



## Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: [www.riit.com.mx](http://www.riit.com.mx)

### **Análisis de la calidad de la energía como recurso didáctico en la formación universitaria: una estrategia STEM+ABP**

### **Analysis of Power Quality as a Didactic Resource in University Education: a STEM+PBL Strategy**

**Alanís-Navarro, J.A.<sup>A\*</sup>, Castillo-Téllez, M.<sup>B</sup>, Castillo-Téllez, B.<sup>C</sup> Sandoval-González, A.<sup>D</sup>**

<sup>A</sup> Departamento de Ingeniería en Energía y Desarrollo Sostenible, Universidad Politécnica del Estado de Guerrero, Taxco de Alarcón, 40321, Guerrero, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3337-2380>\*

<sup>B</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Campeche, Ex Hacienda Kalá, 24085, Campeche, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9639-1736>.

<sup>C</sup> Centro Universitario de Tonalá, Universidad de Guadalajara, Jalisco, Av. Nuevo Periférico, 45425, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3747-6320>.

<sup>D</sup> SECIHTI-Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica S.C., Pedro Escobedo, 76703, Querétaro, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4912-9430>.

[aalanis@upeg.edu.mx](mailto:aalanis@upeg.edu.mx)\*; [mcastill@uacam.mx](mailto:mcastill@uacam.mx); [beatriz.castillo@academicos.udg.mx](mailto:beatriz.castillo@academicos.udg.mx); [asandoval@cideteq.mx](mailto:asandoval@cideteq.mx)

**Aplicación empresarial:** Optimización del consumo energético en edificios corporativos mediante el análisis continuo de la calidad de la energía para reducir los costos operativos.

**Área de aplicación industrial:** usuarios de tarifas de media tensión, industria e instituciones educativas.

Recibido: 09 octubre 2025

Aceptado: 08 junio 2026

### **Abstract**

The following report presents the findings of a power quality analysis carried out at a public institution of higher education (IPES, by its Spanish acronym) over a period of five months (from December 6, 2024, to May 6, 2025). The analysis consisted of measuring electrical parameters using a Fluke 434-II three-phase power quality analyzer. The sampling rate employed was one measurement every ten minutes. The analysis of electrical parameters such as voltage, current, power, energy, fundamental frequency, harmonics, and power factor, among other relevant metrics, allows for the assessment of the quality of electrical signals and energy in its different forms: apparent energy, active energy, and reactive energy. The subject of power quality encompasses concepts and theories in science, technology, engineering, and mathematics that can be addressed using a STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) methodology for university-level teaching, thereby diversifying teaching dynamics and enriching didactic materials. For this study, various digital tools were used, including mobile applications, freely accessible computer

programs, and commercial software such as Excel®. This study highlights the importance of promoting interdisciplinary and multidisciplinary approaches in the teaching-learning process of engineering programs through the STEM approach and project-based learning (PBL) to foster meaningful and lasting learning in students.

**Keywords:** power quality analysis, energy audit, electric load profile, STEM approach, project-based learning.

## Resumen

Se presenta un análisis de la calidad de la energía realizado en una Institución Pública de Educación Superior (IPES) durante cinco meses (del 6 de diciembre de 2024 al 6 de mayo de 2025). El análisis consistió en medir parámetros eléctricos con el analizador de calidad de energía trifásico Fluke modelo 434-II. Se utilizó una tasa de muestreo de una medición cada diez minutos. Se analizaron los parámetros eléctricos de tensión, corriente, potencia, energía, frecuencia fundamental y armónicas, factor de potencia, entre otros parámetros eléctricos relevantes que permiten conocer y analizar la calidad de las señales eléctricas y de la energía en sus diferentes formas: energía aparente, energía activa y energía reactiva. El tema de la calidad de la energía abarca conceptos y teorías de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas que pueden ser abordados utilizando una metodología STEM (del acrónimo en inglés: *Science, Technology, Engineering and Mathematics*), para la docencia a nivel universitario, diversificando las dinámicas de enseñanza-aprendizaje, y el material didáctico elaborado para los estudiantes. Para este estudio se utilizaron diversas herramientas digitales, como aplicaciones móviles y programas para computadora de acceso libre, y *software* de uso comercial como Excel®. Se muestra la importancia de fomentar la interdisciplinariedad y la multidisciplinariedad en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las carreras de ingeniería mediante el enfoque STEM y el aprendizaje basado en proyectos (ABP), para promover en los estudiantes un aprendizaje significativo que perdure en el tiempo.

**Palabras clave:** Análisis de la calidad de la energía, Auditoría energética, Perfil de carga eléctrica, Enfoque STEM, Aprendizaje basado en proyectos.

## I. Introducción

En este artículo se describe el análisis del consumo de energía eléctrica de una Institución Pública de Educación Superior (IPES), que cuenta con un servicio de media tensión horaria (GDMTH: Gran Demanda en Media Tensión Horaria) ante la Comisión Federal de Electricidad (CFE). La tarifa GMDTH es para usuarios en media tensión con una demanda superior a 100 kW mensuales, en ella se cobra el consumo de energía (kWh), la demanda máxima de potencia (kW) y el factor de potencia [1]. En las IPES, el análisis del consumo eléctrico no

solo permite identificar patrones de demanda, pérdidas y oportunidades de mejora energética, sino que también ofrece un escenario real para vincular el aprendizaje académico con los problemas técnicos del entorno.

Debido a la inter y multidisciplinariedad del tema abordado, este artículo presenta la propuesta de utilizar la metodología del análisis para la enseñanza de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, en el enfoque educativo denominado STEM (*Science, Technology, Engineering and*

*Mathematics*) para fomentar el aprendizaje significativo de conceptos, teorías y metodologías que en apariencia son abstractas, pero que pueden abordarse con casos de tecnología aplicada a nuestra vida cotidiana, como lo es un análisis de consumo de energía eléctrica. El enfoque educativo STEM busca integrar distintas disciplinas, con el objetivo principal de encontrar soluciones prácticas para el entorno real [2]. La orientación educativa STEM constituye un puente entre los fundamentos teóricos y los conocimientos prácticos [3], fomenta el uso de *software* libre que facilite la asimilación de conceptos que en las aulas pueden resultar abstractos [4], [5], [6].

De manera complementaria, el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) se ha consolidado como una estrategia didáctica que favorece el aprendizaje activo, la toma de decisiones, la colaboración y la transferencia de conocimientos en contextos aplicados. Su importancia radica en que sitúa al estudiante frente a problemas o proyectos con sentido práctico, en los que debe analizar información, proponer alternativas, justificar decisiones y construir productos académicos o técnicos con utilidad real.

Diversos trabajos recientes han destacado que el ABP mejora la motivación, fortalece la comprensión conceptual y contribuye al desarrollo de competencias transversales en contextos interdisciplinarios [7], [8], [9], [10]. En años recientes, la literatura ha comenzado a mostrar de manera más explícita que la articulación entre STEM y ABP resulta especialmente pertinente cuando el aprendizaje se organiza en torno a proyectos reales, datos e instrumentos vinculados a la práctica profesional. Esta combinación permite que la integración disciplinaria propia de STEM se traduzca en experiencias concretas de análisis, diseño y resolución de problemas mediante la lógica activa del ABP. En particular, estudios

recientes destacan que el trabajo en proyectos dentro de marcos STEM favorece una mejor comprensión conceptual, una mayor participación estudiantil y una relación más clara entre teoría, práctica y contexto profesional, especialmente en la educación superior y en la formación en ingeniería [11], [12], [13]. El enfoque educativo STEM, junto con el aprendizaje basado en proyectos (ABP), promueve el aprendizaje significativo, el pensamiento crítico, la creatividad y el trabajo colaborativo [7], [8]. Adicional a ello, la creación de centros de apoyo a estudiantes que los ayuden a reforzar los conocimientos adquiridos en el aula [9] es fundamental para la formación de profesionistas capacitados para enfrentar los retos globales, donde se desarrollen habilidades cognitivas, sociales y emocionales, así como conocimientos técnicos y habilidades blandas [7], [14]. En el campo energético, esta integración adquiere un valor particular, ya que el análisis del consumo eléctrico, la demanda de potencia y el factor de potencia requiere interpretar información técnica, aplicar fundamentos matemáticos, comprender esquemas tarifarios y proponer medidas correctivas o preventivas.

