



# Efectos por la interconexión de generación distribuida en el sistema de protección de sobrecorriente

**Effects of distributed generation interconnection on the overcurrent protection system**

Centro Sur.  
Social Science Journal  
Julio – Diciembre Vol 4 No 2  
<http://centrosureditorial.com/index.php/revista>  
eISSN: 2600-5743  
[revistacentrosur@gmail.com](mailto:revistacentrosur@gmail.com)  
Recepción: 5 julio 2019  
Aprobación 9 noviembre 2019  
Pag 46 - 58

Atribución/Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0  
Licencia Pública Internacional  
CC BY-NC-SA 4.0  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/legalcode.es>

Marcelo Rodrigo García Saquicela<sup>1</sup>  
Jefferson Agustín Gorozabel Bizueta<sup>2</sup>  
Jorge Murillo Oviedo<sup>3</sup>

## Resumen

El presente trabajo de investigación se enfoca en la determinación de los efectos que puede generar la interconexión de generación distribuida en el sistema de protección eléctrico de sobrecorriente de una red de distribución radial mediante simulaciones que emulen el comportamiento real de las diferentes magnitudes eléctricas en la red. Se utiliza como caso de estudio la red de distribución troncal (alimentador) 13,8kV Vía Buena Fe y su sistema de protección de sobrecorriente principal.

**Palabras clave:** red, sobrecorriente, electricidad

## Abstract

This research work focuses on determining the effects that the distributed generation interconnection can generate in the electrical overcurrent protection system of a

radial distribution network by means of simulations that emulate the real behavior of the different electrical quantities in the network. The 13.8kV Vía Buena Fe trunk distribution network (feeder) and its main overcurrent protection system are used as a case study.

<sup>1</sup> Master en ingeniería eléctrica. Unicamp. São Paulo - Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4535-5206>  
Email: [mgarcias@uteq.edu.ec](mailto:mgarcias@uteq.edu.ec) . Google scholar: <https://scholar.google.es/citations?hl=es&user=5UfP0hMAAAJ>

<sup>2</sup> Ingeniero eléctrico. Universidad técnica estatal de Quevedo. Quevedo, Ecuador. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8058-0698>. Email: [jefferson.31.gorozabel@gmail.com](mailto:jefferson.31.gorozabel@gmail.com) Google scholar: <https://scholar.google.es/citations?hl=es&user=bNCXzigAAJ>

<sup>3</sup> Master en gestión tecnológica. Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6812-0795>. Email: [jmurillo@uteq.edu.ec](mailto:jmurillo@uteq.edu.ec) . Google scholar: <https://scholar.google.es/citations?hl=es&user=SlwZZtkA>

**Key words:** network, overcurrent, electricity

## Introducción

El rápido crecimiento de la demanda de energía eléctrica ha llevado a considerar la interconexión de unidades pequeñas de generación eléctrica dentro del SEP, las mismas que adoptan el nombre de Generación Distribuida (GD).

De acuerdo con datos del CIGRE de 1999, en diversos países del mundo se ha incrementado el porcentaje de la potencia instalada de GD, en relación con la capacidad total instalada. Un ejemplo de estos países son Dinamarca y Holanda que actualmente alcanzan valores del 37% respecto a las unidades de GD conectadas a la red [1]. Varios investigadores definen a la generación distribuida como:

“Instalaciones eléctricas de generación conectadas a un sistema eléctrico de distribución a través de un Punto Común de Conexión (PCC) ” [2]. Si bien es consentido que la GD sea conectada al sistema de transmisión, en general esta es conectada en las redes de distribución. Independientemente del caso que sea, la idea primordial es que la GD debe ser conectada lo más cerca posible a la carga en cuestión [3]. Por otra parte [4], define a la protección eléctrica como “la ciencia, la habilidad y el arte de aplicar y configurar relés y/o fusibles para proporcionar la máxima sensibilidad a fallas y condiciones indeseables en el sistema, pero evitando su funcionamiento en todas las condiciones permisibles o tolerables” con la finalidad de brindar seguridad ante situaciones anormales en los sistemas eléctricos.

