

Análisis de la calidad de energía en residencias en Ecuador: Impacto de la domótica en armónicos y fluctuaciones de voltaje

Analysis of Power Quality in Residential Homes in Ecuador: Impact of Home Automation on Harmonics and Voltage Fluctuations

Galo Marcelo Tapia Estrella¹, Carlos Ramiro Corrales Tapia², Roberto Asdrúbal Segura Flores³

DOI: <https://doi.org/10.61236/ciya.v9i2.1111>

RESUMEN:

Este estudio evalúa el impacto de los dispositivos domóticos en la eficiencia energética y la calidad del suministro eléctrico en una vivienda del cantón Pelileo, Ecuador. La investigación se realizó mediante un proceso de monitoreo en dos etapas utilizando un medidor inteligente y un analizador de calidad de energía Fluke 1735, antes y después de la implementación de dispositivos domóticos. Los resultados muestran una reducción del 10,9% en el consumo total de energía, lo que evidencia un potencial ahorro económico. Sin embargo, se detectó un incremento en la distorsión armónica, provocando una disminución del 3,4% en el factor de potencia. El estudio resalta la necesidad de mitigar estos efectos para asegurar un equilibrio entre eficiencia y calidad energética en entornos residenciales.

Palabras claves: Domótica, Eficiencia energética, calidad energética, Dispositivos inteligente, Domicilio.

ABSTRACT:

This study evaluates the impact of smart home devices on energy efficiency and power quality in a residential dwelling in Pelileo, Ecuador. The research was conducted through a two-stage monitoring process using a smart meter and a Fluke 1735 power analyzer, both before and after the implementation of smart devices. Results indicate a 10.9% reduction in total energy consumption, highlighting economic potential. However, an increase in harmonic distortion led to a 3.4% reduction in power factor, raising concerns about energy quality degradation. The study underscores the importance of addressing power quality issues when implementing energy-saving technologies in residential settings.

Keywords: Home automation, Energy efficiency, Power quality, Smart devices, Household.

Recibido: 29 de marzo de 2025; **revisión aceptada:** 2 de junio de 2025.

¹ Instituto Superior Tecnológico Tungurahua, Tungurahua, Ambato, Ecuador, gtapia.istt@gmail.com

² Instituto Superior Tecnológico Tungurahua, Tungurahua, Ambato, Ecuador, ccorrales.istt@gmail.com

³ Instituto Superior Tecnológico Tungurahua, Tungurahua, Ambato, Ecuador, rsegura@institutos.gob.ec

1. INTRODUCCIÓN

El consumo energético residencial continúa en aumento debido al crecimiento demográfico, la adopción de nuevos dispositivos eléctricos y la demanda de confort dentro del hogar. Este escenario plantea desafíos significativos para la eficiencia energética y la calidad del suministro eléctrico. La automatización doméstica, también conocida como domótica, ha emergido como una solución tecnológica que permite el control inteligente de dispositivos eléctricos mediante sensores, actuadores y redes de comunicación. No obstante, si bien estos sistemas prometen optimizar el uso de la energía, existen preocupaciones sobre su impacto en la calidad del suministro eléctrico, especialmente en términos de distorsión armónica y factor de potencia.

En años recientes, investigaciones como las realizadas por Vásquez [1], han abordado los beneficios de la domótica en edificios educativos, viviendas con personas con discapacidad y a nivel nacional. Sin embargo, persisten vacíos en el análisis técnico sobre el impacto específico de estos dispositivos en entornos residenciales típicos en ciudades intermedias del Ecuador, donde la tecnología domótica apenas comienza a introducirse y donde predominan sectores de alto consumo como el textil.

Este estudio propone la implementación de dispositivos domóticos en una vivienda ubicada en el centro del país, con el objetivo de analizar cuantitativamente su efecto sobre el consumo energético y la calidad de energía. Se recopilieron datos mediante un medidor inteligente y un analizador de red, antes y después de la instalación de dichos dispositivos. Los resultados muestran una reducción del 10.9% en el consumo de energía, aunque acompañada de un deterioro del 3.4% en el factor de potencia debido a la introducción de armónicos.

Los hallazgos sugieren que, si bien los beneficios en eficiencia energética son notables, es necesario tomar precauciones para mitigar los efectos negativos en la calidad del suministro. Así, este trabajo busca aportar evidencia técnica que facilite la toma de decisiones sobre el uso de tecnologías domóticas en contextos residenciales similares [4].

2. METODOLOGÍA

2.1. Procesamiento de la información

Para la recolección de datos, se realizó mediante la app “Tuya Smart” la cual vinculándolo con el medidor inteligente, nos proporciona información de manera gráfica sea de manera diaria, semanal incluso hasta mensual y en tiempo real, esto se lo realizó con el objetivo de registrar el consumo energético durante los meses en que se ejecutó el análisis, adicionalmente se conectó el analizador FLUKE 1735 para analizar a detalle las perturbaciones eléctricas [3]

durante 5 días de uso, tomando la mitad de tiempo mediciones sin equipos domóticos y la otra mitad con los equipos domóticos conectados.