Un aspecto relevante de este trabajo es que la información presentada está disponible para descargar libremente, incluida la base de datos de los parámetros eléctricos analizados, el reporte del software especializado. En el Anexo también se comparten los enlaces de descarga de la aplicación móvil utilizada (es decir, *Matlab Mobile*<sup>TM</sup>) y del *software* de análisis *Power Log 430-II*<sup>TM</sup> 5.9 del analizador de calidad de la energía, ambos utilizados industrialmente por su gran capacidad y precisión.

La calidad de la energía eléctrica constituye un aspecto crucial para las industrias, principalmente para usuarios de media y alta tensión, particularmente en instituciones que

cuentan con laboratorios, talleres, equipos especializados y sistemas eléctricos sujetos a tarifas en las que resulta importante realizar análisis del consumo eléctrico ya que este no solo permite identificar patrones de demanda, pérdidas y oportunidades de mejora energética, sino que también ofrece un escenario real para vincular el aprendizaje académico con problemas técnicos del entorno. En las tarifas de la CFE de baja tensión, los conceptos de cobro incluyen el consumo de energía expresado como kilovatio hora (kWh) y algunos cobros fijos como el derecho, operación y mantenimiento del alumbrado público (DOMAP), el IVA, entre otros conceptos de cobro [1], [15]. En contraste, en las tarifas de media tensión, además del cobro de estos conceptos, se cobran otros conceptos como la demanda máxima de potencia (kW), un cobro diferenciado por horarios, un cargo por la demanda de capacidad, de transmisión y de distribución, y una penalización por un bajo factor de potencia (FP) [1], el cual está asociado a la potencia y la energía reactivas. El FP se define como una medida del aprovechamiento adecuado de la energía [16]. Dicho de otro modo, depende de la forma en que los usuarios aprovechan, utilizan o convierten la energía aparente en energía activa o útil, desde el punto de vista técnico, es uno de los indicadores más importantes en el análisis del desempeño eléctrico. El FP se calcula mediante la Ec. 1. El símbolo  $\phi$  representa el ángulo de fase entre la señal de tensión y corriente eléctrica. La potencia aparente, activa y reactiva se relacionan entre sí mediante el “triángulo de potencias”, siendo la potencia activa ( $P$ ) el cateto adyacente, la potencia reactiva ( $Q$ ) el cateto opuesto y la potencia aparente ( $S$ ) la hipotenusa de dicho triángulo [15], [16], Ec. 2, Ec. 3, y Ec. 4, respectivamente. Las señales de tensión ( $V$ ) e intensidad de corriente eléctrica ( $I$ ) dependen de su amplitud ( $V_o$ ,  $I_o$ ), así como de la frecuencia angular ( $\omega$ ), del ángulo de fase ( $\phi$ ) y del tiempo ( $t$ ), ver Ec. 5

y Ec. 6. A su vez, la amplitud y la frecuencia angular se determinan mediante las Ec. 7 y Ec. 8.

$$FP = \cos(\phi) = P/S \quad \text{Ec. 1}$$

$$P = S \cdot \cos(\phi) = V \cdot I \cdot \cos(\phi) \quad \text{Ec. 2}$$

$$Q = S \cdot \sin(\phi) = V \cdot I \cdot \sin(\phi) \quad \text{Ec. 3}$$

$$S = V \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2} = \tan^{-1}(Q/S) \quad \text{Ec. 4}$$

$$V(t) = V_o \cdot \sin(\omega t) \quad \text{Ec. 5}$$

$$I(t) = I_o \cdot \sin(\omega t + \phi) \quad \text{Ec. 6}$$

$$V_o = \sqrt{2} \cdot V_{RMS} \quad \text{Ec. 7}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad \text{Ec. 8}$$

Estas relaciones son especialmente relevantes en sistemas sujetos a tarifas de media tensión, donde un bajo factor de potencia puede generar penalizaciones económicas y evidenciar la necesidad de medidas correctivas, como la compensación de potencia reactiva. Por ello, la incorporación de estas ecuaciones en el análisis no solo aporta fundamento técnico al estudio, sino que también ayuda a contextualizar el valor de los datos registrados mediante instrumentación profesional.

Los parámetros indicados en los conceptos de cobro de la tarifa GDMTH pueden medirse mediante equipos especializados de adquisición de datos o registradores de datos, conocidos como analizadores de la calidad de la energía o analizadores de calidad eléctrica y energía, principalmente cuando se planea instalar un sistema fotovoltaico interconectado a la red [17]. La información recopilada es de gran ayuda para conocer el comportamiento de la instalación eléctrica, identificar posibles problemas e implementar medidas correctivas y preventivas que permitan aprovechar adecuadamente la energía, sin perjudicar las actividades de la institución o empresa.

A pesar de los avances reportados sobre STEM y ABP, todavía son escasos los trabajos que documenten explícitamente su aplicación conjunta en problemas reales de ingeniería energética, utilizando datos obtenidos mediante instrumentación industrial y con una vinculación directa al currículo universitario. En este contexto, el presente estudio analiza el comportamiento eléctrico de una IPES y propone aprovechar dicha experiencia como recurso didáctico en un enfoque STEM+ABP. De este modo, el artículo busca mostrar que el análisis técnico de una instalación eléctrica real puede, al mismo tiempo, servir como herramienta para comprender fenómenos energéticos y como estrategia formativa para favorecer el aprendizaje significativo en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas.

## II. Materiales y métodos experimentales

El estudio se realizó en una IPES ubicada en el estado de Guerrero, México. La institución

ofrece la carrera de Ingeniería en Energía y Desarrollo Sostenible (IEDS) en modalidad presencial, con una duración de 10 cuatrimestres. Durante los 6.º y 10.º cuatrimestres, los estudiantes realizan una estadía en empresas afines a su carrera. El resto de los cursos se desarrollan de forma teórico-práctica (del 40% al 60%) en aulas, laboratorios de cómputo y talleres equipados. La IPES cuenta con la tarifa de media tensión (GDMTH). En dicha tarifa se cobran distintos conceptos no solamente relacionados al consumo de energía, sino a su correcto aprovechamiento, y a los hábitos de demanda de potencia en horarios específicos. El estudio consistió en realizar un muestreo cada diez minutos durante cinco meses de una gran variedad de parámetros eléctricos que permiten analizar la calidad de la energía de la IPES; para ello se utilizó un “Analizador de calidad de la energía Fluke 434-II” (país de origen, EE.UU.), ver Figura 1.



**Figura 1.** Analizador de calidad de energía Fluke 434-II (izquierda); puntas para medir la tensión eléctrica (centro-arriba); sondas para medir la corriente eléctrica (centro-abajo) [14]. Analizador de calidad de la energía instalado para registrar los parámetros eléctricos (a la derecha).