Entonces el simple hecho de introducir una unidad de GD en un sistema eléctrico de distribución radial que posee un flujo unidireccional que viaja desde los transformadores de distribución de las subestaciones hacia las cargas finales.

Idealmente se establece que la continuidad del servicio eléctrico no deberá ser perturbado por ninguna variable, pero en realidad una situación anormal puede presentarse en cualquier instante de tiempo poniendo en riesgo la continuidad del servicio eléctrico y la integridad de los equipos instalados en el sistema de distribución, es por esto que actualmente un sistema de protección eléctrica funcional debe ser el seguro que salvaguarde la continuidad del servicio eléctrico y proteja a los equipos instalados.

se considera que la incorporación de la Generación Distribuida en un sistema eléctrico de distribución radial generará una serie de inconvenientes que afectan directamente al sistema de protección eléctrica de los cuales se destacan.

Variaciones en el valor de las corrientes de cortocircuito ( $I_{CC}$ ).

Pérdida de coordinación entre dispositivos de protección.

Disparos involuntarios de las protecciones eléctricas.

Retardo en los tiempos de operación.

Al efectuar un análisis previo sobre los efectos que pueden presentarse en el sistema de protección de sobrecorriente del alimentador a causa de la interconexión de GD, se estará obteniendo información primordial que ayudara a prever posibles escenarios donde la corriente de cortocircuito generada por una falla cause mucho daño.

Varios países adoptan la norma Standard IEEE 1547 (Standard for Interconnecting Distributed Resources With Electric Power Systems), la cual determina una serie de ítems que hablan sobre la influencia de la GD en los actuales sistemas eléctricos, se utilizará esta norma para determinar e identificar los efectos que generara la interconexión de GD en el sistema de protección de sobrecorriente del alimentador de 13,8kV Vía Buena Fe.

El presente trabajo de investigación pretende mostrar el impacto que tiene la GD en el sistema de protección de sobrecorriente de una red de distribución radial, utilizando como caso de estudio el alimentador de 13,8kV Vía Buena Fe y su sistema de protección de sobrecorriente principal con la finalidad de:

Demostrar que los efectos que causa la GD en el sistema de protección de sobrecorriente en una red de distribución radial, varían en relación a la ubicación de la falla, ubicación de la GD y el número de unidades de GD.

Que los criterios utilizados para identificar los efectos generados en el sistema de protección de sobrecorriente por la interconexión de GD sean de ayuda, para próximas investigaciones que contemplen al sistema de protección eléctrica como tema principal.

Que la investigación realizada sea de utilidad para cualquier usuario que desee tener un sistema de GD conectado al alimentador en estudio, comprendiendo los efectos que este puede generar al sistema de protección del alimentador.

## **Materiales y métodos**

El proyecto de investigación está centrado en el análisis de los efectos que causaría la generación distribuida al sistema de protección de sobrecorriente en la red distribución troncal (alimentador) de 13,8kV, que se encuentra en la ciudad de

Quevedo esta red de distribución tiene inicio en la subestación Quevedo nueva ubicada en las coordenadas X=670313; Y=9890687 y termina en el seccionamiento Quevedo-Buena Fe ubicado en la coordenadas X=667545; Y=9899491 con una longitud de 10km.

Se emplea la investigación tipo diagnóstico con el fin de conocer los efectos que se presentaran en el sistema de protección de sobrecorriente ya existente de la red de distribución troncal (alimentador) 13,8kV vía Buena Fe al interconectar la GD. Esta nos permite identificar estudios previamente realizados, que consideren los efectos causados por la interconexión de GD sobre las protecciones eléctricas en las redes de distribución mediante el uso de fuentes de carácter documental, teórico y aplicativo.

Para analizar los efectos sobre el sistema de protección de sobrecorriente se simulará un sistema de distribución balanceado con una demanda máxima, utilizando el software DIgSILENT PowerFactory Student.

Se analizará los niveles de voltaje para comprobar la estabilidad de la red y los niveles de corriente en los nodos significativos sin la presencia de GD.