2.2. Medición con el medidor inteligente

Se utilizó un medidor de energía para cuantificar el consumo energético y se separó en dos etapas, una con el circuito original y otra con los equipos domóticos instalados [3], el objetivo de esta medición fue analizar el consumo energético, para analizar la calidad de energía se utilizó un medidor Fluke 1735 [5].

2.2.1 Primera etapa de medición de medición con el medidor inteligente

El proceso de medición se ejecutó en dos etapas donde la primera de ellas consiste en la medición de consumo energético con los equipos comunes que se puede encontrar en una instalación eléctrica tradicional [6], la segunda etapa por otro lado contará con equipos domóticos, los resultados obtenidos serán anotados en tablas de cálculos detallando tanto su consumo como alguna novedad que haya sucedido durante el periodo de recolección de datos. En la primera etapa se obtuvo los siguientes datos.

La figura 1, representa los consumos en las fechas mostradas, cabe mencionar que, durante la época que se realizó la primera etapa en la recolección de datos (Abril-Mayo) se produjeron cortes de energía eléctrica realizado por el Gobierno debido a la Crisis Energética, los cuales están fuera del control del investigador, dado que, en los cálculos de horas perdidas en energía eléctrica sobrepasan las 70 horas, para que exista una igualdad en la medición de energía para la segunda etapa de recolección de datos (Junio-Julio-Agosto) no se contará en la recolección de datos los primeros tres días de Junio.

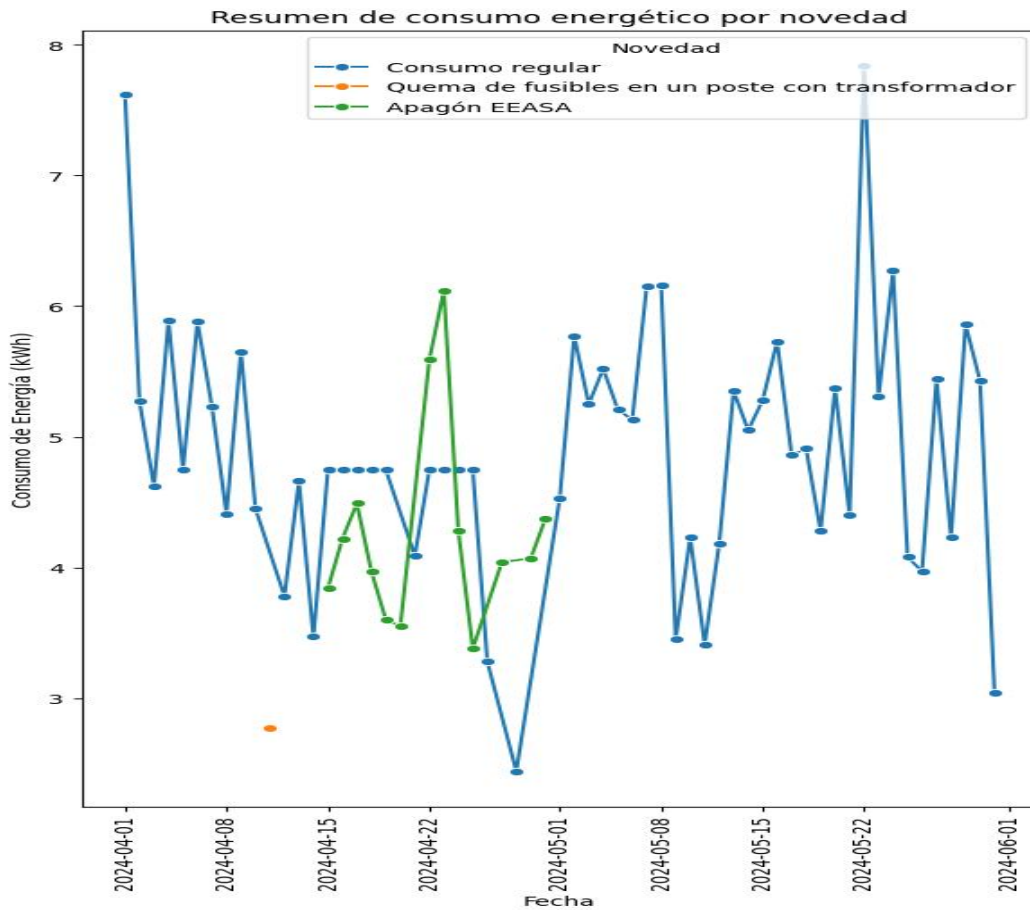


Figura 1. Historial de consumo energético registrado por el medidor instalado.

2.2.2 Segunda etapa de medición de medición con el medidor inteligente

Para la segunda etapa el circuito domiciliario cuenta con la implementación de los equipos domóticos [7], durante este periodo de tiempo también se realizará el análisis de calidad de energía durante 5 días, pero estos días no serán contados en los datos del medidor de energía inteligente, debido a que se eliminó 5 días durante esta etapa para ser recuperados los próximos 5 días del mes de mayo.

