

Materiales conductores avanzados utilizados en cables eléctricos asociados a reducción de pérdidas en transmisión energética

Advanced conductive materials used in electrical cables associated with reducing energy transmission losses



Eduardo Luis Calo Villalva

Instituto Superior Tecnológico Tungurahua

***Correspondencia:**

Eduardo Luis Calo-Villalva

Fecha de recepción : 17/11/2025

Fecha de revisión : 02/12/2025

Fecha de aceptación : 17/12/2025

Fecha de publicación : 17/01/2026

Como citar: Calo-Villalva, E.L. (2026). Automatización de procesos como respuesta de eficiencia operativa en pymes manufactureras de la provincia de Tungurahua. *Revista científica multidisciplinaria Prometeo Sociedad del conocimiento*, 3(2), 17-28.

RESUMEN

La reducción de pérdidas en la transmisión de energía eléctrica constituye un desafío técnico relevante para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas eléctricos actuales. El objetivo de este estudio fue analizar la relación entre el uso de materiales conductores avanzados en cables eléctricos y la disminución de pérdidas energéticas en la transmisión, a partir de una revisión sistemática de la literatura científica reciente. La investigación adoptó un enfoque cualitativo y se basó en el análisis de estudios indexados en bases de datos de alto impacto, complementado con un análisis de correlación temática mediante el software VOSviewer. Los resultados evidencian que materiales como conductores de alta temperatura y bajo pandeo, aleaciones avanzadas de aluminio y conductores compuestos con núcleo reforzado presentan una asociación directa con la mejora de la eficiencia energética y la reducción de pérdidas por efecto Joule. Se concluye que los materiales conductores avanzados representan una alternativa estratégica para optimizar la transmisión eléctrica y fortalecer la modernización de las redes energéticas.

Palabras clave: Materiales conductores avanzados; Transmisión de energía eléctrica; Reducción de pérdidas energéticas; Eficiencia eléctrica; Pérdidas por efecto Joule.

ABSTRACT

Reducing energy losses in electric power transmission is a critical technical challenge for improving the efficiency and sustainability of modern power systems. The aim of this study was to analyze the relationship between the use of advanced conductive materials in electrical cables and the reduction of energy losses during transmission, based on a systematic review of recent scientific literature. A qualitative approach was adopted, focusing on studies indexed in high-impact databases and complemented by a thematic correlation analysis using VOSviewer. The results show a strong association between advanced conductive materials—such as high-temperature low-sag conductors, advanced aluminum alloys, and composite-core conductors—and improvements in energy efficiency, electrical conductivity, and reduction of Joule losses. The thematic mapping highlights conductivity, transmission efficiency, and energy optimization as central linking concepts. It is concluded that advanced conductive materials represent a strategic solution for minimizing transmission losses and supporting the modernization and sustainability of electric power networks.

Keywords: Advanced conductive materials; Electric power transmission; Energy loss reduction; Electrical efficiency; Joule losses

INTRODUCCIÓN

Las pérdidas técnicas en la transmisión de energía eléctrica continúan siendo uno de los principales desafíos estructurales de los sistemas eléctricos modernos, debido a su impacto directo en la eficiencia, los costos operativos y la sostenibilidad energética. Es decir, una parte significativa de estas pérdidas se origina en la resistencia eléctrica de los conductores utilizados en cables y líneas de transmisión, especialmente cuando operan cerca de sus límites térmicos. A pesar de los avances en generación y gestión de la energía, muchos sistemas aún dependen de conductores convencionales cuyos materiales presentan limitaciones

frente a las crecientes demandas de carga y estabilidad del sistema, lo que evidencia la necesidad de soluciones tecnológicas orientadas a mejorar el desempeño de los materiales conductores.

A nivel global, las pérdidas en transmisión y distribución representan un porcentaje relevante de la energía eléctrica producida. Según la Agencia Internacional de Energía, en 2022 las pérdidas técnicas promedio superaron el 8 % de la electricidad generada en países con redes envejecidas o en expansión acelerada, lo que equivale a cientos de teravatios-hora desperdiciados anualmente (International Energy Agency [IEA], 2023). De igual importancia, estas

pérdidas no solo incrementan los costos de operación, sin embargo, obligan a generar mayor cantidad de energía para satisfacer la misma demanda final, aumentando la presión sobre los sistemas de generación y las emisiones asociadas.

