, cuando se tenga el registro y el concepto técnico favorable por parte de la UPME.
- ✓ Depreciación acelerada de activos: La infraestructura o equipos de las compañías están sometidas a variables de depreciación de su vida útil de manera contable para el respectivo balance general que las empresas emiten anualmente. La ley 1715 brinda beneficios de aumento en la depreciación de los activos implementados en proyectos de energías alternativas, logrando así una reducción posterior en la contabilidad de las compañías que inviertan en este tipo de negocios.

3. IMPACTO TÉCNICO DE LA CONEXIÓN DE LAS INSTALACIONES FOTVOLTAICAS A LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

Los sistemas de distribución son diseñados y construidos para transportar la energía desde los centros de generación y distribuirla a los consumidores. Por lo tanto, los flujos de potencia, están direccionados siempre desde los niveles de alta hacia los de baja tensión. La generación de energía a través de las instalaciones fotovoltaicas se ha planteado como una alternativa para diversificar el sistema de generación, esto ayudaría a cubrir la demanda y reducir el consumo de combustibles fósiles y por ende los problemas ambientales, este tipo de generación se caracteriza por no ser planificada y despachada centralmente, además con la introducción de esta generación el sistema de distribución deja de ser un sistema pasivo alimentando cargas, a un sistema activo donde los flujos de potencia y tensiones, son determinados por generación y cargas, dejando de ser este un sistema radia. En este capítulo se presenta una revisión de la literatura sobre los problemas que se presentan en la operación de las redes de distribución con la conexión de las instalaciones fotovoltaicas [35] [36].

3.1 ESTABILIDAD EN LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

Los estudios de estabilidad en sistemas eléctricos ayudan a determinar la capacidad de éstos para alcanzar un punto de funcionamiento estable tras la ocurrencia de una perturbación o falla. El incremento en la capacidad de generación de energía con instalaciones fotovoltaicas juega un papel importante en la estabilidad de los sistemas de distribución [37].

En los sistemas de distribución donde existe una alta penetración de generación de energía con instalaciones fotovoltaicas, aparecen flujo de potencia en diferentes

sentidos. La magnitud y sentido de los nuevos flujos de potencia, pueden causar la pérdida de líneas primarias de distribución y diferentes elementos de la red, lo cual generaría la desconexión de grandes cargas eléctricas, provocando que los generadores del sistema enfrenten problemas de inestabilidad transitoria. En caso que un generador se ha desconectado del sistema, esta generación será asumida por otra planta ubicada en otro lugar. Esto provocaría un aumento en el transporte de la energía, lo cual aumentaría la circulación de corriente y por ende la caída de tensión, que se traducen en problemas para la estabilidad de tensión del sistema [37].

La estabilidad en la frecuencia es la capacidad del sistema de potencia para mantener constante la frecuencia luego de la ocurrencia de una perturbación, la misma que, por su magnitud genera un significativo desbalance entre generación y carga. La frecuencia puede mantener solamente si el balance entre la generación y la carga del sistema pueden ser restauradas tan pronto como sea posible luego de ocurrida la perturbación, con la salida no intencional de la menor cantidad de carga posible. Si el sistema entra en una condición de inestabilidad de frecuencia, la frecuencia puede caer rápidamente o en su defecto puede producirse una oscilación sostenida de frecuencia, lo cual conllevará al disparo de generadores y cargas por actuación de los relés de frecuencia [38].

La generación de energía con las instalaciones fotovoltaicas difiere significativamente de la generación convencional con generadores síncronos, debido que esta generación tiene una inercia nula, por lo tanto, el control de la frecuencia está básicamente determinado por los generadores síncronos que se encuentren conectados al sistema. Esto trae como consecuencia, ante cualquier variación en la frecuencia del sistema, las oscilaciones del rotor de la máquina síncrona, serán más severas, aún más cuando hay alta penetración de este tipo de generación, es decir que el sistema se vuelve susceptible a la inestabilidad de pequeña señal [37].

Otro factor influyente en la estabilidad son las condiciones meteorológicas, en este sentido, un alto nivel de penetración de las instalaciones fotovoltaicas se necesita que los operadores del sistema tengan en cuenta esta generación a partir de datos estadísticos de la disponibilidad de la fuente renovable, lo cual presenta un alto grado de incertidumbre. Esto resulta en una mayor complejidad en la asignación de reservas de control primario de frecuencia, pudiendo afectar fuertemente la estabilidad en el caso que la generación se desvíe en cierto grado de las predicciones meteorológicas para las fuentes renovables [39].

3.2 CORRIENTES DE FALLA Y EQUIPOS DE PROTECCIONES

Los sistemas de distribución, son diseñados y construidos para soportar ciertas corrientes, tanto en condiciones de operación normal y en caso de falla. Es muy importante realizar los cálculos de las corrientes de cortocircuito, para ajustar las protecciones y realizar una adecuada coordinación de protecciones. La conexión de las instalaciones fotovoltaicas cambia el régimen de diseño y operación del sistema. En una línea de distribución que esté operando con un alto nivel de penetración de generación fotovoltaica, el valor de la corriente de cortocircuito se ve alterado, además en algunos casos puede circular corrientes de falla por tramos de la red donde no ha ocurrido alguna falla [40] [41].

Otra variable que está asociado al nivel de penetración es el flujo de potencia, el cual puede presentar flujo inverso si la generación distribuida alcanza niveles cercanos a un 50%, presentándose incluso una posible exportación de potencia a la red de transmisión si los transformadores del alimentador no cuentan con las debidas protecciones, superando los niveles de sobrecorriente permitidos en estas redes y consecuentemente ocasionando que las protecciones actúen, afectando la confiabilidad de la red y la calidad del suministro [42]. Por la anterior situación el flujo de potencia deja de ser unidireccional y los valores con los cuales fueron

diseñado los sistemas de protección varían, por lo tanto, los esquemas y coordinación de protección contra sobrecorrientes y los reguladores de voltaje unidireccionales no podrían operar adecuadamente.

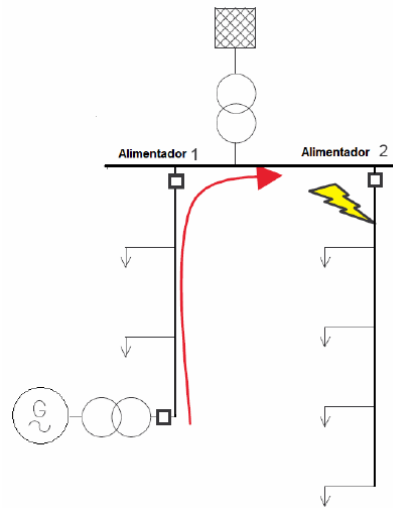
3.2.1 Disparo innecesario de protecciones

Estos disparos se podrían presentar, cuando una falla se localiza en otro circuito al cual se conecta la instalación fotovoltaica (Generador G), como se muestra en la ilustración 11. La corriente de falla se alimentará tanto desde la subestación, como desde el generador G. En esta situación, la protección de sobrecorriente ubicada al principio del alimentador 1 podría dispararse por la contribución a la corriente de falla que hace el generador G. Esto es posible si la dirección de la corriente no es censada por el relé, lo cual es muy común en muchas de las redes actuales [43].

3.2.2 Fallas no detectadas por las protecciones

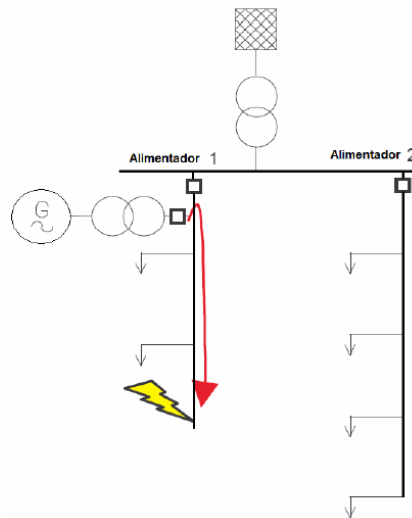
La protección contra sobrecorrientes en los alimentadores podría no operar debido a la presencia de la generación fotovoltaica (Generador G), como se muestra en la ilustración 12, el generador G está ubicado entre el punto donde ocurre la falla y la subestación principal. El generador G contribuye a las fallas y por lo tanto aumenta el nivel de la corriente de falla. Sin embargo, ésta corriente medida en el relé del alimentador 1, decrece debido a la contribución del generador G, esto se presenta por que la corriente de falla total es dividida entre las fuentes de alimentación. Debido a esta situación las protecciones principales del circuito no operarían, lo cual podría aumentar los daños en el sistema.

Ilustración 15. Disparos innecesarios de protecciones



Fuente: Impacto en la estabilidad de un sistema de potencia al integrar generación distribuida [37]

Ilustración 16. Fallas no detectadas por las protecciones



Fuente: Impacto en la estabilidad de un sistema de potencia al integrar generación distribuida [37]

3.3 PÉRDIDAS DE ENERGÍA

La variación en las pérdidas de energía en los sistemas de distribución, debido a la integración de las instalaciones fotovoltaicas, posee la forma de una curva de la bañera “bathtub” y está directamente relacionado con el nivel de penetración, el cual es la relación entre la generación de las instalaciones fotovoltaicas y la generación centralizada del sistema. Si el nivel de penetración de estas instalaciones es alto, en las redes de distribución aumentaría la circulación de corriente, este aumento de corriente afecta a la capacidad térmica de los conductores, aumentando la resistencia y por ende las pérdidas del sistema. Otra variable que aumenta las pérdidas es la ubicación de las instalaciones fotovoltaicas a lo largo de las cargas, puesto que mientras más alejadas estén estas instalaciones de los usuarios, aumentarían las pérdidas de energía [37] [38].