El análisis consistió en medir parámetros eléctricos clave que permiten evaluar la calidad de la energía del suministro eléctrico. Entre los parámetros analizados se incluyen el valor RMS (raíz cuadrática media, por sus

siglas en inglés) y el valor pico (subíndice *pk*, por sus siglas en inglés) de la tensión eléctrica, la intensidad de corriente eléctrica RMS y pico, la frecuencia y los armónicos (del 1 al 50), la potencia y la energía activa,

reactiva y aparente, el factor de potencia, entre otros parámetros relevantes para el estudio. Para ello, se conectó un analizador de calidad de energía Fluke 434-II a los devanados secundarios del transformador trifásico de 500 kVA de potencia aparente, que cuenta con una configuración de estrella (es decir,  $3\Phi$  en estrella), neutro y tierra física. La tasa de muestreo se estableció en un registro cada diez minutos ( $\sim 16.67$  mHz), lo que conlleva registrar 21,726 datos de 44 parámetros eléctricos. Algunas características destacadas del equipo de medición y adquisición de datos utilizado incluyen: cuatro canales para medir corriente eléctrica (fases A, B, C y neutro); cinco canales para medir tensión eléctrica (fases A, B, C, neutro y tierra física). El instrumento tiene una capacidad de 6000 A en corriente alterna (CA); 200 A en corriente directa (CD); máxima tensión por canal de 1000 V; detección desde la primera señal armónica o fundamental hasta la 50ª armónica (es decir, 3 kHz); una tasa de muestreo de hasta 200 kHz; seguridad CAT IV 600 V y CAT 1000 V. La intensidad de corriente eléctrica se mide con un equipo que utiliza una sonda i430-Flexi-TF-II, la cual tiene un intervalo de

medición entre 0.5 A y 6000 A en CA, con una exactitud de  $\pm 1\%$  @ 25 °C; un ancho de banda de 10 Hz a 10 kHz, y un grado de protección IP40 [16]. El analizador de calidad de la energía se instaló en el gabinete metálico conectado directamente al devanado secundario del transformador. En la Figura 2a se presenta una vista frontal detallada del gabinete, con los principales dispositivos electromecánicos destinados a distribuir la energía eléctrica a los edificios y servicios de la IPES. Se observa la palanca de restablecimiento o *reset*, el indicador de corriente que consiste en un transformador de corriente (TC) tipo toroidal, interruptores termomagnéticos (ITM) trifásicos de los contactos, luminarias, sistemas de aire acondicionado, así como el del sistema fotovoltaico (SFV). De forma complementaria, en la Figura 2b se aprecia la conexión de las puntas de tensión de las tres fases, del neutro y de la tierra física; las barras colectoras (BC) de corriente; las sondas de corriente, así como una parte del cableado hacia los distintos servicios de la IPES. El resumen de las características y condiciones iniciales de las mediciones se presenta en la Tabla 1.

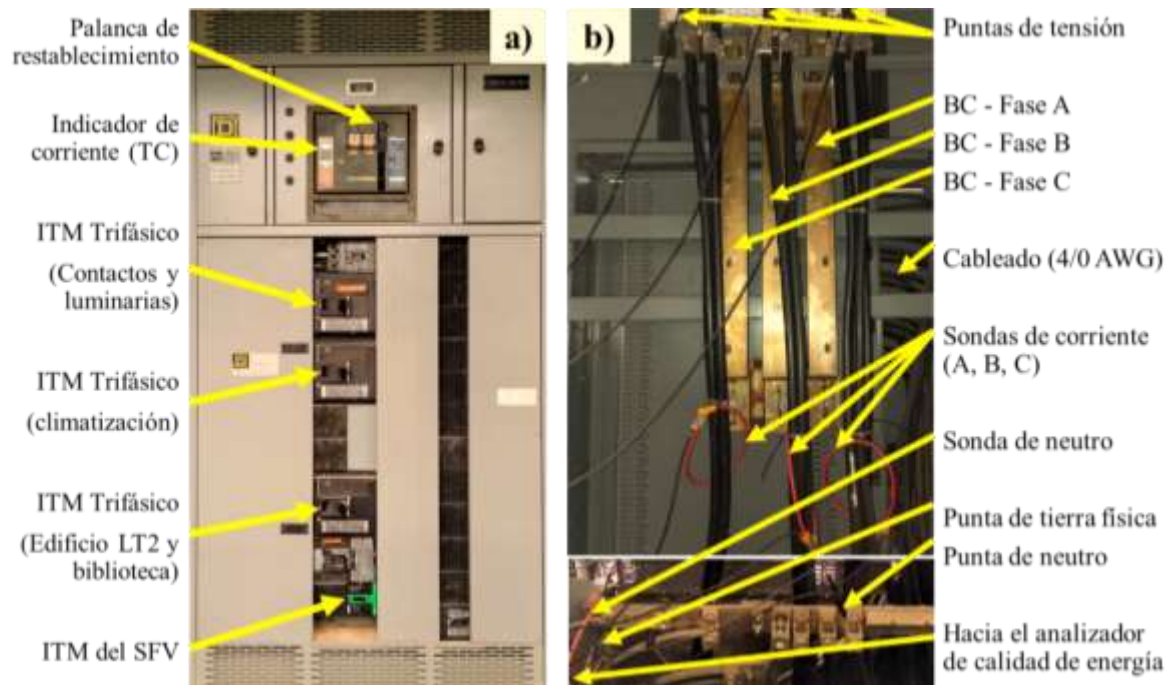


**Figura 2.** a) Gabinete metálico de distribución de energía. Se observan los interruptores termomagnéticos (ITM) de las fases A, B y C. b) Conexión de las puntas (cables negros) y sondas (aros rojos) provenientes del devanado secundario del transformador de 500 kVA; se observan las barras colectoras (BC) de las tres fases.

**Tabla 1.** Resumen de las características de las condiciones iniciales de la medición.

| Característica          | Descripción       |
|-------------------------|-------------------|
| Topología de medición   | 3 $\phi$ estrella |
| Tensión nominal         | 120 V             |
| Intervalo de grabación  | 0h 10m 0s         |
| Corriente nominal       | 300 A             |
| Frecuencia nominal      | 60 Hz             |
| Duración de la medición | 150d 21h 0m 0s    |
| Número de eventos       | 692               |

|                   |       |
|-------------------|-------|
| Tipo de cable     | Cobre |
| Modo CosPhi / DPF | DPF   |

La Tabla 2 muestra las actividades que se desarrollaron y las disciplinas STEM que fortalecen el estudio de la calidad de la energía de la IPES. Es importante mencionar que en cada actividad participan técnicos académicos, directivos, profesores y estudiantes que cursan asignaturas regulares, así como estudiantes que realizan estancias académicas en la IPES.

**Tabla 2.** Multidisciplinariedad en un análisis de la calidad de la energía.

| Actividad                                                | Disciplina STEM <sup>1</sup> | Descripción                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Identificación y selección de parámetros              | S, T                         | Identificar y seleccionar los parámetros eléctricos relevantes para el análisis de calidad de la energía basándose en los fundamentos teóricos y científicos                                                             |
| 2. Programación del dispositivo Fluke 434-II             | S, T, E                      | Ajustar los parámetros deseados en el equipo, indicando la tasa de muestreo adecuada para el periodo de interés                                                                                                          |
| 3. Conexión del dispositivo a las barras colectoras (BC) | T, E                         | Utilizando el equipo de seguridad, instalar el dispositivo Fluke 434-II a los devanados secundarios del transformador: cinco puntas de tensión y cuatro sondas de corriente, utilizando el equipo de seguridad necesario |

|                                                                      |            |                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4. Finalización del registro de los datos para su posterior análisis | T, E       | Concluir con la adquisición de los parámetros eléctricos, respaldar la información en tarjeta SD, exportar a la computadora y analizar los datos utilizando el programa Power Log 430-II. Desinstalar el dispositivo para su correcto almacenamiento |
| 5. Exportar la base de datos en formato CSV <sup>2</sup>             | T, M       | Representa una alternativa para analizar los datos, utilizando procesadores de bases de datos como Excel <sup>®</sup>                                                                                                                                |
| 6. Realizar análisis estadístico y de correlación de variables       | S, M       | Con ayuda de los complementos de Excel <sup>®</sup> , es posible realizar análisis de estadística descriptiva, crear histogramas, etc.                                                                                                               |
| 7. Realizar inferencias de la información analizada                  | S, T, E, M | Utilizando la información recopilada, es posible realizar inferencias acerca del comportamiento de los datos, identificando comportamientos atípicos e interrelación entre parámetros                                                                |
| 8. Concluir acerca de la calidad de la energía                       | S, T, E, M | Establecer una serie de conclusiones basadas en evidencias científicas que permitan solucionar anomalías detectadas en el comportamiento eléctrico de sistema eléctrico de la IPES.                                                                  |

<sup>1</sup> S: Ciencia; T: Tecnología; E: Ingeniería; M: Matemáticas. <sup>2</sup> Formato de archivo de datos separados por coma (*comma-separated values*).

