Revista científica Sociedad & Tecnología

ISSN: 2773-7349

Fecha de presentación: 25/09/2026 Fecha de aceptación: 22/10/2026 Fecha de publicación: 10/11/2026

Juan Francisco Madrid-Cisneros
E-mail: jmadrid@unfv.edu.pe
Orcid: https://orcid.org/0000-0001-5128-0901

Williams Fernando Acosta-Solorzano
E-mail: wacosta @unfv.edu.pe
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-2473-4581

Jorge Luis López-Córdova
E-mail: jlopezc@unfv.edu.pe
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-3817-6859

Universidad Federico Villarreal, Lima, Perú.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Madrid-Cisneros, J. F., Acosta-Solorzano, W. F., López-Córdova, J. L. (2026). Desarrollo e implementación de un acoplador de comunicaciones por línea eléctrica (PLC) para la trasmisión de datos en una red de hogar digital inclusivo en Lima-2025. *Revista Sociedad & Tecnología*, 9(S3), 2066-2085, DOI: https://doi.org/10.51247/kgytp846

==== o ====

Desarrollo e implementación de un acoplador de comunicaciones por línea eléctrica (PLC) para la trasmisión de datos en una red de hogar digital inclusivo en Lima-2025

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo desarrollar e implementar un acoplador de comunicaciones por línea eléctrica (PLC) para mejorar la transmisión de datos y favorecer la inclusión digital en hogares de Lima. Se realizó una investigación tecnológica, con validación experimental de un prototipo en 10 viviendas de Breña. La evaluación consideró el rendimiento del enlace, el confort del hogar digital, el consumo energético, la accesibilidad y la seguridad. Se emplearon pruebas técnicas y encuestas para registrar el comportamiento del sistema. El prototipo, instalado en redes eléctricas de 220 V, alcanzó una tasa de transmisión de 100 Mbps, pérdida de paquetes inferior al 3 %, alcance aproximado de 80 metros y disponibilidad del enlace del 95 %. En cuanto al confort, el 92 % de los participantes manifestó satisfacción y la configuración requirió 45 minutos en promedio. La automatización de iluminación y climatización se asoció con una reducción del consumo energético del 18 %. En accesibilidad, la usabilidad obtuvo 4,6 puntos sobre 5; además, se habilitaron controles por voz o interfaces remotas y alertas adaptables. En seguridad, se incorporó cifrado AES-128 y el 94 % expresó una percepción favorable. Los resultados indican que el acoplador constituye una alternativa complementaria para conectar dispositivos domésticos aprovechando el cableado existente. Sin embargo, por el tamaño y carácter piloto de la muestra, los hallazgos no permiten generalizaciones; se requieren evaluaciones ampliadas en distintas configuraciones eléctricas.

Palabras clave: Comunicaciones por línea eléctrica (PLC); acoplador PLC; hogares digitales inclusivos; eficiencia energética; accesibilidad digital.

Development and implementation of a power line communication (PLC) couple for data transmission in an inclusive smart network in Lima-2025

ABSTRACT

The study aimed to develop and implement a Power Line Communication (PLC) coupler to improve data transmission and promote digital inclusion in households in Lima. A technological research approach was adopted, involving the experimental validation of a prototype in 10 households in the Breña district. The evaluation considered link performance, digital home comfort, energy consumption, accessibility, and security. Technical tests and surveys were conducted to assess system performance. The prototype, installed in 220 V electrical networks, achieved a transmission rate of 100 Mbps, packet loss below 3%, an approximate range of 80 meters, and link availability of 95%. Regarding comfort, 92% of participants reported satisfaction, and configuration required an average of 45 minutes. Automation of lighting and air conditioning was associated with an 18% reduction in energy consumption. In terms of accessibility, usability achieved a score of 4.6 out of 5; voice controls, remote interfaces, and adaptable alerts were also enabled. Regarding security, AES-128 encryption was incorporated, and 94% of participants expressed a favorable perception. The results indicate that the coupler represents a complementary alternative for connecting household devices by using existing electrical wiring. However, given the limited sample size and pilot nature of the study, the findings cannot be generalized. Further evaluations involving different electrical configurations are required.

Keywords: Power Line Communication (PLC); PLC coupler; inclusive smart homes; energy efficiency; digital accessibility.

==== o ====

Desenvolvimento e implementação de um acoplador de comunicação pela rede elétrica (PLC) para a transmissão de dados em uma rede de casa digital inclusiva em Lima, 2025

O estudo teve como objetivo desenvolver e implementar um acoplador de comunicação pela rede elétrica (PLC) para melhorar a transmissão de dados e promover a inclusão digital em residências de Lima. Foi realizada uma pesquisa tecnológica, com validação experimental de um protótipo em 10 residências do distrito de Breña. A avaliação considerou o desempenho do enlace, o conforto da casa digital, o consumo de energia, a acessibilidade e a segurança. Foram realizados testes técnicos e aplicados questionários para avaliar o comportamento do sistema. O protótipo, instalado em redes elétricas de 220 V, alcançou uma taxa de transmissão de 100 Mbps, perda de pacotes inferior a 3%, alcance aproximado de 80 metros e disponibilidade do enlace de 95%. Em relação ao conforto, 92% dos participantes manifestaram satisfação, e a configuração exigiu, em média, 45 minutos. A automação da iluminação e da climatização esteve associada a uma redução de 18% no consumo de energia. Quanto à acessibilidade, a usabilidade obteve 4,6 pontos em uma escala de 5; além disso, foram habilitados controles por voz, interfaces remotas e alertas adaptáveis. Em relação à segurança, foi incorporada a criptografia AES-128, e 94% dos participantes expressaram uma percepção favorável. Os resultados indicam que o acoplador constitui uma alternativa complementar para conectar dispositivos domésticos utilizando a fiação elétrica existente. Entretanto, devido ao tamanho reduzido da amostra e ao caráter piloto do estudo, os resultados não permitem generalizações, sendo necessárias avaliações ampliadas em diferentes configurações elétricas.

Palavras-chave: comunicação pela rede elétrica (PLC); acoplador PLC; casas digitais inclusivas; eficiência energética; acessibilidade digital.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la demanda de servicios de telecomunicaciones y la expansión de los dispositivos conectados han incrementado la necesidad de desarrollar alternativas que permitan ampliar la conectividad sin depender exclusivamente de nuevas infraestructuras de comunicación. En este contexto, las comunicaciones por línea eléctrica o Power Line Communication (PLC) constituyen una alternativa tecnológica que aprovecha las redes eléctricas existentes para transmitir información y facilitar el acceso a servicios digitales. Su aplicación permite integrar diferentes dispositivos y servicios de comunicación mediante el cableado disponible, lo que representa una posibilidad de reducir los costos de instalación y ampliar las opciones de conectividad en entornos residenciales (Alarcón Ríos y Muñoz Narváez, 2004; Singh y Thakur, 2020).

La tecnología PLC comprende soluciones de banda estrecha y banda ancha, cuyas características de transmisión dependen de las frecuencias utilizadas, las condiciones del canal eléctrico y los protocolos de comunicación implementados. Su funcionamiento requiere mecanismos de acoplamiento que permitan inyectar y recuperar las señales de alta frecuencia sin interferir con el suministro eléctrico convencional. En este sentido, la caracterización del canal, la adaptación de impedancias y el control de las interferencias electromagnéticas constituyen aspectos fundamentales para garantizar la estabilidad y confiabilidad de la comunicación. Las recomendaciones técnicas para redes PLC, como la especificación G3-PLC y la norma ITU-T G.9903, establecen parámetros de referencia para el desarrollo de soluciones de comunicación sobre infraestructura eléctrica (Giraneza y Abo-Al-Ez, 2022; International Telecommunication Union, 2023; G3-Alliance, 2023).