3.4 CALIDAD DE LA ENERGÍA

Uno de los aspectos principales en el suministro de energía eléctrica es la calidad de la energía. El incremento en los niveles de penetración de las instalaciones fotovoltaicas en las redes de distribución, ha conllevado a que surjan una serie de inconvenientes referentes a la calidad de energía, teniendo en cuenta que este tipo de fuentes suelen ser intermitentes y emplea sistemas electrónicos. En la tabla 2, se presenta unas series de fenómenos de calidad de la potencia que han sido reportados en estudios científicos y se caracterizan por alteraciones en las formas de onda de la corriente y el voltaje de los sistemas de distribución, los cuales están asociados a la conexión de la generación con las instalaciones fotovoltaicas.

Otra variable que afecta la calidad de la energía son los factores climáticos, los cuales son causantes de variaciones en la generación de las instalaciones fotovoltaicas. Cuando se presenta un bajo nivel de irradiación en un día nublado la

capacidad de generación de los paneles se encuentra reducida frente a la máxima en un día soleado [44].

Tabla 2. Fenómenos de calidad de la potencia

Ítem	Detalle
1	Elevaciones de voltaje - Swell
2	Huecos de voltaje - Sags
3	Fluctuaciones de voltaje
4	Desbalance de voltaje
5	Desbalance de corriente
6	Flujo de potencia inverso
7	Armónicos de voltaje y de corriente
8	Inter-armónicos
9	Inyección de corriente continua, componente DC
10	Resonancias
Fuente: Análisis de la calidad de potencia de un sistema de distribución que cuenta con generación distribuida a través de arreglos fotovoltaicos	

3.4.1 Hundimientos de tensión - Sags

Una de las causas de los hundimientos de tensión es el efecto de las sombras aleatorias provocadas por el paso de las nubes. El tiempo de la sombra puede ser pequeño para producir hundimiento de tensión, pero en áreas grandes donde están las instalaciones fotovoltaicas y esta son sombreada por el paso de las nubes, lo cual produciría hundimientos de tensión, ocasionando que el sistema de distribución pierda una capacidad de generación de energía [41].

3.4.2 Armónicos

La introducción de armónicos por la conexión de las instalaciones fotovoltaicas a las redes de distribución se presenta en los casos en que la señal generada por el inversor del sistema no tenga una forma de onda totalmente sinusoidal, de manera que exista distorsiones y por ende componentes armónicas. En la actualidad los inversores más modernos cuentan con una distorsión armónica total inferior al 3% de manera que poco aportan a la THD (THD en inglés, de Total Harmonio Distortion) del sistema. Sin embargo, cuando estos inversores están diseñados con algoritmos de detección de cruce por cero y hay distorsión presente en la señal monitoreada, un doble cruce o triple cruce por cero, esto ocasiona que la frecuencia detectada sea más alta que la fundamental, lo cual aportaría un armónico o interarmónico a la red que puede a su vez coincidir con la frecuencia de resonancia de ésta [45], el tipo y la magnitud de estos armónicos dependen de los inversores, de los elementos de la interconexión, y de las características específicas del punto de conexión [46].

3.4.3 Sobretensión y baja tensión

La ubicación de la generación fotovoltaica en un sistema de distribución, juega un papel importante en la regulación de tensión. Cuando se conectan al final de los circuitos, y en el momento que la generación de las instalaciones fotovoltaicas supere la carga, se podría presentar una sobretensión. Por otro lado, si esta generación está instalada cerca de la subestación, puede llevar a los transformadores con cambiador de taps a operar a una tensión secundaria menor, lo cual produciría una baja tensión en las cargas.

4. ANÁLISIS DE LA CONFIABILIDAD EN LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA CON PENETRACIÓN DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA

La generación de energía a través de instalaciones fotovoltaicas y su inyección a las redes ha tenido un desarrollo significativo, la cual resulta importante realizar una revisión en la literatura respecto al impacto en la confiabilidad de los sistemas de distribución debido a la naturaleza intermitente de la fuente primaria, la utilización de equipos electrónicos, flujo de potencia bidireccional y a la generación la cual no puede regirse por la demanda energética, por la variabilidad y la predicción de la fuente.

4.1 Modelo matemático

Para evaluar la confiabilidad es importante tener conocimiento de la irradiación solar, velocidad del viento, temperatura, efectos intermitentes, la incertidumbre de las condiciones de funcionamiento y operación de las instalaciones fotovoltaicas [46].

Modelo estocástico para instalación fotovoltaica: La potencia de salida de estas instalaciones está limitada por los cambios continuos en los niveles de irradiancia durante un día. Esto puede dar lugar a complicaciones operativas, sin embargo, estas instalaciones se pueden representar por un modelo con los siguientes estados:

- ✓ Operación alta.
- ✓ Operación media.
- ✓ Operación baja.

Modelo estocástico para el almacenamiento (Banco de baterías): La instalación de almacenamiento tiene dos componentes importantes que son el banco de baterías y el regulador de carga, los otros componentes de este subsistema se pueden considerar despreciable para los estudios de confiabilidad. El banco de baterías y el regulador de carga tienen dos estados de funcionamiento: el estado en operación alta y baja. Como los dos componentes están conectados en serie, el sistema de almacenamiento sólo es operativa si tanto el banco de baterías y el regulador de carga están en pleno funcionamiento, por lo tanto, el sistema funcionará si, y sólo si, se encuentra en este estado.

El tiempo medio de falla (MTTF) para este modelo se puede calcular de acuerdo a la siguiente ecuación 1:

$$MTTF = \frac{1}{\lambda_b + \lambda_c} \text{ (ecuación 1)}$$

Donde

λ_b es la tasa de falla del banco de batería.

λ_c es la tasa de falla del controlador de carga.

La tasa de falla compuesta para este modelo se determina con la siguiente ecuación 2:

$$\lambda_{bc} = \frac{1}{MTTF} = \lambda_b + \lambda_c \text{ (ecuación 2)}$$

El tiempo medio de reparación (MTTR) se obtiene por medio de la siguiente ecuación 3:

$$MTTR = \frac{\lambda_b + u_b + u_c}{(u_b + u_c)^2} \text{ (ecuación 3)}$$

Donde

u_b es la tasa de reparación del banco de batería.

u_c es la tasa de reparación del controlador de carga.

La tasa de reparación compuesta para este modelo se determina con la siguiente ecuación 4:

$$u_{cb} = \frac{(u_b + u_c)^2}{\lambda_b + u_b + u_c} \text{ (ecuación 4)}$$

Modelo estocástico para la unidad de acondicionamiento de energía: Este sistema está compuesto por un interruptor para el inversor y uno de conexión al sistema de potencia, los cuales son los dos componentes más importantes. Este modelo es similar al modelo del almacenamiento.

La tasa de falla se evalúa utilizando la siguiente ecuación 5:

$$\lambda_{invCB} = \frac{1}{MTTF} = \lambda_{inv} + \lambda_{CB} \text{ (ecuación 5)}$$

Donde

λ_{inv} es la tasa de falla del inversor.

λ_{CB} es la tasa de falla del interruptor de desconexión.

Para calcular la tasa de reparación se emplea la siguiente ecuación 6:

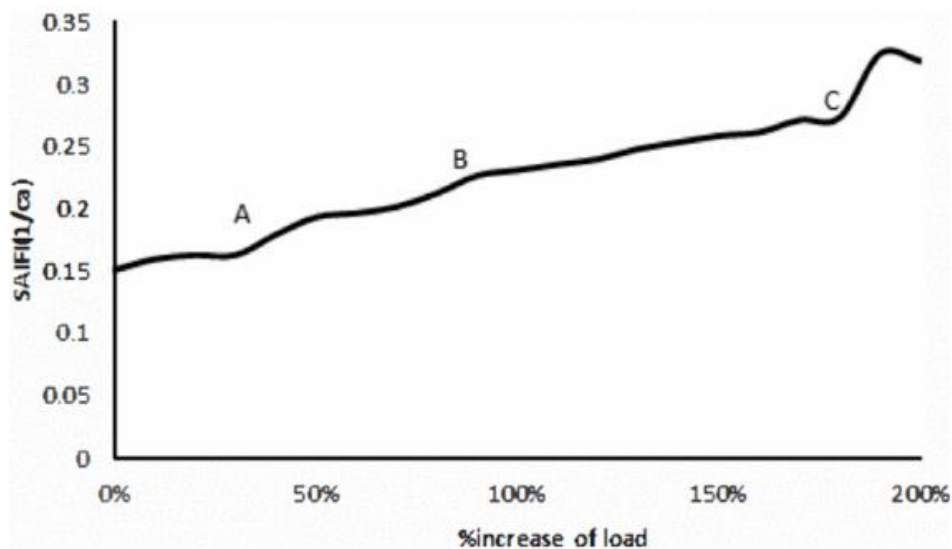
$$\lambda_{invCB} = \frac{(u_{inv} + u_{BC})^2}{\lambda_{inv} + u_{inv} + u_{BC}} \text{ (ecuación 6)}$$

De acuerdo a la información de [46], donde se realizaron varias simulaciones con escenarios diferentes, se obtuvieron los resultados de SAIDI (sistema de índice medio duración de interrupción), SAIFI (sistema de índice de frecuencia media interrupción) CAIDI (cliente promedio índice de duración de interrupción), CAIFI

(índice de frecuencia de interrupción promedio de clientes) y ENS (energía no suministrado).

