



## **Estabilidad del Voltaje en Redes Eléctricas con la Integración de Sistemas Fotovoltaicos: Una Revisión Crítica de los Desafíos y Soluciones**

*Voltage Stability in Power Grids with the Integration of Photovoltaic Systems: A Critical Review of the Challenges and Solutions*

**Autores:**

Pedro Antonio, Mejía-Toro<sup>1</sup>



<https://orcid.org/0009-0007-1831-8139>

Steven Rubén, Briones Giler<sup>1</sup>



<https://orcid.org/0009-0004-9940-7712>

Maria Rodríguez-Gómez<sup>2</sup>



<https://orcid.org/0000-0003-3178-0946>

Lucio Alfredo Valarezo-Molina<sup>2</sup>



<https://orcid.org/0000-0003-0490-7542>

Julio Cesar Mera-Macias<sup>2</sup>



<https://orcid.org/0000-0002-4035-4159>

**Institución y País**

<sup>1</sup>Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Posgrado, Portoviejo, Manabí, Ecuador.

[pmejia3197@utm.edu.ec](mailto:pmejia3197@utm.edu.ec), [sbriones7442@utm.edu.ec](mailto:sbriones7442@utm.edu.ec)

<sup>2</sup>Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Portoviejo, Manabí, Ecuador

[maria.rodriguez@utm.edu.ec](mailto:maria.rodriguez@utm.edu.ec), [lucio.valarezo@utm.edu.ec](mailto:lucio.valarezo@utm.edu.ec), [julio.mere@utm.edu.ec](mailto:julio.mere@utm.edu.ec)

**Recepción:** 10 de agosto de 2024

**Aceptación:** 19 de octubre de 2024

**Publicación:** 05 de diciembre de 2024

**Citación/como citar este artículo:** Mejía-Toro, P., Briones Giler, S., Rodríguez-Gómez, M., Valarezo-Molina, L y Mera-Macias, J. (2024). Estabilidad del Voltaje en Redes Eléctricas con la Integración de Sistemas Fotovoltaicos: Una Revisión Crítica de los Desafíos y Soluciones. Ideas y Voces, 4(3), Pág. 189-203.



## **Resumen**

Debido a la variabilidad e intermitencia de la generación solar, la creciente integración de sistemas fotovoltaicos en las redes eléctricas presenta desafíos significativos para la estabilidad del voltaje. El objetivo principal fue evaluar críticamente los desafíos y soluciones relacionadas con la estabilidad tensión en las redes eléctricas con la integración de los sistemas fotovoltaicos. Se utilizó la metodología cualitativa, enfocada en una revisión bibliográfica exhaustiva de investigaciones publicadas en los últimos cinco años. Los resultados sugieren que la integración de sistemas fotovoltaicos a gran escala en redes de transmisión puede provocar variaciones de tensión y dificultades de estabilidad transitoria, mientras que, en redes de distribución, la progresiva integración de estos puede inducir flujos de potencia inverso, sobrevoltajes y subvoltajes en las redes que componen el sistema. Las soluciones propuestas incluyen la implementación de tecnologías como controladores avanzados STATCOM y SVC, así como estrategias de control dinámico de potencia reactiva para reducir estos desafíos. Las conclusiones destacan la necesidad de tecnologías avanzadas y estrategias de control para mantener la estabilidad del voltaje y asegurar una integración eficiente de la energía fotovoltaica en redes eléctricas, garantizando de esta manera la sostenibilidad y confiabilidad del sistema eléctrico.

## **Palabras clave:**

Estabilidad del voltaje; Sistemas fotovoltaicos, Redes eléctricas, Energía renovable

## **Abstract**

Due to the variability and intermittency of solar generation, the increasing integration of photovoltaic systems into power grids presents significant challenges to voltage stability. The main objective was to critically evaluate the challenges and solutions related to voltage stability in electrical networks with the integration of photovoltaic systems. Qualitative methodology was used, focused on an exhaustive bibliographic review of research published in the last five years. The results suggest that the integration of large-scale photovoltaic systems in transmission networks can cause voltage variations and transient stability difficulties, while, in distribution networks, the progressive integration

of these. can induce reverse power flows, overvoltages and undervoltages in the networks that make up the system. Proposed solutions include the implementation of technologies such as advanced STATCOM and SVC controllers, as well as dynamic reactive power control strategies to reduce these challenges. The conclusions highlight the need for advanced technologies and control strategies to maintain voltage stability and ensure efficient integration of photovoltaic energy into electrical networks, thus guaranteeing the sustainability and reliability of the electrical system.