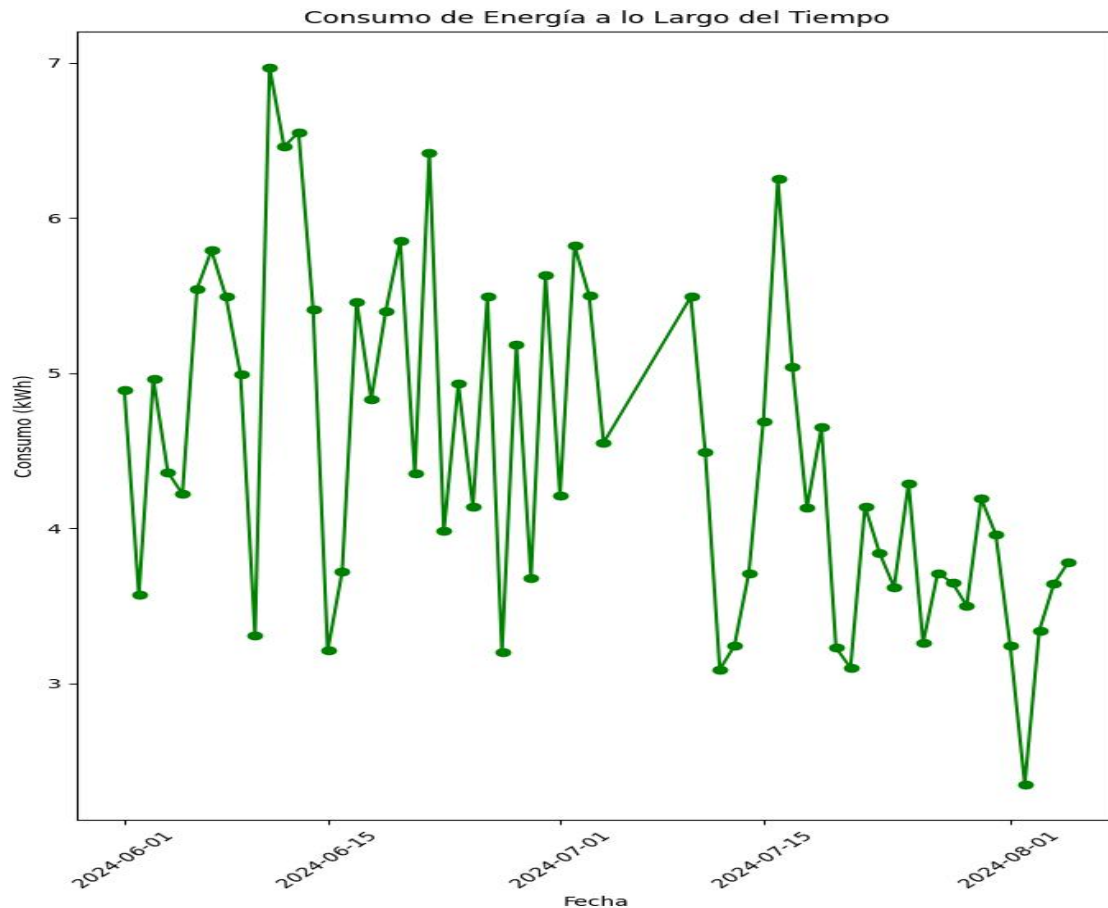


Figura 2. Datos de consumo energético en la segunda etapa de medición.

2.3. Análisis de calidad de energía

Durante el periodo de recolección de datos con el medidor inteligente, también se ejecutó el análisis de la red eléctrica, donde, mediante el uso del instrumento de medición Fluke modelo 1735, se puede evidenciar de las diferencias entre el circuito tradicional y el circuito domotizado.

Para ello se realizaron los siguientes pasos:

- El análisis tuvo una duración de 7 días, donde tres días y medio se midió el circuito original y resto del tiempo se lo midió con equipos domóticos.
- El tiempo de recolección de datos de análisis se configuro cada 5 minutos.
- Se realiza la instalación de las pinzas y aros magnéticos de acuerdo al manual y al circuito con el que se trabaja.
- El análisis de calidad de energía con el analizador de red brinda muchos más parámetros que el medidor inteligente de energía, lo cual nos permite saber a detalle cuales son las perturbaciones en la red.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Ya completado los procesos correspondientes se procede a analizar los resultados, empezando por la eficiencia conseguida a lo largo de los dos periodos, por lo que los puntos a tomar son en base a la figura 1 y figura 2.

La forma en la que se analizara la incidencia de los equipos domóticos [8] es según el comportamiento de la potencia al momento de realizar los consumos en cada una de las etapas, tomando en cuenta para cada etapa un consumo similar en las instalaciones eléctricas por parte de los usuarios.

3.1. Primera etapa de medición con el medidor inteligente

En este periodo se logró obtener un consumo total de 289.47 kWh, a lo largo de dos meses donde en el primer mes se consumió 133.78 kWh, por otro lado, el segundo mes realizado en el mes de mayo, se obtuvo un consumo de 155.69 kWh. Y a lo largo de este tiempo se logró obtener un promedio de consumo de 4.75 kWh por día.

3.2. Segunda etapa de medición con el medidor inteligente

Culminada la recolección de datos se logró obtener los siguientes resultados, el periodo de consumo evidencia un gasto de 260.26 kWh, donde en el mes de junio se obtuvo un consumo de 134.56 kWh, para el siguiente mes, se logró conseguir 125.7 kWh de consumo, además de reducir el promedio de consumo de 4.49 kWh.