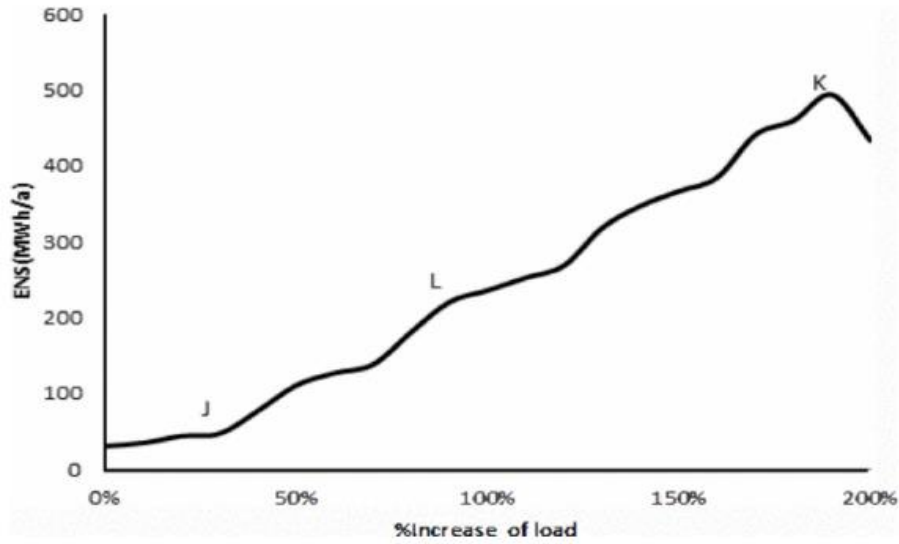
Caso 1 - Carga variable: La carga es variada sin la integración de instalaciones fotovoltaicas. La carga tuvo una variación desde el 0% hasta el 200%. Los resultados de SAIFI, ENS y SAIDI se puede observar en las ilustraciones 5, 6 y 7, sucesivamente. En base a los resultados, el aumento de la carga hasta el 40% no afecta a los índices de la confiabilidad del sistema. De acuerdo a la ilustración 5, el índice de frecuencia media de interrupción, a partir del punto A, un pequeño aumento en la carga afecta considerablemente este índice. En la ilustración 6, respecto a la energía no suministrada en la región de L y K hay un marcado aumento de este índice de 220MWh/año a 495MWh / año. Esto representa un aumento del 125% en ENS para un aumento del 100% en la carga que es menor que la obtenida para la sección inicial. El aumento de la carga del orden de 175% conduce a la sobrecarga de los transformadores y líneas del sistema.

Ilustración 17. Variación SAIFI con aumento de carga



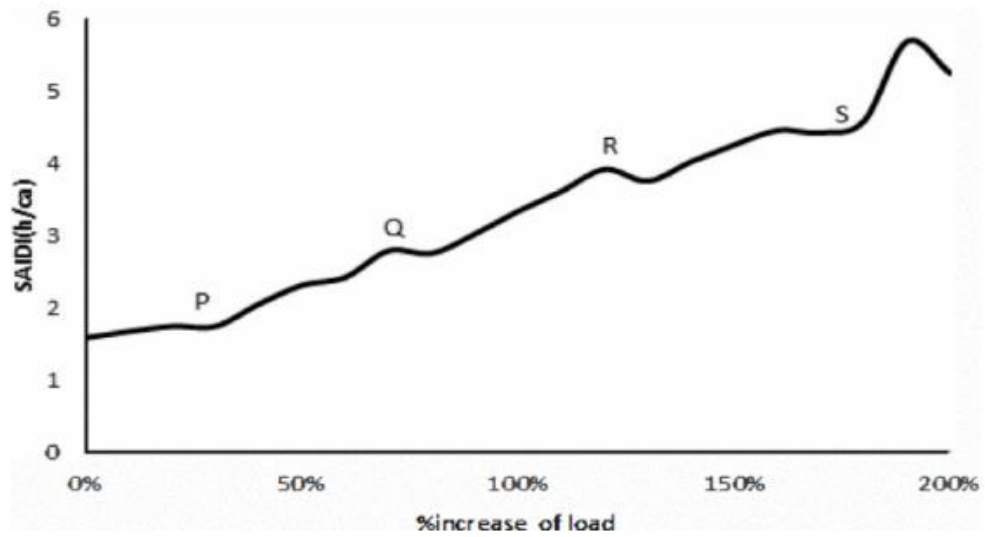
Fuente: Reliability of Active Distribution Networks with PV Based Strategic Micro-Grids [46]

Ilustración 18. Variación ENS con aumento de carga



Fuente: Reliability of Active Distribution Networks with PV Based Strategic Micro-Grids [46]

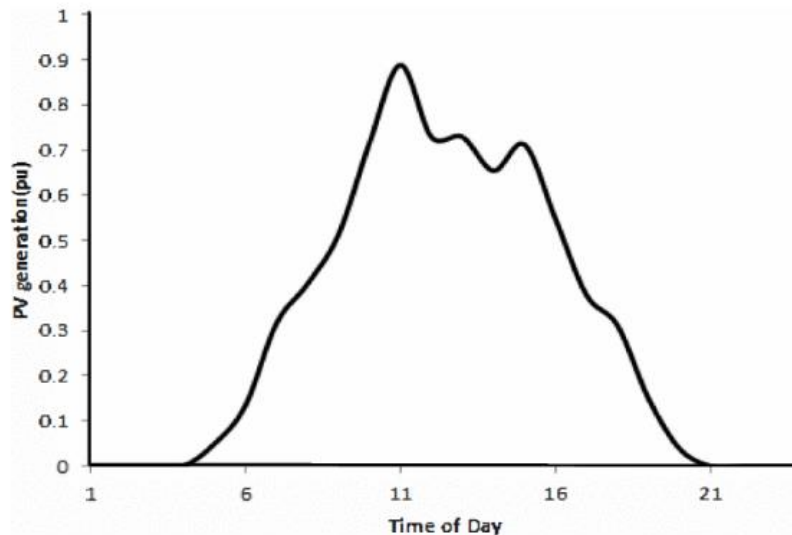
Ilustración 19. Variación SAIDI con aumento de carga



Fuente: Reliability of Active Distribution Networks with PV Based Strategic Micro-Grids [46]

Caso 2: Variación de salida de generación fotovoltaica: La variación en la generación de energía de acuerdo a la hora del día se muestra en la ilustración 8, y el efecto de esta variación se observa en las ilustraciones 9, 10 y 11. La ilustración 8 muestra la salida de potencia activa de los generadores fotovoltaicos en por unidad, en una base de 1MVA. La ilustración muestra las variaciones de la generación durante el día, y se observa que el pico más alto en la generación se produce a las 11:00 AM y la generación llega a cero alrededor de 21:00.

Ilustración 20. Variación de la generación de energía en la instalación fotovoltaica



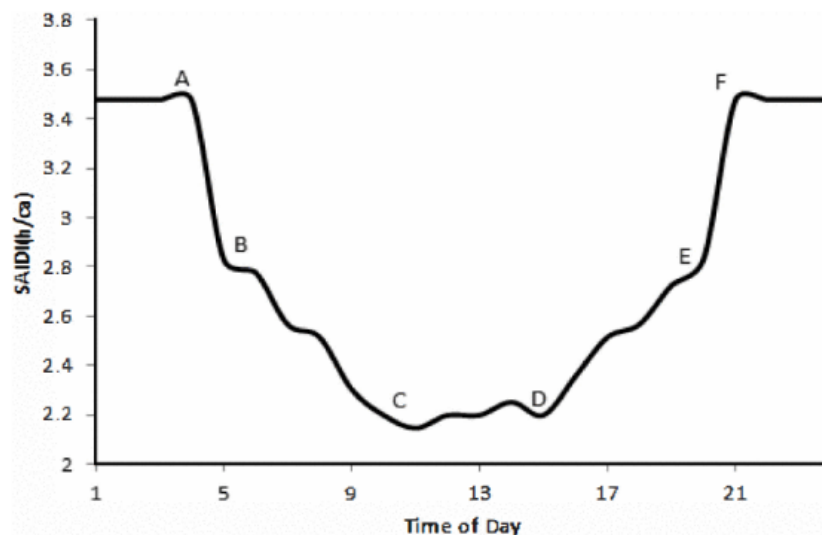
Fuente: Reliability of Active Distribution Networks with PV Based Strategic Micro-Grids [46]

En la ilustración 9 se muestra la variación de SAIDI durante un día. Se observa que el índice inicia con un valor de 3,48 y a medida que aumenta la generación mejora el índice, cuando la generación se encuentra en el punto B, el índice alcanza un valor de 2,8. Esto representa una mejora pronunciada del 19,5% dentro de 30 minutos de aumento en la generación de 0 a 0.15pu.

El SAIDI continúa mejorando en el punto B al punto C con una inclinación reducida. En el punto C, la generación tiene el punto más alto y por lo tanto el SAIDI también está en el mejor valor. En comparación con el valor inicial, el SAIDI tiene un valor de 2,15 que representan una mejora del 38%.

Entre C y D, SAIDI permanece sustancialmente constante debido a la salida de los generadores fotovoltaicos es casi constante. SAIDI aumenta gradualmente desde D a E y finalmente pasa al valor inicial en F cuando la irradiación solar se reduce a cero.

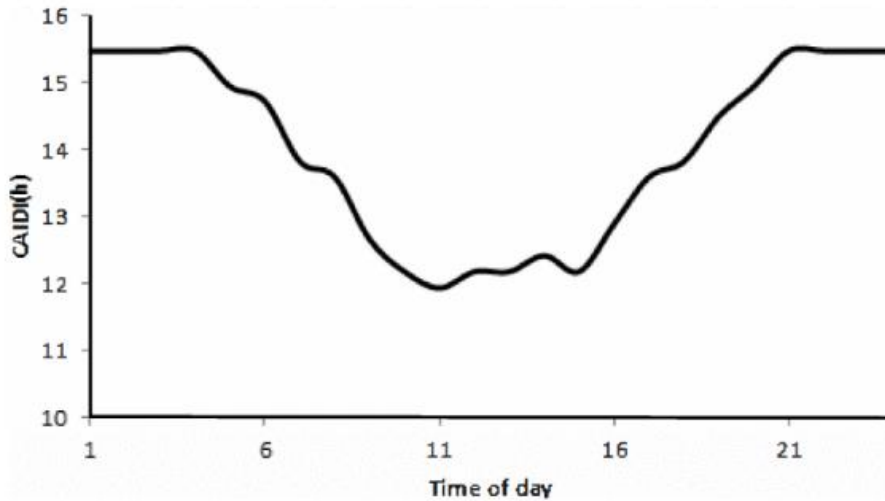
Ilustración 21. SAIDI contra la variación de la generación de energía en la instalación fotovoltaica



Fuente: Reliability of Active Distribution Networks with PV Based Strategic Micro-Grids [46]

