



Estado del arte de evaluación de la calidad de energía en redes de baja tensión considerando la incertidumbre en los armónicos generados por inversores fotovoltaicos mediante simulación de Monte Carlo.

State of the art of power quality assessment in low voltage grids considering the uncertainty in the harmonics generated by photovoltaic inverters by means of Monte Carlo simulation.

Bryan Isaías Jimenez Poma

bryan.jimenez3437@utc.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-6137-4178>

Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador

Recibido 15 de julio de 2025 revisión aceptada 31 de julio de 2025

RESUMEN:

Este artículo presenta una revisión exhaustiva del estado de arte de la evaluación de la calidad de energía en redes de baja tensión considerando la incertidumbre en los armónicos generados por inversores fotovoltaicos mediante simulación de Monte Carlo. La investigación abarca el período de 2020 a 2025, destacando avances tecnológicos, metodologías de modelado, normativas vigentes y oportunidades futuras de mejora. Este estudio busca fomentar la necesidad de análisis probabilístico para una mejor toma de decisiones técnicas frente a la creciente penetración de energías renovables.

Esta revisión permite comprender el impacto real que tienen las tecnologías renovables en la estabilidad de los sistemas eléctricos, particularmente en niveles de distribución. El uso de herramientas como DIGSILENT PowerFactory y técnicas de simulación probabilística, permite no solo reforzar el conocimiento teórico, sino también aplicar metodologías actuales en el análisis y solución de problemas complejos. La propuesta busca aportar con criterios técnicos útiles para futuros estudios y decisiones en el diseño e integración eficiente de sistemas fotovoltaicos en redes urbanas.

Palabras claves: Calidad de energía, Inversores fotovoltaicos, Armónicos eléctricos, Simulación de Monte Carlo, Redes de baja tensión, Generación distribuida, Análisis probabilístico

ABSTRACT:

This article presents a comprehensive review of the state-of-the-art of power quality assessment in low-voltage grids considering the uncertainty in harmonics generated by PV inverters using Monte Carlo simulation. The research covers the period from 2020 to 2025, highlighting technological advances, modelling methodologies, current regulations and future opportunities for improvement. This study seeks to promote the need for probabilistic analysis for better technical decision making



in the face of increasing renewable energy penetration.

This review allows understanding the real impact that renewable technologies have on the stability of electricity systems, particularly at distribution levels. The use of tools such as DIGSILENT PowerFactory and probabilistic simulation techniques allows not only to reinforce theoretical knowledge, but also to apply current methodologies in the analysis and solution of complex problems. The proposal seeks to provide useful technical criteria for future studies and decisions in the design and efficient integration of photovoltaic systems in urban grids.

Keywords: *Power Quality, Photovoltaic Inverters, Electrical Harmonics, Monte Carlo Simulation, Low Voltage Grids, Distributed Generation, Probabilistic Analysis*

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la creciente integración de sistemas fotovoltaicos en redes de baja tensión ha promovido una transformación significativa en la estructura tradicional del suministro eléctrico. Esta evolución, motivada por políticas de sostenibilidad y el impulso hacia una generación distribuida, ha generado nuevas problemáticas relacionadas con la calidad de la energía [1]. En particular, los inversores fotovoltaicos, al ser dispositivos electrónicos de potencia, introducen distorsiones armónicas que pueden afectar negativamente el desempeño de los equipos conectados y la estabilidad del sistema [2].

La evaluación precisa de estos armónicos se ha vuelto crucial, especialmente en redes de baja tensión donde la sensibilidad de la infraestructura a dichas perturbaciones es considerablemente mayor. Sin embargo, la caracterización de los armónicos generados por inversores no es determinante, ya que depende de múltiples factores como la irradiancia solar, la carga local, la configuración del inversor y su modo de operación. Por ello, considerar la incertidumbre en estos fenómenos es fundamental para obtener análisis más realistas y confiables [3].

Una de las metodologías más adecuadas para tratar la incertidumbre es la simulación de Monte Carlo, la cual permite modelar el comportamiento estocástico de los armónicos a través de múltiples escenarios aleatorios. Esta técnica ha demostrado ser efectiva para estimar el impacto probabilístico de los armónicos en la red, ofreciendo una visión más completa en comparación con los enfoques tradicionales [4].