En otras palabras, se logró reducir el consumo total en un 10.9 % de los equipos, traducido a ahorro monetario se puede llegar a ahorrar un aproximado \$2 por mes, por otro lado, el promedio de consumo también se disminuyó un 5.5% en comparación a los datos obtenidos en la primera etapa de recolección de datos, demostrando así que se puede llegar a ahorrar con estos equipos.

3.3. Resultados del analizador de red

Durante el periodo que se utilizó el Analizador Fluke 1735, resaltan los siguientes datos [9]:

- El consumo que se logró con los equipos tradicionales fue de 24.93 kWh, durante dos días y medio, lo que nos importa conocer aquí es el comportamiento de la energía tanto activa como reactiva.
- Dentro de la figura 3 se puede observar la interacción de la energía activa (Línea Color azul) y Energía Reactiva (Línea Color naranja).

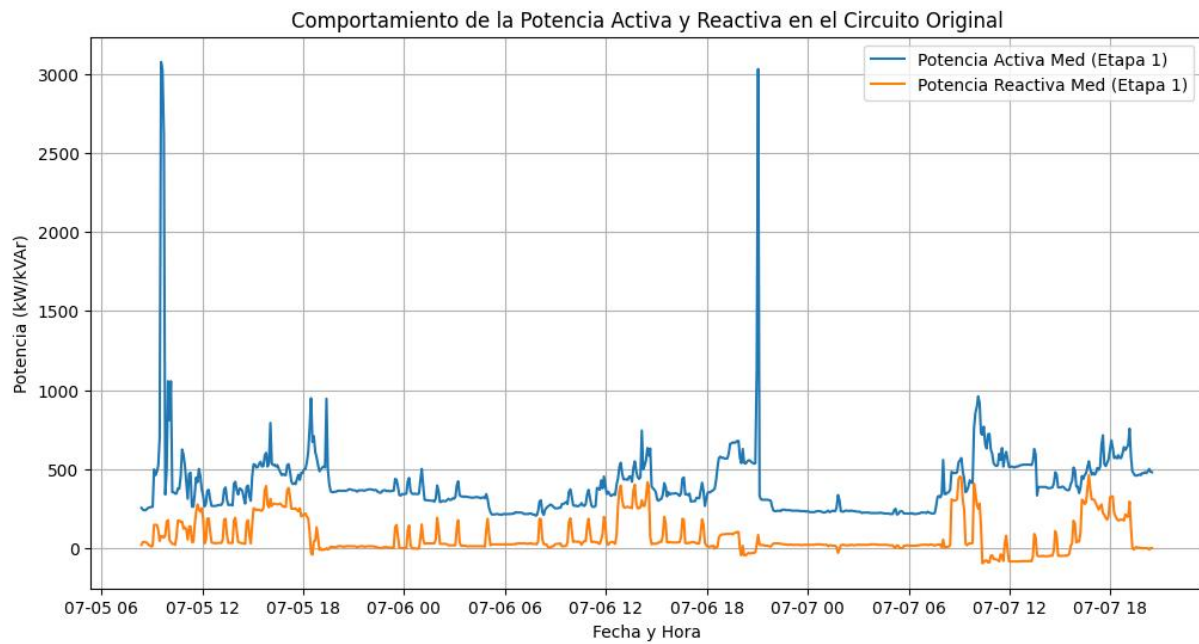


Figura 3. Comportamiento energía activa y reactiva Etapa 1.

Al observar la Figura 3, definimos que el comportamiento de la potencia activa es similar a la potencia activa, salvo los incrementos bruscos de corta duración, además se puede usar como base de comparación con la etapa 2 ya que los patrones de consumo se mantendrían iguales, tanto de forma diurna como nocturna [10].