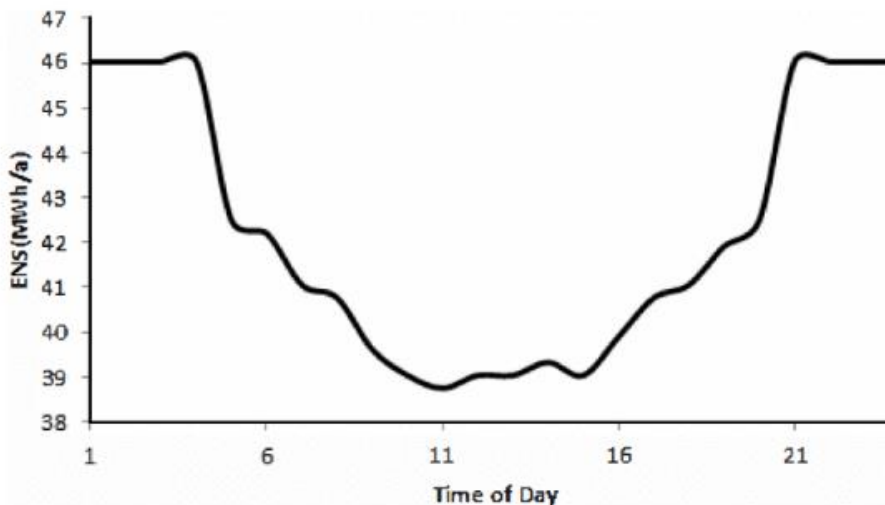
En la ilustración 10 y 11 se muestran la variación de CAIDI y ENS, respectivamente, a la hora del día. Las ilustraciones son similares a la de SAIDI y, como tal, siguen las mismas tendencias que SAIDI.

Ilustración 22. CAIDI contra la variación de la generación de energía en la instalación fotovoltaica



Fuente: Reliability of Active Distribution Networks with PV Based Strategic Micro-Grids [46]

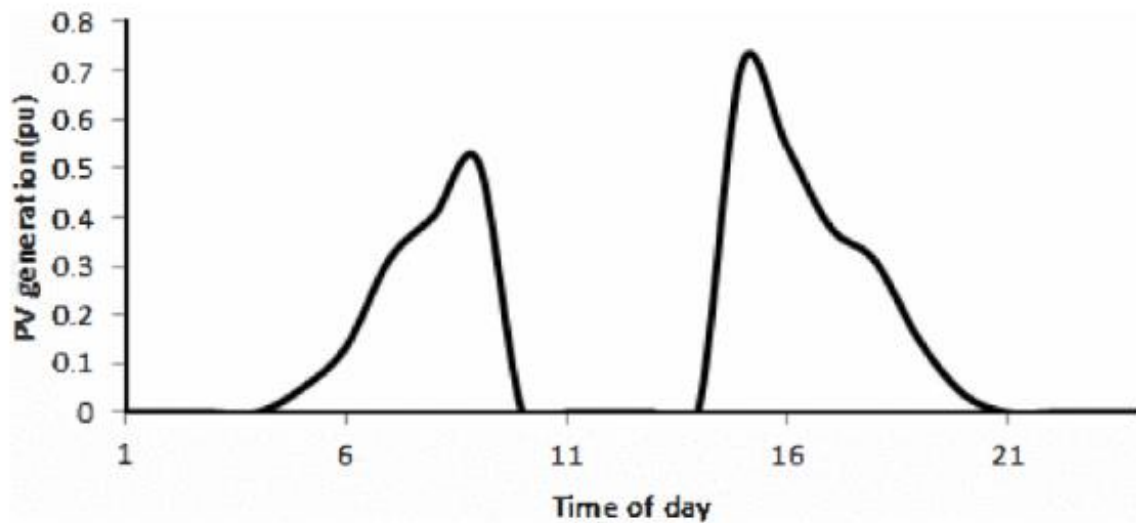
Ilustración 23. ENS (MWh/a) contra la variación de la generación de energía en la instalación fotovoltaica



Fuente: Reliability of Active Distribution Networks with PV Based Strategic Micro-Grids [46]

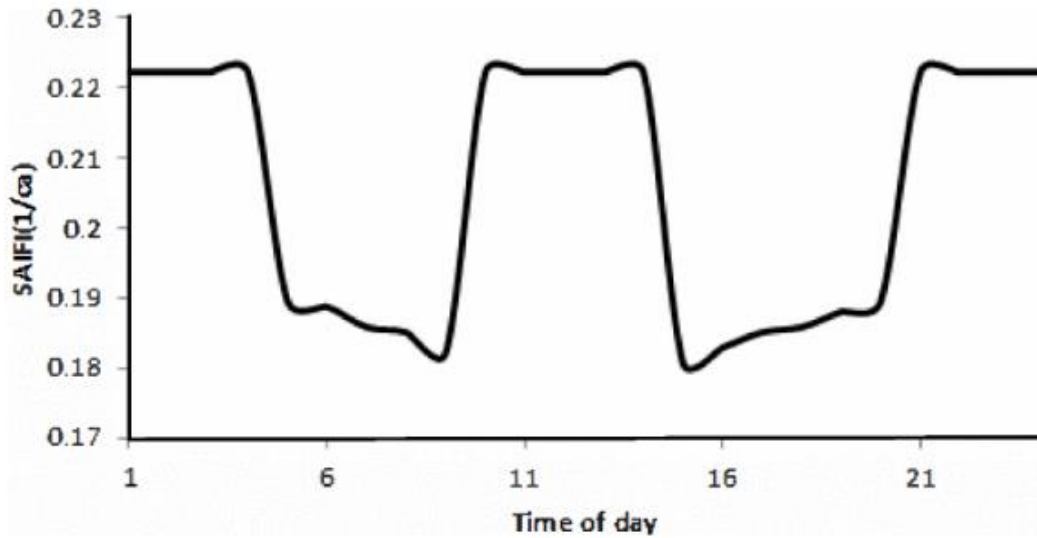
Caso 3: Efecto del paso de nubes en la confiabilidad: Debido a que las capacidades de producción de energía de los generadores fotovoltaicos son totalmente dependientes de la radiación solar en un área particular, la confiabilidad de una red de distribución con alta penetración de instalaciones fotovoltaicas se ve muy afectado por las variaciones de la radiación solar. La ilustración 8, muestra la generación de las instalaciones fotovoltaicas en un día particular y los resultados para el sistema en un día nublado se muestran en ilustración 12, 13 y 14.

Ilustración 24. Variación de generación fotovoltaica en un día nublado



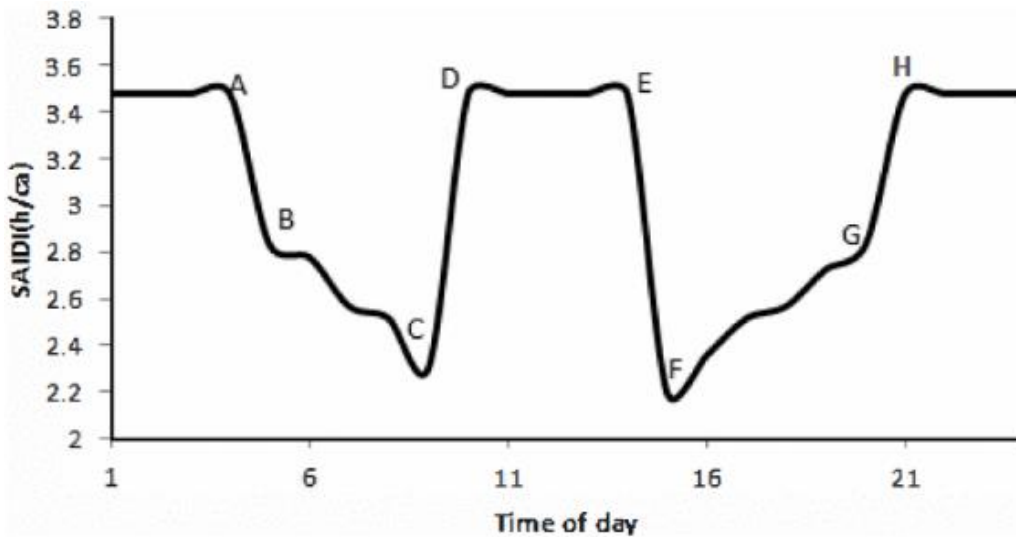
Fuente: Reliability of Active Distribution Networks with PV Based Strategic Micro-Grids [46]

Ilustración 25. SAIFI contra la variación de generación fotovoltaica en un día nublado



Fuente: Reliability of Active Distribution Networks with PV Based Strategic Micro-Grids [46]

Ilustración 26. SAIDI contra la variación de generación fotovoltaica en un día nublado



Fuente: Reliability of Active Distribution Networks with PV Based Strategic Micro-Grids [46]

5. CONCLUSIONES

Debido a los problemas ambientales que produce la generación de energía eléctrica con los combustibles fósiles, se han buscado nuevas alternativas para generar energía con fuentes renovables. Una de estas alternativas es la generación con instalaciones fotovoltaicas. El ingreso de esta generación en la matriz energética ayuda a disminuir el impacto negativo de los combustibles fósiles y garantizar la demanda energética y al desarrollo de la economía.

Las nuevas políticas o marcos regulatorios deberán responder a las oportunidades y retos que se presente con estos nuevos proyectos de generación, las cuales deberán de estar enfocadas en:

- Contribuir en el crecimiento del uso de energías renovables.
- Incentivar la investigación para esclarecer las inquietudes técnicas y fortalecer las operaciones de los sistemas de distribución.
- Mejorar las infraestructuras de los sistemas eléctricos y las regulaciones del mercado energéticos, para conectar la generación de energía con fuentes renovables.
- Brindarles el acompañamiento en los trámites administrativos para la tramitología de diseño, ejecución y puesta en marche del sistema de generación.
- Definir los Mecanismos técnicos que permitan optimizar la integración de la generación fotovoltaica en las redes eléctricas de distribución.