La población participante estuvo conformada por estudiantes de la carrera de Ingeniería en Energía y Desarrollo Sostenible que se imparten en la Universidad Politécnica del Estado de Guerrero, principalmente de asignaturas vinculadas con el análisis de calidad de energía a lo largo de distintos ciclos de la formación de los estudiantes. La experiencia involucró asignaturas distribuidas en varios cuatrimestres del programa, lo que permitió abordar el caso de estudio desde una perspectiva progresiva e interdisciplinaria. Asimismo, en el desarrollo de las actividades intervinieron profesores, técnicos académicos y directivos, quienes participaron en la planeación, la instrumentación, el seguimiento y el aprovechamiento didáctico del caso.

Los instrumentos empleados en el estudio fueron de dos tipos: técnicos y didácticos. Entre los instrumentos técnicos se utilizaron el analizador de calidad de energía trifásico Fluke 434-II, el software Power Log 430-II<sup>TM</sup> para la descarga y el análisis de datos, así como aplicaciones y herramientas de posprocesamiento, como Matlab Mobile<sup>TM</sup> y hojas de cálculo. Estos recursos permitieron registrar, exportar, organizar y analizar 44 parámetros eléctricos medidos durante cinco meses. Por otra parte, como instrumentos didácticos se consideraron las actividades

integradoras descritas en la Tabla 2, los productos académicos derivados del análisis, las prácticas desarrolladas en distintas asignaturas y las evidencias documentadas en el repositorio abierto del proyecto, lo que permitió vincular el análisis técnico con el proceso de enseñanza-aprendizaje.

La evaluación del componente formativo se realizó a partir de criterios de desempeño vinculados con la comprensión y aplicación del caso de estudio. En particular, se consideró la capacidad del estudiantado para identificar y seleccionar parámetros eléctricos relevantes, interpretar datos reales de operación, aplicar conceptos de potencia activa, reactiva y aparente, y del factor de potencia, realizar análisis estadístico básico e inferir comportamientos del sistema eléctrico con base en evidencia. También se valoró la elaboración de productos académicos y propuestas técnicas derivadas del proyecto, tales como interpretaciones gráficas, análisis comparativos y planteamiento de acciones de mejora. Estos criterios permitieron documentar el aprendizaje alcanzado a partir de evidencias concretas de desempeño, y no únicamente mediante una descripción general de la práctica.

### III. Resultados

En la Tabla 3 se presenta el valor promedio y la desviación típica de mediciones representativas de la fase A del periodo bajo estudio (*i.e.*, 6 de diciembre de 2024 al 6 de mayo de 2025) de algunos parámetros eléctricos, como el valor RMS y pico de la tensión y corriente eléctrica, frecuencia, potencia aparente, activa y reactiva, así como las pérdidas (identificados mediante el subíndice *loss*) de potencia activa y reactiva. La naturaleza fluctuante de las necesidades de energía eléctrica de la IPES se evidencia en la gran desviación típica, que mide la variabilidad de los datos respecto al valor promedio. La intensidad de corriente eléctrica (pico y RMS) presenta una gran variabilidad comparada con la variabilidad de los datos registrados de la frecuencia, o de la potencia reactiva, las cuales exhiben valores mínimos. Es importante mencionar que el factor de

potencia había sido corregido previamente, lo cual incide directamente en la potencia y la energía reactivas registradas durante el periodo de estudio. Esta información es relevante para estudiantes que cursan asignaturas de matemáticas y estadística, ya que permite comprender conceptos como la desviación típica de un conjunto de datos, medida de la variabilidad de los datos respecto a la media poblacional. Del mismo modo, la tendencia y distribución de los datos mostrados en las Figuras 3 y 4 permiten comprender la tendencia de los datos, la forma y el sesgo que presenta un conjunto de datos real y de la vida cotidiana de los estudiantes. Es importante indicar que, como en todos los estudios de caso, los resultados específicos dependen de las condiciones del estudio, pero constituyen un punto de partida para establecer una metodología confiable y reproducible para realizar análisis de ingeniería con un enfoque pedagógico.

**Tabla 3.** Parámetros estadísticos seleccionados de la fase A.

| Parámetro | Media, $\mu$ | Desviación típica, $s$ | Unidad |
|-----------|--------------|------------------------|--------|
| $V_{RMS}$ | 131.17       | 3.23                   | V      |
| $V_{pk}$  | 183.64       | 4.90                   | V      |
| $I_{RMS}$ | 86.62        | 45.18                  | A      |
| $I_{pk}$  | 125.89       | 70.28                  | A      |
| $f$       | 59.94        | 0.01                   | Hz     |
| $P$       | 7.00         | 7.24                   | kW     |
| $Q$       | -7.29        | -1.75                  | kVAr   |
| $S$       | 11.31        | 5.72                   | kVA    |

En la Figura 3 se muestra la tendencia del valor RMS de la fase A respecto al neutro durante una semana de medición. Cada incremento en el gráfico representa un día de medición, en donde se observan una

periodicidad y cierta simetría en la medición. Se aprecian los registros con los valores mínimos (verde) y máximos (rojo) de cada día, además del valor promedio (negro).

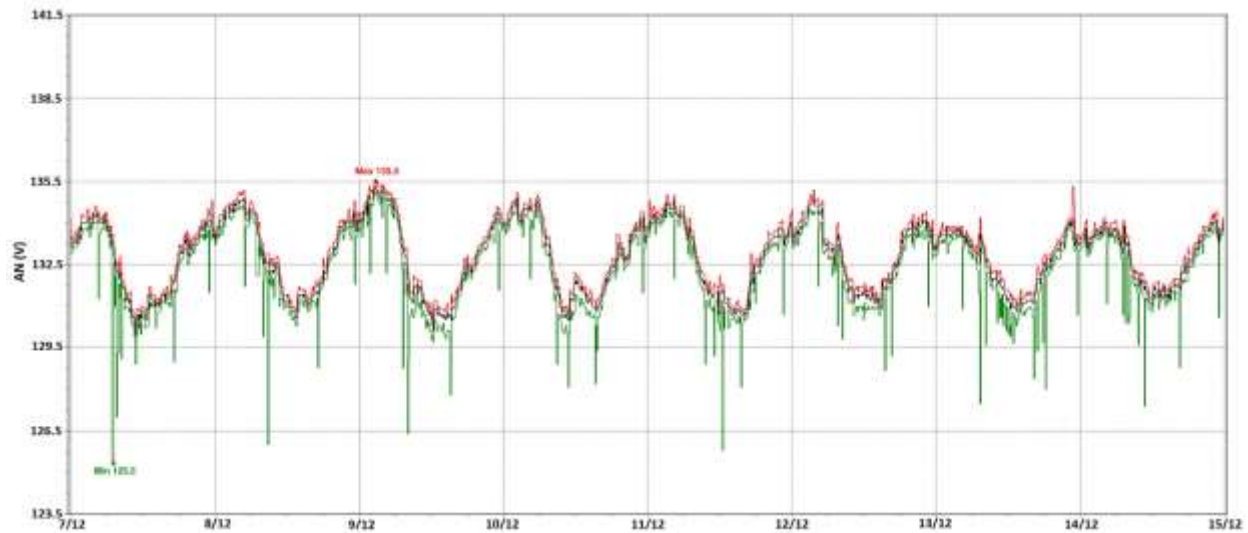


**Figura 3.** Perfil característico del valor RMS de la tensión fundamental de la fase A respecto al neutro. Se aprecia el valor mínimo (125.3 V, verde) y el valor máximo (135.5 V, rojo), correspondientes a una semana de medición. Gráfica obtenida con el software Power Log 430-II™.

