

**Ciencia Latina**  
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.  
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), noviembre-diciembre 2024,  
Volumen 8, Número 6.

[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i6](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6)

**MONITOREO DE  
PARÁMETROS ELÉCTRICOS EN BAJA  
TENSIÓN CON ARDUINO PARA USO  
EFICIENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

**MONITORING LOW VOLTAGE ELECTRICAL PARAMETERS  
WITH ARDUINO FOR EFFICIENT ENERGY USAGE**

**Yaritza Anayeli Barrientos Rebollar**

Tecnológico Nacional de México

**Juan Gabriel Hernández Vásquez**

Tecnológico Nacional de México

**Luis Alberto Leon Bañuelos**

Tecnológico Nacional de México

**Rene García Martínez**

Tecnológico Nacional de México

DOI: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rem.v8i6.15563](https://doi.org/10.37811/cl_rem.v8i6.15563)

## Monitoreo de Parámetros Eléctricos en Baja Tensión con Arduino para uso Eficiente de Energía Eléctrica

**Yaritza Anayeli Barrientos Rebollar<sup>1</sup>**[0612yabr@gmail.com](mailto:0612yabr@gmail.com)<https://orcid.org/0009-0004-4892-8948>Tecnológico Nacional de México  
TES Valle de Bravo, División de Eléctrica  
México**Juan Gabriel Hernández Vásquez**[juan.hv@vbravo.tecnm.mx](mailto:juan.hv@vbravo.tecnm.mx)<https://orcid.org/0000-0003-1335-840X>Tecnológico Nacional de México  
TES Valle de Bravo, División de Eléctrica  
México**Luis Alberto Leon Bañuelos**[luis.lb@vbravo.tecnm.mx](mailto:luis.lb@vbravo.tecnm.mx)<https://orcid.org/0000-0003-0332-6228>Tecnológico Nacional de México  
TES Valle de Bravo, División de Ingeniería  
en Sistemas Computacionales  
México**Rene García Martínez**[rgm1117@gmail.com](mailto:rgm1117@gmail.com)<https://orcid.org/0000-0002-8756-2078>Tecnológico Nacional de México  
TES Valle de Bravo  
División de Ingeniería Forestal  
México

### RESUMEN

El proyecto se centró en el diseño y desarrollo de un módulo de monitoreo de parámetros eléctricos, específicamente enfocado en la medición de voltaje y corriente utilizando un microcontrolador de Arduino UNO. Este módulo facilita la obtención de potencias eléctricas como la activa, reactiva y aparente del sistema eléctrico que se está monitoreando. Las mediciones se llevan a cabo por medio de transductores especializados y circuitos impresos de acondicionamiento que envían señales analógicas al Arduino UNO. El microcontrolador procesa las señales analógicas y las convierte en digitales en tiempo real utilizando un código desarrollado específicamente para este propósito. Una vez procesados, los datos se registran en una base un archivo de Excel para determinar las potencias eléctricas y el factor de potencia del sistema. La propuesta presentada permitió crear un monitoreo eficiente y en tiempo real de los parámetros eléctricos, proporcionando información crucial que lleven a la implementación de mejoras sobre el uso de la energía en las instalaciones evaluadas. La implementación de este módulo contribuye a la toma de decisiones para la mejora de la eficiencia energética en instalaciones diversas.

**Palabras clave:** eficiencia energética, instalaciones eléctricas, potencia eléctrica, factor de potencia, voltaje

---

<sup>1</sup> Autor principal

Correspondencia: [luis.lb@vbravo.tecnm.mx](mailto:luis.lb@vbravo.tecnm.mx)

# Monitoring Low Voltage Electrical Parameters with Arduino for Efficient Energy Usage

## ABSTRACT

The project focused on the design and development of an electrical parameter monitoring module, specifically aimed at measuring voltage and current using an Arduino UNO microcontroller. This module facilitates the acquisition of electrical powers such as active, reactive, and apparent power of the monitored electrical system. Measurements are carried out through specialized transducers and conditioning printed circuits that send analog signals to the Arduino UNO. The microcontroller processes the analog signals and converts them into digital signals in real-time using a code developed specifically for this purpose. Once processed, the data is recorded in an Excel database to determine the electrical powers and the power factor of the system. The presented proposal allowed for efficient and real-time monitoring of electrical parameters, providing crucial information that leads to the implementation of improvements in energy usage in the evaluated facilities. The implementation of this module contributes to decision-making for improving energy efficiency in various installations.