Respecto a los efectos técnicos que se pueden presentar por la conexión de los sistemas fotovoltaicos a la red de distribución, está directamente relacionado con la configuración de red a la que se conecte, nivel de penetración y la localización del punto de conexión de los generadores. Respecto a la estabilidad de tensión y frecuencia entre mayor sea el nivel de penetración, estas variables tendrían una

afectación negativa teniendo en cuenta la operación del sistema. Todos los sistemas fotovoltaicos conectados a las redes de distribución deben tener instalado equipos para la protección de sobretensiones, que permitan que el inversor deje de suministrar energía a la red en caso de que la frecuencia o la amplitud de la tensión en el punto de conexión superen los límites establecidos.

Los sistemas de distribución están configurados para operar sin la generación fotovoltaica, por lo tanto, se debe minimizar el impacto de la corriente de falla en los ajustes de las protecciones de sobrecorriente, porque estas varían de acuerdo a los aportes de la generación. Uno de los mayores inconvenientes que se presenta con la coordinación de protección, se debe a que los sistemas de distribución están diseñados de forma radial, por lo tanto, el flujo de potencia se encuentra en una sola dirección; al conectar la generación fotovoltaica esta puede aportar tanto corriente de falla como de carga, y cambiar la dirección del flujo, por lo cual se podría presentar problemas de coordinación en las protecciones.

Las conexiones de estas instalaciones pueden mejorar los índices de confiabilidad si son integradas estratégicamente, teniendo en cuenta la potencia de generación y la ubicación. Para mejorar el índice de la energía no suministrada, es conveniente que los circuitos principales no sean muy extensos, para evitar así concentraciones de carga muy altas en cada circuito, y de esta manera si un determinado circuito es aislado por una eventual falla, los valores correspondientes de energía no suministrada sufran menor impacto.

CITAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA UPME. Plan Energético Nacional Colombia: Ideario Energético 2050. Colombia. 2015 [en línea]. [citado abril 2016]. 10 p. Disponible en Internet: http://www.upme.gov.co/Docs/PEN/PEN_IdearioEnergetico2050.pdf

[2] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, THE WAY FORWARD. five key actions to achieve a low - carbon energy sector [en línea]. Edición 2014, [citado enero 2016]. Disponible en Internet: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/the-way-forward.html>

[3] REN21. Renewables 2015 Global Status Report. Reporte de la situación mundial de las energías renovables 2015 [En línea]. Paris, Francia. 2015 [Citado Octubre. 2016]. Disponible en: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/GSR2015_Key-Findings_SPANISH.pdf

[4] MERINO, Javier y PEÑA, Luis. Integración de ERNC en el SING y SIC. [en línea] Chile. 2011. [citado abril 2016]. Disponible en Internet: <http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno13/inteernc/IntegracionERNC.htm>

[5] GARCÍA Fajardo, JOSÉ Carlos. Energía solar sostenible que no contamina [en línea]. Madrid, España. 2016 [Citado Dic 2016]. Disponible en Internet: <http://www.rebellion.org/noticia.php?id=212691>

[6] DELOITTE. Sector energía III: ERNC, perspectivas y dificultades. Chile. 2016 [Citado Dic 2016]. 29 p. Disponible en Internet: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/cl/Documents/energy-resources/cl-er-estudio-energ%C3%ADa-chile-parte3.pdf>

[7]. COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS (CREG). Resolución No. 065 DE 2012. [en línea]. Bogotá, Colombia. 25 junio 2012 [Citado Dic 2016]. Disponible en Internet: <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/c2dae01dccebf05105257a4c00719a8f?OpenDocument>

[8] SUAREZ, Pamela. Impacto de la generación Eólica y Solar en el sistema eléctrico de baja California Norte. Tesis. México, D. F. Instituto Politécnico Nacional. 2010.

[9] MONCADA, Diego. Impacto de la masificación de la generación solar fotovoltaica en sistemas de distribución. Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título de ingeniero Electricista. Pereira, Colombia. Universidad Tecnológica De Pereira. Programa de Ingeniería Eléctrica. 2015.

[10] WKRAMER, S. CHAKRABORTY and H. Thomas. Advanced power electronic interfaces for distributed energy systems. 2008. [citado diciembre 2016].

[11] IEEE 1159. Recommended practice of monitoring electric power quality. Institute of Eléctrica! and Electronics Engineers IEEE, 1995. Disponible en internet: <https://standards.ieee.org/findstds/standard/1159-2009.html>

[12] CHUSIN Luis y ESCOBAR Byron, Análisis de confiabilidad de sistemas de distribución eléctrica con penetración de generación distribuida. Trabajo de grado Ingeniero Eléctrico. Quito, Ecuador. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica 2015. 38 p.

[13] BARCENES, W y TOAPANTA, E. Conceptos Básicos de la Teoría de la Confiabilidad. Tesis Ingeniería. Quito, Ecuador. Facultad de Ingeniería. Enero 2001

[14] ZAPATA, Carlos. Confiabilidad en Ingeniería, Capítulo 1 - Conceptos Generales. Pereira, Colombia. Universidad Tecnológica de Pereira. Primera Edición 2011.

[15] BURDCSMINISTCRIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENCRGIC. Warum wurde das EEG eigentlich eingeführt. [en línea]. Alemania. 2016 [citado Dic 2010]. 1 p. Disponible en Internet: <http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/FAQ/EEG-2017/warum-eeg.html>

[16] ALVAREZ, Eloy y ORTIZ Iñigo. La transición energética en Alemania (Energiewende). Política, Transformación Energética y Desarrollo Industrial. 2 ed. España. 2016. 99 p [Citado enero 2017]. Disponible en Internet: http://www.orquestra.deusto.es/images/investigacion/publicaciones/cuadernos/La_transici%C3%B3n_energ%C3%A9tica_en_Alemania_Energiewende_-_Versi%C3%B3n_web.pdf

[17] BURDCSMINISTCRIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENCRGIC. Informationsportal Erneuerbare Energien. Das Erneuerbare-Energien-Gesetz, [en línea]. Alemania. 2017 [citado enero 2017]. p. 1. Disponible en Internet: http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Dossier/eeg.html?cms_docId=73930

[18] BURDCSMINISTCRIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENCRGIC. Informationsportal Erneuerbare Energien. EEG 2017: Start in die nächste Phase der Energiewende. [en línea]. Alemania. 2017 [citado enero 2017]. 2 p. Disponible en Internet: <http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Standardartikel/EEG/eeg-2017.html>

[19] BURDCSMINISTCRIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENCRGIC. Informationsportal Erneuerbare Energien. Was sind die wesentlichen Ziele des Ausschereibungsmodells im EEG 2017. [en línea]. Alemania. 2017 [citado enero 2017]. p. 2. Disponible en Internet: <http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/FAQ/EEG-2017/ausbau-03.html>

[20] INSTITUTO ESPAÑOL DE COMERCIO EXTERIOR. El mercado de la energía solar fotovoltaica en Alemania. España. Oficina económica y Comercial de la Embajada de España en Berlín. Mayo 2012. 18 p. Disponible en Internet: http://www.aprean.com/internacional/estudios/FOTOVOLTAICA_ALEMANIA_2012.pdf

[21] BURDCSMINISTCRIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENCRGIC. Besondere Aushleichsrgelung und Eigenversorgung. [en línea]. Alemania. 2017 [citado enero 2017]. 1 p. Disponible en Internet: <http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/besondere-ausgleichsregelung.html>

[22] CÁRABE, Julio. La energía solar fotovoltaica en España: presente y futuro [en línea]. España. 2015 [citado enero 2017]. Disponible en Internet: <http://fotoplat.org/2015/03/la-energia-solar-fotovoltaica-en-espana-presente-y-futuro/>

[23] MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO. Boletín Oficial Del Estado. Real Decreto 900/2015 de 9 octubre. España. 2015 [citado enero 2017]. Disponible en Internet: <https://www.boe.es/boe/dias/2015/10/10/pdfs/BOE-A-2015-10927.pdf>

[24] JEFATURA DEL ESTADO. Boletín Oficial Del Estado. Real Decreto-ley 14/2010 de 10 diciembre. España. 2010 [citado enero 2017]. Disponible en Internet: <https://www.boe.es/boe/dias/2010/12/24/pdfs/BOE-A-2010-19757.pdf>

[25] JEFATURA DEL ESTADO. Boletín Oficial Del Estado. Real Decreto-ley 9/2013 de 12 de julio. España. 2013 [citado enero 2017]. Disponible en Internet: <https://www.boe.es/boe/dias/2013/07/13/pdfs/BOE-A-2013-7705.pdf>

[26] ASOCIACIÓN CHILENA DE ENERGÍA SOLAR ACESOL. guía para usuarios del Net Billing. Chile. 2017 [en línea]. [citado diciembre 2016]. Disponible en Internet: <http://www.acesol.cl/component/content/article/2-pages/42-gu%C3%ADa-para-usuarios-del-net-billing.html?Itemid=101>

[27] CHILE. MINISTERIO DEL INTERIOR Y SEGURIDAD PÚBLICA, MINISTERIO DE ENERGÍA. Ley N° 20.571 (4, junio, 2014). Diario Oficial De La Republica De Chile, 2014. no. 40.952. p. 1-8

[28] COLOMBIA. MINISTRO DE MINAS Y ENERGÍA. Ley No. 1715 de 13 mayo 2014. Colombia. 2014. Disponible en Internet: http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf

[29] MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Decreto No. 2469 De 2 de diciembre del 2014. [en línea]. Bogotá, Colombia. [Citado mayo 2017]. Disponible en Internet: <https://www.minminas.gov.co/documents/10180/23517/36864-Decreto-2469-02Dic2014.pdf>

[30] MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Decreto No. 2492 De 3 de diciembre de 2014. [En línea]. Bogotá, Colombia. [Citado mayo 2017]. Disponible en Internet: <https://www.minminas.gov.co/documents/10180/23517/36863-Decreto-2492-03Dic2014.pdf>