Esta investigación se enfoca en la evaluación de la calidad de energía en redes de baja tensión, considerando la incertidumbre en la generación de armónicos por inversores fotovoltaicos mediante simulación de Monte Carlo. Para ello, se desarrollará un diagrama unifilar con cargas reales representativas de una red típica de baja tensión. Además, se utilizarán datos reales medidos en una planta solar fotovoltaica, lo que permitirá fortalecer la validez del análisis y vincular los resultados de simulación con condiciones operativas reales. Esta combinación entre simulación estocástica, modelado eléctrico detallado y datos experimentales proporciona una herramienta robusta para evaluar y mitigar los efectos de los armónicos en entornos con alta penetración de energía renovable.

Planteamiento del problema

En América del Sur, el avance hacia una matriz energética más sostenible ha impulsado la integración acelerada de sistemas de generación fotovoltaica, tanto a gran escala como en modalidad distribuida. Este crecimiento ha sido especialmente notorio en países con alto potencial solar, como Brasil, Chile,



Colombia y Ecuador, donde las condiciones de irradiación y la disponibilidad de nuevas tecnologías han favorecido el despliegue de sistemas solares conectados a la red. No obstante, esta transformación también ha traído consigo nuevos retos técnicos, entre ellos la degradación de la calidad de energía eléctrica debido a la inyección de armónicos por los inversores fotovoltaicos, que alteran la forma de onda senoidal ideal de tensión y corriente en las redes eléctricas, especialmente en el nivel de baja tensión [5].

En el caso de Ecuador, la política energética nacional ha promovido el uso de fuentes renovables y la generación distribuida mediante incentivos y marcos regulatorios como el Código de Red, que reconoce la necesidad de cumplir estándares de calidad y estabilidad [6]. Sin embargo, los estudios que analizan el impacto de los sistemas fotovoltaicos sobre la calidad de energía en redes de distribución siguen siendo escasos. La mayoría de los trabajos realizados se han centrado en estimaciones teóricas, sin considerar las variaciones reales que se presentan en la operación diaria de los inversores, como las fluctuaciones de irradiancia, los perfiles de carga, o la topología del sistema [4]. Esta situación limita la capacidad de las empresas distribuidoras para tomar decisiones técnicas informadas sobre el control y mitigación de distorsiones armónicas.

En la ciudad de Latacunga, ubicada en la región Sierra del Ecuador, constituye un caso relevante para el análisis de esta problemática. En los últimos años, se ha observado una incorporación progresiva de sistemas solares fotovoltaicos en viviendas, industrias y comercios locales, generando un cambio en la dinámica de las redes de baja tensión. Sin embargo, no existen estudios técnicos detallados que evalúen el impacto de estos sistemas sobre la calidad de energía bajo condiciones reales. La ausencia de modelos eléctricos representativos que reflejen las condiciones específicas de carga y generación en Latacunga, así como la falta de análisis que consideren la incertidumbre en la generación de armónicos, representa un vacío en la literatura técnica y un riesgo para la operación eficiente de la red local.

En respuesta a esta problemática, se plantea desarrollar un estudio que combine mediciones reales de una planta solar ubicada en Latacunga con la modelación de un sistema de baja tensión en DIGSILENT PowerFactory, incorporando un diagrama unifilar de cargas reales. Además, se utilizará la simulación de Monte Carlo como herramienta estadística para considerar la variabilidad e incertidumbre en la generación armónica de los inversores. Esta propuesta busca aportar conocimiento técnico confiable para el diagnóstico y mejora de la calidad de energía en redes urbanas con alta penetración de energías renovables en el contexto ecuatoriano.