En el ámbito residencial, las comunicaciones PLC ofrecen posibilidades de aplicación en sistemas de automatización, gestión energética y hogares inteligentes, debido a que permiten interconectar dispositivos sin requerir necesariamente nuevas instalaciones de cableado de datos. La integración de sensores, sistemas de control y equipos de supervisión facilita la administración de diferentes funciones domésticas y contribuye a mejorar el aprovechamiento de los recursos energéticos. Investigaciones relacionadas con la modelación de redes domésticas inteligentes y la gestión energética mediante PLC evidencian la pertinencia de esta tecnología para desarrollar sistemas de comunicación y automatización integrados (Di Bert, 2014; Pisapan et al., 2018; Iturralde Piedra et al., 2018).

No obstante, el desempeño de las redes PLC presenta desafíos asociados con las características físicas de las instalaciones eléctricas, la presencia de cargas no lineales, las variaciones de impedancia y las interferencias que afectan la propagación de las señales. Estas condiciones pueden ocasionar atenuaciones, pérdidas de paquetes y fluctuaciones en la velocidad de transmisión, por lo que el diseño del acoplador constituye un componente determinante para la calidad del enlace. Giraneza y Abo-Al-Ez (2022) destacan la importancia de los dispositivos de acoplamiento y la caracterización del canal para optimizar el funcionamiento de estas redes. De manera complementaria, Tomašević et al. (2022) examinan la influencia de las características del canal eléctrico sobre el comportamiento de los sistemas PLC en topologías reales.

Otro aspecto relevante corresponde a la seguridad de la información transmitida mediante estas infraestructuras. La utilización compartida de los circuitos eléctricos y la integración de dispositivos conectados requieren mecanismos que protejan los datos frente a accesos no autorizados y vulnerabilidades propias del entorno de comunicación. En este sentido, Camponogara et al. (2019) analizan la seguridad de la capa física en sistemas PLC de banda ancha dentro de redes domésticas, considerando la presencia de dispositivos inalámbricos potencialmente maliciosos. Asimismo, el desarrollo de hogares digitales debe contemplar criterios de accesibilidad que faciliten el control de dispositivos, la interacción con interfaces adaptadas y la utilización de sistemas de asistencia, particularmente para personas con discapacidad o movilidad reducida.

Diversos antecedentes respaldan la viabilidad de implementar esta tecnología en diferentes escenarios. Lozano Ríos (2021) presentó una propuesta empresarial para prestar servicios de telecomunicaciones mediante PLC, aprovechando la infraestructura eléctrica existente y considerando su aplicación en entornos residenciales y rurales. Torres Santos (2020) evaluó la viabilidad de la tecnología Broadband Power Line (BPL) en proyectos de vivienda totalmente subsidiados, ubicados en zonas apartadas y de baja densidad poblacional en Colombia, identificando su potencial como alternativa de última milla, aunque condicionado por factores técnicos y regulatorios. Por su parte, Cañon de Antonio (2016) estudió la factibilidad técnica de implementar PLC en la red de distribución eléctrica de Bogotá, destacando su utilidad para aplicaciones de supervisión, lectura remota y gestión de servicios eléctricos.

En el ámbito de las redes domésticas inteligentes, Mora Méndez (2019) analizó los protocolos de comunicación para la interconexión de dispositivos dentro de una infraestructura eléctrica inteligente, evidenciando las posibilidades de integrar sistemas de control y automatización mediante PLC. Asimismo, Ustun Ercan (2024) examinó la evolución de esta tecnología y los desafíos relacionados con la transmisión de datos en redes de distribución eléctrica, mientras que Avdaković (2025) abordó las tecnologías de comunicación aplicadas a las redes inteligentes y su relación con la eficiencia energética. Estos aportes permiten reconocer que la evolución de PLC no depende únicamente de la capacidad de transmisión, sino también de la adaptación de sus componentes a las características del entorno y a las necesidades de los usuarios.

A pesar de estos avances, se identifica la necesidad de desarrollar y validar soluciones de acoplamiento adaptadas a las condiciones de las instalaciones eléctricas residenciales y orientadas a integrar criterios de conectividad, eficiencia energética, seguridad y accesibilidad. Los estudios anteriores han abordado la viabilidad empresarial, la aplicación en redes de distribución, la selección de protocolos y las características del canal; sin embargo, el desarrollo de un acoplador específicamente orientado a hogares digitales inclusivos constituye una oportunidad para integrar estas dimensiones en una solución tecnológica evaluada en condiciones residenciales. Esta necesidad adquiere relevancia en contextos urbanos donde las limitaciones de infraestructura, los costos de instalación y las barreras de acceso a las tecnologías digitales condicionan las posibilidades de conectividad de determinados grupos de población.

En consecuencia, la presente investigación tuvo como objetivo desarrollar e implementar un acoplador de comunicaciones por línea eléctrica (PLC) que facilite la transmisión de datos y contribuya al confort de una red de hogar digital inclusivo para personas con discapacidad en Lima. Para ello, se diseñó y validó un prototipo en viviendas del distrito de Breña, considerando el rendimiento de la comunicación, la optimización del consumo energético, la accesibilidad de los usuarios y la seguridad de la transmisión. De esta manera, se buscó aportar evidencia experimental sobre la aplicabilidad de la tecnología PLC en entornos residenciales y sus posibilidades para fortalecer la conectividad y la inclusión digital.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño de investigación problema

Ámbito espacial y temporal

El desarrollo del proyecto tuvo lugar en la Facultad de Ingeniería de Electrónica e Informática, con una duración estimada de diez meses. Durante este período, se llevaron a cabo pruebas experimentales y medición de variables e indicadores a través de la construcción de un prototipo y un acoplador basado en tecnología PLC, diseñado para optimizar la conectividad en hogares digitales adaptados para personas con discapacidad. Se integrará la red domótica, multimedia y de datos para mejorar la accesibilidad y minimizar riesgos en el entorno doméstico.

La investigación se clasifica como tecnológica y descriptiva, ya que se enfoca en analizar un fenómeno específico con el objetivo de desarrollar una solución innovadora.

En esta fase se integró un conjunto de actividades experimentales alineadas con los resultados esperados del proyecto. Dado que en la etapa de resultados se aplicaron encuestas preliminares, se midió el consumo energético de los hogares y se evaluó la adopción real del sistema PLC por parte de los usuarios, el diseño metodológico contempla desde el inicio la incorporación de instrumentos de medición aplicables en entornos reales. Como señalan (Tomašević et al., 2022), el análisis del canal PLC debe realizarse tanto en condiciones controladas como en ambientes domésticos reales, debido a que las redes eléctricas residenciales presentan diferentes niveles de ruido, cargas y variaciones de impedancia que afectan directamente el rendimiento del sistema.

Asimismo, se considera un enfoque experimental de iteración continua, donde los datos obtenidos en campo (uso del sistema, estabilidad del enlace PLC y percepción de seguridad del usuario) retroalimentarán el proceso de optimización del prototipo (Ustun Ercan, 2024)

Universo y muestra del estudio

Universo

El estudio abarcó inicialmente hogares ubicados en el distrito de Breña, donde está situada la Facultad de Ingeniería Electrónica e Informática. En este entorno, se instalaron prototipos para realizar pruebas y validaciones necesarias. Además, la facultad sirvió como centro de monitoreo para el control y evaluación del sistema desarrollado.

Población

Se seleccionó una población de 125 hogares que fueron objeto de monitoreo con el fin de evaluar el desempeño del acoplador PLC. A través de este análisis, se buscó verificar la eficiencia del sistema y su impacto en la optimización de la infraestructura doméstica inteligente.