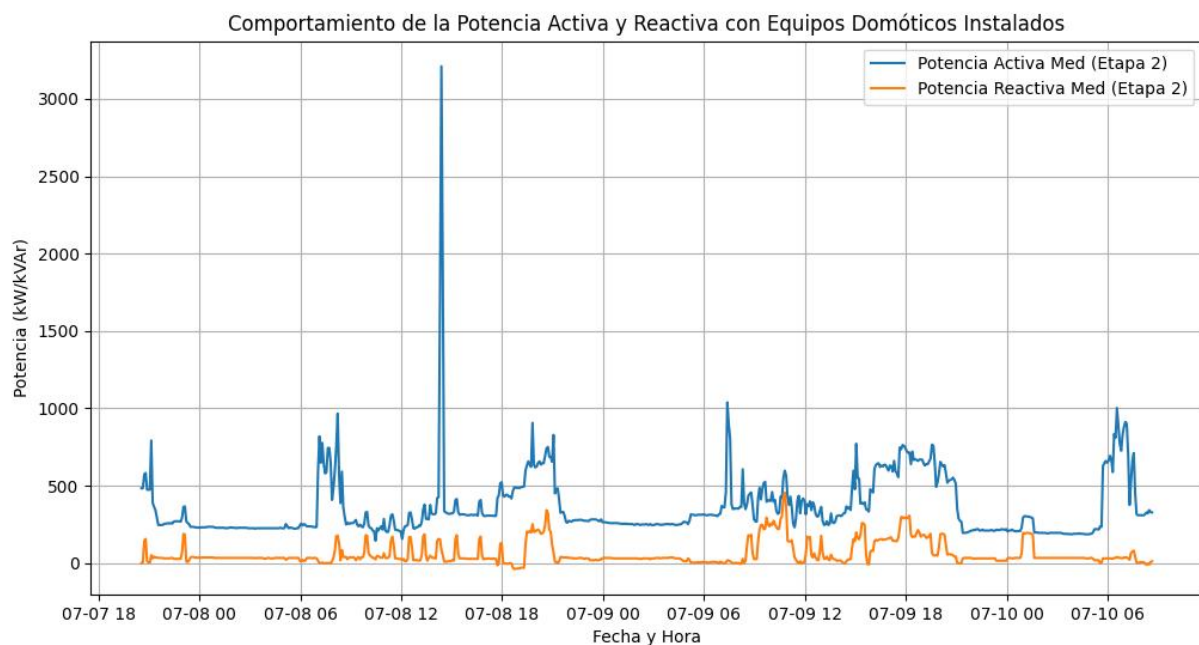


Figura 4. Comportamiento energía activa y reactiva Etapa 2.

En la Fase 2 de medición, tal como se aprecia en la figura 4, los patrones de consumo son similares, adicionalmente se observa un pico de potencia de corta duración tal como ocurrió

en la etapa 1, lo que se evidencia al momento de comparar la figura 3 con la figura 4 es la leve disminución de potencia activa y reactiva, en la etapa 1 se tiene mayor consumo [11].

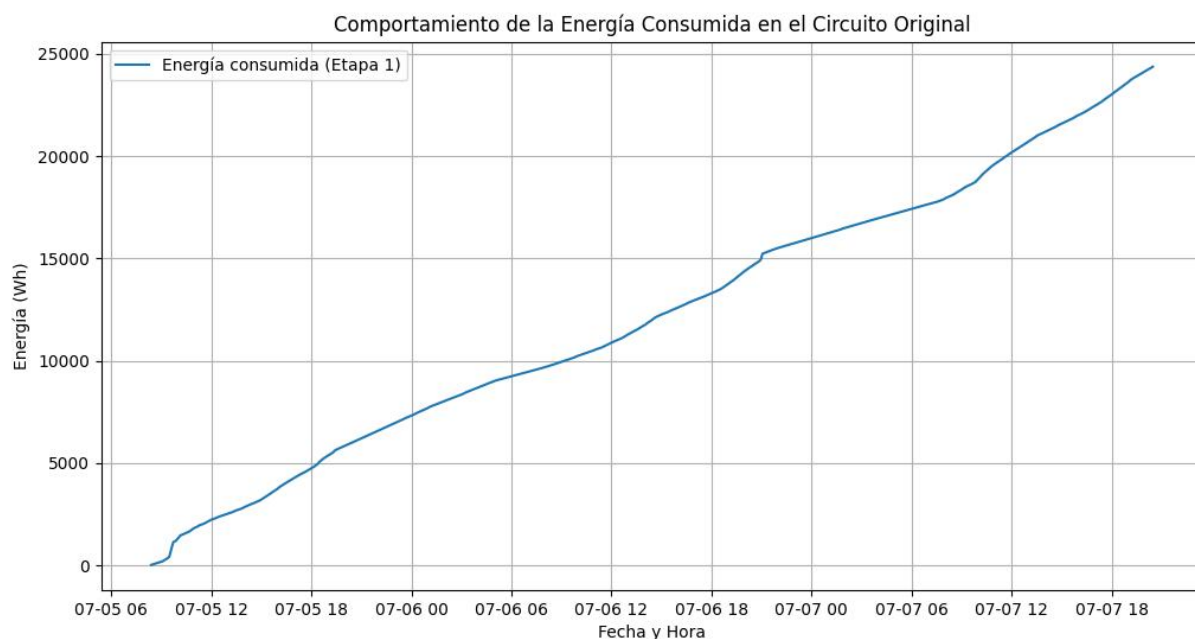


Figura 5. Energía consumida en la etapa 1.

En la figura 5 se representa el consumo acumulado de toda la etapa, y tal como se aprecia en la curva, existen periodos en donde se reducen los consumos, eso es debido al patrón de consumo de los usuarios de los equipos.