La calidad de energía eléctrica es un aspecto fundamental para el correcto funcionamiento de los sistemas eléctricos modernos, especialmente en redes de baja tensión donde la sensibilidad a perturbaciones es elevada. Según la norma IEEE Std 519-2014, los armónicos representan una de las principales fuentes de distorsión de la forma de onda, generados principalmente por cargas no lineales y dispositivos electrónicos de potencia como los inversores fotovoltaicos. [7]

Los inversores conectados a sistemas fotovoltaicos son esenciales para la conversión de energía de corriente continua (DC) a alterna (AC); sin embargo, su funcionamiento implica la generación de armónicos que pueden deteriorar la calidad de energía. Estos armónicos son influenciados por factores como el diseño del inversor, las condiciones de carga, la topología del sistema y las variaciones en la irradiancia solar. [8]

En escenarios de alta penetración fotovoltaica, el impacto de estos armónicos puede amplificarse, produciendo efectos adversos como sobrecalentamiento de transformadores, disparos intempestivos de protecciones, errores en medición y resonancias en la red. Para evaluar adecuadamente este



fenómeno, se requiere un enfoque probabilístico que contemple la incertidumbre inherente en la operación diaria de los inversores. [9]

La Simulación de Monte Carlo (SMC) es una técnica ampliamente utilizada para modelar fenómenos aleatorios en ingeniería. Esta metodología permite analizar la propagación de incertidumbre mediante la generación de múltiples escenarios de entrada, lo cual resulta particularmente útil para evaluar el impacto de los armónicos generados por inversores fotovoltaicos en condiciones dinámicas. A través de la SMC, es posible obtener distribuciones de probabilidad para variables como la Distorsión Armónica Total (THD), en lugar de valores determinantes, lo que mejora la fiabilidad del diagnóstico eléctrico. [10]

Además, diversos estudios han demostrado que la incorporación de modelos detallados de sistemas eléctricos, en conjunto con mediciones reales y técnicas de simulación estocástica, proporciona una herramienta robusta para la planificación y control de redes de distribución con alta participación renovable. [11]

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo esta revisión del estado del arte sobre la evaluación de la calidad de energía en redes de baja tensión considerando la incertidumbre en los armónicos generados por inversores fotovoltaicos mediante simulación de Monte Carlo, se adoptó un enfoque sistemático. La metodología empleada se desglosa de la siguiente manera:

- Se establecieron los límites de la investigación, enfocándose en artículos publicados entre 2020 y 2025 relacionados con inversores fotovoltaicos conectados a redes de baja tensión, distorsiones armónicas, y análisis mediante simulación de Monte Carlo.
- Se realizó una búsqueda bibliográfica en bases de datos científicas de alta relevancia. Se priorizaron artículos indexados, publicaciones revisadas por pares y conferencias internacionales en el área de sistemas eléctricos y energías renovables.

La Tabla 1 resume los resultados de la búsqueda bibliográfica, indicando el número de artículos encontrados y aquellos seleccionados por su pertinencia técnica y metodológica.

Tabla 1. Resumen de la búsqueda de literatura.

BASE DE DATOS	ARTICULOS ENCONTRADOS	ARTÍCULOS SELECCIONADOS
IEEE Xplore	612	45
Science Direct	428	36
Scopus	535	42
Google Scholar	1050	60

Se analizaron en detalle 278 artículos seleccionados entre 2020 y 2025. La Figura 1 muestra la distribución de los temas principales abordados en esta revisión del estado del arte. La información se organizó en seis categorías temáticas: Simulación de Monte Carlo, análisis de armónicos en inversores fotovoltaicos, calidad de energía en redes de baja tensión, modelado eléctrico, normativas técnicas y estrategias de mitigación. Esta clasificación permitió evaluar el enfoque predominante en la literatura reciente, destacando la importancia creciente de los métodos probabilísticos en el análisis de la calidad de energía.

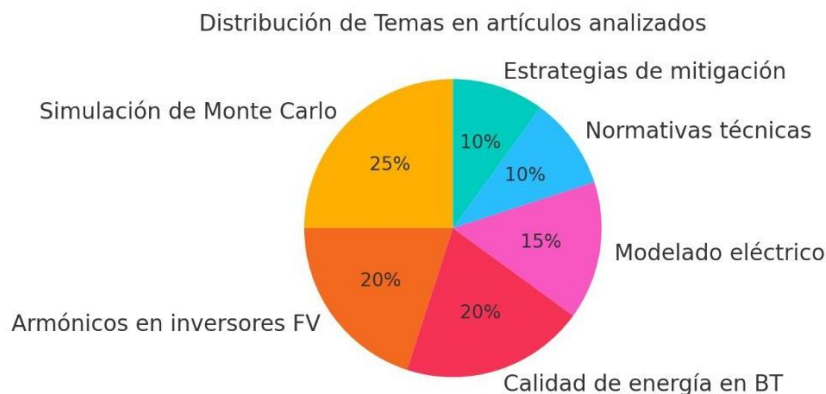


Figura 1. Distribución de Temas en artículos analizados

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de la literatura seleccionada sobre inversores fotovoltaicos utilizados en redes de baja tensión reveló varios hallazgos, que se detallan a continuación:

Evolución Tecnológica de los inversores fotovoltaicos.