**Keywords:** energy efficiency, electrical installations, electrical power, power factor, voltage

*Artículo recibido 18 octubre 2024*  
*Aceptado para publicación: 21 diciembre 2024*



## INTRODUCCIÓN

En un mundo cada vez más conectado y consciente de la necesidad de optimizar el uso de la energía, los sistemas de monitoreo de parámetros eléctricos han emergido como herramientas esenciales para la gestión eficiente de recursos energéticos (Webster, 2020). Estos sistemas son cruciales para identificar el consumo real de energía y evitar costos innecesarios, lo que representa un área problemática significativa para consumidores y administradores de sistemas eléctricos (Smith, 2021).

El Arduino ha sido un pilar en el mundo de la electrónica y la automatización debido a su flexibilidad y facilidad de uso (Jones & Miller, 2019). Desde su introducción, ha permitido a profesionales y aficionados crear soluciones innovadoras en diversos campos, incluyendo el monitoreo energético (Hernández, 2014). Su capacidad para interactuar con múltiples sensores y dispositivos a través de sus entradas y salidas analógicas y digitales lo convierte en una opción ideal para proyectos de control y supervisión (Castro, 2017). Además, el acceso a una amplia gama de bibliotecas y la robusta comunidad de desarrolladores de Arduino han facilitado el desarrollo de sistemas avanzados y personalizados (Gómez & Ramírez, 2023). Esta accesibilidad y versatilidad han sido cruciales en un país como México, donde el acceso a la electricidad es casi universal, según datos de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE, 2019). Esto subraya la necesidad de implementar tecnologías eficientes para el uso y gestión de la energía eléctrica (Castro, 2017).

En su libro *Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook*, John G. Webster destaca la importancia de las mediciones eléctricas precisas para ingenieros y científicos. Este enfoque ha impulsado el desarrollo de proyectos prototipo de sistemas de medición que transmiten datos en tiempo real para facilitar su visualización. Esta capacidad es especialmente valiosa para aplicaciones industriales y residenciales donde la precisión y la accesibilidad de los datos son críticas para la gestión eficiente de la energía (Webster, 2020).

Según un informe de la Agencia Internacional de Energía, la implementación de sistemas de monitoreo energético puede reducir los costos energéticos entre un 5% y un 15%. Esta capacidad para proporcionar datos en tiempo real permite identificar ineficiencias y optimizar el uso de energía, promoviendo la sostenibilidad y el ahorro económico (AIE, 2019). Estos sistemas no solo disminuyen los riesgos y costos monetarios en industrias, sino que también anticipan en tiempo real anomalías en la red,



contribuyendo de manera significativa al sector eléctrico en términos de sustentabilidad y eficiencia (Pérez & Morales, 2016).

Investigaciones como la de Smith han explorado la implementación de sistemas de monitoreo de energía en edificios comerciales utilizando el Arduino. Estos sistemas han demostrado ser efectivos en la medición del consumo energético en diferentes áreas y en la transmisión de datos (Smith, 2021). Estos estudios resaltan el impacto positivo del monitoreo de energía en la gestión de edificios comerciales e industriales, proporcionando información crítica para mejorar la eficiencia energética (James & Taylor, 2007).

Arduino, con su entorno de programación amigable, ha simplificado el desarrollo de software para el monitoreo de parámetros eléctricos (Gómez & Davis, 2012). La comunidad de Arduino informa que más del 70% de los desarrolladores consideran que reduce significativamente el tiempo de desarrollo en comparación con otros lenguajes (Jones & Miller, 2019). Esta eficiencia ha facilitado la creación de soluciones rápidas y eficaces para el monitoreo energético, permitiendo la transmisión y tratamiento de datos de medición de manera más cómoda y moderna, adaptándose a las nuevas tecnologías (Sánchez, 2014).