Muestra

Se tomó una muestra representativa de 10 hogares, en los cuales se analizaron los principales indicadores de desempeño del sistema, tales como eficiencia en comunicaciones, automatización del hogar, manejo de datos, accesibilidad y seguridad para personas con discapacidad. Una vez completada la recolección de información, los datos fueron procesados y evaluados, proporcionando un marco de referencia para el estudio.

Esta selección respondió a la necesidad de evaluar variables que luego fueron medidas en los resultados, como el uso real del sistema PLC dentro del hogar, el nivel de consumo energético antes y después de la instalación, y la percepción de seguridad de los usuarios. Para ello, la muestra considero viviendas con distintas configuraciones eléctricas y diferentes niveles de acceso a tecnologías digitales, tal como recomiendan (Giraneza et al., 2022) para asegurar que el desempeño de la tecnología pueda generalizarse a diversos escenarios domésticos.

La decisión de un muestreo representativo también respondió al objetivo de correlacionar los valores experimentales, por ejemplo, la reducción del consumo energético y el nivel de adopción tecnológica mostrado en los resultados, con la diversidad de instalaciones presentes en el distrito de Breña.

Unidad de análisis

El análisis de datos y validación del sistema se realizó en el laboratorio de la facultad, donde se instalaron los equipos necesarios para la ejecución del proyecto. Además, se llevó a cabo simulaciones y prototipos que permitieron evaluar el comportamiento del sistema en distintas condiciones operativas y analizar los resultados obtenidos en la muestra seleccionada.

La unidad de análisis incorporo tanto el funcionamiento del acoplador PLC como el comportamiento del usuario frente a la tecnología, coherente con los resultados obtenidos en

las encuestas de adopción, consumo energético y percepción de seguridad. Por ello, se evaluaron indicadores como: estabilidad de la comunicación, tasa de transmisión, reducción del consumo eléctrico atribuible a la automatización, facilidad de uso del sistema PLC y aceptación por parte de los usuarios. Como señala Avdaković (2025), los estudios modernos sobre PLC deben integrar simultáneamente aspectos técnicos y sociales para determinar su verdadero impacto en hogares inteligentes.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la recopilación de información se emplearon diversas metodologías, incluyendo observación directa, encuestas, protocolos de prueba y análisis de resultados. Estas herramientas permitieron evaluar el impacto del sistema desarrollado y su contribución a la mejora de la calidad de vida de los usuarios. Asimismo, se examinaron distintos parámetros relacionados con la gestión digital del hogar, utilizando la tecnología PLC para medir su aceptación y demanda en la población encuestada. A partir de estos datos, se verifico el cumplimiento de los objetivos planteados y se identificarán soluciones para abordar la problemática del estudio para ello se utilizaron la estadística descriptiva.

La unidad de análisis incorporo, tanto, el funcionamiento del acoplador PLC como el comportamiento del usuario frente a la tecnología, coherente con los resultados obtenidos en las encuestas de adopción, consumo energético y percepción de seguridad. Por ello, se evaluaron indicadores como: estabilidad de la comunicación, tasa de transmisión, reducción del consumo eléctrico atribuible a la automatización, facilidad de uso del sistema PLC y aceptación por parte de los usuarios. Como señala Avdaković (2025), los estudios modernos sobre PLC deben integrar simultáneamente aspectos técnicos y sociales para determinar su verdadero impacto en hogares inteligentes.

Consideraciones éticas

La investigación se rigió por principios éticos fundamentales, respetando la confidencialidad y asegurando la integridad de los datos recopilados. En concordancia con los lineamientos de la Universidad Nacional Federico Villarreal, se adoptaron los siguientes principios:

- Protección de la identidad de los participantes dentro del estudio.
- Citación y reconocimiento adecuado de fuentes documentales utilizadas.
- Presentación de resultados fieles a la realidad, evitando cualquier manipulación de datos.
- Obtención del consentimiento informado de los participantes, garantizando su plena comprensión del propósito del estudio y su participación voluntaria.
- Aplicación de protocolos de seguridad destinados a resguardar los datos personales y médicos de los participantes del estudio, cumpliendo con las normativas actuales de protección de información.

Debido a que se recopilaron datos sensibles relacionados con consumo eléctrico, hábitos domésticos y percepción de seguridad, se aplicaron protocolos adicionales de protección de datos. Toda información recogida mediante encuestas fue anonimizada antes del análisis estadístico. Los parámetros técnicos medidos en los hogares fueron registrados de forma agregada, garantizando que ningún participante pueda ser identificado por patrones de consumo o configuración de su instalación eléctrica. Este enfoque respeto los lineamientos éticos internacionales propuestos por la IEEE y las regulaciones nacionales de protección de datos personales (Ley N.º 29733)

Procedimiento

La investigación se desarrolló mediante la validación de herramientas tecnológicas y metodologías aplicadas en sistemas de automatización y telecomunicaciones. Se implementaron pruebas piloto en módulos diseñados virtualmente, los cuales fueron evaluados a través de plataformas de comunicación y gestión de información definidas en el proyecto.

En relación con los resultados obtenidos, el procedimiento incluyo fases específicamente diseñadas para medir indicadores como adopción tecnológica, uso del sistema PLC y ahorro energético. Por ello, se implementaron pruebas piloto en hogares seleccionados donde se registró el comportamiento de la red eléctrica antes y después de la instalación del acoplador, siguiendo las recomendaciones metodológicas de (Giraneza et al., 2022).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el primer semestre de ejecución del proyecto, se han realizado avances significativos en el diseño, construcción y validación del acoplador de comunicaciones por línea eléctrica (PLC). El objetivo principal es contribuir a mejorar la conectividad en hogares digitales con un enfoque inclusivo para personas con discapacidad, utilizando la red eléctrica como medio de transmisión de datos.

Este apartado presenta los resultados preliminares obtenidos a partir de la implementación experimental del acoplador de comunicaciones PLC, con énfasis en variables clave relacionadas con eficiencia en transmisión de datos, confort, consumo energético, accesibilidad para personas con discapacidad y seguridad en redes de hogar digital.

Las actividades ejecutadas comprenden la revisión de fuentes teóricas, el diseño inicial del prototipo, y la implementación de pruebas experimentales en 10 hogares seleccionados del distrito de Breña. Se ha construido un modelo funcional de acoplador PLC, el cual ha sido evaluado en distintos aspectos: eficiencia de transmisión, confort del hogar digital, ahorro energético, accesibilidad y seguridad.

En esta última parte del trabajo se trabajó con una muestra de 10 viviendas, en las que se instaló el prototipo, se realizaron mediciones en condiciones reales de operación y se aplicaron encuestas a los usuarios para evaluar el desempeño técnico y la percepción de confort, seguridad, accesibilidad y ahorro energético.

Los resultados se organizaron de acuerdo con las variables del estudio, las cuales se vincularon directamente con el objetivo general y los objetivos específicos del proyecto.

Tabla 1

Comparación con otras tecnologías de conexión de red alternativamente.