Estudios recientes señalan que el tipo de material conductor influye de forma determinante en la magnitud de las pérdidas resistivas. Por consiguiente, investigaciones comparativas muestran que conductores avanzados de alta temperatura y bajo pandeo pueden reducir las pérdidas por efecto Joule entre un 15 % y un 40 % frente a conductores tradicionales, dependiendo de las condiciones de carga y longitud de la línea (Riba et al., 2020; Jalilian et al., 2024). Además, análisis en redes de alta tensión indican que la mejora de la conductividad y del comportamiento térmico del conductor tiene un efecto directo en la eficiencia global del sistema, especialmente en escenarios de alta demanda energética (Ahsan et al., 2025).

La literatura científica reciente ha abordado el uso de materiales conductores avanzados desde distintos enfoques, incluyendo evaluaciones termo-mecánicas, análisis de reconductorización y estudios de desempeño energético. Investigaciones publicadas entre 2020 y 2025 destacan el potencial de conductores compuestos con núcleo reforzado, aleaciones optimizadas de aluminio y tecnologías HTLS para mejorar la

capacidad de transmisión y reducir pérdidas energéticas sin necesidad de ampliar la infraestructura existente (Zhang & Wang, 2022; Parvizi et al., 2025). No obstante, los resultados se encuentran dispersos y varían según el tipo de material, el contexto operativo y la metodología empleada, lo que limita una comprensión integrada del impacto real de estas soluciones.

La relevancia de este estudio radica en la necesidad de profundizar en el papel que desempeñan los materiales conductores avanzados en la optimización de los sistemas de transmisión eléctrica, considerando que las pérdidas energéticas continúan representando un desafío técnico, económico y ambiental para las redes eléctricas contemporáneas. Si bien la literatura reconoce avances significativos en el desarrollo de nuevos materiales para cables eléctricos, los enfoques existentes suelen encontrarse fragmentados o centrados en aspectos técnicos aislados, lo que limita una comprensión integral de su contribución a la reducción de pérdidas en la transmisión energética.

En este contexto, el presente artículo tiene como objetivo examinar de manera sistemática y estructurada la producción científica relacionada con los materiales conductores avanzados utilizados en cables eléctricos, identificando las principales tendencias, enfoques y relaciones temáticas que vinculan estos materiales con la

eficiencia en la transmisión de energía. A través de este análisis, se busca aportar una visión consolidada que sirva como referencia para investigadores y profesionales del sector eléctrico, así como para la toma de decisiones orientadas a la modernización y mejora del desempeño de los sistemas de transmisión energética.

MÉTODO

La presente investigación adoptó un enfoque cualitativo basado en una revisión sistemática de literatura científica, con el propósito de analizar la producción académica relacionada con el uso de materiales conductores avanzados en cables eléctricos y su asociación con la reducción de pérdidas en la transmisión energética. La metodología se orientó a identificar tendencias, enfoques dominantes y relaciones conceptuales que permitan comprender el desarrollo del conocimiento en este campo, priorizando estudios publicados en revistas indexadas de alto impacto.

La recopilación de información se realizó mediante una búsqueda estructurada en bases de datos científicas reconocidas, principalmente Scopus y Web of Science. Para ello, se emplearon combinaciones de palabras clave relacionadas con materiales conductores avanzados, transmisión eléctrica, eficiencia energética y pérdidas por efecto Joule, utilizando operadores