El monitoreo de energía con módulos, como el Arduino, se ha convertido en una práctica esencial en la gestión de recursos energéticos (Webster, 2020). Actualmente, este enfoque no solo permite la medición precisa de parámetros eléctricos como voltaje, corriente y potencia, sino que también facilita el análisis en tiempo real y la transmisión de datos (CONUEE, 2019).

El motivo detrás de este estudio es la necesidad de abordar las deficiencias actuales en la monitorización precisa y accesible del consumo energético. Observaciones en la práctica actual han mostrado que muchos usuarios carecen de herramientas efectivas para verificar su consumo de energía, lo que genera desconfianza y posibles costos adicionales (Anderson, 2008). Estos estudios buscan llenar este vacío, proporcionando un sistema de monitoreo accesible y preciso que permita a los usuarios tener un control real sobre su consumo energético (Ortiz & Wilson, 2018).

El objetivo de esta investigación fue diseñar un módulo de monitoreo de parámetros eléctricos para instalaciones en baja tensión. Este prototipo tiene como finalidad evaluar la eficiencia y precisión del sistema en la medición de parámetros eléctricos clave como voltaje y corriente (Smith, 2021).



Además, se busca analizar el impacto del sistema en la reducción de costos energéticos mediante la identificación y corrección de ineficiencias en el consumo (Brown & Johnson, 2011). El proyecto también pretende proporcionar datos en tiempo real que faciliten una toma de decisiones informada (Jones & Miller, 2019). Al integrar el Arduino UNO, se espera crear una solución accesible, rentable y escalable que pueda adaptarse a distintas necesidades y promover prácticas sostenibles en el uso de la energía (Ramírez, 2015). Este enfoque no solo mejorará el control del consumo energético, sino que también contribuirá a la sostenibilidad y la eficiencia de recursos energéticos (AIE, 2019).

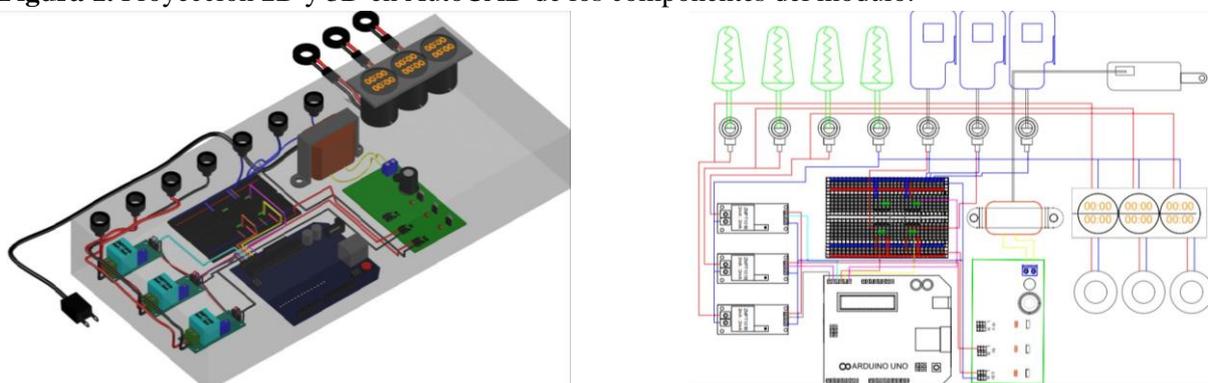
## METODOLOGÍA

### Diseño del sistema de monitoreo

En la primera etapa se realizaron los procesos para el diseño de un sistema de monitoreo, como primera actividad se propone el diseño de un módulo de monitoreo para medir variables eléctricas, basado en diseños previos adaptables. La medición de señales analógicas de corriente alterna se realizará con transductores de voltaje ZMPT101B (0-220 V) y transductores de corriente no invasivos SCT-013 (0-100 A). La señal analógica de corriente se acondicionó a niveles de voltaje no mayores a 3 V mediante un circuito con amplificadores, validado previamente en simulaciones de Proteus y luego ensamblado físicamente.