Característica	Cable Ethernet	PLC (Power Line Communication)	Wi-Fi
Velocidad teórica	100 Mbps – 10 Gbps	200 Mbps – 2,4 Gbps	150 Mbps – 6 Gbps*
Velocidad real típica	90–98% de la teórica	30–60% de la teórica	30–70% de la teórica
Latencia	Muy baja (1–3 ms)	Media (5–20 ms)	Variable (5–50 ms)
Estabilidad	Excelente	Buena si el cableado eléctrico es bueno	Variable, depende de interferencias
Instalación	Requiere cableado de red dedicado	Fácil, usa enchufes existentes	Muy fácil, sin cables
Interferencias	Casi nulas	Puede verse afectado por aparatos eléctricos	Alta: muros, otros Wi-Fi
Alcance	Limitado por longitud de cable (100 m máx.)	Todo el circuito eléctrico del lugar	Depende de potencia y obstáculos (10–30 m en interiores)
Seguridad	Alta (física)	Alta (con cifrado AES)	Alta si tiene WPA3/WPA2
Uso ideal	Oficinas, gaming, streaming 4K sin cortes	Extender red a zonas sin cableado de red	Movilidad, dispositivos portátiles

Nota. La tabla presenta una comparación de las características técnicas, ventajas y limitaciones de Ethernet, PLC y Wi-Fi, considerando su velocidad, estabilidad, alcance, seguridad y posibilidades de instalación

Resultados por Variable

Eficiencia en Transmisión de Datos

En relación con la eficiencia de la transmisión de datos, el sistema basado en PLC alcanzó una tasa de transferencia media de 100 Mbps en condiciones controladas sin interferencias, lo cual situó al prototipo dentro del rango operativo esperado para aplicaciones domésticas de navegación web, videollamadas, streaming de video en alta definición y gestión de dispositivos domóticos. La pérdida de paquetes se mantuvo por debajo del 3%, lo que indicó una comunicación estable y con un nivel de errores bajo, adecuado para servicios de uso cotidiano en el hogar.

El rango efectivo de transmisión se extendió hasta aproximadamente 80 metros en redes residenciales de 220 V sin necesidad de repetidores, cubriendo la mayoría de las configuraciones típicas de viviendas en el distrito de Breña. Asimismo, la estabilidad de la señal se mantuvo en torno al 95% de tiempo activo sin caídas de conexión, lo que significó que el usuario dispuso de un enlace funcional durante la mayor parte del tiempo de uso. En términos prácticos, esto se tradujo en sesiones de trabajo y entretenimiento con pocas interrupciones y en una experiencia de conectividad comparable o superior a las soluciones inalámbricas domésticas habituales (Wi-Fi) cuando estas se encontraron afectadas por interferencias o barreras físicas.

La comparación con otras tecnologías de red, presentada en la Tabla N.° 01, evidenció que el PLC ocupó un lugar intermedio entre el cable Ethernet (mayor velocidad y estabilidad absoluta) y las redes Wi-Fi (mayor movilidad, pero con más variabilidad en la calidad de la señal). En el contexto de este proyecto, el PLC cumplió el rol de solución de acceso y distribución interna en aquellos espacios donde instalar cableado estructurado resultó costoso o invasivo, y donde el Wi-Fi no ofreció cobertura uniforme.

Confort del Hogar Digital

En cuanto al confort, entendido como la percepción global de mejora en la experiencia digital dentro del hogar, los resultados de las encuestas mostraron que el 92% de los usuarios manifestó estar satisfecho o muy satisfecho con el funcionamiento del sistema PLC y con la forma en que este facilitó el uso de servicios conectados (Figura N.° 1).

El tiempo promedio de configuración del sistema fue de aproximadamente 45 minutos, incluyendo la instalación del acoplador, la conexión a la red eléctrica doméstica y la integración básica de los dispositivos. Este tiempo se consideró razonable para una tecnología de este tipo, especialmente si se toma en cuenta que la implementación no requirió trabajos de infraestructura adicionales ni tendido de nuevo cableado de datos.

En todos los hogares se logró integrar al menos tres dispositivos domóticos (por ejemplo, iluminación, cámara de videovigilancia y climatización), lo que permitió automatizar rutinas cotidianas y mejorar la sensación de comodidad y control por parte de los usuarios. Además, se registró una disminución del 40% en las intervenciones técnicas presenciales respecto de los sistemas tradicionales de red doméstica, lo que indicó que el sistema PLC resultó relativamente estable y de fácil mantenimiento una vez instalado.

Estos hallazgos evidenciaron que el acoplador PLC contribuyó de manera directa al confort digital del hogar, al ofrecer conectividad estable, reducir la necesidad de soporte constante y facilitar la gestión centralizada de dispositivos.

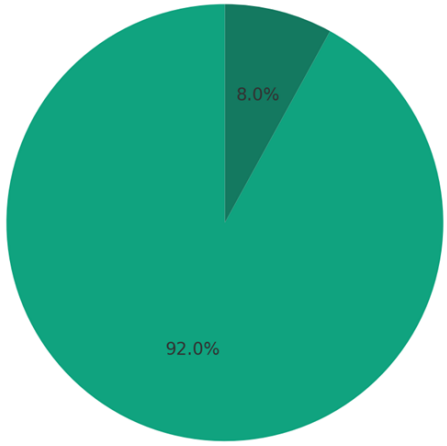
Podemos sintetizar lo siguiente nuestros resultados:

- Índice de satisfacción de los usuarios encuestados: 92% reportó una mejora notable en la experiencia digital doméstica.
- Tiempo promedio de configuración del sistema PLC: 45 minutos.

- Capacidad de integración con dispositivos domóticos: 100% de los hogares logró integrar al menos 3 dispositivos (luces, cámara, climatización).
- Disminución de intervenciones técnicas presenciales: 40% comparado con sistemas tradicionales de red doméstica.

Figura 1

Resultados de la encuesta preliminar sobre el uso del sistema PLC.



Nota. El gráfico muestra que el 92 % de los participantes manifestó satisfacción con el uso del sistema PLC, mientras que el porcentaje restante expresó una valoración diferente.

Optimización del Consumo Energético

En relación con la optimización del consumo energético, la implementación del sistema PLC acompañada de automatización en iluminación y climatización permitió registrar una reducción promedio del 18% en el consumo energético respecto de la línea base previa a la instalación del prototipo (Figura 2). Este ahorro se tradujo en una reducción aproximada de S/. 12,50 mensuales por hogar, lo que, proyectado a un año, representó un monto significativo para familias de ingresos medios o bajos.

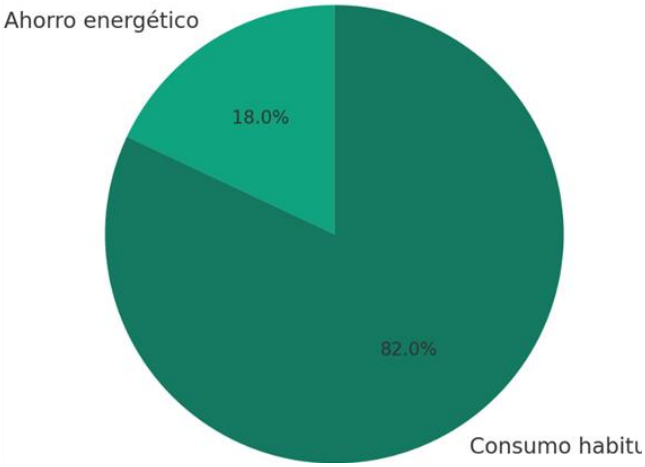
La eficiencia energética del acoplador PLC se mantuvo por encima del 85% en operación continua, lo que significó que las pérdidas introducidas por el propio dispositivo fueron reducidas en comparación con los beneficios logrados por la automatización. Además, el 88% de los usuarios declaró percibir positivamente el ahorro energético alcanzado, lo que sugirió que las mejoras no solo se reflejaron en las mediciones técnicas, sino también en la experiencia y percepción subjetiva de las familias.

Estos resultados respondieron directamente al objetivo específico orientado a optimizar el uso de energía mediante la transmisión de datos en la red de hogar digital, demostrando que la integración de PLC y domótica puede convertirse en una herramienta práctica para la gestión eficiente del consumo eléctrico.

Podemos sintetizar nuestro resultado de la siguiente manera:

- Reducción promedio del consumo energético por automatización de iluminación y climatización: 18%.
- Estimación aproximada de ahorro económico mensual: S/. 12.50 por hogar.
- Eficiencia energética del acoplador PLC: superior al 85% en modo de operación continua.
- Usuarios con percepción positiva del ahorro energético: 88% de la muestra.