**Keywords**

Voltage stability; Photovoltaic systems, Electrical networks, Renewable energy

## Introducción

Históricamente, la planificación y operación de los sistemas eléctricos se han basado en la premisa de contar con fuentes de generación de energía centralizadas, caracterizadas por una alta inercia y disponibilidad controlada (Batalla, 2019), sin embargo, la necesidad de mitigar el cambio climático y reducir la dependencia de combustibles fósiles ha impulsado una transición hacia un mix energético más limpio y sostenible. Este cambio ha promovido la creciente incorporación de energías renovables en la red, lo que representa un reto técnico significativo para el control de los sistemas eléctricos convencionales, especialmente en términos de estabilidad de voltaje (Duarte y Suarez, 2019).

La integración de fuentes variables de energía, al sistema eléctrico como la solar, plantea grandes dificultades para la estabilidad y operación de los sistemas eléctricos, estas afectan no solo las condiciones tradicionales de planificación y operación, sino también el control y la confiabilidad del sistema (Rios et al., 2022), por lo que se debe aumentar la flexibilidad de las redes eléctricas actuales para lograr la integración eficiente y significativa de estas fuentes variables, garantizando así la sostenibilidad energética a largo plazo (Villa y Rendon, 2022).

Según la Agencia Internacional de Energía (AIE), se proyecta que la energía solar contribuirá con un 11% de la generación eléctrica mundial para el año 2050; además estudios estadísticos revelan que el consumo de energía eléctrica solar ha experimentado un incremento anual sostenido de entre el 20% y el 25% en las últimas dos décadas (Páliz, 2021), se estima que para el año 2030, la contribución de energía solar en continentes como Asia, principalmente China, seguirá liderando el mercado de instalaciones de sistemas fotovoltaicos con un 57%, seguido por América del Norte con un 21% y Europa

con 11%, mientras tanto, se prevé un crecimiento en América del Sur del 11% (Hamed y Vahid, 2023).

El aumento progresivo de instalaciones de sistemas fotovoltaicos, tanto centralizadas o distribuidas, se ha convertido en un problema imperativo para las empresas de energía eléctrica. Aunque esta tecnología mejora el rendimiento del sistema al disminuir las pérdidas de potencia (Zambrano, 2022), la alta penetración de energía fotovoltaica y la variabilidad de la irradiación solar, influenciada por factores meteorológicos, causan fluctuaciones en la generación de energía, provocando inestabilidad en el equilibrio entre la oferta y la demanda de electricidad, resultando en variaciones de voltaje en la red (Kulkarni y Virulkar, 2023).

Los problemas comunes asociados con la inestabilidad de voltaje incluyen el deslaste de carga, desconexión de líneas de distribución y la pérdida de sincronismo de las unidades de generación (Quiroz, 2019). Además, las fluctuaciones en la tensión eléctrica pueden llevar a condiciones de sobretensión y subtensión, comprometiendo la estabilidad operativa del sistema eléctrico (Espinoza, 2023). Las variaciones en el voltaje son problemáticas en redes con alta penetración de sistemas solares, requiriendo de estrategias y tecnologías que gestionen eficazmente su integración y mantengan la confiabilidad del sistema eléctrico.

La estabilidad de voltaje se refiere a la capacidad de un sistema de energía para mantener voltajes constantes en todos los buses de la red eléctrica después de haber sido sometido a perturbaciones (Chulde, 2022), esta es esencial para asegurar la sincronización de las unidades generadoras, manteniendo la misma magnitud de voltaje, frecuencia y secuencia de fases en todas las partes del sistema (Velázquez, 2019). Mantener la estabilidad del voltaje es la acción de control que permite el funcionamiento fiable y eficiente de los

sistemas eléctricos, maximizando así los beneficios económicos y ambientales de la integración de energía solar.

Diversos estudios han abordado los desafíos de la estabilidad del voltaje con la integración de sistemas fotovoltaicos, identificando la variabilidad de la generación solar como un factor crítico, considerando tanto aspectos técnicos como económicos. Rios et al. (2022) señalan que es esencial complementar la integración de sistemas fotovoltaicos con tecnologías avanzadas como las redes inteligentes, el almacenamiento de energía y la generación flexible. En este contexto Zetty y Azah (2021), plantean que el uso de almacenamiento de energía y controladores avanzados ha mostrado potencial para mitigar los desafíos en la estabilidad del voltaje, aunque su implementación varía según el contexto regional y el diseño del sistema.