Se analizará el comportamiento del sistema de protección de sobrecorriente del alimentador sin GD, bajo condiciones normales de operación y frente a una falla transitoria con una demanda máxima para tres escenarios diferentes.

Se analizará de la misma forma los niveles de voltajes y corriente nominal en los nodos más significativos del alimentador al interconectar la GD para tres casos diferentes.

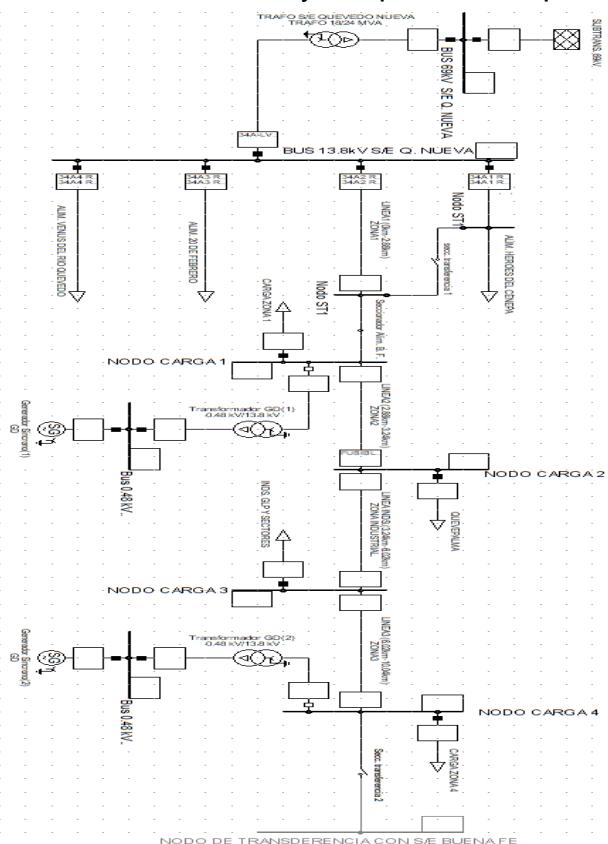
Se analizará los efectos manifestados en el sistema de protección de sobrecorriente del alimentador para tres escenarios de falla, pero esta vez con GD conectada en tres casos diferentes.

Se utilizará la función de fallas del software DIgSILENT PowerFactory Student, que nos permitirá obtener las corrientes de cortocircuito mínimas y máximas de una falla monofásica transitoria. Con la finalidad de analizar los efectos generados en el sistema de protección de sobrecorriente cuando la unidad de GD es interconectada al alimentador. Como instrumentos para la investigación se logró obtener datos técnicos del alimentador los cuales fueron facilitados por la empresa eléctrica CNEL Guayas-Los Ríos ubicada en la cuidada de Quevedo, además de los datos que

ofrece el portal web Geoportal CNEL que también ofrece una perspectiva actual del diagrama unifilar del alimentador con sus dispositivos de protección. Para modelar la unidad de GD, se obtuvo información de investigaciones previas que abarca como tema de estudio a la generación distribuida, las cuales cuentan con tablas que muestran los principales datos técnicos para simular una unidad de GD con características similares a las estipuladas en la norma IEEE Std. 1547. [7]

## Resultados

Para la configuración del alimentador se empleó información técnica de los equipos instalados (transformador, conductores aéreos, fusibles, reconectadores, relés y seccionadores), además de los datos de ajuste para los dispositivos de protección.



**Figura 1.** Diagrama unifilar alimentador 13.8kV Vía Buena Fe (Quevedo-Ecuador) con dos fuentes de generación distribuida. Fuente: DlgSILENT PowerFactory Student. Elaborado por: Gorozabel J. (2019).