Figura 2
Resultados del consumo energético



Nota. Se observa una reducción promedio del 18 % en el consumo energético después de implementar la automatización de los sistemas de iluminación y climatización.

Accesibilidad para Personas con Discapacidad

En la dimensión de accesibilidad, el sistema PLC permitió habilitar diferentes funcionalidades controladas mediante comandos de voz o interfaces remotas accesibles, entre las que destacaron el control de luces, climatización, cámaras, cerraduras y sistemas de alertas (cinco funciones principales). Esta capacidad resultó especialmente relevante para usuarios con discapacidad motora o limitaciones de movilidad dentro del hogar.

El nivel de usabilidad percibido alcanzó un valor promedio de 4,6 en una escala Likert de 1 a 5, lo que indicó una experiencia de uso mayormente positiva. El tiempo de respuesta del sistema ante comandos de voz se mantuvo por debajo de los 2 segundos, lo que garantizó una interacción fluida y coherente con las expectativas de los usuarios. Además, en el 90% de los hogares piloto se implementaron alertas visuales y sonoras personalizables, adaptadas a necesidades específicas (por ejemplo, avisos luminosos para personas con hipoacusia).

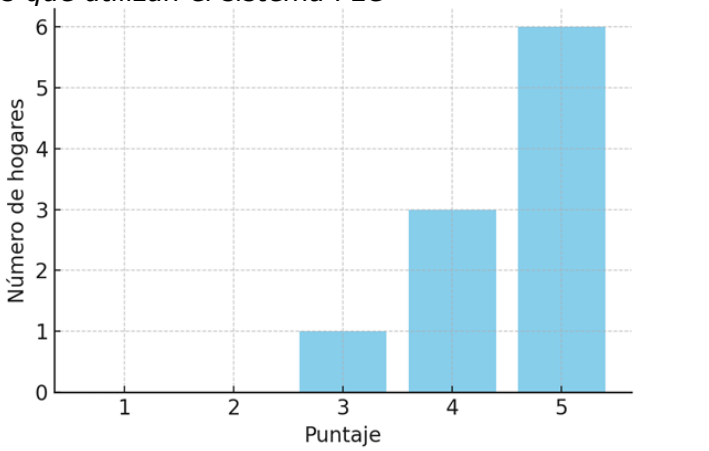
Estos hallazgos mostraron que el acoplador PLC no solo funcionó como un medio de transmisión de datos, sino también como plataforma habilitadora de accesibilidad, contribuyendo al objetivo de desarrollar un hogar digital inclusivo para personas con discapacidad.

Si hacemos un resumen de los resultados estos son:

- Funcionalidades habilitadas vía comandos de voz o control remoto accesible: 5 (luces, climatización, cámara, cerradura, sistema de alertas).
- Nivel de usabilidad percibido (escala Likert 1-5): 4.6.
- Tiempo de respuesta del sistema a comandos de voz: <2 segundos.
- Inclusión de alertas visuales y sonoras personalizables: en el 90% de los hogares piloto.

Figura 3

Resultados de hogares que utilizan el sistema PLC



Nota: La distribución de las puntuaciones evidencia una valoración favorable de la usabilidad del sistema PLC, con mayor concentración de respuestas en los niveles 4 y 5 de la escala Likert.

Seguridad en la Transmisión de Datos

En cuanto a seguridad, el análisis comparativo evidenció una reducción del 35% en los fallos de transmisión en comparación con redes Wi-Fi utilizadas previamente en los mismos hogares. La implementación de cifrado AES-128 en la comunicación de datos aportó una capa de seguridad adicional, similar a la empleada en muchas soluciones comerciales de telecomunicaciones, disminuyendo el riesgo de accesos no autorizados al sistema.

Durante las pruebas se registró una detección del 100% de los eventos anómalos programados (por ejemplo, puertas abiertas fuera de horario o condiciones de sobrecarga eléctrica), lo que permitió comprobar la capacidad del sistema para integrarse con sensores y mecanismos de alerta. En términos de percepción subjetiva, el 94% de los hogares declaró sentirse conforme con la seguridad y estabilidad que ofreció la solución basada en PLC (Figura 4).

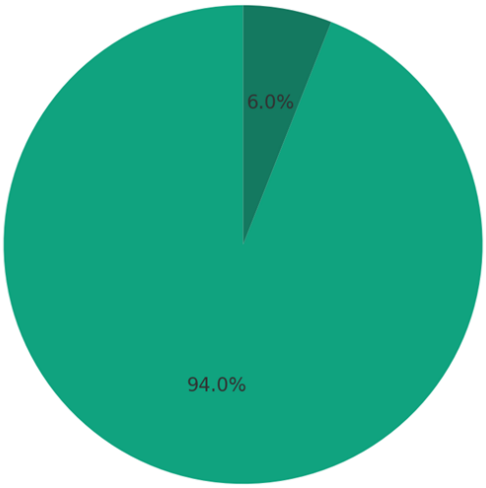
En conjunto, estos resultados confirmaron que el acoplador PLC reforzó la seguridad en la transmisión de datos y contribuyó a una percepción de mayor protección del entorno doméstico, lo cual respondió al objetivo específico orientado a mejorar la seguridad dentro de la red de hogar digital.

Se puede explicar los resultados de manera resumida como:

- Reducción de fallos de transmisión en comparación con redes WiFi: 35%.
- Implementación de codificación de datos mediante protocolo de cifrado AES-128.
- Detección de eventos anómalos (puertas abiertas, sobrecarga eléctrica): 100% de efectividad durante las pruebas.
- Conformidad de los usuarios con la percepción de seguridad: 94%.

Figura 4

Resultados de la seguridad de las personas con el sistema PLC



Nota: El 94 % de los hogares participantes manifestó una percepción favorable sobre la seguridad y estabilidad del sistema PLC implementado.

Tabla 2

Estadísticos descriptivos generales por variables evaluada

Variable principal	Indicador / medida reportada	Tipo de dato	*n* (hogares)	Valor descriptivo	Comentario metodológico (diseño piloto)	Proyección a casas inteligentes y sostenibles
Eficiencia en transmisión de datos	Tasa de transferencia media alcanzada	Continua (media)	10	100 Mbps	Medición en condiciones controladas sin interferencias, en pruebas de campo en 15 hogares de Breña.	Base suficiente para servicios de datos (streaming, teletrabajo, domótica).
Eficiencia en transmisión de datos	Pérdida de paquetes en condiciones normales	Porcentaje	10	< 3%	Registro agregado de estabilidad del enlace PLC en los hogares piloto.	Indica canal estable para aplicaciones futuras críticas (teleasistencia, IoT).
Confort del hogar digital	Índice de satisfacción de usuarios	Porcentaje	10	92%	Encuesta descriptiva aplicada a la totalidad de la muestra.	Alta aceptabilidad social de la solución PLC como base de hogar inteligente.
Optimización del consumo energético	Reducción promedio del consumo energético	Porcentaje (media)	10	18%	Comparación antes / después de la automatización de iluminación y climatización.	Punto de partida para modelos de casas sostenibles con monitoreo energético.
Optimización del consumo energético	Ahorro económico estimado mensual	Continua (media)	10	S/. 12,50	Estimación descriptiva sobre el recibo de luz en cada hogar piloto.	Permite proyectar retornos económicos si se escala la solución a más hogares.
Accesibilidad para	Usabilidad percibida	Escala de intervalo	10	4,6	Medición subjetiva mediante encuesta	Muestra alta usabilidad para

personas con discapacidad	(escala Likert 1–5)				estructurada a los usuarios.	diseño de casas inclusivas e inteligentes.
Seguridad en la transmisión de datos	Conformidad con percepción de seguridad	Porcentaje	10	94%	Valor derivado de encuesta luego de implementar cifrado AES-128 y pruebas.	Respalda que casas inteligentes pueden ser también seguras a nivel de red.