Los sistemas de control avanzados, como los controladores de inversores inteligentes, los sistemas de Compensación Flexible de Transmisión de Corriente Alterna (FACTS), los sistemas de gestión de energía distribuidas juegan un papel fundamental en la estabilización del voltaje. Los autores López y García (2020), concluyeron que la integración de estrategias de control en los inversores puede mitigar los efectos de inestabilidad del voltaje debido a la intermitencia de la generación solar, mejorando la estabilidad del sistema. Otros autores como Guillermo y Cuji (2022), determinaron que la implementación de compensadores estáticos síncronos es una solución viable para los problemas de estabilidad del voltaje, permitiendo mantener la calidad de la energía y la fiabilidad operativa de los sistemas eléctricos.

Además, los efectos de la generación fotovoltaica sobre la estabilidad del voltaje del sistema eléctrico requieren técnicas de análisis estáticos y dinámicos completos. Kawabe y Tanaka (2020) estudiaron el comportamiento dinámico de los sistemas de generación fotovoltaica y concluyeron que las estrategias de control avanzadas, como el dinámico de

potencia reactiva, pueden desempeñar un papel importante en la mitigación de los desafíos asociados con la estabilidad del voltaje en sistemas eléctricos con alta penetración de energía solar.

La literatura muestra el impacto de los recursos de energía solar en la estabilidad del voltaje y las estrategias de mitigación ante perturbaciones. Esta investigación se orienta a evaluar y sintetizar los desafíos técnicos y las soluciones implementadas para mantener la estabilidad del voltaje en redes eléctricas con integración fotovoltaica. El origen de esta investigación surge de la creciente adopción de sistemas fotovoltaicos y los problemas asociados al sistema eléctrico.

El objetivo principal de esta investigación es evaluar de manera crítica los desafíos y técnicas relacionadas con la estabilidad del voltaje en redes eléctricas que integran Sistemas Fotovoltaicos (S.F.), proporcionando una síntesis de la literatura reciente. Además, se pretende examinar las estrategias y tecnologías actuales empleadas para el control y la estabilidad del voltaje en presencia de los sistemas fotovoltaicos en sistemas eléctricos.

### **Metodología**

La metodología empleada en esta investigación se basó en el estudio cualitativo, con un enfoque descriptivo, proporcionando información detallada de los estudios existentes y sus hallazgos en base a la estabilidad del voltaje en redes eléctricas con integración de sistemas fotovoltaicos. Se realizó una revisión bibliográfica que ayudó a conocer los principales desafíos y soluciones vinculadas al sistema eléctrico.

### **Resultados**

Se logró conocer la influencia de los sistemas fotovoltaicos a la estabilidad de la tensión en las líneas eléctricas.

### **Efecto de la integración de la generación fotovoltaica en la estabilidad del voltaje**

Los sistemas fotovoltaicos a gran escala, generalmente se conectan a los sistemas de transmisión; en cambio, a menor escala, estos se integran en los sistemas de distribución, esta clasificación permite una comprensión más profunda de cómo la penetración de la energía fotovoltaica afecta la infraestructura eléctrica en diferentes niveles. Los estudios que se centran en el impacto de los sistemas fotovoltaicos analizan diversos aspectos técnicos, como la estabilidad del sistema, la calidad de la energía, las fluctuaciones de voltaje, la gestión de la potencia reactiva y la inercia del sistema.

### **Impacto de los sistemas fotovoltaicos a los sistemas de transmisión**

La creciente penetración de sistemas fotovoltaicos en los sistemas eléctricos modernos ha introducido preocupaciones significativas en cuanto a la confiabilidad y estabilización del voltaje. Según Velandia (2021), estos problemas surgen porque los S.F. no proporcionan inercia ni regulan la potencia de la misma manera que los generadores convencionales, lo que puede resultar en inestabilidad.

Basados en el análisis de flujo de potencia, Till y You (2020) estudiaron la estabilidad del voltaje en diferentes niveles de penetración fotovoltaica, desde el 0% hasta el 80%, lo que significa que cuando la capacidad del convertidor fotovoltaico se agota, el voltaje de referencia comienza a disminuir drásticamente, como se observa en la figura 1, concluyendo que bajo altas tasas de penetración fotovoltaica regional, el sistema eléctrico puede experimentar sobretensiones debido a la capacidad limitada de estos sistemas para regular la potencia reactiva, siendo este un factor significativo que puede provocar colapsos en el voltaje.