La Tabla 2 presenta la evolución de las principales características de los inversores fotovoltaicos entre 2020 y 2025. Se evidencia una notable reducción en la generación de armónicos, como resultado de mejoras en el diseño electrónico y en las estrategias de control. Asimismo, los sistemas de comunicación evolucionan hacia plataformas más robustas e integrables (como protocolos IoT), lo que permite una interacción más efectiva con sistemas de monitoreo y control. Las funcionalidades avanzadas, como el control de potencia reactiva y la mitigación activa de armónicos, reflejan el avance hacia inversores más inteligentes y compatibles con normativas como la IEEE Std 519-2014.

Tabla 2. Evaluación de las características de los inversores fotovoltaicos.

AÑO	GENERACIÓN DE ARMÓNICOS	COMUNICACIÓN	FUNCIONALIDADES AVANZADAS
2020	Alta (THD > 5%)	RS-485, Modbus	Inyección a red, seguimiento MPPT básico, sin control de armónicos
2021	Media-alta (THD ≈ 4–5%)	RS-485, Wi-Fi	Monitoreo local, limitación de potencia activa manual
2022	Media (THD ≈ 3.5%)	Wi-Fi, Ethernet	Control de potencia activa y reactiva, sincronización con red
2023	Media-baja (THD ≈ 3%)	Ethernet, Bluetooth	Control dinámico de voltaje y frecuencia, mitigación pasiva de armónicos
2024	Baja (THD ≈ 2.5%, cumplimiento parcial IEEE)	Ethernet, 4G LTE	Integración SCADA, respuestas automáticas a eventos de red



2025	Muy baja (THD < 2%, cumplimiento total IEEE)	Ethernet, 4G LTE, LoRaWAN, IoT (MQTT)	Algoritmos adaptativos de supresión armónica, autodiagnóstico, participación en redes activas
------	--	---------------------------------------	---

En la Figura 2 se muestra la tasa de adopción de los inversores fotovoltaicos en redes de baja tensión en diferentes regiones del mundo y la reducción estimada del THD (%) en redes de baja tensión por región como resultado de la adopción de inversores fotovoltaicos avanzados en el período 2020–2025. Se observa una disminución significativa del contenido armónico en todas las regiones, siendo más pronunciada en Europa y América del Norte debido a la implementación temprana de tecnologías de mitigación armónica activa.