Por otra parte, el histograma de la variable  $V_{RMS}$  de la fase A respecto al neutro del periodo de medición bajo estudio se muestra en la Figura 4. El histograma presenta un sesgo negativo, también se aprecia un tipo de distribución de datos leptocúrtica.

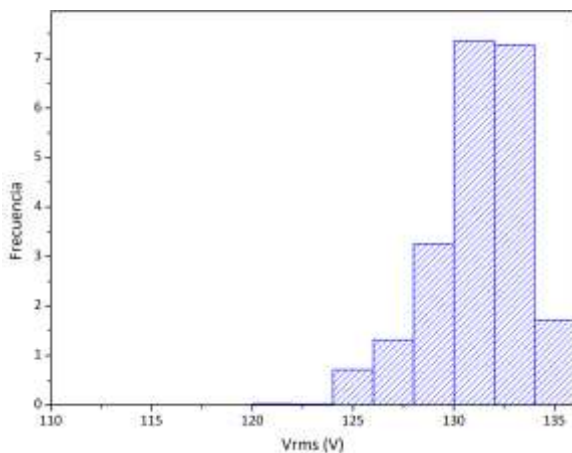


**Figura 4.** Histograma de la tensión eléctrica ( $V_{RMS}$ ) de la señal fundamental de la fase A respecto al neutro.

Gráfica obtenida con el software Power Log 430-II™.

Un perfil típico de la intensidad de corriente eléctrica se muestra en la gráfica de la Figura

5. Se observan picos de demanda máxima en cada día de registro de datos, así como el mínimo y máximo del periodo mostrado. El 12 de diciembre de 2024 se aprecia un comportamiento atípico, esto se atribuye a que el personal de la IPES realizó algunas actividades fuera de las oficinas y de los salones de clase. Por otro lado, como resultado del análisis de los distintos tipos de potencia (es decir, aparente, activa y reactiva), en la Figura 6 se aprecia el perfil de carga de la potencia activa ( $P$ ) de la fase A, recordando que esta es la que se utiliza para realizar un trabajo útil. Como se puede observar, el perfil de carga representa la demanda instantánea de potencia durante un periodo. Los escalones en los gráficos se deben a la tasa de muestreo utilizada en la medición. Los escalones anchos indican que el valor medido se mantuvo durante más de diez minutos. Durante las mediciones se presentó una serie de eventos como caídas de tensión, subidas de tensión, interrupciones, los cuales se resumen en la Tabla 4.

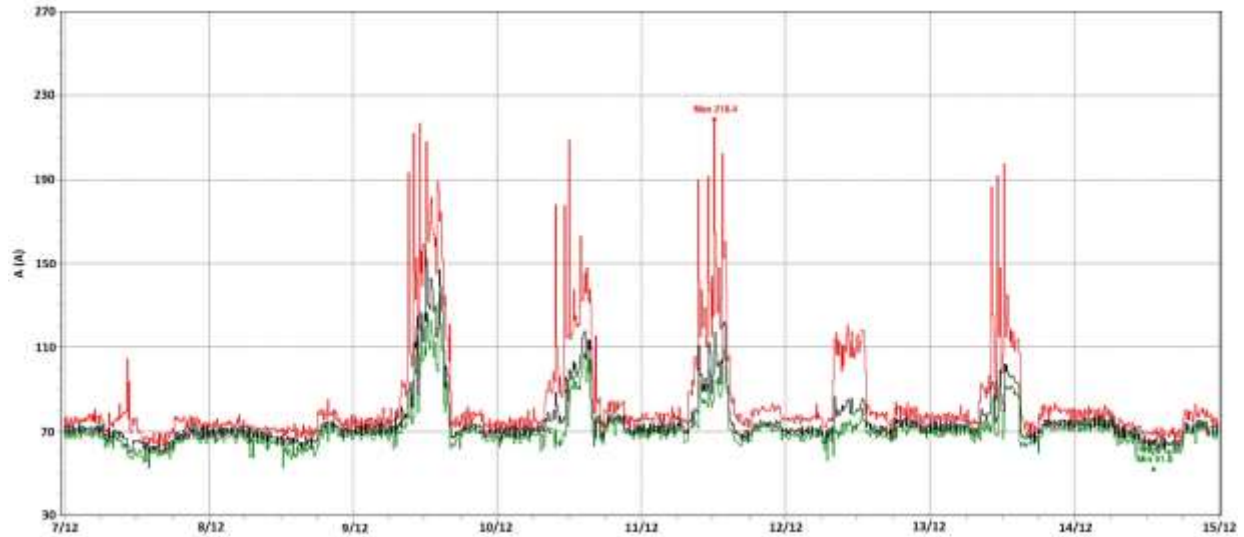


**Figura 5.** Perfil característico del valor RMS de la intensidad de corriente de la fase A: valor mínimo (verde); promedio (negro), y máximo (rojo), de la semana del 7 al 14 de diciembre de 2024.

Gráfica obtenida del software Power Log 430-II™.

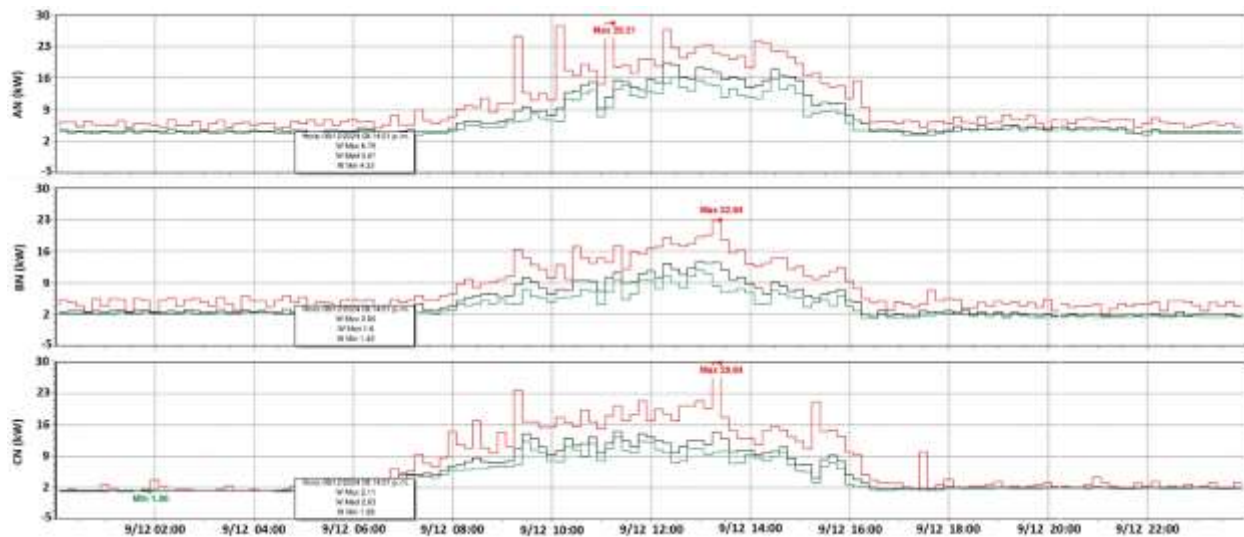


**Figura 6.** Perfil característico de la carga de la demanda de potencia activa (P) de las tres fases A, B y C respecto al neutro, en un día laboral típico.

Gráfica obtenida con el software Power Log 430-II™.

**Tabla 4.** Resumen del tipo de eventos y de la frecuencia de ocurrencia durante el periodo de medición.

| Evento             | Frecuencia |
|--------------------|------------|
| Caídas de tensión  | 173        |
| Subidas de tensión | 486        |
| Transitorios       | 0          |
| Interrupciones     | 33         |

Intervalos sin mediciones

0

En el caso específico de la IEDS, el enfoque inter y multidisciplinario de un análisis de calidad de energía abarca el 71% de las asignaturas del programa educativo; es decir, 40 de las 56 asignaturas de esta carrera. Esto fomenta la interacción entre asignaturas, profesores y estudiantes, brindando herramientas para solucionar problemas

específicos, además de promover un aprendizaje significativo y un pensamiento crítico, preparándolos para el mundo laboral. En la Tabla 5 se presentan las asignaturas de cada cuatrimestre, asociadas a las actividades

necesarias para desarrollar un análisis de calidad de energía con un enfoque educativo STEM, teórico y práctico, apoyado en el ABP a nivel universitario.