De acuerdo a la figura 1 la simulación se enfoca totalmente en el circuito primario (trifásico), el mismo que cuenta con una longitud de 10.04km, con una línea de distribución aérea de aluminio desnudo calibre 2/0 ACSR, un reconectador en la cabecera y un fusible de 100kA ubicado antes del nodo 2 que alimenta la empresa Quevepalma, la energización del alimentador se da por medio de un transformador

de potencia trifásico de 18MVA con una relación de transformación de 69kV/13.8kV el alimentador cuenta con una carga instalada de 4.15 MVA y con una demanda máxima actual de 1.97 MW y 0.65 MVAR en horas pico.

El caso de estudio se refleja la interconexión de dos unidades de GD en el alimentador, ambas unidades poseen características idénticas logrando una operación en paralelo.

La penetración de las dos fuentes de generación distribuida en el alimentador se da de acuerdo a la siguiente proporción.

$$\% \text{ Nivel}_{GD} = \frac{P_{GD}}{P_{load}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Nivel}_{GD} = \frac{1,99 \text{ MW}}{1,97 \text{ MW}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Nivel}_{GD} = 101\% \approx 100\%$$

$$\% \text{ Dispersión}_{GD} = \frac{\# \text{ nodos}_{GD}}{\# \text{ nodos}_{load}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Dispersión}_{GD} = \frac{2}{4} \times 100\%$$

$$\% \text{ Dispersión}_{GD} = 50\%$$

Los niveles de voltaje del alimentador en este caso de estudio, se puede constatar que indiferente a que el nivel de penetración de ambas unidades de GD en el alimentador es del 100%, el perfil de voltaje de los nodos referenciales del alimentador siguen estando dentro del rango establecido del  $\pm 5\%$ .

**Tabla 1.** Voltajes en p.u. del alimentador con dos fuentes de GD.

Nodos referenciales	Voltaje L-L (kV)	V p.u.
Bus MT S/E Q. Nueva	13,7	0,99
Nodo carga 1	13,8	1,00
Nodo carga 2	13,8	1,00
Nodo carga 3	13,7	0,98
Nodo carga 4	13,7	0,98

---

**Fuente:** DlgSILENT PowerFactory Student. **Elaborado por:** Gorozabel J. (2019).

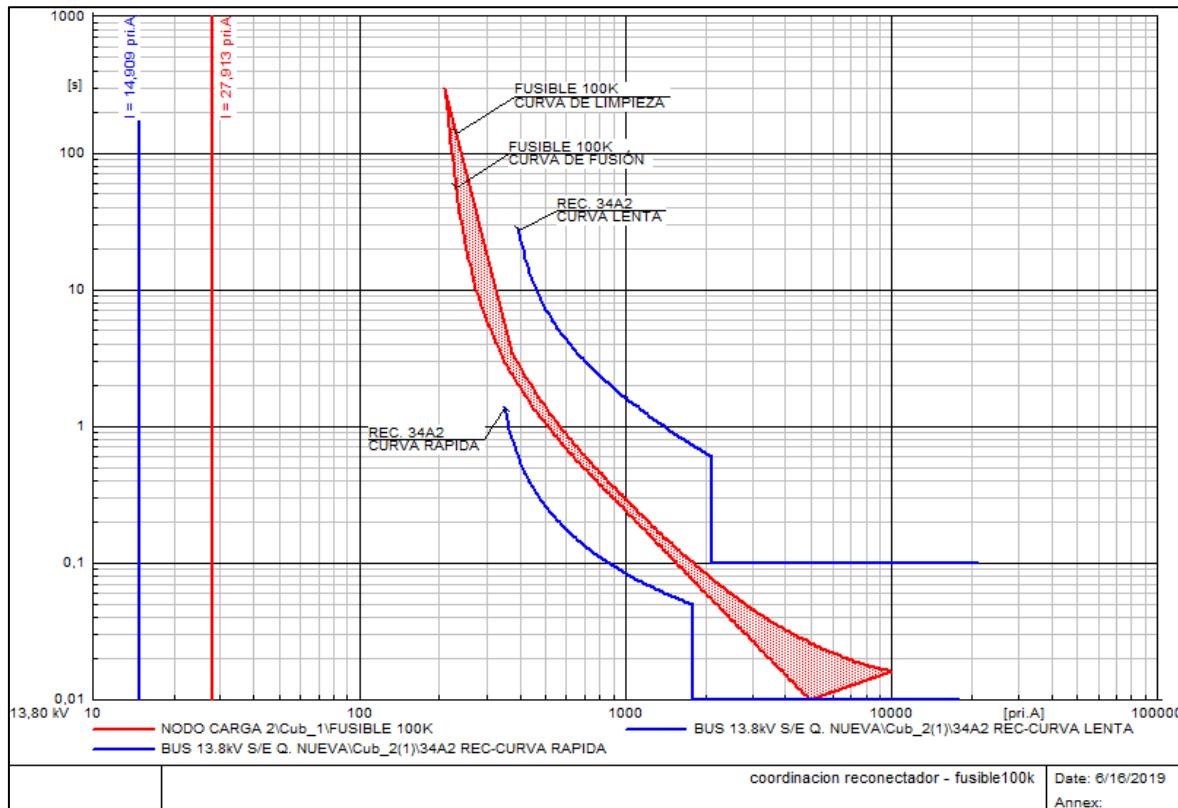
La tabla 2 muestra las corrientes nominales de los nodos referenciales del alimentador incluyendo los niveles de corriente nominal que entregan las unidades de GD en los PCC.