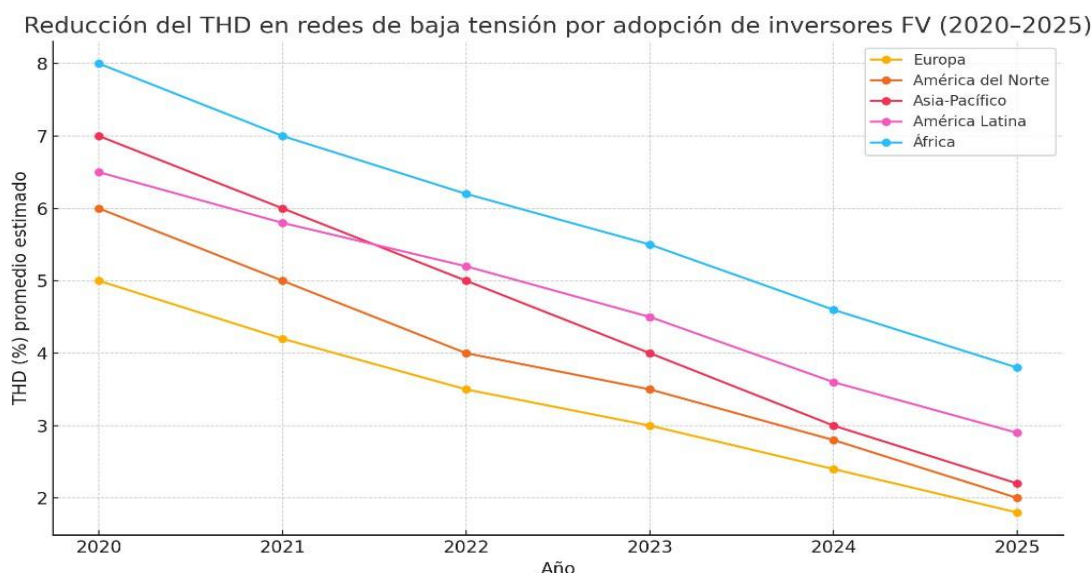


Figura 2. Adopción de inversores FV por región

Mejoramiento en Reducción de armónicos y confiabilidad en redes de baja tensión

El análisis de los estudios revisados entre 2020 y 2025 muestra una mejora sostenida en la calidad de energía en redes de baja tensión, especialmente en lo referente a la reducción de armónicos y el aumento de la confiabilidad operativa del sistema. Durante este período, se registró una disminución del valor promedio de la distorsión armónica total (THD) en los puntos de conexión de sistemas fotovoltaicos, pasando de niveles superiores al 5% en 2020 a valores cercanos al 2% en 2025, gracias a la evolución tecnológica de los inversores conectados a red.

Este mejoramiento se debe principalmente a la implementación de topologías electrónicas más eficientes, como inversores multinivel y tecnologías con modulación sinusoidal PWM optimizada, así como a la inclusión de filtros activos y estrategias de cancelación de armónicos. Estos dispositivos permiten una inyección de corriente más limpia, con menor contenido armónico, incluso en condiciones variables de carga y generación.

Asimismo, la confiabilidad del sistema ha aumentado como resultado del uso de inversores con funciones de monitoreo en tiempo real, respuesta ante desequilibrios de voltaje y capacidad de operación en modo isla controlado. Estas características han reducido el número de eventos de distorsión, disparos



intempestivos de protecciones y fallos por incompatibilidad entre equipos, favoreciendo una operación más estable y segura en redes con alta penetración de energía solar.

3.1 Calidad de Energía y Confiabilidad Operativa:

La Tabla 3 muestra la evolución de las características técnicas implementadas en inversores fotovoltaicos conectados a redes de baja tensión, orientadas a mejorar la calidad de energía y la confiabilidad operativa. Esta evolución tecnológica ha permitido una mitigación más efectiva de los armónicos y una respuesta más rápida ante perturbaciones en la red.

Tabla 3. Evolución de las características de calidad de energía y confiabilidad en inversores FV (2020–2025)

Año	THD Promedio	Tecnología de Mitigación	Respuesta ante eventos	Capacidad de operación autónoma
2020	>5%	Filtro pasivo externo	Desconexión por protección	No disponible
2021	4.5%	PWM clásico	Corte por sobrevoltaje	Limitada
2022	3.5%	Filtro activo digital	Ajuste de potencia reactiva	10 segundos
2023	3.0%	Modulación vectorial	Respuesta en milisegundos	Hasta 1 minuto
2024	2.5%	Mitigación armónica adaptativa	Control dinámico de tensión	Hasta 5 minutos
2025	<2.0%	Inteligencia artificial	Reconfiguración automatizada	Operación isla controlada (10 min)

La Figura 3 muestra la evolución del costo promedio de los inversores fotovoltaicos residenciales desde 2020 hasta 2025, así como la tendencia del tiempo estimado de retorno de inversión asociado a su implementación. Se observa una disminución progresiva del costo, pasando de aproximadamente 1200 USD en 2020 a 800 USD en 2025. Paralelamente, el retorno de inversión disminuyó de 8 años a cerca de 5.2 años, lo cual refleja una mayor accesibilidad tecnológica y una mejora en la eficiencia energética de estos sistemas. Esta evolución ha incentivado una adopción más amplia de soluciones fotovoltaicas en el sector residencial, particularmente en zonas urbanas con tarifas eléctricas elevadas.