**Tabla 5.** Asignaturas involucradas en las actividades (Tabla 2) desarrolladas durante el análisis de calidad de energía.

| Ciclo           | Asignaturas                                                                                                                                                          | Actividad     |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1 <sup>er</sup> | Fundamentos matemáticos, física, energía y desarrollo sostenible, dibujo asistido por computadora, comunicación y habilidades digitales, inglés.                     | 1, 2, 4, 5, 8 |
| 2 <sup>do</sup> | Cálculo diferencial, probabilidad y estadística, seguridad y medio ambiente, circuitos eléctricos, diagnósticos energéticos, inglés.                                 | 1, 3, 4, 6-8  |
| 3 <sup>ro</sup> | Cálculo integral, instalaciones eléctricas industriales, electrónica industrial, desarrollo del pensamiento y toma de decisiones, inglés.                            | 1-3, 8        |
| 4 <sup>to</sup> | Temas selectos de termodinámica y transferencia de calor, metrología, análisis de recurso energético, gestión del mantenimiento, inglés.                             | 3, 6-8        |
| 5 <sup>to</sup> | Ecuaciones diferenciales, energía solar, máquinas eléctricas, sistemas electromecánicos, inglés.                                                                     | 1-3, 7, 8     |
| 7 <sup>mo</sup> | Sistemas de adquisición de datos, temas selectos de física, introducción a las redes eléctricas inteligentes, ingeniería de equipos y sistemas industriales, inglés. | 1-3, 8        |
| 8 <sup>vo</sup> | Normatividad y sustentabilidad energética, sistemas de generación distribuidos, inglés.                                                                              | 1-3, 8        |
| 9 <sup>no</sup> | Eficiencia energética, diseño de proyectos fotovoltaicos, ingeniería económica, modelado y simulación de sistemas de energías renovables, inglés.                    | 1- 4, 7, 8    |

La interrelación de las asignaturas de cada ciclo durante el desarrollo del presente estudio, desde su concepción hasta la toma de decisiones basadas en los resultados, puede describirse como se detalla a continuación. Al iniciar con el 1<sup>er</sup> ciclo, se emplea el “dibujo asistido por computadora” para la elaboración de diagramas unifilares; en el 2<sup>do</sup> ciclo, los estudiantes utilizan el conocimiento adquirido en asignaturas como “circuitos eléctricos” para identificar los sistemas de suministro trifásico, identificación del neutro y tierra física; por otra parte, en el 3<sup>er</sup> ciclo, durante la asignatura de “instalaciones eléctricas industriales” los estudiantes aprenden el uso de pastillas termomagnéticas, reactores de rechazo y banco de capacitores para la corrección del factor de potencia; durante la asignatura “metrología” impartida durante el 4<sup>to</sup> ciclo, los estudiantes aprenden el uso correcto de unidades para representar magnitudes físicas y eléctricas como potencia eléctrica, frecuencia, intensidad de corriente eléctrica, etc.; por su parte, durante el 5<sup>to</sup>

ciclo, los estudiantes conocen mediante la práctica, el impacto del uso de “máquinas eléctricas” en el consumo de energía eléctrica; durante el 7<sup>mo</sup> ciclo, los estudiantes ponen en práctica lo aprendido en su asignatura de “sistemas de adquisición de datos”, como tasa de muestreo, uso de documentos especiales para manejo de datos, como el formato de valores separados por coma, CSV, etc.; en el 8<sup>vo</sup> ciclo se enfatiza en la “normatividad y sustentabilidad energética”, para lograr un uso consciente de la energía eléctrica; finalmente, durante el 9<sup>no</sup> ciclo, durante el desarrollo de la impartición de la asignatura de “eficiencia energética” e “ingeniería económica”, las y los estudiantes tienen la labor de proponer mejoras en el consumo de energía, mediante la sustitución de equipos obsoletos, por aquellos ahorradores de energía, a través de cálculos económicos que permitan analizar la viabilidad de la implementación física de los sistemas propuestos.

De manera general, la metodología se desarrolló como un proceso secuencial que inició con la selección del caso de estudio y la definición de los parámetros eléctricos a analizar, seguidos de la instrumentación y adquisición de datos mediante equipo especializado. Posteriormente, se llevó a cabo el procesamiento, análisis e interpretación técnica de la información registrada, considerando tanto el comportamiento de las variables eléctricas como su relación con las condiciones de operación de la institución. Finalmente, el caso se integró al proceso formativo a través de actividades basadas en el enfoque STEM+ABP, lo que permitió vincular el análisis técnico con el desarrollo de productos académicos y la evaluación del aprendizaje a partir de evidencias de desempeño.

#### IV. Discusión

La interpretación de los resultados obtenidos del periodo bajo estudio permite destacar la relevancia de la variabilidad de los parámetros eléctricos registrados, particularmente de la intensidad de corriente (RMS y pico), cuya dispersión es considerable frente a la estabilidad observada en la frecuencia y la potencia reactiva. Otro aspecto relevante del análisis fue la influencia del factor de potencia sobre el comportamiento energético de la instalación; dado que este parámetro había sido corregido previamente, los resultados mostraron una menor incidencia de la potencia reactiva sobre el desempeño global del sistema, lo que se refleja en un uso más eficiente de la energía y en una menor probabilidad de penalización tarifaria. Este hallazgo es consistente con lo señalado por Martínez-Sarmiento [16], quien destaca que la corrección del factor de potencia en cargas no lineales contribuye a disminuir las pérdidas, mejorar el aprovechamiento de la energía y optimizar las condiciones de operación eléctrica. Desde esta perspectiva, el caso analizado confirma

que la relación entre potencia activa, reactiva y aparente no solo tiene un valor teórico, sino que también incide directamente en la eficiencia operativa de las instituciones con demanda significativa. Esta diferencia evidencia la naturaleza dinámica de la demanda energética de la IPES en análisis, vinculada a las actividades cotidianas de la institución y a eventos específicos que alteran el perfil de consumo.

El análisis de la tendencia del valor RMS de la tensión respecto al neutro observado en la Figura 3, muestra una periodicidad diaria con una incuestionable simetría, lo que sugiere patrones de uso relativamente constantes. La interpretación de los resultados obtenidos muestra que el comportamiento eléctrico de la institución responde de manera directa a la dinámica de uso propia del entorno académico. La alta variabilidad observada en la corriente y la periodicidad diaria del valor RMS de la tensión respecto al neutro sugieren una relación estrecha entre el perfil de carga y las actividades cotidianas desarrolladas en aulas, laboratorios y espacios administrativos. Este comportamiento coincide con lo reportado en estudios previos sobre instalaciones sujetas a tarifas de media tensión, donde la demanda de potencia y los patrones de consumo influyen de manera importante tanto en el desempeño técnico del sistema como en la facturación final [1]. En este sentido, los resultados obtenidos no solo describen el estado eléctrico de la IPES analizada, sino que también confirman la pertinencia de monitorear continuamente este tipo de instalaciones para comprender mejor su operación real.