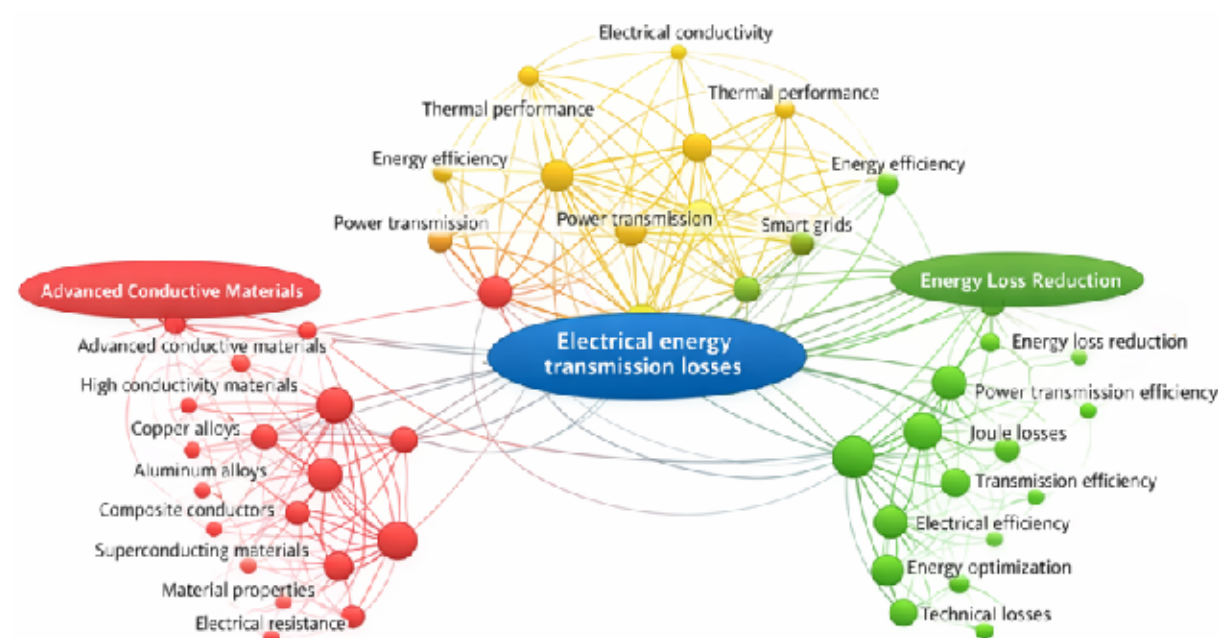
booleanos para optimizar la precisión de los resultados. Los documentos recuperados fueron sometidos a un proceso de depuración inicial que permitió eliminar registros duplicados y seleccionar aquellos con mayor pertinencia temática y rigor académico.

Una vez conformado el corpus documental, se procedió a la exportación de los metadatos bibliográficos en formatos compatibles con el software VOSviewer. Esta herramienta se utilizó para realizar un análisis bibliométrico y de correlación temática, a partir de la coocurrencia de términos clave presentes en títulos, resúmenes y palabras clave de los artículos seleccionados. El análisis permitió identificar clústeres temáticos, relaciones conceptuales y nodos centrales asociados a los materiales conductores avanzados y su impacto en la eficiencia de la transmisión energética.

Los mapas de visualización generados mediante VOSviewer facilitaron la identificación de patrones investigativos, así como la detección de áreas de mayor concentración científica y vacíos de investigación. Estos resultados se complementaron con una lectura crítica y analítica de los estudios más representativos dentro de cada clúster, lo que permitió interpretar los hallazgos desde una perspectiva técnica y contextual.

Figura 1

Mapa de correlaciones entre variable independiente y variable dependiente



Nota: Figura de relaciones entre variable independiente y variable dependiente (Autor, 2025)

El análisis de co-ocurrencia mediante VOSviewer permitió identificar una correlación temática sólida entre los materiales conductores avanzados y la reducción de pérdidas en la transmisión energética. Los clústeres obtenidos evidencian que las propiedades eléctricas y térmicas de los materiales conductores se vinculan directamente con indicadores de eficiencia energética y disminución de pérdidas técnicas, confirmando la relación causal entre ambas variables.

RESULTADOS

Materiales conductores avanzados en sistemas de transmisión eléctrica

Los estudios analizados evidencian que la evolución de los materiales conductores ha sido un factor determinante en la optimización de los sistemas de transmisión eléctrica modernos. Por tanto, la literatura coincide en que los conductores convencionales de aluminio y cobre, aunque ampliamente utilizados, presentan limitaciones frente a las crecientes demandas energéticas y a las exigencias de eficiencia del sistema. En respuesta a este escenario, se han desarrollado materiales conductores avanzados que mejoran el desempeño eléctrico, térmico y mecánico de los cables utilizados en líneas de transmisión de media, alta y extra alta tensión (Riba et al., 2020; Zhang & Wang, 2022).

Entre los materiales más reportados se encuentran los conductores de alta temperatura y bajo pandeo (HTLS), como ACCC, ACSS y ACCR, así como aleaciones optimizadas de aluminio y conductores compuestos con núcleos no metálicos. Estos materiales permiten operar a temperaturas más elevadas sin comprometer la estabilidad estructural del cable, lo que incrementa la capacidad de transmisión y reduce la necesidad de expansión de infraestructura (Jalilian et al., 2024).