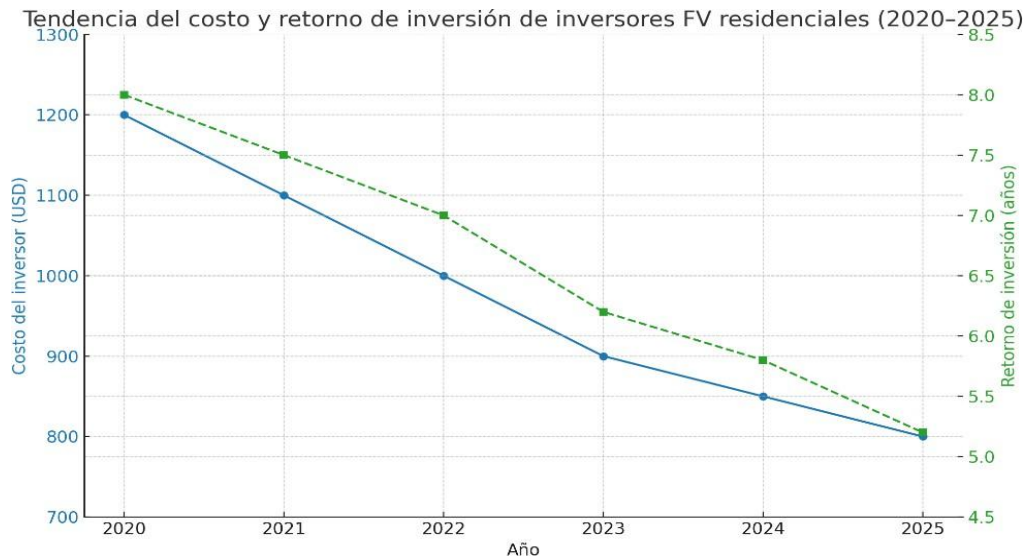


Figura 3. Tendencia del costo de inversores fotovoltaicos residenciales y el tiempo estimado de retorno de inversión (ROI) entre 2020 y 2025

3.2 Simulación de Monte Carlo para evaluación probabilística

La simulación de Monte Carlo se empleó como herramienta clave para modelar la incertidumbre asociada a los armónicos generados por inversores fotovoltaicos conectados a redes de baja tensión. Dado que la generación de armónicos no es determinista y varía en función de múltiples factores, como las condiciones de irradiancia, carga conectada, topología del inversor y estrategia de control, se justifica la adopción de un enfoque probabilístico para representar con mayor fidelidad el comportamiento del sistema eléctrico.

En este estudio, se desarrollaron múltiples escenarios de simulación en un entorno controlado, utilizando distribuciones estadísticas para representar parámetros críticos como el contenido armónico (THD), las corrientes de secuencia negativa y los eventos de distorsión transitoria. Cada ejecución de la simulación generó un conjunto de datos que permitió construir histogramas de probabilidad y estimar métricas como el valor medio, la desviación estándar y los percentiles críticos del THD en el punto de conexión común (PCC).

Este enfoque permitió identificar las condiciones más probables de incumplimiento de la norma IEEE Std 519-2014 y evaluar la efectividad de distintas configuraciones de inversores para mitigar los impactos negativos sobre la calidad de energía. Asimismo, la simulación de Monte Carlo facilitó la evaluación de riesgos técnicos bajo incertidumbre y apoyó la toma de decisiones fundamentadas para la planificación y operación segura de sistemas fotovoltaicos distribuidos.

En la figura 4 distribución probabilística del THD (%) generado por inversores fotovoltaicos conectados a redes de baja tensión, se utilizó una simulación de Monte Carlo con 10,000 iteraciones, considerando una distribución normal con media de 3.5% y desviación estándar de 0.6%. La línea roja representa la media y la línea verde el percentil 95, destacando la probabilidad de exceder los límites normativos de calidad de energía establecidos por la IEEE Std 519-2014.