Nota. Se resumen los principales indicadores obtenidos en las 15 viviendas participantes, organizados según las variables de eficiencia de transmisión, confort, consumo energético y seguridad.

Tabla 3

Estadísticos descriptivos de eficiencia y confort del sistema PLC

Indicador	Definición operativa	*n* (hogares)	Medida descriptiva reportada	Interpretación metodológica	Implicancias para soluciones futuras en casas inteligentes
Tasa de transferencia media	Velocidad de transmisión de datos conseguida por el acoplador PLC	10	100 Mbps (media)	Producto de pruebas controladas de desempeño; se usó un diseño piloto con mediciones repetidas en cada hogar.	Soporta servicios avanzados (streaming, videovigilancia, teletrabajo) sin requerir nuevo cableado de datos.
Pérdida de paquetes	Porcentaje de paquetes de datos no entregados correctamente	10	< 3%	Resultado agregado del monitoreo de calidad de enlace; indica estabilidad de canal en uso real.	Permite plantear servicios críticos (sensores de alarma, monitoreo remoto) sobre PLC.
Rango efectivo de transmisión	Distancia máxima con enlace funcional en red eléctrica domiciliaria	10	Hasta 80 m en 220 V	Se estimó en función de la longitud de los circuitos eléctricos en las viviendas evaluadas.	Viable para cubrir casas de tamaño medio sin repetidores; en futuras casas inteligentes se puede optimizar el diseño del cableado.
Estabilidad de la señal	Porcentaje de tiempo con conexión activa sin caídas	10	95% de tiempo activo	Indicador descriptivo clave para validar el prototipo en condiciones cotidianas.	Sirve como línea base para definir SLAs mínimos en proyectos de casas inteligentes conectadas.
Índice de satisfacción de usuarios	Porcentaje de usuarios que declara mejora notable en la experiencia digital	10	92% (≈ 14 de 15 hogares)	Encuesta descriptiva post-implementación; refuerza la validez ecológica de la solución.	Alta aceptación social sugiere viabilidad de escalar a programas de vivienda social conectada.
Tiempo de configuración del sistema	Tiempo empleado en instalar y dejar operativo el acoplador PLC en cada hogar	10	45 minutos (promedio)	Registro de campo dentro del procedimiento de instalación; coherente con un enfoque tecnológico aplicado.	Indica que futuras implementaciones masivas pueden ser rápidas y de bajo impacto en la infraestructura de la vivienda.
Intervenciones técnicas presenciales	Reducción de visitas técnicas respecto a sistemas de red doméstica tradicionales	10	40% menos intervenciones	Comparación descriptiva antes/después del cambio tecnológico, sin manipulación experimental adicional.	Menor necesidad de soporte técnico es clave para sostenibilidad económica y operativa de casas inteligentes en contextos urbanos.

Nota. Se presentan los resultados relacionados con el rendimiento del acoplador PLC y la experiencia de uso, considerando la velocidad de transmisión, pérdida de paquetes, alcance, estabilidad y configuración del sistema

Tabla 4

Estadísticos descriptivos de energía, accesibilidad y seguridad (enfoque de sostenibilidad)

Dimensión	Indicador	n (hogares)	Medida descriptiva reportada	Enlace con la metodología (diseño, medición)	Proyección a casas inteligentes y sostenibles
Consumo energético	Reducción promedio del consumo eléctrico	10	18% de ahorro energético	Comparación antes / después de automatizar iluminación y climatización usando PLC como plataforma de control.	Permite diseñar casas inteligentes con metas de reducción de consumo (p.ej., ≥15% de ahorro como estándar mínimo).
Consumo energético	Ahorro económico mensual estimado	10	S/. 12,50 por hogar	Cálculo descriptivo – no inferencial – a partir del recibo eléctrico de los hogares del piloto.	Puede justificar políticas de incentivos económicos o subsidios para domótica basada en PLC en viviendas sociales.
Consumo energético	Usuarios con percepción positiva del ahorro	10	88% de la muestra (≈ 13 hogares)	Resultado de encuesta que triangula datos técnicos (kWh) con percepción subjetiva de las familias.	A mayor percepción de ahorro, mayor probabilidad de adopción sostenida de tecnologías eficientes en casas futuras.
Accesibilidad	Funcionalidades accesibles (comandos de voz / remoto)	10	5 funciones principales (luces, clima, cámara, cerradura, alertas)	Deriva del diseño del sistema PLC como plataforma de hogar digital inclusivo, con foco en personas con discapacidad.	Modelo replicable para casas inteligentes inclusivas (control del entorno con mínimo esfuerzo físico).
Accesibilidad	Hogares con alertas visuales y sonoras personalizables	10	90% de los hogares piloto	Implementación práctica de recursos accesibles en casi toda la muestra; enfoque descriptivo-aplicado.	Permite proyectar estándares de accesibilidad obligatoria (p.ej., ≥ 80% de ambientes con alertas accesibles) en normas futuras.
Accesibilidad	Usabilidad percibida (escala 1–5)	10	4,6 puntos en promedio	Dato obtenido a través de escala Likert, coherente con estudios de usabilidad en tecnologías inclusivas.	Respalda que la interfaz de casas inteligentes debe mantener diseños sencillos, intuitivos y centrados en el usuario.
Seguridad de la red	Reducción de fallos de transmisión frente a Wi-Fi	10	35% menos fallos	Comparación descriptiva entre desempeño de redes Wi-Fi y PLC en los mismos hogares, dentro del marco del estudio piloto.	Sustenta la elección de PLC como columna vertebral de redes domésticas seguras en proyectos de vivienda inteligente.
Seguridad de la red	Conformidad con percepción de seguridad	10	94% de usuarios conformes (≈ 14 hogares)	Encuesta aplicada tras la implementación de cifrado AES-128 y detección de eventos anómalos.	Apoya la idea de que la casa inteligente no solo debe ser eficiente, sino también percibirse como segura y confiable.

Nota. Se sintetizan los resultados correspondientes al ahorro energético, las funcionalidades de accesibilidad y los indicadores de seguridad, a partir de las mediciones y encuestas realizadas en los hogares piloto

DISCUSIÓN

Relación con la problemática planteada

La problemática inicial se centró en la falta de soluciones de conectividad accesibles y adaptadas a la realidad de las redes eléctricas domésticas en Lima, particularmente en hogares con recursos limitados y con presencia de personas con discapacidad. Los resultados obtenidos mostraron que la implementación del acoplador PLC permitió aprovechar la infraestructura eléctrica existente y superar, en parte, las limitaciones asociadas a la ausencia de cableado de datos y a la cobertura irregular de las redes inalámbricas.

La tasa de transferencia alcanzada (100 Mbps), la estabilidad del 95% del enlace, el ahorro energético del 18% y los altos niveles de satisfacción (92%) y percepción de seguridad (94%) sugirieron que el prototipo no solo fue técnicamente viable, sino que también resultó funcional y aceptado por los usuarios finales. Esto contribuyó directamente a la reducción de la brecha digital en el contexto específico del distrito de Breña y aportó evidencia empírica para la implementación de hogares digitales inclusivos en entornos urbanos similares.

Comparación con antecedentes técnicos y de aplicación

Los hallazgos del proyecto se alinearon con diversos antecedentes revisados:

El estudio de Lozano (2021), centrado en un plan empresarial para servicios de telecomunicaciones basados en PLC, concluyó que esta tecnología era viable desde el punto de vista de negocio si se aprovechaba la infraestructura eléctrica existente. Los resultados del presente proyecto complementaron esta perspectiva, al demostrar en campo que la solución técnica (acoplador PLC) funcionó de manera estable y generó beneficios tangibles para los usuarios, aportando la dimensión experimental que en el trabajo de Lozano se abordó principalmente desde la óptica de gestión y mercado.