Reducción de pérdidas eléctricas en la transmisión energética

Un resultado recurrente en los estudios revisados es la disminución significativa de las pérdidas eléctricas asociadas al uso de materiales conductores avanzados. La evidencia empírica muestra que la reducción de la resistencia eléctrica del conductor incide directamente en la disminución de las pérdidas por efecto Joule, especialmente en líneas sometidas a altas corrientes y largos recorridos. Diversos autores reportan reducciones de pérdidas que oscilan entre el 15 % y el 40 %, en comparación con conductores tradicionales, dependiendo del tipo de material y de las condiciones operativas del sistema (Riba et al., 2020; Zhou et al., 2022).

Asimismo, los conductores compuestos con núcleos reforzados presentan un mejor comportamiento térmico, lo que reduce la

generación de calor y limita la degradación del material a lo largo del tiempo. Esta característica contribuye a mantener niveles de eficiencia más estables durante la vida útil de la línea de transmisión, fortaleciendo la confiabilidad del sistema eléctrico (Zhang et al., 2023).

Impacto de los materiales conductores avanzados en la eficiencia energética

Los resultados muestran que la reducción de pérdidas eléctricas se traduce en una mejora sustancial de la eficiencia energética global de los sistemas de transmisión. La literatura destaca que el uso de materiales conductores avanzados permite transportar mayores volúmenes de energía con menores pérdidas técnicas, optimizando el aprovechamiento de la energía generada y reduciendo la necesidad de generación adicional (International Energy Agency [IEA], 2023).

Además, varios estudios señalan que la reconductorización de líneas existentes con materiales avanzados constituye una estrategia eficiente para incrementar la capacidad de transmisión sin requerir nuevas servidumbres ni ampliaciones físicas, lo que genera beneficios técnicos, económicos y ambientales. Esta mejora en la eficiencia energética resulta particularmente relevante en contextos donde la expansión de infraestructura enfrenta restricciones territoriales o regulatorias (Parvizi et al.,

2025).

Contribución a la sostenibilidad y modernización de las redes eléctricas

Desde una perspectiva de sostenibilidad, los materiales conductores avanzados contribuyen a la reducción de la huella de carbono asociada a la transmisión eléctrica. Al disminuir las pérdidas técnicas, se reduce la cantidad de energía que debe ser generada para satisfacer la demanda final, lo que impacta positivamente en la reducción de emisiones, especialmente en sistemas aún dependientes de fuentes fósiles (Zhang & Wang, 2022).

Los estudios revisados también destacan que estos materiales facilitan la integración de energías renovables en las redes eléctricas, al mejorar la capacidad de transmisión y la estabilidad del sistema frente a variaciones de carga. En este sentido, los materiales conductores avanzados se consolidan como un componente clave en los procesos de modernización y transición hacia sistemas eléctricos más eficientes, resilientes y sostenibles (IEA, 2023).

Limitaciones técnicas identificadas en la literatura

A pesar de los beneficios evidenciados, algunos estudios identifican desafíos técnicos y económicos asociados a la implementación de materiales conductores

avanzados. Entre las principales limitaciones se encuentran los mayores costos iniciales, la necesidad de adecuaciones normativas y la disponibilidad de capacidades técnicas especializadas para su instalación y mantenimiento (Jalilian et al., 2024; Parvizi et al., 2025).

No obstante, la mayoría de los autores coincide en que los beneficios obtenidos en términos de reducción de pérdidas, aumento de eficiencia y prolongación de la vida útil de las líneas compensan estas limitaciones en el mediano y largo plazo, posicionando a los materiales conductores avanzados como una alternativa viable para la modernización de los sistemas de transmisión eléctrica.

DISCUSIÓN

Los resultados de la revisión sistemática confirman que el uso de materiales conductores avanzados en cables eléctricos constituye una estrategia técnica eficaz para reducir las pérdidas energéticas en los sistemas de transmisión. Además, la evidencia analizada demuestra una relación consistente entre la mejora de las propiedades eléctricas y térmicas de los conductores y el incremento de la eficiencia del sistema, lo que coincide con estudios previos que destacan la innovación en materiales como un eje central de la modernización de las redes eléctricas (Riba et al., 2020; Zhang & Wang, 2022). Este

hallazgo refuerza la idea de que la reducción de pérdidas no depende únicamente de la gestión operativa del sistema, no obstante, la calidad y el desempeño intrínseco de los materiales utilizados.