[31] COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS. Resolución No. 024 De 2015 [En línea]. Bogotá, Colombia. 13 marzo 2015 [Citado mayo 2017]. Disponible en Internet: [http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/67513914c35d6b8c05257e2d007cf0b0/\\$FILE/Creg024-2015.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/67513914c35d6b8c05257e2d007cf0b0/$FILE/Creg024-2015.pdf)

[32] EL DIRECTOR GENERAL DE LA UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA – UPME. Resolución No. 281 De 2015. [En línea]. Bogotá, Colombia. 5 De Junio 2015 [Citado Mayo 2017]. Disponible en Internet: https://www.minminas.gov.co/documents/10180/18995913/res_281.pdf/6077cb6c-dabc-43fc-8403-cb1c5e832b37

[33] MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Decreto No. 348 De 7 de Marzo de 2017. [En línea]. Bogotá, Colombia. [Citado Mayo 2017]. Disponible en Internet: <http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%20348%20DEL%2001%20DE%20MARZO%20DE%202017.pdf>

[34] MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Decreto No. 2143 De 4 de noviembre de 2015. [En línea]. Bogotá, Colombia. [Citado mayo 2017]. Disponible en Internet: http://www.upme.gov.co/Normatividad/Normatividad%20Sectorial/DECRETO_2143_04_NOVIEMBRE_2015.pdf

[35] SUAREZ, Pamela. Impacto de la generación Eólica y Solar en el sistema eléctrico de baja California Norte. Tesis. México, D. F. Instituto Politécnico Nacional. Departamento De Ingeniería Eléctrica. 2010.

[36] VAZQUEZ, Antonio. Normas técnicas y sistemas fotovoltaicos conectados a red. Cuba. Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL). 2006. [Citado enero 2016]. 1 p. Disponible en Internet:<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar39/HTML/Articulo02N.htm>

[37] TORRES, Horacio. Impacto en la Estabilidad de un Sistema de Potencia al Integrar Generación Distribuida. Pereira. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingenierías. 2008.

[38] JIMENEZ, Brayan. Análisis de la estabilidad frecuencia del sistema eléctrico de potencia de la isla de la juventud. Santa Clara, Cuba. Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. Facultad de Ingeniería Eléctrica. 2016.

[39] CASTRO, Felipe. Impacto de la generación distribuida en la estabilidad de sistemas de potencia. Memoria para optar al título de ingeniero civil eléctrico. Santiago de Chile. Universidad de Chile. 2013.

[40] COLOMBIA INTELIGENTE. Generación Distribuida: Impacto en las Redes de Distribución. Seminario de Redes Inteligentes. Colombia. 2012.

[41] CAAMAÑO, Martin. Interaction between photovoltaic distributed generation and electricity networks. España. 2008. Disponible en internet: https://www.researchgate.net/publication/227805422_Interaction_between_photovoltaic_distributed_generation_and_electricity_networks.

[42] WILDEN, Joakin y Wäckelgård, Ewa. Impacts of Distributed Photovoltaics on Network Voltages: Stochastic Simulations of Three Swedish Low-Voltage Distribution Grids. Suecia. Universidad de Uppsala. 2010.

[43] MONHAMED, Eltawil y ZHENGMING, Zhao. Grid - connected photovoltaic power systems Technical and potential problems - A review. China. Tsinghua University, 2010.

[44] PAATERO, Jukka; LUND, Peter. Effects of large-scale photovoltaic power integration on electricity distribution networks. Finlandia. 2006.

[45] Enslin, J; Heskes, P. "Harmonio interaction between a large number of distributed power inverters and the distribution network," IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 19, no. 6, pp. 1586-1593, 2004.

[46] Esaú, Zulu; Jayaweera, Dilan. Reliability of active distribution networks with PV based strategic micro-grids. Power Engineering Conference (AUPEC), 2013 Australasian Universities, Issue Date: Sept. 29 2013-oct. 3 2013.

BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ, Eloy y ORTIZ Iñigo. La transición energética en Alemania (Energiewende). Política, Transformación Energética y Desarrollo Industrial. 2 ed. España. 2016. 99 p [Citado enero 2017]. Disponible en Internet: http://www.orquestra.deusto.es/images/investigacion/publicaciones/cuadernos/La_transici%C3%B3n_energ%C3%A9tica_en_Alemania_Energiewende_-_Versi%C3%B3n_web.pdf

CÁRABE, Julio. La energía solar fotovoltaica en España: presente y futuro [en línea]. España. 2015 [citado enero 2017]. Disponible en Internet: <http://fotoplat.org/2015/03/la-energia-solar-fotovoltaica-en-espana-presente-y-futuro/>

CASTRO, Felipe. Impacto de la generación distribuida en la estabilidad de sistemas de potencia. Memoria para optar al título de ingeniero civil eléctrico. Santiago de Chile. Universidad de Chile. 2013.

COLOMBIA. MINISTRO DE MINAS Y ENERGÍA. Ley No. 1715 de 13 mayo 2014. Colombia. 2014. Disponible en Internet: http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf

Esaú, Zulu; Jayaweera, Dilan. Reliability of active distribution networks with PV based strategic micro-grids. Power Engineering Conference (AUPEC), 2013 Australasian Universities, Issue Date: Sept. 29 2013-oct. 3 2013.

IEEE 1159. Recommended practice of monitoring electric power quality. Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE, 1995. Disponible en internet: <https://standards.ieee.org/findstds/standard/1159-2009.html>

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, THE WAY FORWARD. five key actions to achieve a low - carbon energy sector [en línea]. Edición 2014, [citado enero 2016]. Disponible en Internet: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/the-way-forward.html>

MONCADA, Diego. Impacto de la masificación de la generación solar fotovoltaica en sistemas de distribución. Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título de ingeniero Electricista. Pereira, Colombia. Universidad Tecnológica De Pereira. Programa de Ingeniería Eléctrica. 2015.

REN21. Renewables 2015 Global Status Report. Reporte de la situación mundial de las energías renovables 2015 [En línea]. Paris, Francia. 2015 [Citado Octubre. 2016]. Disponible en: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/GSR2015_Key-Findings_SPANISH.pdf

SUAREZ, Pamela. Impacto de la generación Eólica y Solar en el sistema eléctrico de baja California Norte. Tesis. México, D. F. Instituto Politécnico Nacional. 2010.

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA UPME. Plan Energético Nacional Colombia: Ideario Energético 2050. Colombia. 2015 [en línea]. [citado abril 2016]. 10 p. Disponible en Internet: http://www.upme.gov.co/Docs/PEN/PEN_IdearioEnergetico2050.pdf

ANEXOS

Anexo A. Modelo de solicitud de conexión

Solicitud de conexión de una instalación a la red de distribución de baja o media tensión		
Detalles generales del proyecto		
Emplazamiento/dirección/código postal		
Referencia catastral		
Teléfono de contacto del titular		
Empresa de distribución		
Propietario del sistema		
Dirección de correo electrónico del titular		
CUPS suministro asociado		
Usuario del sistema (si es diferente del propietario)		
Potencia asignada total		
Aplicación del calor recuperado		
Detalles del instalador autorizado		
Instalador autorizado		
Acreditación/Cualificación		
Dirección (incluyendo el código postal)		
Persona de contacto		
Teléfono		
Fax		
Dirección de correo electrónico		
Detalles de la instalación de producción		
Emplazamiento del generador(es) dentro de la instalación		
Fabricante del generador(es)/modelo(s)		
Potencia asignada del equipo(s) generador(es) (kVA)		
Factor de potencia del equipo(s) generador(es)		
Monofásico o trifásico		
Máxima corriente de pico en cortocircuito (A)		
Tecnología del generador y combustible empleado		
Número de serie del equipo(s) generador(es)		
Contador y número de registro del contador		
Punto de conexión propuesto		
Descripción de la configuración de conexión		
Esquema unifilar adjunto		
Declaración a ser completada por el instalador		
Comentarios		
Declaro que esta instalación ha sido diseñada cumpliendo con los requisitos del fabricante, instrucciones, la regulación de cableado, verificación del correcto funcionamiento de las protecciones y los requisitos de puesta a tierra.		
Nombre:	Firma:	Fecha:

Anexo B. Formulario 1: Solicitud de información

Datos del Dueño del Inmueble

Persona natural o representante legal	Nombre completo	
	R.U.N.	
Persona jurídica (si corresponde)	Razón Social	
	R.U.T.	

Datos del Solicitante

Persona natural o representante legal	Nombre completo	
	R.U.N.	
Persona jurídica (si corresponde)	Razón Social	
	R.U.T.	
Datos del Cliente	Número de Cliente ¹	
Datos de Contacto	Nombre completo	
	Teléfono y/o e-mail	

Datos del Lugar de Instalación

Dirección de la instalación	Calle, número	
	Comuna, Ciudad	
	Lugar de instalación	

Características del Equipamiento de Generación

Tecnología del EG:	<input type="checkbox"/> A. Sistemas fotovoltaicos sin capacidad de inyectar energía a la red a partir de algún sistema de almacenamiento de energía <input type="checkbox"/> B. Sistemas basado en inversores, excluyendo el anterior <input type="checkbox"/> C. Sistemas basados en máquinas sincrónicas <input type="checkbox"/> D. Sistemas basados en máquinas asincrónicas
Lugar y fecha	Firma del Solicitante

1: El número de cliente corresponde al número de identificación del servicio asociado al inmueble donde se instalará el EG, normalmente especificado en las boletas o facturas emitidas por la empresa distribuidora.

2: Lugar de instalación se refiere, al lugar físico donde se instalará el (los) EG(s), como el techo de la casa.

Anexo C. Formulario 2: Respuesta a la solicitud de información

Identificación de la solicitud de información	Número de Solicitud:	
	Número de Cliente:	
	Fecha de la solicitud:	
	Fecha de la respuesta:	

Datos del Solicitante

Persona natural o representante legal de persona jurídica	Nombre completo	
	R.U.N.	
Persona jurídica	Razón Social	
	R.U.T.	