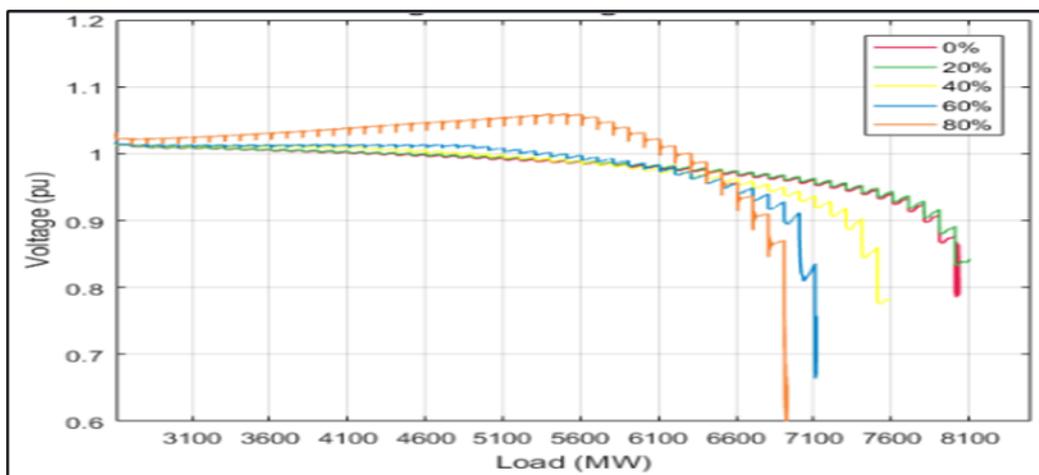


Figura 1. Curvas promedio de potencia-voltaje

Fuente: (Till y You, 2020)

En consecuencia, el aumento en la capacidad de instalación de los sistemas fotovoltaicos y su representación significativa en la generación de energía trae consigo preocupaciones de calidad en la red, tales como armónicos, variaciones en el voltaje, flujo de potencia inverso y descoordinación de equipos de protección de la red (Cutsem y Canizares, 2020). En redes de transmisión, la variabilidad y la intermitencia de la generación de estos causan fluctuaciones de voltaje y problemas de estabilidad transitoria, que son más agudos durante condiciones de baja carga (Genesca et al., 2019).

La penetración de los sistemas fotovoltaicos puede inducir sobrevoltajes cuando la generación excede la demanda local y causa flujo de potencia inverso este efecto fue demostrado por Gallegos y Gandhi (2020) demostraron que, lo que es más problemático en sistemas de transmisión debido a la menor capacidad de absorción de variaciones de potencia; además, Raymond et al. (2024) concluyeron que la inercia reducida asociada con la generación basada en inversores puede agravar los problemas de estabilidad de ángulo de rotor y frecuencia, requiriendo una mayor capacidad de regulación y soluciones innovadoras para mitigar estos efectos.

Ante esta problemática, investigaciones como las de Campaner y Dalles (2019) evaluaron la efectividad de controladores STATCOM y SVC mediante la simulación de un sistema de transmisión de 230 kV con una penetración fotovoltaica del 40% y una capacidad de 500 MW, determinando que antes de la implementación de los controladores, las fluctuaciones de voltaje alcanzaron hasta un 5%, mientras que al integrar al sistema STATCOM y SVC, la desviación de voltaje se redujo a menos del 2%, mejorando significativamente la estabilidad y fiabilidad del sistema durante las horas de alta irradiación solar, manteniendo el perfil de voltaje dentro de los límites operativos.

Otros estudios analizaron la importancia de implementar estrategias de control avanzadas en plantas fotovoltaicas para mejorar la estabilidad del voltaje en sistemas de transmisión. Cliandone et al. (2019) investigaron mediante el uso de modelos matemáticos detallados y simulaciones computacionales, como el control coordinado de voltaje mejora las variaciones de voltaje en un 15% en comparación con los métodos tradicionales, reduciendo las fluctuaciones y mejorando la calidad del suministro eléctrico, factores determinantes en sistemas con alta penetración de energía fotovoltaica.