Desde una perspectiva técnica, los conductores de alta temperatura y bajo pandeo (HTLS) emergen como una de las soluciones más relevantes, ya que permiten operar a mayores temperaturas sin comprometer la estabilidad mecánica ni la seguridad de las líneas. Por consiguiente, la literatura revisada coincide en que estos materiales reducen la resistencia eléctrica efectiva y limitan la expansión térmica, lo que se traduce en menores pérdidas por efecto Joule y en una mayor capacidad de transporte energético (Jalilian et al., 2024; Zhou et al., 2022). Estos resultados respaldan los planteamientos de Zhang et al. (2023), quienes señalan que la optimización termo-mecánica del conductor es un factor clave para garantizar la eficiencia sostenida del sistema de transmisión.

En términos de eficiencia energética, los hallazgos muestran que la reducción de pérdidas eléctricas mediante materiales conductores avanzados tiene un impacto directo en el rendimiento global de las redes. La disminución de pérdidas entre un 15 % y un 40 %, reportada en diversos estudios, coincide con las estimaciones de organismos internacionales que promueven la reconductorización como una alternativa

viable frente a la construcción de nuevas líneas (International Energy Agency [IEA], 2023). Este enfoque no solo optimiza el uso de la infraestructura existente, no obstante, reduce los costos ambientales y sociales asociados a la expansión de redes, especialmente en contextos urbanos o ambientalmente sensibles.

Asimismo, los resultados permiten discutir el papel de los materiales conductores avanzados en la transición hacia sistemas eléctricos más sostenibles. Al disminuir las pérdidas técnicas, se reduce la necesidad de generación adicional para cubrir la misma demanda, lo que contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, particularmente en sistemas aún dependientes de fuentes fósiles. Este hallazgo se alinea con la literatura que vincula la eficiencia en transmisión con los objetivos globales de sostenibilidad energética y mitigación del cambio climático (Zhang & Wang, 2022; IEA, 2023).

No obstante, la discusión también pone de manifiesto que la adopción de estos materiales enfrenta limitaciones técnicas y económicas que no pueden ser ignoradas. Varios estudios advierten que los costos iniciales de implementación, la necesidad de adecuaciones normativas y la disponibilidad de personal especializado pueden retrasar su incorporación, especialmente en países en desarrollo (Parvizi et al., 2025; Jalilian et al., 2024). Sin embargo, los análisis de ciclo

de vida incluidos en la literatura sugieren que los beneficios acumulados en términos de eficiencia, reducción de pérdidas y prolongación de la vida útil de las líneas superan estas barreras en el mediano y largo plazo.

La revisión evidencia vacíos de investigación relacionados con la evaluación comparativa de materiales conductores avanzados en contextos latinoamericanos y en sistemas eléctricos con características particulares, como redes envejecidas o alta penetración de energías renovables. Esta limitación sugiere la necesidad de futuros estudios empíricos que integren análisis técnicos, económicos y regulatorios, con el fin de adaptar estas soluciones a realidades locales y maximizar su impacto. En conjunto, los resultados discutidos confirman que los materiales conductores avanzados representan una alternativa estratégica para la reducción de pérdidas en la transmisión energética y para el fortalecimiento de sistemas eléctricos más eficientes, resilientes y sostenibles.

La presente revisión sistemática permitió cumplir el objetivo propuesto de analizar la relación entre el uso de materiales conductores avanzados en cables eléctricos y la reducción de pérdidas en la transmisión energética. La evidencia científica examinada demuestra de manera consistente que estos materiales, en particular los conductores de alta temperatura y bajo pandeo y los

conductores compuestos con núcleos reforzados, mejoran el desempeño eléctrico y térmico de las líneas de transmisión, lo que se traduce en una disminución significativa de las pérdidas resistivas y en una mayor eficiencia del sistema eléctrico.