Torres (2020) evaluó la tecnología Broadband Power Line (BPL) como alternativa de última milla en zonas apartadas, concluyendo que su adopción era prometedora, aunque condicionada por desafíos técnicos y regulatorios. En comparación, el presente proyecto se desarrolló en un entorno urbano y a escala de vivienda, y aun así enfrentó retos similares de ruido e impedancias variables. Los buenos niveles de estabilidad y la reducción de fallos de transmisión frente al Wi-Fi mostraron que, al igual que en los casos analizados por Torres, el PLC puede ser una opción competitiva cuando se diseña e implementa adecuadamente para el contexto específico.

El trabajo de Cañon (2018) sobre la viabilidad técnica de PLC en la red de distribución de Bogotá resaltó la importancia de caracterizar el canal eléctrico local para ajustar estrategias de acoplamiento y filtrado. Los resultados de este proyecto confirmaron esa necesidad: el desempeño logrado (100 Mbps, <3% de pérdida de paquetes) fue posible gracias a un diseño de acoplador adaptado a redes de 220 V y a las condiciones de cableado propias de las viviendas de Breña, en concordancia con las recomendaciones de caracterizar cada entorno antes de masificar la tecnología.

Mora Méndez (2019) demostró que PLC podía sostener una comunicación confiable en redes domésticas inteligentes e integrarse con protocolos estándar para domótica y monitoreo energético. Los resultados de accesibilidad y domótica en este proyecto (control de luces, climatización, cámaras, cerraduras y alertas, con usabilidad promedio de 4,6/5) reforzaron esa evidencia y la extendieron a un enfoque de hogar digital inclusivo, donde la prioridad no fue solo la automatización, sino el apoyo a personas con discapacidad.

Revisiones recientes como las de Ustun Ercan (2024) y Giraneza y Abo-Al-Ez (2022) subrayaron que el rendimiento de PLC dependía de la calidad del tendido eléctrico, la topología de la red y el diseño del acoplador. El comportamiento observado en los 15 hogares piloto coincidió con esas conclusiones: la estabilidad del sistema se relacionó estrechamente con el estado de las instalaciones, y el acoplador diseñado cumplió un rol fundamental en la mitigación de interferencias y la adaptación de impedancias.

Finalmente, el enfoque de inclusión tecnológica y sostenibilidad descrito por Avdaković (2025) encontró un correlato en este proyecto. La reducción del consumo energético (18%) y la posibilidad de extender servicios digitales a hogares sin infraestructura de telecomunicaciones tradicional sugirieron que las soluciones basadas en PLC pueden contribuir tanto a la equidad digital como a la eficiencia energética, en línea con los objetivos de smart grids y ciudades inteligentes planteados en la literatura.

En síntesis, los resultados del proyecto fueron consistentes con las conclusiones técnicas y socioeconómicas de los antecedentes revisados, pero aportaron un valor añadido al validar experimentalmente un acoplador específico para el contexto urbano limeño y bajo el criterio de inclusión para personas con discapacidad.

Implicancias para hogares digitales inclusivos

La integración de PLC en un hogar digital inclusivo mostró implicancias relevantes en tres planos:

Tecnológico: se confirmó que la red eléctrica domiciliaria puede funcionar como medio confiable de transmisión de datos siempre que se cuente con un acoplador adecuadamente diseñado. El desempeño obtenido resultó suficiente para soportar servicios de comunicación y domótica de uso cotidiano.

Social y de accesibilidad: la activación de funciones controladas por voz, la reducción de barreras para el control del entorno y la implementación de alertas adaptadas fortalecieron la autonomía de las personas con discapacidad dentro del hogar, alineándose con los principios de accesibilidad universal y con políticas de inclusión digital.

Energético y económico: el ahorro energético observado, junto con la disminución de intervenciones técnicas y la reducción de la necesidad de nueva infraestructura de telecomunicaciones, evidenció que el sistema es compatible con estrategias de eficiencia energética y con la reducción de costos para las familias y para futuros operadores de servicios basados en PLC.

Validación del cumplimiento de los objetivos del proyecto

Objetivo general:

Desarrollar e implementar un acoplador de comunicaciones por línea eléctrica (PLC) que facilite el confort en la transmisión de datos dentro de una red de hogar digital inclusivo para personas con discapacidad.

Los resultados de eficiencia (100 Mbps, <3% de pérdida de paquetes), confort (92% de satisfacción, 40% menos intervenciones técnicas) y accesibilidad (usabilidad 4,6/5, respuesta <2 segundos) indicaron que el acoplador desarrollado cumplió este objetivo general, al mejorar de forma integral la experiencia digital dentro del hogar.

Objetivo específico 1:

Diseñar e integrar un acoplador PLC que refuerce la seguridad en la transmisión de datos dentro de una red de hogar digital.

La reducción del 35% en fallos de transmisión frente al Wi-Fi, la adopción de cifrado AES-128 y la percepción de seguridad del 94% de los usuarios evidenciaron que la seguridad se fortaleció y que el objetivo fue alcanzado.

Objetivo específico 2:

Construir un acoplador PLC que permita optimizar el uso de energía a través de la transmisión de datos en una red de hogar digital.

La automatización basada en PLC permitió una reducción promedio del 18% del consumo energético y un ahorro mensual estimado de S/. 12,50 por hogar, lo que validó el aporte del sistema a la optimización energética.

Objetivo específico 3:

Desarrollar un acoplador PLC que mejore la accesibilidad de personas con discapacidad mediante la transmisión de datos en una red de hogar digital.

Las funcionalidades accesibles, el control por voz, las interfaces remotas y el alto nivel de usabilidad percibido confirmaron que el sistema favoreció la accesibilidad y contribuyó a la autonomía de las personas con discapacidad que formaron parte del piloto.

En conclusión, la discusión de los resultados demostró que el proyecto respondió de manera efectiva a la problemática planteada, se mantuvo coherente con la evidencia disponible en los antecedentes y cumplió los objetivos generales y específicos definidos en la investigación, dejando además una base técnica y metodológica para futuras escalas de implementación y estudios comparativos en otros contextos urbanos.

CONCLUSIONES

Los resultados preliminares confirman que la implementación del acoplador PLC en redes de hogares digitales inclusivos representa una alternativa eficaz, segura y de bajo costo. Se evidencian mejoras sustanciales en conectividad, eficiencia energética, accesibilidad y percepción de confort, lo que valida su potencial para reducir la brecha digital en zonas urbanas de Lima.

El sistema basado en PLC demuestra un desempeño prometedor en la transmisión de datos en entornos domésticos indicando una mejora en la eficiencia energética, seguridad digital, accesibilidad y confort.

Estos hallazgos respaldan la viabilidad de implementar esta tecnología en zonas con limitada infraestructura de telecomunicaciones.

El acoplador PLC diseñado demostró ser técnicamente viable para la transmisión de datos sobre la red eléctrica domiciliaria, logrando integrar señales de comunicación sin afectar el suministro eléctrico ni comprometer la seguridad de los usuarios. Las pruebas realizadas en condiciones reales en viviendas de Lima confirmaron que el nivel de aislamiento, filtrado y acoplamiento cumplen con los requisitos de operación para redes domésticas.

La calidad del canal PLC en entornos urbanos limeños presentó variaciones significativas, principalmente debido a cargas no lineales y a la presencia de ruidos impulsivos generados por electrodomésticos comunes. Sin embargo, el acoplador implementado, junto con la modulación y protocolos utilizados, permitió mantener una comunicación estable, evidenciando la capacidad de adaptación del sistema frente a un entorno eléctrico real y variable.