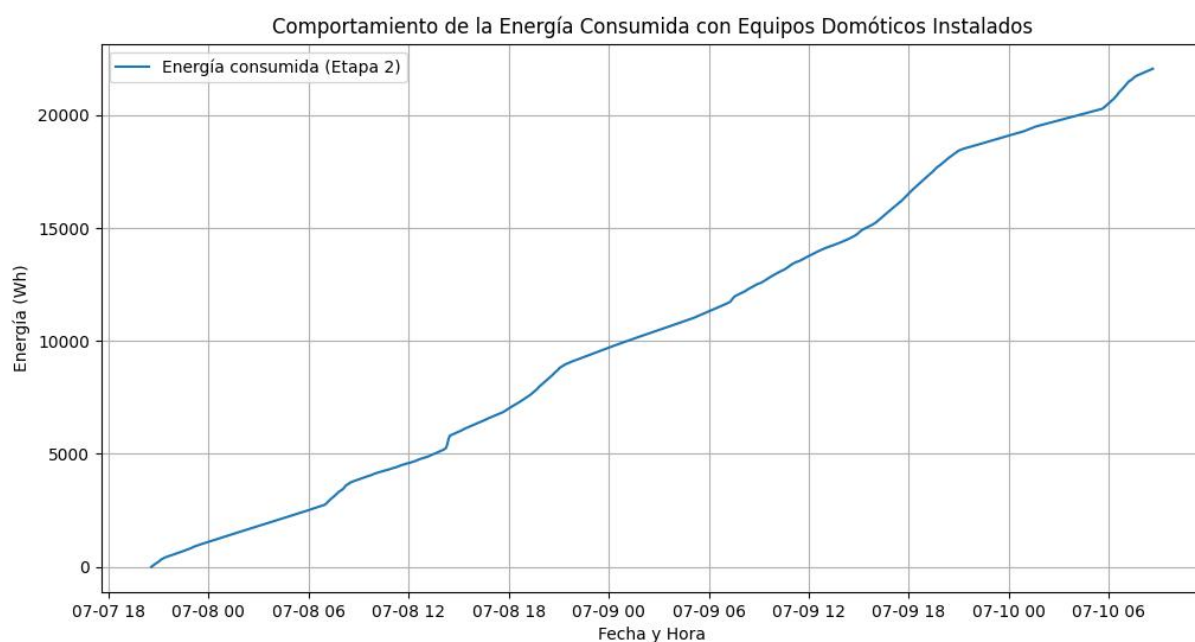


Figura 6. Potencia consumida en la etapa 2.

Tal como se muestra en la figura 6, los patrones de consumo son similares a lo mostrado en la figura 5, pero el consumo total es menor, lo cual concuerda con los datos obtenidos del medidor inteligente.

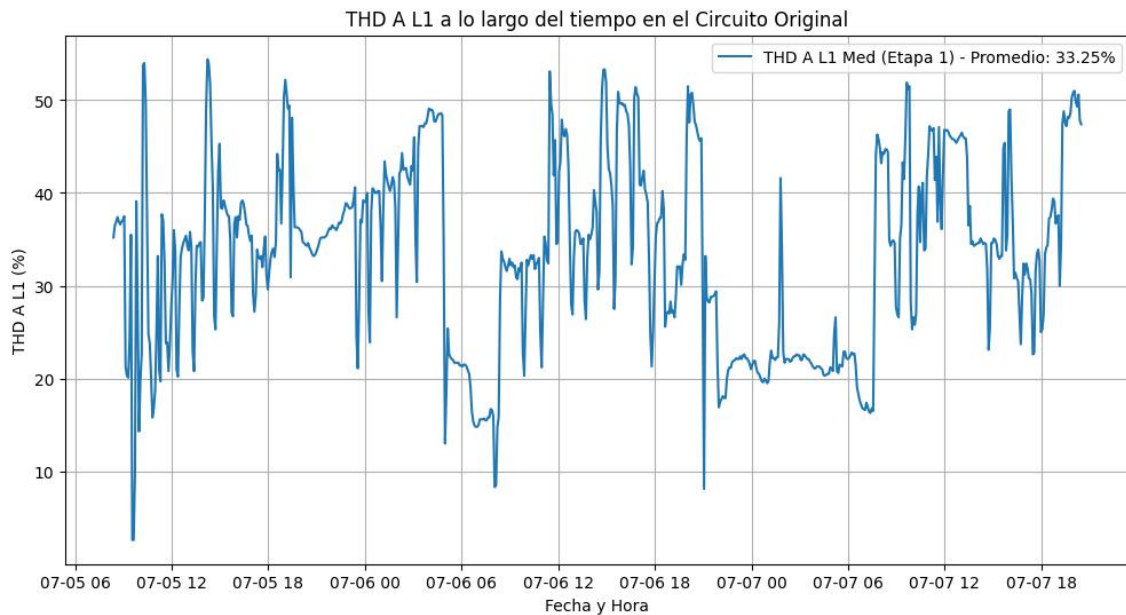


Figura 7. Distorsión armónica total en la etapa 1.

La distorsión armónica es indicador clave para analizar calidad de energía, en este caso la distorsión armónica mostrada en la figura 7, muestra varios cambios según los equipos que se accionan por parte de los usuarios, se tomo como base la distorsión armónica de corriente la cual incide directamente en la reducción del factor de potencia.