Para la agrupación de los componentes del módulo de monitoreo, se elaboraron proyecciones en 2D y 3D utilizando el software de diseño AutoCAD. Esto permitió desarrollar un modelo de gabinete compacto en el que se montaron los circuitos, conectores de entrada y salida, incluyendo un Arduino. Esto se muestra en una representación digital de prototipo (ver Figura 1).

**Figura 1.** Proyección 2D y 3D en AutoCAD de los componentes del módulo.



Fuente: Elaboración propia

Después de completar las actividades previas, se procedió a ensamblar el prototipo final donde se conectarán estos componentes y la carga eléctrica deseada (máquina o instalación). Este ensamblaje asegurará que el módulo funcione correctamente en condiciones reales, permitiendo una medición precisa y segura de las variables eléctricas.

### Pruebas de funcionamiento del módulo

En la segunda etapa, la comunicación del microcontrolador en Arduino se realizó configurando inicialmente los pines necesarios para los transductores, los cuales son utilizados para la lectura de señales eléctricas como voltajes y corrientes respectivamente. La captura se lleva a cabo mediante técnicas de conversión analógico-digital (ADC), asegurando lecturas precisas y estables para controlar los actuadores, y procesar datos. El bucle principal consiste en la captura de datos, el procesamiento y la transmisión hacia un archivo de Excel. Para este proyecto se realizaron pruebas en el tablero de distribución general del Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo (TESVB) con el circuito derivado de la cafetería de la institución, donde las mediciones obtenidas con el Arduino se compararon con las lecturas obtenidas de corriente y voltaje medidas con el Registrador FLUKE.

### Transferencia de información del módulo

En la tercera etapa se llevó a cabo el registro de los parámetros eléctricos monitoreados, las actividades que se realizaron consistieron en la transmisión de datos a un archivo de Excel con el programa PLX-DAQ-v2.11 que se configuró para que se recibiera y se actualizará cada 3 segundos con base el código de programación que se muestra a continuación.

**Figura 2.** Código de ejecución para el registro de datos de voltaje y corriente.

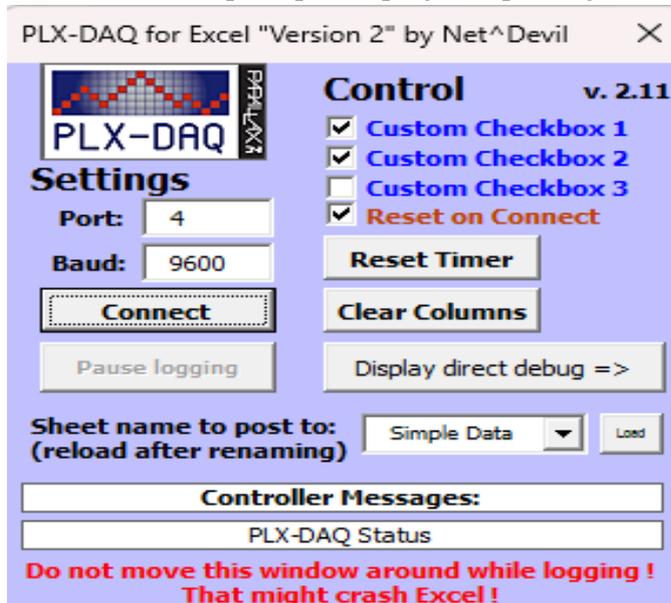
```
const int muestreo = 1040;
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("CLEARDATA");
  Serial.println("CLEAR SHEET");
  Serial.println("LABEL, hora, VoltajeFA, VoltajeFB, VoltajeFC, CorrienteFA, CorrienteFB, CorrienteFC");
}
void loop() {
  float VFA = leervoltajeFA();
  float VFB = leervoltajeFB();
  float VFC = leervoltajeFC();
  float Irms1=get_corriente1();
  float Irms2=get_corriente2();
  float Irms3=get_corriente3();
  Serial.print("DATA, TIME, ");
  Serial.print(VFA);
  Serial.print(", ");
  Serial.print(VFB);
  Serial.print(", ");
  Serial.print(VFC);
  Serial.print(", ");
  Serial.print(Irms1);
  Serial.print(", ");
  Serial.print(Irms2);
  Serial.print(", ");
  Serial.println(Irms3);
  delay(100);
}
```

Fuente: Elaboración propia



Este proceso facilitó el almacenamiento, registro y análisis de la información. En la Figura 3 se observa la pestaña principal de la ejecución del programa, la configuración del COM utilizado y la velocidad de registro.