**Tabla 2.** Corriente nominal del alimentador caso de estudio.

Nodos referenciales	Corriente nominal (kA)
Bus MT S/E Q. Nueva	0,210
Cabecera del alimentador MT	0,015
Nodo carga 1	0,015
Nodo carga 2	0,028
Nodo carga 3	0,016
Nodo carga 4	0,008
PCC Unidad de GD 1	0,046
PCC Unidad de GD 2	0,046

**Fuente:** DlgSILENT PowerFactory Student. **Elaborado por:** Gorozabel J. (2019).

Comparados estos valores de corriente con los nominales antes de la entrada de las unidades de GD, se ven cambios, que a su vez afectaran a los dispositivos de protección de sobrecorriente, ahora en este escenario dichos dispositivos de protección detectan menos corriente, para tal efecto se simulara su comportamiento en la figura 2.



**Figura 1.** Corrientes nominales observadas por los dispositivos de protección caso de estudio. Fuente: DLgSILENT PowerFactory Student. Elaborado por: Gorozabel J. (2019).

Con esta simulación se establece la nueva  $I_n$  censada por los dispositivos de protección:

**Tabla 3.**  $I_n$  Censada por los dispositivos de protección.

Dispositivo de protección	$I_n$ (kA) sin GD	$I_n$ (kA) con GD	Disminución (%)
Reconectador 34A2	0,091	0,014	84,61
Fusible 100k	0,075	0,027	64,47

Fuente: DLgSILENT PowerFactory Student. Elaborado por: Gorozabel J. (2019).

La operación del sistema de protección de sobrecorriente se resume en la tabla 4, para los tres escenarios donde se generó una falla transitoria.

**Tabla 4.** Efectos en el sistema de protección por conexión simultanea de GD.

Escenario	Dispositivo	Efecto	Causa
Escenario1 $I_{CC}$ min y máx.	Rec. 34A2	-----	-----
	Fusible 100k	Falso disparo	Contribución de $I_{CC}$ por parte de la unidad de GD 2
Escenario 2 $I_{CC}$ min y máx.	Rec. 34A2	-----	-----
	Fusible 100k	Fatiga	Contribución de $I_{CC}$ por parte de la unidad de GD 1
Escenario 3 $I_{CC}$ min y máx.	Rec. 34A2	Falso disparo	Contribución de $I_{CC}$ por parte de la unidad de GD 1 y 2
	Fusible 100k	Falso disparo	Contribución de $I_{CC}$ por parte de la unidad de GD 2

**Fuente:** DlgSILENT PowerFactory.

**Elaborado por:** Gorozabel J. (2019).

Mediante las simulaciones se observa que el flujo de potencia, con presencia de GD reduce las pérdidas totales presentes en el alimentador, esto se puede traducir como un ahorro económico y un aumento en la eficiencia del sistema de distribución, como [1], [7], [20] lo demuestran en sus investigaciones.