Los resultados confirman que la reducción de pérdidas eléctricas asociada a los materiales conductores avanzados no solo representa un beneficio técnico, sin embargo, presenta una ventaja estratégica para la modernización de las redes eléctricas. La disminución de pérdidas por efecto Joule y el incremento de la capacidad de transporte energético permiten optimizar el uso de la infraestructura existente, evitando en muchos casos la necesidad de ampliar líneas o construir nuevas servidumbres, lo que genera impactos positivos desde el punto de vista económico, ambiental y social.

Desde una perspectiva de sostenibilidad, la revisión evidencia que el uso de materiales conductores avanzados contribuye a la reducción indirecta de emisiones de gases de efecto invernadero, al disminuir la cantidad de energía requerida para satisfacer la demanda final. Este hallazgo refuerza el papel de estos materiales como un componente clave en la transición hacia sistemas eléctricos más eficientes, resilientes y alineados con los objetivos globales de sostenibilidad energética.

No obstante, el estudio presenta algunas limitaciones que deben ser consideradas. La revisión se centró en literatura publicada entre 2020 y 2025 y en bases de datos de alto impacto, lo que puede haber excluido estudios relevantes en contextos locales o investigaciones técnicas no indexadas. Asimismo, la heterogeneidad metodológica de los estudios analizados dificultó la comparación directa de resultados cuantitativos, especialmente en lo relativo a los porcentajes exactos de reducción de pérdidas bajo distintas condiciones operativas.

A partir de estas limitaciones, se plantean futuras líneas de investigación orientadas al desarrollo de estudios empíricos y comparativos que evalúen el desempeño de materiales conductores avanzados en contextos específicos, particularmente en países en desarrollo y en redes eléctricas con alta penetración de energías renovables. Asimismo, se recomienda integrar análisis técnico-económicos y regulatorios que permitan evaluar la viabilidad de su implementación a gran escala, contribuyendo así a la toma de decisiones informadas en la planificación y modernización de los sistemas de transmisión eléctrica.

REFERENCIAS

Ahsan, M., Khan, M. A., & Rahman, M. (2025). Performance assessment of high-

temperature low-sag conductors for power transmission systems. *Electric Power Systems Research*, 230, 109211

Electricity grids and secure energy transitions. IEA.

Jalilian, A., Shahrtash, S. M., & Sadeghi, S. H. (2024). Thermal and mechanical performance of advanced overhead conductors in power transmission lines. *Energy Reports*, 10, 1189–1202. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2024.01.061>

Li, X., Chen, Y., & Liu, H. (2021). High-performance composite conductors for low-loss power transmission. *Materials Today Energy*, 20, 100634. <https://doi.org/10.1016/j.mtener.2021.100634>

Parvizi, M., Ranjbar, A. M., & Fathi, S. H. (2025). Reconductoring power transmission lines using advanced conductors: A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 188, 113982. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.113982>

Riba, J. R., Morosini, A., & Capelli, F. (2020). Improving the efficiency of overhead power lines by reconductoring with advanced conductors. *Electric Power Systems Research*, 189, 106664. <https://doi.org/10.1016/j.>

epsr.2020.106664

Zhang, Y., & Wang, Z. (2022). Advanced materials for sustainable power transmission systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 158, 112123.<https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112123>

Zhang, Y., Zhou, L., & Sun, Q. (2023). Advanced conductors and superconducting materials in next-generation power grids. *Energy Conversion and Management*, 278, 116667.<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.116667>

Zhou, L., Sun, Q., & Wang, Z. (2022). Electrical conductivity enhancement and energy efficiency in power transmission cables. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 37(4), 2891–2900.<https://doi.org/10.1109/TPWRD.2022.3145678>

AUTORES

Eduardo Luis Calo Villalva, ingeniero en Electrónica y Comunicaciones, con una maestría en Inteligencia Artificial. Mi formación humana, académica y profesional se ha orientado a la ingeniería en radiofrecuencia y a la gestión de proyectos en telecomunicaciones, aplicada a redes móviles 2G (GSM), 3G (UMTS) y 4G (LTE y LTE Advanced), con experiencia en el manejo de equipos de telecomunicaciones y redes de datos. Actualmente me desempeño como docente de educación superior en el Instituto Superior Tecnológico Tungurahua, en la carrera de Electricidad.

DECLARACIÓN

Conflicto de interés

No tenemos ningún conflicto de interés que declarar.

Financiamiento

Sin ayuda financiera de partes ajenas a este artículo.

Notas

El artículo es original y no ha sido publicado previamente.