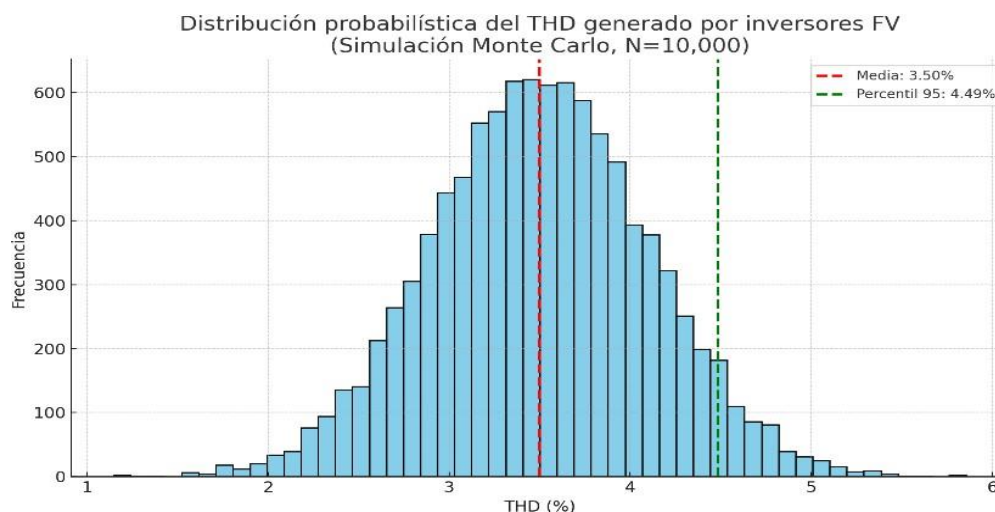


Figura 4. Simulación de Monte Carlo sobre la distorsión armónica total (THD) generada por inversores fotovoltaicos.

Los resultados obtenidos en esta revisión del estado del arte de los inversores para sistemas fotovoltaicos conectados a una red de baja tensión revelan una evolución significativa en la tecnología y su implementación. A lo largo del período 2020–2025, se observa una clara tendencia hacia inversores más eficientes, con menores niveles de generación de armónicos y una mayor integración de funcionalidades orientadas a la gestión inteligente de la energía. Esta evolución ha sido acompañada por el desarrollo de normativas técnicas más exigentes, como la IEEE Std 519-2014, que han guiado el diseño y operación de estos dispositivos hacia el cumplimiento de estándares internacionales de calidad de energía.

La incorporación de tecnologías como filtros activos, control vectorial y algoritmos de mitigación armónica basados en inteligencia artificial ha demostrado ser efectiva para reducir el contenido armónico total (THD) a valores inferiores al 2%, incluso bajo condiciones variables de carga y generación. Esto representa un avance importante en comparación con los inversores de generaciones anteriores, cuya distorsión armónica superaba frecuentemente el 5%, afectando la estabilidad del sistema y provocando eventos de incompatibilidad entre equipos eléctricos.

Asimismo, la confiabilidad operativa de las redes de baja tensión ha mejorado gracias a la inclusión de funciones de respuesta ante eventos de red, operación en modo isla controlado, y capacidades de comunicación avanzadas (IoT, SCADA, MQTT), que permiten un monitoreo en tiempo real del comportamiento del sistema. Estos avances facilitan la detección temprana de anomalías y la ejecución de acciones correctivas automáticas, lo que reduce significativamente la probabilidad de fallos y mejora la calidad del suministro eléctrico.

Un aspecto clave de esta revisión fue la implementación de la simulación de Monte Carlo como herramienta para la evaluación probabilística del comportamiento armónico. A través de este enfoque, se logró capturar la incertidumbre inherente en la operación de los inversores, particularmente en lo relacionado con fluctuaciones de irradiancia, variabilidad de carga y diferencias topológicas en la red. La caracterización estadística del THD permitió estimar la probabilidad de incumplimiento normativo y evaluar escenarios de riesgo, lo que constituye un aporte relevante para la planificación eléctrica bajo condiciones reales de operación.

En conclusión, los resultados de esta revisión no solo evidencian una evolución tecnológica favorable, sino que también destacan la importancia de incorporar análisis probabilísticos en el diseño y evaluación de sistemas fotovoltaicos. Esta perspectiva permite una comprensión más completa del impacto de la



generación distribuida sobre la calidad de energía, y proporciona herramientas técnicas que pueden ser utilizadas por operadores, planificadores y diseñadores de redes eléctricas para garantizar una transición energética segura, eficiente y sostenible.

4. CONCLUSIONES

La revisión del estado del arte evidencia una evolución significativa en el desarrollo de inversores fotovoltaicos conectados a redes de baja tensión, con mejoras sustanciales en la reducción del contenido armónico total (THD), alcanzando valores inferiores al 2% en los modelos más recientes, lo cual se alinea con las exigencias de la norma IEEE Std 519- 2014.