Por otra parte la contribución de corriente de las unidades de GD en el alimentador ocasiona la variación de los niveles de corriente nominal y de cortocircuito, causando que los ajustes preestablecidos de los dispositivos de protección presentes en un sistema radial se vean afectados, como lo determinan [2], [6], [12] en sus trabajos que investigan los efectos que genera la interconexión de GD en una red de distribución radial.

La incorporación de GD en un sistema de distribución radial puede generar cambios positivos como negativos los cuales pueden afectar el correcto funcionamiento de los equipos instalados, pero estos cambios estarán estrechamente ligados a las siguientes variables:

1. La ubicación de la falla.
2. La ubicación de las unidades de GD.
3. El número de unidades de GD presentes en la red.

Al utilizar estas variables en diferentes casos y escenarios los efectos resultantes en la red y en sus equipos de protección eléctrica instalados serán diferentes, es decir, que si la ubicación de la falla y la ubicación de la unidad de GD cambian de posición los efectos generados estarán relacionados a este cambio, lo mismo sucederá si se aumenta el número de unidades de GD en la red o la capacidad de generación es aumentada o reducida, esta acción cambiaria los índices de penetración de la unidad de GD en la red, afectando directamente el nivel de corriente para un estado estable y frente a una falla inesperada generando una descoordinación del sistema de protección.

## **Conclusiones**

Los efectos causados por la GD en los sistemas de protección de sobrecorriente de un sistema de distribución radial se deben al aumento y disminución de la corriente de cortocircuito y al flujo de potencia bidireccional, los cuales desembocan en una

serie de efectos secundarios que afectan directamente a los dispositivos de protección (falso disparo, fusión del fusible y fatiga del fusible).

El estado actual del alimentador de 13,8kV ubicado en la Vía Buena Fe con una demanda máxima, es considerado estable, pero la simulación demuestra que cuenta con una caída de voltaje de 13,0kV (0.94 p.u.) en el tramo final, es decir, que si la demanda aumente esta caída de voltaje causara que el servicio eléctrico del alimentador sea deficiente.

La operación del sistema de protección de sobrecorriente principal del alimentador sin GD es efectivo, logrando despejar una falla monofásica transitoria para dos escenarios diferentes con un tiempo de operación menor a los 150ms, por medio de la característica instantánea de la curva rápida del reconnectador 34A2.

Para los tres casos de estudio donde la GD es interconectada en el alimentador se aprecia una mejora del perfil de voltaje, por otra parte hay un cambio en los niveles de corriente nominal del alimentador, observándose una disminución de esta en cada caso, este efecto se relaciona directamente a la segunda ley de Kirchhoff.

Los efectos del sistema de protección de sobrecorriente del alimentador por la interconexión de GD varían en relación a la ubicación de la falla, la ubicación de la unidad de GD y al número de unidades de GD presentes en el alimentador. Obteniendo como resultado en los casos analizados el efecto de falso disparo por parte del reconnectador 34A2 y del fusible 100k, además del efecto de fatiga sobre fusible 100k.

## Referencias

C. E. S. Soto, "Efectos de la Generación Distribuida sobre los Sistemas de Protección de una Red de Distribución Radial Típica en 10 kV de la ciudad de Arequipa," Universidad Nacional De San Agustín, 2014.

J. A. Morales Vallejo, "Coordinación de Protecciones en Sistemas de Distribución con Generación Distribuida," Instituto Politecnico Nacional, 2007.

G. Pepermans, J. Driesen, D. Haeseldonck, R. Belmans, and W. D'haeseleer, "Distributed generation: Definition, benefits and issues," *K U. Leauve Energy Institute, Energy Policy*, vol. 33, no. 6, pp. 787–798, 2003.

T. J. d J. Lewis Blackburn, *Protective Relay Principles*. United states of america,

2009.

W. Mendieta, "Effect of DGs on Protection Practices in Distribution Systems . by," Waterloo, Ontario, Canada, 2017.

J. A. Martinez and J. Martin-Arnedo, "Impact of distributed generation on distribution protection and power quality," *2009 IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet. PES '09*, pp. 1–6, 2009.