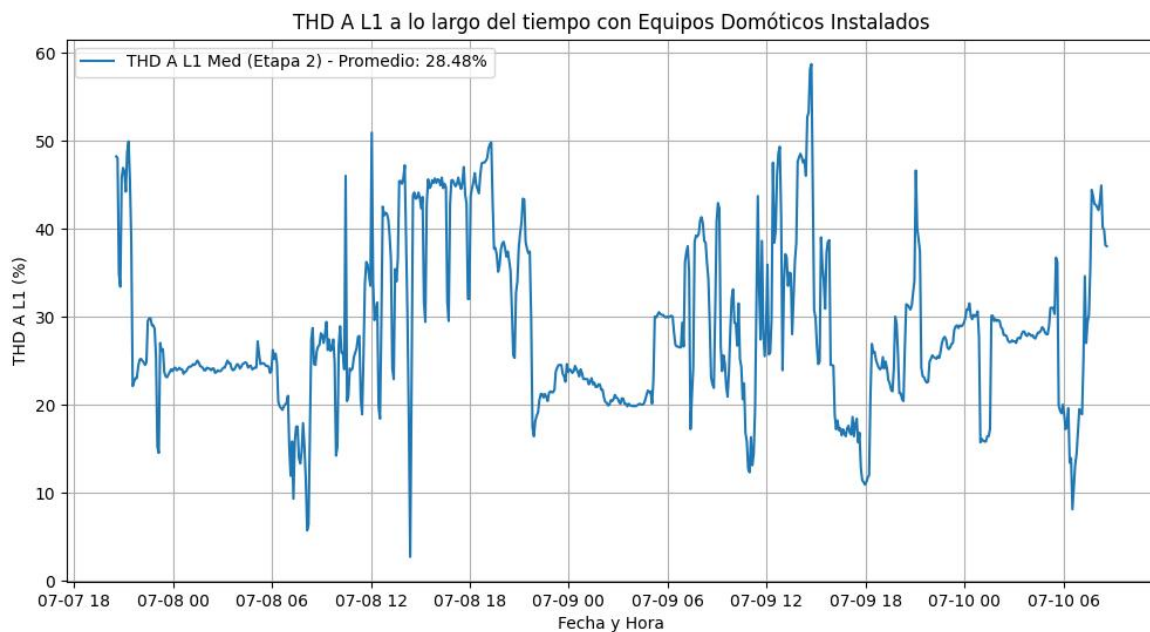


Figura 8. Distorsión armónica total en la etapa 2.

La distorsión armónica de la etapa 2 mostrada en la figura 8 es similar a la etapa 1, ya que se procura que los usuarios de las instalaciones tengan el mismo patrón de consumo para ambas etapas, lo destacable es que el promedio de distorsión armónica se reduce de 33,25% a 28,48%, lo que tiene concordancia con la reducción del consumo, por lo que se puede definir que los equipos domóticos no inyectan demasiadas corrientes armónicas a la red [12].

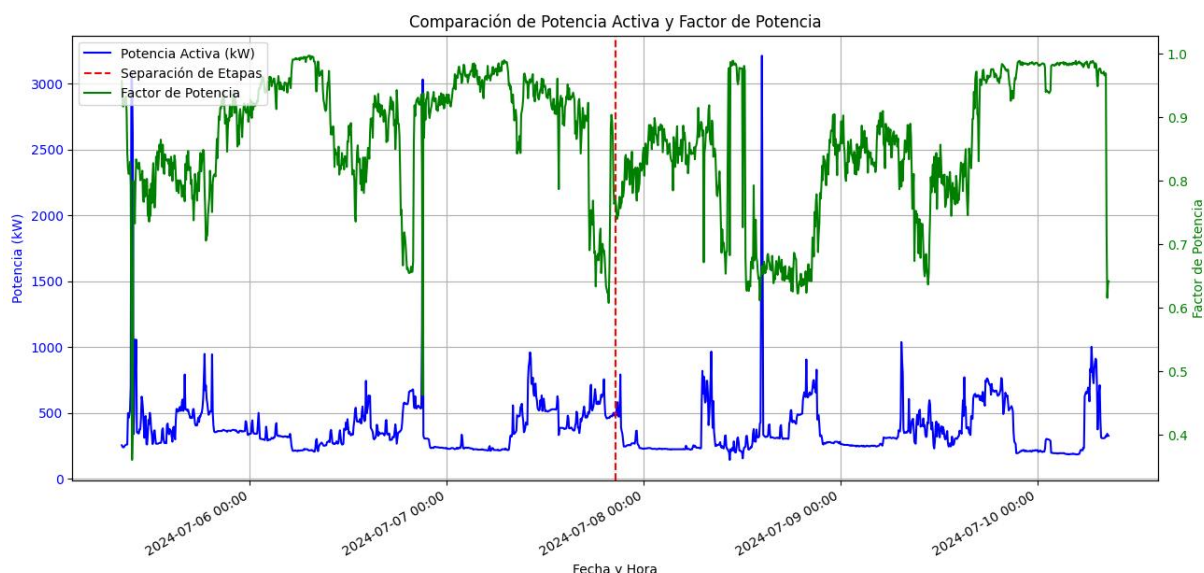


Figura 9. Comparación de potencia consumida y factor de potencia durante toda la medición.

La figura 9 muestra el consumo energético en la primera etapa donde se visualiza mayor consumo en el primer día en horario de la mañana, entre las 9H00 y 10H00, pero no debido al uso de equipos domóticos, sino gracias al resto de equipos, especialmente electrodomésticos de alta potencia como licuadoras y lavadoras; además se muestra que el horario de la tarde fue cuando se consumió más energía, por el mismo motivo.