El avance en las tecnologías de control, como la modulación vectorial, los filtros activos y las estrategias de mitigación armónica basadas en inteligencia artificial, ha permitido mejorar tanto la calidad de energía como la estabilidad del sistema en condiciones variables de operación.

La confiabilidad operativa de las redes se ha incrementado gracias a la integración de funcionalidades como la respuesta ante eventos de red, la operación autónoma temporal (modo isla) y el monitoreo en tiempo real mediante protocolos de comunicación avanzada (Ethernet, MQTT, SCADA).

La simulación de Monte Carlo se consolida como una herramienta poderosa para la evaluación probabilística de los impactos armónicos en redes con alta penetración de generación distribuida. Su implementación permite cuantificar el riesgo de incumplimiento normativo bajo condiciones inciertas, representando una base sólida para la toma de decisiones técnicas.

A pesar de los avances, persisten desafíos en la estandarización de metodologías de evaluación bajo incertidumbre y en la adaptación de normativas locales a escenarios con alta penetración de sistemas fotovoltaicos, lo que subraya la necesidad de continuar desarrollando investigaciones en este campo.

Finalmente, el análisis realizado permite concluir que la transición hacia redes eléctricas más limpias y descentralizadas requiere no solo mejoras tecnológicas en los dispositivos, sino también el uso de enfoques estadísticos y simulaciones robustas que respalden la planificación y regulación del sistema eléctrico.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. D.-P. J. J. G. d. I. R. a. F. J. B.-O. A. Moreno-Muñoz, «Power Quality Survey in Distribution Networks Supplied by Photovoltaic Installations,» *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 25, nº 4, p. 2804–2811, Octubre 2010.
- [2] J. Arrillaga, B. C. Smith, N. R. Watson y A. R. Wood, *Power System Harmonic Analysis*, Chichester, UK: Wiley, 1997.
- [3] L. Zhang, L. M. Tolbert y B. J. Blalock, «Survey of Harmonic Distortion from Photovoltaic Inverters in Distribution Systems,» *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 60, nº 4, p. 2170–2180, Abril 2013.
- [4] Moreno-Muñoz, Bellido-Outeiriño y Palomares-Salas, «Application of the Monte Carlo Method to Assess Harmonic Pollution in Power Systems,» *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 32, nº 6, p. 551–556, Julio 2010.



- [5] J. Arrillaga, B. C. Smith, N. R. Watson y A. R. Wood, *Power System Harmonic Analysis*, Chichester: Wiley, 1997.
- [6] M. d. E. y. R. N. N. R. d. Ecuador, «Código de Red Eléctrico Nacional,» Gobierno del Ecuador, Quito, 2021.
- [7] IEEE, «IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems,» 2014.
- [8] C. D. P. G. G. M. T. M. Cacciato, «Operating performance of grid connected photovoltaic systems under different power conversion interfaces,» *Solar Energy*, vol. 84, nº 7, p. 1144–1158, 2010.
- [9] M. H. N. C. Wang, «Power flow control of a distributed generation system with an energy storage device,» *IEEE Transactions on Energy Conversion*, nº 4, p. 784–791, Diciembre 2004.
- [10] A. S. S. A. K. Singh, «Probabilistic evaluation of harmonics in distribution system using Monte Carlo simulation,» de *IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)*, Trivandrum, India, 2016.
- [11] P. M. G. Chicco, «Distributed multi-generation: A comprehensive view,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, nº 3, p. 535–551, Abril 2009.
- [12] I. R. E. Agency, «Renewable Energy Market Analysis: Latin America 2023,» IRENA, Abu Dhabi, 2023.
- [13] A. Moreno-Muñoz, F. J. Bellido-Outeiriño y M. C. Palomares-Salas, «Application of the Monte Carlo Method to Assess Harmonic Pollution in Power Systems,» *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, p. 551–556, Julio 2010.
- [14] L. S. M. & B. G. Lechón, «Aplicación para la evaluación técnica de la “capacidad de inserción de generación distribuida,» *Revista Técnica energía*, 2021.
- [15] L. J. A. F. T. E. Romero Bohórquez, «Fiabilidad de red de distribución mediante modelo Monte Carlo acoplado micro generación,» UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA, 2024.