[C. H. V. Hugo, "Impacto de la Generación Distribuida en Redes de Distribución, Aplicación Central Hidroeléctrica Mira," Escuela Politécnica Nacional, 2014.

ARCONEL, "Regulación 004/18-Distribución y Comercialización de Energía Eléctrica." Quito-Ecuador, p. 46, 2018.

A. Jorge and S. Lara, "Diseño e Implementación de una hoja de cálculo para efectuar La Coordinación de Protecciones Eléctricas en Medio Voltaje," ESPE, 2014.

D. P. P. Fernando, "Efectos en la masificación de unidades de GD en los sistemas de protección de sobrecorriente de las redes de distribución," Universidad de Chile, 2013.

S. P. G. Enrique and A. A. R. Vicente, "Coordinación de Protecciones de la Refinería Shushufindi Considerando el Ingreso de un Nuevo Turbogenerador de 5 MW," Universidad de Cuenca, 2018.

C. J. D. Urbina, "Análisis del impacto sobre las protecciones eléctricas al instalar sistemas solares fotovoltaicos en una red de distribución con nivel de tensión 13.2 kV," Universidad Nacional de Colombia, 2015.

R. Samuel, *Protección de Sistemas Eléctricos*, Primera Ed. Manizales-Colombia, 2014.

O. E. T. Breffe, "Protecciones Eléctricas de las Redes de Distribución," in *Conferencia 5 Selección de fusibles y su Coordinación*, p. 17.

O. E. T. Breffe, "Protecciones Eléctricas de las Redes de Distribución," in *Conferencia 6 Selección de Reconectadores y su Coordinación*, 2015, p. 10.

A. Grgis and S. Brahma, "Effect of distributed generation on protective device coordination in distribution system," *IEEE Clen. Univ. Electr. Power Res.*

Assoc., pp. 115–119, 2001.

Fernercom, “Guía Básica de la Generación Distribuida,” *Fund. la Energía la Comunidad Madrid*, p. 65, 2007.

A. A. C. Priyangika, W. D. A. S. Wijayapala, and H. M. Wijekon Banda, “The impact of distributed generation on transmission and distribution losses in Sri Lankan power system,” *IEEE 1st Int. Conf. - EECon 2016 2016 Electr. Eng. Conf.*, pp. 54–58, 2017.

Y. C. J. Andrés, “Estudio Técnico-Económico Sobre la Implementación de Generación Distribuida en el Sistema Eléctrico Ecuatoriano,” Escuela Politécnica Nacional, 2011.

H. A. T. Riasco, “Impacto en la estabilidad de un sistema de potencia al integrar generación distribuida,” Universidad Tecnológica de Pereira, 2008.

ARCONEL, “Regulación 004/15-Requerimientos Técnicos para la conexión y operación de generadores renovables no convencionales a las redes de transmisión y distribución.” p. 18, 2015.

I. S. C. Committee, “Application Guide for IEEE Std 1547 , Standard for Interconnecting Distributed Resources With Electric Power Systems,” *IEEE Stand. Coord. Comm. 21 Fuel Cells, Photovoltaics, Dispersed Gener. Energy Storage*, no. April, p. 229, 2007.

J. Liu and J. Zhang, “Effect of Distributed Generation on Power Supply Reliability of Distribution Network,” *IEEE 8th Int. Conf. Grid Distrib. Comput. Eff.*, pp. 32–35, 2015.

M. Milton and C. Quinteros, “Análisis de Generación Distribuida en Hogares y Edificaciones,” Universidad Politécnica Salesiana Sede-Quito, 2014.

M. Zhang and J. Chen, “Islanding and Scheduling of Power Distribution,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 30, no. 6, pp. 3120–3129, 2015.

D. Correa, “Metodologias Para Análise Do Risco De Ocorrência De Ilhamentos Não Intencionais De Geradores Síncronos Distribuídos,” Universidade Estadual De Campinas Faculdade, 2008.