### **Impacto de los sistemas fotovoltaicos en las líneas eléctricas de distribución**

Los distintos niveles de penetración y las ubicaciones de los sistemas fotovoltaicos instalados en las redes de distribución tienen impactos negativos en la estabilidad del voltaje. La estabilización de la potencia de salida es un criterio importante para determinar el grado de integración de la energía fotovoltaica en redes de distribución activas, considerando la capacidad de carga del sistema (Mesa y Villa, 2023). En este contexto, Sinder y Mariano (2019) destacan que el flujo de potencia inverso puede ocurrir en un sistema de distribución durante periodos de alta generación de sistemas fotovoltaicos y

condiciones de baja carga, lo que plantea serios desafíos para los reguladores de voltaje y el sistema de protección.

En consecuencia, Majid (2019) plantea que redes de distribución de 34 nodos baja tensión con un alto porcentaje de integración de unidades fotovoltaicas acercan el voltaje al umbral de inestabilidad, por otra parte, Vadhera y Rawat (2019) aplicando el método probabilístico de Monte Carlos, determinaron que, para una red de distribución de 33 nodos con generación distribuida, el aumento progresivo de penetración de sistemas fotovoltaicos mejoraría el perfil de voltaje, reduciendo las pérdidas de energía siempre y cuando el nivel de integración de sistemas solares no exceda el 30%.

El impacto en el perfil de voltaje no solo se ve afectado por las condiciones de alta generación fotovoltaica; sino que también se agrava durante las horas de alta demanda, lo que induce a problemas de inestabilidad. Kumar (2024), presenta un estudio de caso, cuyos resultados se muestran en la figura 2, en el que analiza cuatro escenarios en un sistema de distribución de 33 nodos, en el cual para el caso 1 observa que, durante horas de alta carga (12:00 am), el voltaje se acerca a su límite mínimo permisible sin la presencia de integración solar; sin embargo, en el caso 2, al introducir una alta penetración de sistemas fotovoltaicos, el voltaje supera el límite máximo, demostrando la significativa influencia de esta tecnología en las redes de distribución, por consiguiente, en el caso 3, demuestra que los métodos tradicionales de control de voltaje logran estabilizar el perfil de tensión dentro de los límites permisibles, pero los métodos de control automático como los PV-STACTCOM del caso 4, conducen a un perfil de voltaje más efectivo durante las horas de alta generación fotovoltaica. Este estudio subraya la importancia de implementar soluciones avanzadas de control para mantener la estabilidad y eficiencia en redes de distribución con alta penetración solar.

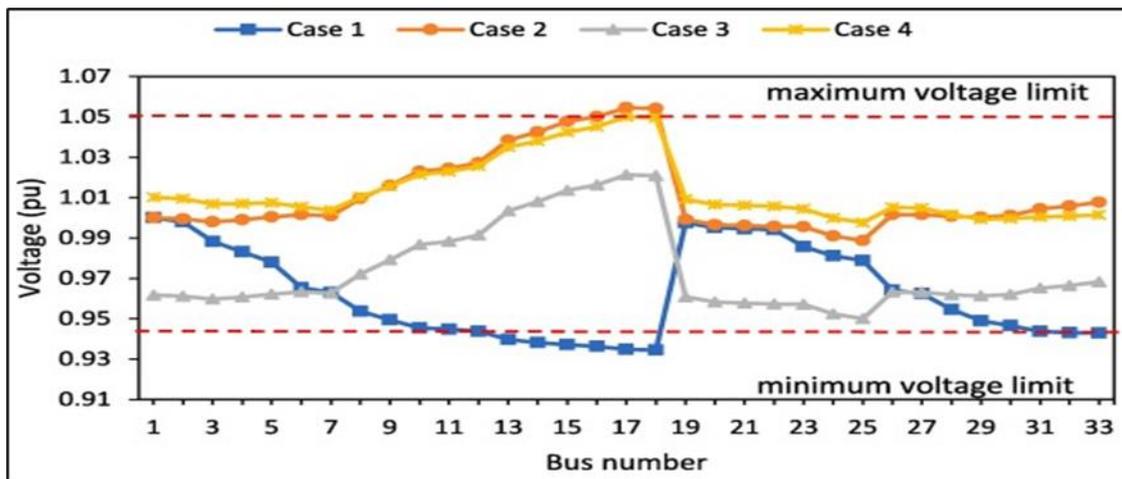


Figura 2. Perfiles de voltaje bajo diferentes casos para un sistema de 33 nodos

Fuente: (Kumar, 2024)