Cabe destacar que se procuró encender las lámparas en horario de 18H00 hasta 22H00 durante todos los días para el análisis general, en este caso la figura 7 muestra la distorsión armónica que será comparada con la figura 8; es evidente que la distorsión armónica total en los intervalos en que se usa la iluminación se reduce de 33,25% a 28,48%, eso implica que efectivamente los equipos domóticos si tienen una repercusión en la inyección de armónicos a la red, y el hecho de que se reduce la distorsión armónica total, representa una reducción en el factor de potencia, a pesar que el analizador de consumo mostro una reducción de 10.9% en el consumo energético.

Como resultado de la figura 9, se puede definir el factor de potencia promedio durante los días en que los equipos domóticos no estaban instalados, que es en promedio 0.88, mientras que los días en que estaban instalados los equipos domóticos fue de 0.85 en promedio, por lo que se

define que existe una relación directa entre equipos domóticos y reducción del factor de potencia.

Datos finales sobre eficiencia energética: 10.9% de ahorro en consumo energético

Datos finales sobre calidad de energía: reducción del 3.4% del factor de potencia debido al incremento de la distorsión armónica total.

4. CONCLUSIONES

- Se diagnosticó de forma minuciosa el estado inicial antes del análisis de la red eléctrica, encontrando problemas de factor de potencia inferior al 0,92 recomendado, además de armónicos en la red los cuales afectan a la calidad de energía, pero debido a que el transformador no es exclusivo para la vivienda, es compartido de la red primaria de distribución, se tiene el punto de partida para ejecutar el estudio de calidad de energía.
- Los datos registrados por los equipos de medición arrojaron datos que varían respecto a cada día censado, eso debido a que la carga instalada no se activa en los mismos periodos de tiempo en cada día, es por eso que el análisis de calidad de energía se centra en los horarios en que las luces se encienden más tiempo y de forma continua, que es de 18H00 a 22H00.
- El análisis de eficiencia energética determinó que el uso de equipos domóticos reduce 12% de consumo total de energía eléctrica, siendo la parte del estudio que más tiempo llevo censar, mientras que el estudio de calidad determinó que se mejora 3.4% la calidad de energía, mejorando eficiencia energética y el factor de potencia, aun así el ahorro es superior, aun cuando el sistema arroja perdidas, por lo que se concluye que si es conveniente para usuarios residenciales la instalación de equipos domóticos gracias al ahorro en consumo energético.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Vásquez Teneda F. H., Vásquez Barba D. B., y Urresty Noguera Y. A., «Caracterización de la Calidad de Energía en focos incandescentes, Fluorescentes, Inducción y Led», CIYA, vol. 6, n.º 2, pp. 117-133, sep. 2022.
- [2] Endesa, “Circuitos eléctricos,” Endesa. [En línea]. Disponible en: <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/elementos-circuito-electrico>
- [3] Hioki, “Calidad de energía: definición, por qué y cómo la medimos,” Hioki.com, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.hioki.com/us-es/learning/electricity/power-quality.html>
- [4] F. Kuan, “What is a smart device?,” Mokosmart.com, 18-Aug-2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.mokosmart.com/es/what-is-a-smart-device/>

- [5] REPSOL, “¿Qué es la eficiencia energética y qué ventajas tiene?”, REPSOL, 9-Jan-2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.repsol.com/es/sostenibilidad/ejes-sostenibilidad/cambio-climatico/eficiencia-energetica/que-es-la-eficiencia-energetica/index.cshtml>
- [6] SafetyCulture, “Técnicas de recolección de datos - Una guía,” SafetyCulture, 20-Jul-2022. [En línea]. Disponible en: <https://safetyculture.com/es/temas/recoleccion-de-datos/tecnicas-de-recoleccion-de-datos/>
- [7] E. Sarachu, “Domótica $\Rightarrow$ ¿Qué es la domótica? ¿Cómo funciona?”, e-Ficiencia, 10-Apr-2023. [En línea]. Disponible en: <https://e-ficiencia.com/domotica-que-es-y-como-funciona/>
- [8] SECOM, “Qué es Tuya Smart App 300 y qué ventajas ofrece con luminarias,” Blog - SECOM Iluminación, 18-Jul-2022. [En línea]. Disponible en: <https://blog.secom.es/que-es-tuya-smart/>
- [9] IEC, “IEC 61000-4-30:2015+AMD1:2021 CSV. Methods for measurement of power quality in electrical power systems,” IEC, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://webstore.iec.ch/en/publication/68642>
- [10] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda de Ecuador, “NEC-HS-EE: Eficiencia Energética,” MIDUVI, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/NEC-HS-EE-Final.pdf>
- [11] Fluke, “Análisis y medición de la calidad de red eléctrica,” Fluke. [En línea]. Disponible en: <https://www.fluke.com/es-mx/productos/comprobacion-electrica/calidad-electrica>
- [12] Fluke, “Analizadores y solucionadores de problemas de calidad eléctrica,” Fluke. [En línea]. Disponible en: <https://www.fluke.com/es-ve/productos/comprobacion-electrica/analizadores-de-calidad-electrica>