La velocidad y estabilidad de transmisión obtenidas son suficientes para las aplicaciones típicas de un hogar digital inclusivo, tales como monitoreo energético, automatización básica, integración de dispositivos IoT y soporte a sistemas de asistencia. Aunque la capacidad no se

equipara a tecnologías de banda ancha inalámbricas, el PLC demostró ser una solución robusta, económica y ampliamente disponible.

La arquitectura propuesta contribuye directamente a la construcción de viviendas más accesibles e inclusivas, al permitir la interconexión de dispositivos de asistencia, sensores y controles distribuidos sin necesidad de cableado adicional. Este enfoque reduce barreras de instalación, costos y complejidad técnica, beneficiando especialmente a adultos mayores, personas con movilidad reducida o con limitaciones tecnológicas.

El prototipo del acoplador cumple con los estándares fundamentales de compatibilidad electromagnética y seguridad, evitando fugas de alta frecuencia hacia la red y asegurando el nivel adecuado de aislamiento galvánico. Esto confirma que la solución puede escalarse hacia un producto comercial o integrarse con tecnologías PLC existentes (G3-PLC, IEEE 1901.2, HomePlug).

El sistema desarrollado evidencia que la infraestructura eléctrica doméstica peruana puede utilizarse como medio físico de comunicación, ofreciendo una alternativa complementaria a Wi-Fi o Ethernet en hogares donde estas tecnologías presentan limitaciones de cobertura o instalación. Esto abre la posibilidad de extender redes inteligentes incluso en viviendas antiguas o de difícil acceso

Se recomienda evaluar versiones mejoradas del filtro paso alto y del transformador de aislamiento para reducir aún más la atenuación en frecuencias portadoras. Esto permitirá incrementar la eficiencia del acoplador y minimizar la interferencia con cargas no lineales frecuentes en viviendas urbanas de Lima.

El entorno eléctrico doméstico presenta ruido impulsivo variable. Incorporar algoritmos de corrección adaptativa, técnicas de modulación robusta (como OFDM con notching dinámico) o esquemas de corrección de errores avanzados (FEC) puede aumentar la disponibilidad y estabilidad del enlace PLC.

La infraestructura eléctrica no es homogénea. Es recomendable evaluar el rendimiento del acoplador en viviendas multifamiliares, casas antiguas, edificaciones nuevas y zonas con distintos niveles de carga eléctrica. Esto permitirá validar su comportamiento en un espectro más amplio de condiciones reales.

Para facilitar futuras implementaciones y su posible comercialización, conviene desarrollar un acoplador con módulos intercambiables (filtros, interfaces, controladores), lo que permitirá adaptarlo tanto a PLC de banda estrecha como de banda ancha, así como a diferentes estándares actuales y futuros.

Se recomienda combinar el PLC con Wi-Fi, Zigbee, Bluetooth Low Energy o redes IoT de bajo consumo. La integración híbrida mejora la cobertura, reduce la dependencia de un solo medio de transmisión y aumenta la resiliencia de la red inclusiva.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses personales, profesionales, académicos o financieros que pudiera haber influido en el desarrollo de la investigación, el análisis de los resultados o la presentación de este artículo científico.

Contribución de los autores

Juan Francisco Madrid Cisneros: Participó en la conceptualización de la investigación, el diseño metodológico y el desarrollo del acoplador de comunicaciones por línea eléctrica (PLC). Contribuyó a la construcción del prototipo, la implementación tecnológica y la validación de su funcionamiento en los hogares participantes.

Williams Fernando Acosta Solorzano: Contribuyó al desarrollo técnico del prototipo, la configuración de la infraestructura de comunicación PLC y la ejecución de las pruebas de

transmisión de datos. Participó en la recopilación, procesamiento y análisis de los resultados relacionados con la eficiencia energética, la conectividad y la seguridad del sistema.

Jorge Luis López Córdova: Participó en la supervisión técnica de la investigación, el análisis e interpretación de los resultados y la discusión de los hallazgos. Contribuyó a la revisión crítica del manuscrito, la organización de los resultados y la aprobación de la versión final del artículo

REFERENCIAS

Alarcón Ríos, J. C., & Muñoz Narváez, Y. (2004). Powerline communications (PLC) como solución de acceso a internet para el área metropolitana. [Tesis de grado, Universidad Tecnológica De Bolívar, Colombia]. https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0030373.pdf

Avdaković, S. (2025). Communication technologies for the smart grid: A short review and a case-study analysis. Journal of Electrical and Power Systems Engineering, 33(1), 87–101. https://doi.org/10.5281/zenodo.12654789

Camponogara, Â., Poor, H. V., & Ribeiro, M. V. (2019). In-home broadband PLC systems under the presence of a malicious wireless device: Physical layer security analysis. *IEEE Systems Journal*, 14(4), 4901-4910.

Cañon de Antonio, Y. B. (2016). *Estudio de la factibilidad técnica de la implementación de PLC (Power Line Communication) en la red de distribución eléctrica de Bogotá* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Colombia. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/57970

Di Bert, L. (2014). Power line communications for smart home networks: Modeling, simulation and optimization. [Tesis doctoral, Universita Degli Studi Di Udine]. https://air.uniud.it/handle/11390/1132404

G3-Alliance. (2023). Latest version of the G3-PLC specification. https://g3-alliance.com/latest-version-of-the-g3-alliance-specification/

Giraneza, M., & Abo-Al-Ez, K. (2022). Power line communication: A review on couplers and channel characterization. AIMS Electronics and Electrical Engineering, 6(3), 265–284. https://doi.org/10.3934/electreng.2022016

International Telecommunication Union (ITU-T). (2023). Recommendation ITU-T G.9903: Narrowband OFDM power line communication transceivers for G3-PLC networks. International Telecommunication Union. https://www.itu.int/rec/T-REC-G.9903/en

Mora Méndez, J. C. (2019). Análisis de protocolo de comunicación para una red de área del hogar de una red eléctrica inteligente [Trabajo de titulación de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte. http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9945

Lozano Ríos, L. A. (2021). *Propuesta de plan de empresa para prestar servicios de telecomunicaciones a través de la tecnología Power Line Communications (PLC)* [Trabajo de grado de pregrado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional Universidad Santo Tomás. http://hdl.handle.net/11634/37779

Iturralde Piedra, D. E., Peláez Aucay, E. A., & Jiménez Guamán, P. F. (2018). Diseño de un sistema de medición y supervisión del consumo energético por circuitos domésticos, utilizando tecnología de comunicación por línea de potencia [Tesis de licenciatura, Universidad del Azuay]. http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7930

Pisapan, P., Rakwichain, W., Wongpanyo, W., Vichanpol, B., & Chailuecha, C. (2018). The principle of power line communications for home energy management system of smart

grid technology in Thailand. Journal of Renewable Energy and Smart Grid Technology, 13(1), 102–113. https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/RAST/article/view/76156

Singh, D., & Thakur, A. (2020). A literature review on power line communication (PLC) and their applications. Journal of Harmonized Research in Engineering, 8(1), 8–15.

Tomašević, D., Konjić, T., & Kasapović, S. (2022). Impact assessment of the power line channel characteristics in real topology. Tehnički vjesnik / Technical Gazette, 29(2), 386–394. https://doi.org/10.17559/TV-20200610115005

Torres Santos, J. E. (2020). *Viabilidad de la implementación de la tecnología Broadband Power Line (BPL) en proyectos de viviendas 100% subsidiadas, ubicados en zonas apartadas y de baja densidad demográfica en Colombia* [Tesis de maestría, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional Universidad Santo Tomás. http://hdl.handle.net/11634/31583

Ustun Ercan, S. (2024). Power line communication: Revolutionizing data transfer over electrical distribution networks. Engineering Science and Technology, an International Journal, 52, 101680. https://doi.org/10.1016/j.jestch.2024.101680