Por su parte, el histograma del valor RMS de la tensión eléctrica mostrado en la Figura 4, evidencia un sesgo negativo y una distribución leptocúrtica, lo cual indica la presencia de valores atípicos y concentraciones alrededor de la media, reforzando la importancia de comprender la

desviación típica como medida de variabilidad de un conjunto de datos experimentales, en el ámbito pedagógico, para garantizar un aprendizaje significativo, fomentar el pensamiento crítico, además de integrar los conocimientos teóricos y prácticos asociados a este estudio. Estos hallazgos no solo tienen implicaciones técnicas, sino también pedagógicas: constituyen ejemplos reales para la enseñanza de conceptos estadísticos como la tendencia, la dispersión y el sesgo, favoreciendo un aprendizaje significativo en estudiantes de ingeniería, ya que el trabajo con datos reales permitió trasladar conceptos abstractos del aula a un problema concreto de análisis e interpretación. La posibilidad de que los estudiantes examinaran mediciones auténticas, identificará patrones de comportamiento eléctrico y relacionaran variables técnicas con condiciones reales de operación fortaleció el aprendizaje significativo y el pensamiento crítico. Este resultado se encuentra en línea con trabajos previos que destacan que la combinación de STEM y ABP favorece una comprensión más profunda cuando el aprendizaje se organiza a partir de problemas reales y productos concretos [7], [8]. De manera similar, Lee y Lee [11] señalan que el aprendizaje basado en proyectos actúa como catalizador del enfoque STEM al conectar contenidos disciplinares con experiencias auténticas y contextualizadas.

Asimismo, el perfil de carga de la potencia activa mostrado en la Figura 6, resalta la relación directa entre la energía útil y las condiciones de operación de la IPES. En conjunto, los resultados confirman la pertinencia de un enfoque interdisciplinario y reproducible para abordar problemas energéticos reales en la educación superior. La vinculación del caso con distintas asignaturas y ciclos de formación muestra que el análisis de la calidad de la energía puede trascender una sola materia y

convertirse en un eje articulador entre ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas. Esta amplitud curricular coincide con planteamientos recientes que conciben STEM no como un conjunto de actividades aisladas, sino como un marco integrador orientado a la resolución de problemas complejos en contextos reales [2], [14]. Asimismo, trabajos más recientes en el currículo de ingeniería han señalado que los enfoques basados en proyectos fortalecen justamente esa capacidad de articulación entre disciplinas, el contexto profesional y el aprendizaje aplicado [13]. Desde esta perspectiva, la experiencia presentada aporta evidencia de que el análisis de un sistema eléctrico real puede funcionar simultáneamente como objeto técnico de estudio y como recurso pedagógico transversal.

## V. Conclusiones

Se demuestra la interdisciplinariedad y la multidisciplinariedad de un análisis de la calidad de la energía de un servicio trifásico de media tensión. La utilización de diversas disciplinas de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas permite a los estudiantes alcanzar un nivel profundo de comprensión del tema, desde su origen en la ciencia básica, durante su implementación mediante tecnología e ingeniería, hasta su análisis e interpretación, empleando conceptos de matemáticas y herramientas computacionales actuales. En este sentido, es necesario priorizar la interacción entre asignaturas que fomenten en el estudiante un pensamiento crítico, apoyado en herramientas digitales y equipos especializados utilizados en la industria, y que promuevan un aprendizaje significativo, con la ayuda del ABP y un enfoque STEM. En cada ingeniería se deben implementar prácticas inter- y multidisciplinarias con una perspectiva educativa de ABP & STEM, mediante un trabajo colegiado entre profesores y directores de carrera, siempre enfocado en el

aprendizaje significativo de los estudiantes. En el caso particular presentado, el 71% de las asignaturas de la IEDS interactúan mediante una práctica que puede implementarse en distintas etapas de la carrera. También es posible reproducir la misma práctica en distintos cuatrimestres, con la finalidad de reforzar el conocimiento de los estudiantes y promover un aprendizaje significativo que perdure en el tiempo, hasta la inserción del estudiante en el ámbito laboral.

## VI. Referencias

- [1] J. A. Alanís Navarro, R. Alanís-Cantú, M. Castillo-Téllez, and J. E. Lavín-Delgado, “Análisis estadístico de la influencia de la demanda de potencia en tarifas de media tensión sobre la facturación final,” *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, vol. 11, no. 65, pp. 51–69, Aug. 2023, [Online]. Available: [www.riiit.com.mx](http://www.riiit.com.mx)
- [2] M. Caplan and C. del P. Suárez Rodríguez, “STEM para todos – Introduciendo la Educación STEM en la capacitación docente [STEM for all – Introducing STEM Education into teacher training. In: Educational research in retrospect: guidelines and teaching practices for change]”, in *Investigación educativa a contraluz: pautas y prácticas docentes para el cambio*, Astra ediciones, 2025, pp. 171–196. doi: 10.61728/ae24003650.
- [3] M. Castillo Téllez, B. Castillo-Téllez, D. C. Mex Álvarez, O. García-Valladares, A. Domínguez Niño, and G. A. Mejía-Pérez, “Solar Distillation as a Sustainable STEM Tool: Bridging Theory and Practice”, *Sustainability (Switzerland)*, vol. 17, no. 2, pp. 1–16, 2025, doi: 10.3390/su17020594.
- [4] J. Alanís-Navarro, D. Becerra-García, L. Gálvez, and R. Abarca, “Influencia de parámetros técnicos de sistemas fotovoltaicos,” vol. 2, p. 14, Aug. 2024.
- [5] J. Alanís-Navarro, K. Velázquez-Medina, A. Sandoval González, and J. Lavín-Delgado, “Simulación de fenómenos de transferencia de calor y masa utilizando Energy2D”, vol. 2, pp. 25–34, Feb. 2024.
- [6] J. A. Alanís Navarro, M. CastilloTéllez, M. A. Rivera Martínez, G. Pedroza Silvar, and F. C. Martínez Tejeda, “Computational thermal analysis of a double slope solar still using Energy2D”, *Desalination Water Treat.*, vol. 151, pp. 26–33, 2019, doi: 10.5004/dwt.2019.23811.
- [7] Fonseca-Factos Alejandra and Simbaña-Gallardo Verónica, “Enfoque STEM y aprendizaje basado en proyectos para la enseñanza de la física en educación secundaria. [STEM approach and project-based learning for teaching physics in secondary education]”, *NOVASINERGIA REVISTA DIGITAL DE CIENCIA, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA*, vol. 5, no. 2, pp. 90–105, Jul. 2022, doi: 10.37135/ns.01.10.06.
- [8] Torras Galán Anna, Lope Pastor Silvia, and Carió Llach Mar, “El aprendizaje basado en proyectos en el ámbito STEM: Conceptualización por parte del profesorado [Project-based learning in STEM fields: Conceptualization by teachers]”, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, vol. 2, no. 20, pp. 359–380, 2021.
- [9] S. Lavado-Anguera, P.-J. Velasco-Quintana, and M.-J. Terrón-López, “Project-Based Learning (PBL) as an

- Experiential Pedagogical Methodology in Engineering Education: A Review of the Literature”, *Educ. Sci. (Basel)*., vol. 14, no. 6, 2024, doi: 10.3390/educsci14060617.
- [10] F. Naseer, R. Tariq, H. M. Alshahrani, N. Alruwais, and F. N. Al-Wesabi, “Project based learning framework integrating industry collaboration to enhance student future readiness in higher education”, *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, Dec. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-10385-4.
- [11] M. Y. Lee and J. S. Lee, “Project-Based Learning as a Catalyst for Integrated STEM Education”, *Educ. Sci. (Basel)*., vol. 15, no. 7, 2025, doi: 10.3390/educsci15070871.
- [12] C. N. Auliyani, F. Arianto, and C. F. Kholidya, “A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW OF PROJECT-BASED LEARNING INTEGRATED WITH STEM EDUCATION: EXAMINING IMPLEMENTATION STRATEGIES, OUTCOMES, AND CHALLENGES”, *Jurnal Visi Ilmu Pendidikan*, vol. 17, no. 1, pp. 214–231, Feb. 2025, doi: 10.26418/jvip.v17i1.85610.
- [13] J. Gutierrez-Berraondo, E. Iturbe-Zabalo, N. Arregi, and J. Guisasola, “Influence on Students’ Learning in a Problem- and Project-Based Approach to Implement STEM Projects in Engineering Curriculum”, *Educ. Sci. (Basel)*., vol. 15, no. 5, 2025, doi: 10.3390/educsci15050534.
- [14] F. S. ZUÑIGA-TINIZARAY and V. I. MARIN, “Estrategias Educativas STEM-STEAM en Nivel Superior: Revisión Sistemática de Literatura”, *Espacios*, vol. 45, no. 04, pp. 16–30, Jul. 2024, doi: 10.48082/espacios-a24v45n04p02.
- [15] J. Alanís-Navarro, “Análisis de factor de potencia eléctrico”, Mar. 2019.
- [16] F. H. Martínez Sarmiento and D. F. Gómez Molano, “Corrección activa del factor de potencia en cargas no lineales [Active power factor correction in nonlinear loads]”, *Tecnura*, vol. 7, no. 14, pp. 40–47, Jan. 2004, doi: 10.14483/22487638.6184.
- [17] Mario Arturo Rivera-Martínez, María Adriana García-López, José Andrés Alanís-Navarro, Marcos Fuentes-Pérez, and Jorge Enrique Lavín-Delgado, “Theoretic and experimental performance of a grid-connected photovoltaic system: Multiple prediction model of efficiency and annual energy generation”, *Energy Exploration & Exploitation*, vol. 42, no. 3, pp. 1145–1162, Jan. 2024, doi: 10.1177/01445987231204394.