Información Técnica

Conexión	Propiedad empalme	Cliente <input type="checkbox"/> Empresa Distribuidora <input type="checkbox"/>															
	Capacidad del empalme	_____ [kVA]															
	Tipo de empalme	<input type="checkbox"/> monofásico <input type="checkbox"/> trifásico															
	Opción tarifaria del cliente																
	Identificación Transformador de Distribución Asociado:	ID: Tensiones: ___/___ [kV]; Potencia: ___ [kVA]															
	Listado de Usuarios o Clientes Finales ya conectados o con SC aprobada para el transformador de distribución asociado	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tecnología¹</th> <th colspan="2">Conexión:</th> <th>Capacidad Instalada:</th> </tr> <tr> <td></td> <th>3φ</th> <th>1 φ</th> <td></td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. A, B, C o D.</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>_____ [kW]</td> </tr> <tr> <td>2. A, B, C o D.</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>_____ [kW]</td> </tr> </tbody> </table>	Tecnología ¹	Conexión:		Capacidad Instalada:		3φ	1 φ		1. A, B, C o D.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____ [kW]	2. A, B, C o D.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tecnología ¹	Conexión:		Capacidad Instalada:														
	3φ	1 φ															
1. A, B, C o D.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____ [kW]														
2. A, B, C o D.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____ [kW]														
Datos de la red:	Tipo de red BT:	3φ <input type="checkbox"/> 2 φ <input type="checkbox"/> 1 φ <input type="checkbox"/>															
	Potencias de Cortocircuito para diseño:	$S_{CC \text{ trafo}}^2$: _____ [kVA]															
		$S_{CC \text{ trafo}}^3$: _____ [kVA]															
		$S_{CC \text{ red FA}}^4$: _____ [kVA]															
Demanda Mínima:	En horas con sol:	_____ [kW]															
	En horas sin sol:	_____ [kW]															
	Zona geográfica:	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>															
Capacidad Instalada Permitida:	_____ [kW], para sistemas tipo ¹ : A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/>																
En caso de dudas contactar a:																	
Nombre:	Teléfono:	_____															
E-mail:	Nombre, cargo y firma del responsable de la información																

1: A, B, c o D: A. Sistemas fotovoltaicos sin capacidad de inyectar energía a la red a partir de algún sistema de almacenamiento de energía; B. Sistemas basado en inversores, excluyendo el anterior; C. Sistemas basados en máquinas sincrónicas; D. Sistemas basados en máquinas asincrónicas.

2: $S_{CC\text{ trafa}}$: nivel de cortocircuito en el lado de baja tensión del transformador de distribución evaluado.

3: $S_{CC\text{ red PC}}$: nivel de cortocircuito en el punto de conexión.

4: $S_{CC\text{ red FA}}$: Potencia de cortocircuito en un punto ubicado al final del alimentador de BT al cual se desea conectar un Cliente, expresada en kVA.

Anexo D. Formulario 3: Solicitud de conexión

Datos del Dueño del Inmueble

Persona natural o representante legal	Nombre completo	
	R.U.N.	
Persona jurídica (si corresponde)	Razón Social	
	R.U.T.	

Datos del Solicitante

Persona natural o representante legal	Nombre completo	
	R.U.N.	
Persona jurídica (si corresponde)	Razón Social	
	R.U.T.	
Datos del Cliente	Número de Cliente ¹	
Datos de Contacto	Nombre completo	
	Teléfono y/o e-mail	

Datos del Lugar de Instalación

Dirección de la instalación	Calle, número	
	Comuna, Ciudad	
	Lugar de instalación	

Características del Equipamiento de Generación

Capacidad Instalada del EG:	_____ [kW]		
¿El EG es capaz de modificar su $\cos\phi$?	<input type="checkbox"/> SÍ <input type="checkbox"/> NO	¿Cuál es el rango?	$\cos\phi = \pm 0, ____$
Tecnología del EG:	<input type="checkbox"/> A. Sistemas fotovoltaicos sin capacidad de inyectar energía a la red a partir de algún sistema de almacenamiento de energía <input type="checkbox"/> B. Sistemas basado en inversores, excluyendo el anterior <input type="checkbox"/> C. Sistemas basados en máquinas sincrónicas <input type="checkbox"/> D. Sistemas basados en máquinas asincrónicas		
Fuente(s) Energética(s) Primaria(s):	<input type="checkbox"/> solar <input type="checkbox"/> hidráulica <input type="checkbox"/> eólica <input type="checkbox"/> cogeneración <input type="checkbox"/> con sistema de almacenamiento de energía <input type="checkbox"/> otro: _____		
Combustible:	(Sólo para cogeneración) <input type="checkbox"/> biogas <input type="checkbox"/> biomasa <input type="checkbox"/> gas natural <input type="checkbox"/> petróleo		

Documentos Adjuntos:

Certificado de Dominio Vigente del inmueble del EG, con vigencia no anterior a 3 meses	<input type="checkbox"/>
Se adjunta fotocopia de cédula de identidad de persona natural o jurídica	<input type="checkbox"/>
Se adjunta documento que acredita personería con vigencia no anterior a 30 días de esta solicitud (cuando solicitante es persona jurídica)	<input type="checkbox"/>
Se adjunta mandato autorizado ante notario para la instalación del EG en el inmueble para el solicitante (cuando el solicitante no es dueño del inmueble del EG)	<input type="checkbox"/>
Lugar y fecha	Firma del Solicitante

1: El número de cliente corresponde al número de identificación del servicio asociado al inmueble donde se instalará el EG, normalmente especificado en las boletas o facturas emitidas por la empresa distribuidora.

2: Lugar de instalación se refiere, al lugar físico donde se instalará el (los) EG(s), como el techo de la casa.

Documentos que deben adjuntarse a la solicitud:

- Si el solicitante persona natural: Copia de cédula de identidad.
- Si el dueño del inmueble es persona jurídica: Documento que acredita personería con vigencia no anterior a 30 días.
- Si el solicitante no es el propietario del inmueble: Autorización mandato notarial del propietario, con vigencia no anterior a 30 días.
- Certificado de dominio vigente del inmueble donde se emplazará el Equipamiento de Generación, del Conservador de Bienes Raíces correspondiente, con una vigencia no anterior a 3 meses.

Anexo E. Formulario 4: Respuesta a solicitud de conexión

Identificación de la Solicitud de Conexión:	Número de Solicitud:	
	Número de Cliente:	
	Fecha de la solicitud:	
	Fecha de la respuesta:	

Datos del Solicitante

Persona natural o representante legal de persona jurídica	Nombre completo	
	R.U.N.	
Persona jurídica	Razón Social	
	R.U.T.	

Respuesta a la Solicitud de Conexión

Conexión	Ubicación geográfica del punto de conexión:	
	Propiedad empalme:	Cliente <input type="checkbox"/> Empresa Distribuidora <input type="checkbox"/>
	Capacidad del empalme:	_____ [kW]
	Tipo de empalme:	<input type="checkbox"/> monofásico <input type="checkbox"/> trifásico
	Opción tarifaria:	

Respuesta a la Solicitud de Conexión:

Capacidad Instalada Permitida	_____ [kW]
Factor de potencia con el que deberá operar	
Costo de las actividades de conexión:	\$ _____

Obras Adicionales	¿Se requieren Obras Adicionales?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
	¿Se requiere modificación del empalme?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No

En caso de requerirse de Obras Adicionales y/o Adecuaciones	Descripción resumida de las Obras Adicionales y/o Adecuaciones:	
	Valorización:	
	Plazo de ejecución:	
	Modalidad de pago:	

<hr/> Lugar y fecha	<hr/> Nombre, cargo y firma del responsable de la información
---------------------	---

Documentos Adjuntos:

1. Modelo de Contrato en caso de requerirse de Obras Adicionales y/o Adecuaciones:
2. Descripción de las partidas principales de las Obras Adicionales y/o Adecuaciones, junto a su valorización, plazo de ejecución, modalidad de pago, entre otros

Anexo F. Manifestación de conformidad

Datos del Solicitante

Persona natural o representante legal de persona jurídica	Nombre completo	
	R.U.N.	
	Teléfono	
	Correo	
Persona jurídica	Razón Social	
	R.U.T.	
	Teléfono	
	Correo	

Datos de la Empresa Distribuidora

Datos de contacto de la Empresa Distribuidora	Nombre	
	Dirección de la Sucursal	
	Correo de contacto	
	Teléfono	

Datos del Proceso de conexión

Identificación de la Respuesta a la Solicitud de Conexión Asociada:	Número de Solicitud:	
	Número de Cliente:	
	Fecha de la emisión del formulario 4:	
Dirección de la instalación	Calle, número	
	Comuna, Ciudad	
	Teléfono, e-mail	

Características del Equipamiento de Generación

Capacidad Instalada Permitida en formulario 4 (Respuesta a la solicitud de conexión):	_____ [kW]
Capacidad de potencia a reservar	_____ [kW]
Periodo de reserva (No más de 6 meses)	Desde: _____ Hasta: _____ Cantidad de Meses: ____
<p>Con fecha: _____, mediante el presente formulario, manifiesto la conformidad al formulario 4 de respuesta a la solicitud de conexión informado por su empresa distribuidora.</p>	

Con dicho acto administro solicito reservar la Capacidad Instalada Permitida, por el periodo indicado en el presente formulario a contar de la recepción de esta Manifestación de Conformidad.