Los inversores fotovoltaicos se consideran un soporte de potencia reactiva rápido y flexible para la regulación de voltaje y la reducción de pérdidas de energía en redes de distribución, pero tradicionalmente, las estrategias de control de voltaje central y local se determina de manera independiente, careciendo de una coordinación entre jerarquías (Haque y Ali, 2021). Zhang y Yan (2019) elaboraron un novedoso método de control de voltaje denominado Control Jerárquico Coordinado de Voltaje/VAR (HC-VVC), el cual permite que la salida de potencia reactiva del inversor minimice las pérdidas de energía en la red y responda a las desviaciones de voltaje en tiempo real, este método se basa en un enfoque de optimización estocástica en múltiples escenarios con modelado probabilísticos de incertidumbre, demostrando que los resultados obtenidos mediante este método son superiores en la minimización de la pérdida de energía y la desviación de voltaje, especialmente en condiciones de alta integración de sistemas fotovoltaicos.

### Discusión / Conclusiones

Se hizo una revisión crítica de los desafíos y soluciones relacionados con la estabilidad del voltaje en redes eléctricas con la integración de sistemas fotovoltaicos. Los hallazgos

indican que la creciente penetración de energía fotovoltaica plantea problemas significativos tanto en redes de transmisión como de distribución, principalmente debido a la variabilidad y la falta de inercia de los sistemas fotovoltaicos. Se identificaron fluctuaciones de voltaje, sobrevoltajes y flujo de potencia inverso como los problemas más comunes, los cuales pueden comprometer la estabilidad del sistema eléctrico.

Las soluciones propuestas en la literatura, como la implementación de controladores avanzados (STATCOM, SVC) y estrategias de control dinámico de potencia reactiva, han demostrado ser efectivas para mitigar estos problemas. Sin embargo, la eficacia de estas soluciones puede variar según el contexto regional y las características específicas del sistema eléctrico.

Para garantizar una integración eficiente y sostenible de los sistemas fotovoltaicos, es fundamental adoptar tecnologías avanzadas y estrategias de control que puedan manejar la variabilidad de la generación solar. Además, es importante seguir investigando y desarrollando nuevas soluciones que permitan mantener la estabilidad del voltaje y mejorar la confiabilidad operativa de las redes eléctricas con alta penetración de energías renovables. Estas medidas no solo contribuirán a la sostenibilidad del sistema eléctrico, sino que también maximizarán los beneficios económicos y ambientales de la integración de la energía solar.

## **Bibliografía**

- Batalla, J. (2019). Retos en la operación del sistema eléctrico en un contexto de transformación del sector energético. Funseam. <https://n9.cl/0wvaz0>
- Campaner, R., & Dalle, M. (2019). Automatic system for voltage control of large photovoltaic systems: Interactions with the transmission grid. *IEEE*, 3(1), 943-948. <https://doi.org/10.1109/ICRERA.2017.8191198>
- Chulde, R. (2022). Estabilidad de Voltaje de Largo Plazo en Sistemas Eléctricos de Potencia Usando Modelos de Carga. *Iteckne*, 19(1), 1692-1798. <https://doi.org/https://doi.org/10.15332/iteckne.v19i1.2545>