## VI. Anexo

El programa de cómputo especializado para analizar los datos registrados por el analizador de calidad de energía, puede descargarse desde el siguiente enlace: [\*Software de aplicación Power Log 430-II de Fluke™\*](#). El informe técnico generado por el *software Power Log 430-II 5.9* puede consultarse y descargarse utilizando el siguiente enlace: [\*Informe técnico del instrumento modelo 434-II\*](#). El informe técnico incluye información acerca de la configuración, resumen de registros, resumen de eventos, perfiles de corriente, tensión, y potencia, distorsiones armónicas, desequilibrio, entre otros parámetros relevantes para analizar. La base de datos o fichero en el formato del *software* especializado que contiene la información del periodo analizado puede consultarse y descargarse gratuitamente desde este enlace: [\*Fichero de registro de datos de calidad de energía \(\\*.fpqo\)\*](#). La base de datos en formato de Excel® puede descargarse desde este enlace: [\*Fichero de registro de datos de calidad de energía \(\\*.xlsx\)\*](#). La aplicación móvil para el sistema Android utilizada para graficar las señales senoidales de tensión, corriente y otros parámetros mostrados en las ecuaciones 1-8, puede descargarse la versión gratuita desde el enlace siguiente: [\*Aplicación Matlab Mobile™\*](#). Finalmente, las líneas de código para graficar las señales en la aplicación *Matlab Mobile™* puede descargarse desde el siguiente enlace: [\*Código\*](#). El código puede utilizarse indistintamente en la aplicación de *Matlab Mobile™* o en el programa de acceso libre *Scilab*, el cual puede descargarse utilizando este enlace: [\*Software Scilab\*](#). Los programas de cómputo y aplicaciones móviles utilizadas durante este estudio, para el análisis de datos, visualización y post-procesamiento, se presentan en la Tabla A1.

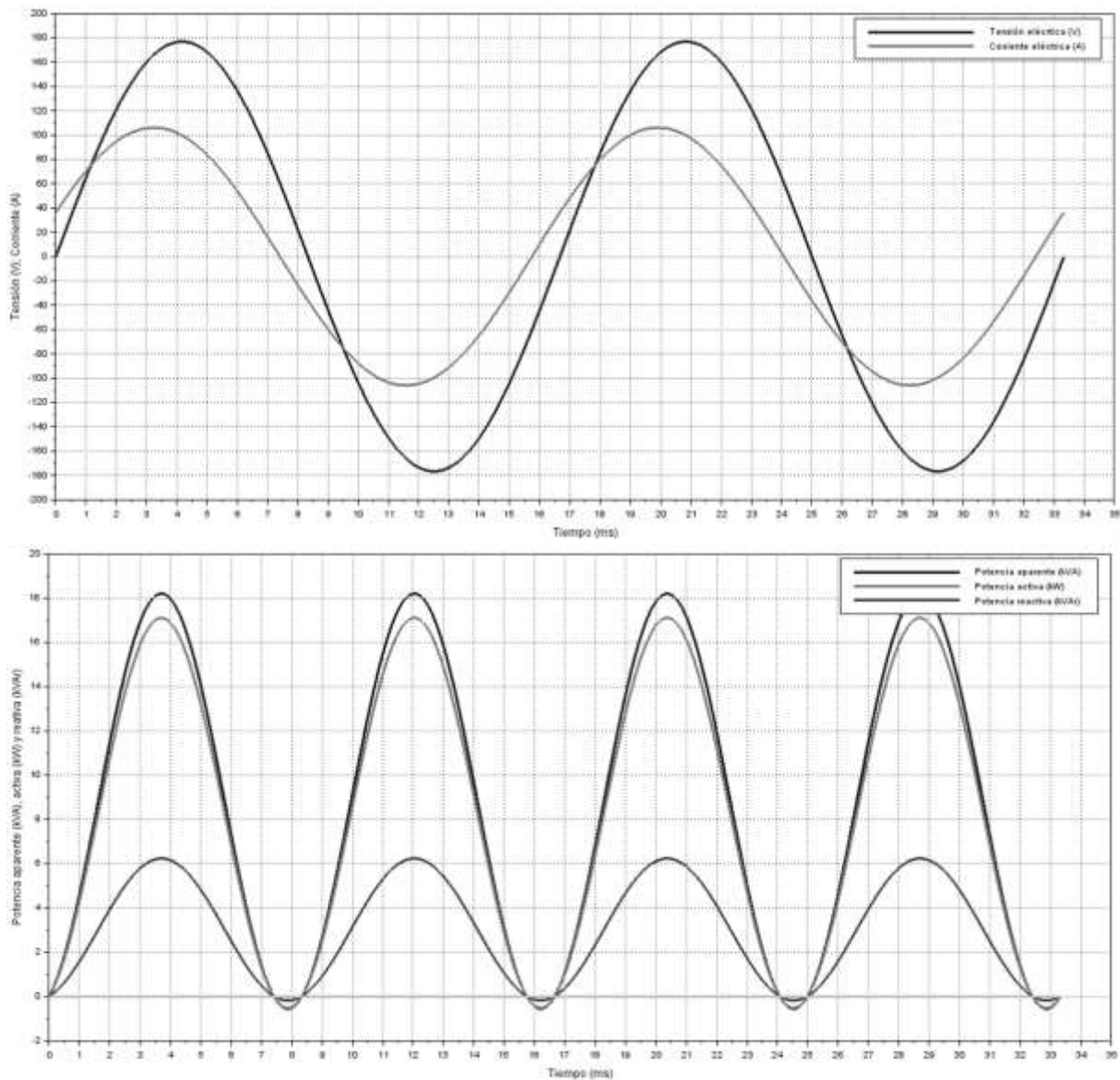


**Figura A1.** Señal de tensión y corriente eléctrica de dos periodos obtenidas utilizando el código del Anexo. Se aprecia el desfase de la señal de corriente eléctrica respecto a la de tensión (izquierda). Señal de potencia aparente, activa y reactiva de dos periodos. Se observan las pérdidas de potencia (i.e., potencia negativa, debajo de línea cian) debido al desfase entre la señal de tensión y corriente eléctricas (derecha).

**Tabla A1.** Software y aplicaciones móviles utilizadas para el análisis de datos, visualización gráfica y post-procesamiento.

| Software / Aplicación | Versión             | Propósito                                             |
|-----------------------|---------------------|-------------------------------------------------------|
| Power Log 430-II      | 5.9 (Gratuita)      | Análisis de datos y visualización                     |
| Matlab Mobile         | 6.10.0 (Gratuita)   | Post-procesamiento y cálculo de parámetros eléctricos |
| Scilab                | 2024.1.0 (Gratuita) | Post-procesamiento y cálculo de parámetros eléctricos |