Timbre y fecha de recepción empresa distribuidora:	Firma del Solicitante

Anexo G. Formulario de declaración TE4

.- Antecedentes Instalador o Profesional que Declara															
RUT														Nombre Completo	
Domicilio Particular															
Comuna						Región				Clase Licencia / Título Profesional					
Teléfono Fijo						Teléfono Celular				Correo Electrónico					
2.- Antecedentes de la Instalación															
Dirección															
Región		Comuna						Rol							
Georeferencia UTM (zona)		Zona (Letra)		Coordenada E					Coordenada N						
Destino de la Propiedad (*)	Industrial		Tipo de Construcción (*)	Individual (casa)		Potencia Instalada (kW) del Generador	Total del								
	Comercial			Edificio											
	Habitacional			Conjunto		Potencia Declarada del Generador (kW)	Total del								
	Educacional			Nota:											
	Otros														

Indicar giro específico (***)	(*) Marcar con una "x" donde corresponda (**) Detalle de características técnicas en reverso de este formulario (***) Se debe indicar giro específico, actividad o tipo para cualquier destino de la propiedad seleccionado.		
Detalle de la Instalación Declarada			Fuente Energética Primaria de la U de Generación (1. Solar, 2. Eólico, 3 Hidráulica, 4. Biogas, 5.Biomasa, 6. Gas natural, 7. Otros.)
Número de Unidades de Generación			Empalme
Potencia máxima de la U Generadora		kW	
Tipo de convertidor 1.-Inversor 2.- Convertidor de frecuencia 3.- Convertidor modulado 4.-Sin convertidor			
Potencia nominal del Convertidor		kW	
Voltaje de entrada del convertidor CC		V	
Voltaje de salida del convertidor CA		V	
Capacidad de sistema de Almacenamiento de energía		A/h	
Potencia Instalada de la instalación de consumo		kW	
3.- Antecedentes del Propietario y/o Representante Legal			Empresa distribuidora/ N° de Cliente
			Nivel de Tensión (BT o MT)
			Capacidad de Empalme (kW)
			Protección de Empalme (A)
			Tipo de Empalme (Monofásico o trifásico)

Propietario												
RUT										-	Nombre Completo o Razón Social	
Dirección Particular/Comercial												
Comuna/Ciudad		Región			Teléfono Fijo			Teléfono Celular				
Correo Electrónico												
Representante Legal												
RUT										-	Nombre Representante Legal	
Dirección Particular/Comercial												
Comuna		Región										
Teléfono Fijo		Teléfono Celular						Correo Electrónico				
4.- Firmas de responsabilidad												
<p>1. El instalador o profesional de la instalación que se inscribe, declara que se ha ejecutado conforme al proyecto que se adjunta y que cumple con los decretos y cuerpos normativos que corresponden con esta instalación</p>										<p>_____</p> <p>Firma Instalador</p>		

<p>2. El propietario o representante legal de la instalación que se inscribe declara conocer el artículo 148° del DFL 1 de 1982, del Ministerio de Minería, y asume la responsabilidad de mantenerla cumpliendo con las normas de seguridad correspondientes en vigencia.</p>	<p>_____</p> <p>Firma Propietario</p>
<p>3. USO EXCLUSIVO DE SEC</p> <p>N° de FOLIO : _____ FECHA: _____</p>	<p>_____</p> <p>Firma Funcionario</p>

Esta inscripción no constituye aprobación por parte de SEC.

Las modificaciones de las condiciones originales de la instalación dejan sin efecto el presente documento.

El presente documento es válido para poner en servicio la Instalación Fotovoltaica conectada a red comunicada.

CONFIGURACIÓN DESCONEXIÓN DE UNIDAD DE GENERACIÓN				
Funciones	Ajustes		Tiempos	
Protección contra caídas de tensión V<	V	0,80 V _n	ms	≤100 ms
Protección contra sobretensiones (media 10-minutos) V>	V	1,10 V _n	ms	≤100 ms
Protección contra sobretensiones breves V>>	V	1,15 V _n	ms	≤100 ms
Protección contra caída de la frecuencia F<	Hz	47,50 Hz	ms	≤100 ms
Protección contra subidas de la frecuencia F>	HZ	51,50 Hz	ms	≤100 ms

AJUSTES PARA CONEXIÓN Y RECONEXIÓN DE UNIDAD DE GENERACIÓN

Rango	Ajustes		Tiempos	
Límite inferior de tensión V<	V	0,85 V _n	s	≥ 60 s
Límite Superior de tensión V>	V	1,10 V _n		
Límite inferior frecuencia F<	Hz	47,50 Hz		
Límite Superior frecuencia F>	HZ	50,20 Hz		
Tiempo de reconexion para interrupciones breves (menor a 3s)			≥ 5 s	

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Fabricante Unidad de Generación	
Tecnología de Unidad de Generación	<input type="checkbox"/> Sistemas basado en convertidores <input type="checkbox"/> Sistemas basados en máquinas sincrónicas <input type="checkbox"/> Sistemas basados en máquinas asincrónicas <input type="checkbox"/> Otros **
Fabricante del convertidor	
Certificados requeridos (*)	

Nota (*): En la celda certificados requeridos, se debe ingresar todos los certificados requeridos, ingresando el organismo emisor del certificado, individualizando el producto y en número de identificación del certificado y la fecha de emisión. Para los casos de autorizaciones deberá registrar, El producto y modelo con El N°, Fecha y ACC de Resolución EX. Para tal efecto agregue las filas que estime necesario, indicando la información requerida por producto.

Nota ():** Requiere ser especificado y debe estar en el marco de la Ley 20.571. Para tal efecto agregue una fila, indicando la información específica de la tecnología de UG.

Anexo H. Formulario 5: Notificación de conexión

Identificación de la Solicitud de Conexión Asociada:	Número de Solicitud:	
	Número de Cliente:	
	Fecha de la solicitud:	

Datos del Dueño del Inmueble

Persona natural o representante legal	Nombre completo	
	R.U.N.	
Persona jurídica (si corresponde)	Razón Social	
	R.U.T.	

Datos del Solicitante

Persona natural o representante legal	Nombre completo	
	R.U.N.	
Persona jurídica (si corresponde)	Razón Social	
	R.U.T.	
Datos de Contacto	Nombre completo	
	Teléfono y/o e-mail	

Lugar de Instalación

Dirección de la instalación	Calle, número	
	Comuna, Ciudad	

Características del Equipamiento de Generación

Capacidad Instalada del EG:	_____ [kW]	
Tecnología del EG:	<input type="checkbox"/> A. Sistemas fotovoltaicos sin capacidad de inyectar energía a la red a partir de algún sistema de almacenamiento de energía <input type="checkbox"/> B. Sistemas basado en inversores, excluyendo el anterior <input type="checkbox"/> C. Sistemas basados en máquinas sincrónicas <input type="checkbox"/> D. Sistemas basados en máquinas asincrónicas	
Fuente Energética Primaria:	<input type="checkbox"/> solar <input type="checkbox"/> hidráulica <input type="checkbox"/> eólica <input type="checkbox"/> cogeneración <input type="checkbox"/> con sistema de almacenamiento de energía <input type="checkbox"/> otro: _____	
Combustible:	(Sólo para cogeneración) <input type="checkbox"/> biogas <input type="checkbox"/> biomasa <input type="checkbox"/> gas natural <input type="checkbox"/> petróleo	
Instalador	Nombre completo	
	R.U.N.	
	Clase	
	Certificado Instalador	
	Fono y/o e-mail	
Datos de la Declaración	N° Folio	
Puesta en Servicio SEC	Fecha de Inscripción	

Documentos Adjuntos

Mandato autorizado ante notario con vigencia no anterior a 30 días contados desde la fecha de presentación de esta NC (Solo en caso que el solicitante no sea el propietario del inmueble	<input type="checkbox"/>
Descripción de las características técnicas esenciales de acuerdo a lo establecido en la normativa vigente o en las instrucciones que al efecto dicte la Superintendencia	<input type="checkbox"/>
El o los certificados de aprobación o la autorización de comercialización y uso de la(s) Unidad(es) de Generación y demás componentes del EG que así lo requieran.	<input type="checkbox"/>
Se adjunta copia de Declaración de Puesta en Servicio del EG por el Usuario o Cliente Final ante la Superintendencia	<input type="checkbox"/>
Se adjunta copia del formulario de declaración TE4 y sus documentos respectivos	<input type="checkbox"/>
Lugar y fecha	Firma del Cliente o Usuario Final

Anexo I. Formulario 6: Protocolo de conexión de un EG

Identificación de la Solicitud de Conexión Asociada:	Número de Solicitud:	
	Número de Cliente:	
	Fecha de la solicitud:	
Dirección de la instalación	Calle, número	
	Comuna, Ciudad	
	Lugar de instalación	
	Teléfono, e-mail	
Características del Equipamiento de Generación		
Capacidad Instalada del EG:	_____ [kW]	
Tecnología del EG:	<input type="checkbox"/> A. Sistemas fotovoltaicos sin capacidad de inyectar energía a la red a partir de algún sistema de almacenamiento de energía <input type="checkbox"/> B. Sistemas basado en inversores, excluyendo el anterior <input type="checkbox"/> C. Sistemas basados en máquinas sincrónicas <input type="checkbox"/> D. Sistemas basados en máquinas asincrónicas	
Fuente Energética Primaria:	<input type="checkbox"/> solar <input type="checkbox"/> hidráulica <input type="checkbox"/> eólica <input type="checkbox"/> cogeneración <input type="checkbox"/> con sistema de almacenamiento de energía <input type="checkbox"/> otro: _____	
Combustible:	(Sólo para cogeneración) <input type="checkbox"/> biogas <input type="checkbox"/> biomasa <input type="checkbox"/> gas natural <input type="checkbox"/> petróleo	
Verificación de Requerimientos Generales:		Cumple:
		SÍ NO
Equipos de medición estén en conformidad a lo dispuesto en esta norma técnica y demás normativa aplicable.		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Valores de ajuste de la Protección RI en conformidad con NT.		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Valor de ajuste de sobretensión $V>$ de la Protección RI más cercana a la conexión a la red corresponda a 1,1 Vn.		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Tiempo de desenergización obtenido de la Prueba de Desconexión menor a 2 segundos.		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Verificación de la correcta operación del disparo de la Protección RI sobre el Interruptor de Acoplamiento (solo en caso de EGs con Protección RI centralizada).		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Protección RI sellada o protegida con contraseña. Nota: Esta contraseña no debe ser conocida por el Usuario o Cliente Final.		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Cumple todos los requerimientos anteriores:		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Nombre y Firma de responsable de la Empresa Distribuidora	Nombre y Firma del Técnico Autorizado	
Fecha y hora:		