- Cliandone, M., Campaner, R., & Milano, F. (2019). Coordinated voltage control of multi-converter power plants operating in transmission systems. The case of photovoltaics. *IEEE*, 5(2), 506-511. <https://doi.org/10.1109/ICCEP.2015.7177537>
- Cutsem, T., & Canizares, C. (2020). Test Systems for Voltage Stability Studies. *IEEE Transactions on Power Systems*, 35(5), 4078-4087. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2020.2976834>
- Duarte, L., & Suarez, M. (2019). Distribución con redes inteligentes: desafíos y ventajas de la integración de los sistemas fotovoltaicos en microrredes. *Agricolae & Habitat*, 1(1), 10-18. <https://doi.org/10.22490/26653176.3520>
- Espinoza, E. (2023). Análisis de fluctuaciones de voltaje en servidores informáticos alimentando por sistemas fotovoltaico híbrido. Universidad Politécnica Salesiana. <https://n9.cl/47alr>
- Gallegos, C., & Gandhi, O. (2020). Review of power system impacts at high PV penetration Part I: Factors limiting PV penetration. *Solar Energy*, 5(2), 21-35. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.06.097>
- Genesca, M., Fernandez, A., & Elomari, Y. (2019). Integration of Solar Photovoltaic Systems into Power Networks: A Scientific Evolution Analysis. *Sustainability*, 6(2), 2-23. <https://doi.org/10.1109/PES.2009.5275321>
- Hamed, H., & Vahid, M. (2023). Solar energy status in the world: A comprehensive review. *Energy Reports*, 10(5), 3474-3493. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.10.022>
- Haque, A., & Ali, K. (2021). Dynamic Voltage Support for Low-Voltage Ride-Through Operation in Single-Phase Grid-Connected Photovoltaic Systems. *IEEE Transactions*, 36(10), 12102 - 12111. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2021.3073589>
- Kulkarni, N., & Virulkar, V. (2023). Enhancing the Power Quality of Grid Connected Photovoltaic System during Fault Ride Through: A Comprehensive Overview. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series B*, 104(5), 821-836. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s40031-023-00870-7>
- Kumar, V. (2024). Multi-stage voltage control in high photovoltaic based distributed generation penetrated distribution system considering smart inverter reactive power capability. *ASEJ*, 15(1), 126-133. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102265>
- Majid, G. (2019). Estabilidad de la tensión en la red de distribución de baja tensión con alta penetración de unidades fotovoltaicas. *Energies*, 11(8), 1960-1972. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/es11081960>
- Mesa, J., & Villa, W. (2023). Impacto de las fuentes de energía renovable en la estabilidad de la tensión y técnicas de evaluación. *UIS Ingenierías*, 22(3), 151-166. <https://doi.org/https://doi.org/10.18273/revuin.v22n3-2023011>
- Páliz, A. (2021). Estudio comparativo de técnicas de control PI y difuso para la estabilidad de tensión de un inversor trifásico en sistemas fotovoltaicos, evaluando el voltaje en estado transitorio y estable. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana. <https://n9.cl/mscrp>

- Quiroz, J. (2019). Ubicación óptima de sistemas fotovoltaicos en redes de distribución usando el método de búsqueda armónica. Quito-Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana. <https://n9.cl/htt0z>
- Raymond, G., Malori, I., & Oteng, J. (2024). Impact of photovoltaic system integration on power system frequency. *AIP Conference Proceedings*, 2816(1), 55-67. <https://doi.org/https://doi.org/10.1063/5.0177543>
- Rios, A., Medina, C., & Gonzales, G. (2022). La flexibilidad y otros retos de la integración masiva de generación eólica y solar en los sistemas de potencia. *Tecnología a Fondo*, 13(1), 88-94. <https://doi.org/10.33412/pri.v13.1.3229>
- Sinder, R., & Mariano, T. (2019). Impacto de los sistemas fotovoltaicos en la estabilidad de la tensión en redes de distribución aisladas. *The Journal of Engineering*, 2019(18), 5-14. <https://doi.org/https://doi.org/10.1049/joe.2018.9369>
- Till, J., & You, S. (2020). Impact of High PV Penetration on Voltage Stability. *IEEE*, 3(1), 1-5. <https://doi.org/10.1109/TD39804.2020.9299973>
- Vadhra, S., & Rawat, M. (2019). Impact of Photovoltaic Penetration on Static Voltage Stability of Distribution Networks: A Probabilistic Approach. *Environment and Pollution*, 15(3), 51-62. <https://doi.org/DOI 10.3233/AJW-18004>
- Velandia, F. (2021). Localización y Dimensionamiento Optimo de Generadores fotovoltaicos en sistemas de potencia considerando inyección de potencia reactiva. Universidad Francisco José Caldas. <http://hdl.handle.net/11349/28441>
- Villa, W., & Rendon, J. (2022). Evaluación del impacto de la generación distribuida en la red de transmisión. *Avanzada*, 3(2), 72-70. <https://doi.org/https://doi.org/10.24054/rcta.v3iEspecial.857>
- Zambrano, D. (2022). Estudio de estabilidad y confiabilidad ante la integración de generación distribuida en la red de distribución Un Milagro. Guayaquil-Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litora.
- Zhang, C., & Yan, X. (2019). Hierarchically-Coordinated Voltage/VAR Control of Distribution Networks using PV Inverters. *IEEE*, 11(4), 1949-3053. <https://doi.org/10.1109/TSG.2020.2968394>