**Figura 3.** Pestaña principal del programa para registro de voltaje y corriente



Fuente: Elaboración propia

### Análisis de parámetros eléctricos leídos.

Para evaluar el consumo de la potencia eléctrica de una instalación, se utilizaron los siguientes indicadores y estándares:

**Potencia activa:** (Hambley, 2001)(ecuación 1)

$$1) W = Vm * Im$$

**Potencia aparente:** (Alexander y Sadiku, 2016) (ecuación 2).

$$2) S = Irms * Vrms$$

**Potencia reactiva:** (Grainger, 1997) (ecuación 3).

$$3) Q = \sqrt{S^2 - W^2}$$

**Factor de potencia:** (Weedy & Cory, 2009) (ecuación 4 y 5).

$$4) \theta = \tan^{-1} \frac{\text{Potencia Reactiva}}{\text{Potencia Activa}} \quad 5) F.P \cos(\theta)$$

**Desbalanceo de fases:** (Alexander y Sadiku, 2016) (ecuación 6).

$$6) \%Desbalance = \frac{\text{Desviacion max promedio}}{\text{promedio}}$$

## Planteamiento de estrategias básicas en el uso eficiente de la energía

La IEEE 1459-2010 Cláusula 5.2 y 6 describe que “un factor de potencia se considera bajo cuando es inferior al 0.9”. Así mismo, la norma delimita los métodos para calcular el factor de potencia en sistemas con cargas no lineales, donde el factor de potencia puede ser significativamente afectado por las distorsiones de armónicos. La Cláusula 7 especifica los equipos de compensación que se pueden implementar en caso de que el factor de potencia sea menor al 0.9.

**Bancos de Condensadores:** (Grainger & Stevenson, 1996), (ecuación 7, 8 y 9).

$$7) \text{ Ang} = \cos^{-1}(FP_{inicial})^{\circ}$$

$$8) Q = 100 * \tan(\text{Ang})$$

$$9) Q_{comp} = Q1 - Q2$$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Registro de parámetros en el archivo de Excel

Se realizó el análisis de los datos utilizando las ecuaciones 1-5 donde se determina las potencias (activa, reactiva y aparente) y factor de potencia por fase y totales como se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1.** Cálculo de potencia y factor de potencia por fase del circuito.

Estadístico	FP Fase A	FP Fase B	FP Fase C	PA Total	PR Total	PA Total
Promedio	0.82	0.88	0.82	4619.07	2691.70	5354.53
Máximo	0.88	0.90	0.83	19741.85	10048.34	22168.08
Mínimo	0.66	0.82	0.82	1513.61	1135.88	1901.86
SD	0.04	0.01	0.00	895.52	441.20	995.65

FPFA: Factor de Potencia, PA: Potencia Activa, PR: Potencia Reactiva, PA: Potencia Apartente.

Con base a la tabla 1 se determina que el factor de potencia por fase medida y potencias eléctricas. Se obtuvo un factor de potencia promedio de 0.8424, el cual es considerando bajo según la norma IEEE 1459-2010 Cláusula 5.2 y 6 (un factor de potencia se considera bajo cuando es inferior al 0.9”)

### Comparación de mediciones de voltaje

Una vez comparadas las mediciones respecto al voltaje con el microcontrolador y el Registrador FLUKE, se realizó la prueba T en Excel para analizar el comportamiento de dos muestras diferentes (Ver tabla 2).



Es necesario realizar el procedimiento para calcular el desbalance entre las fases respecto al voltaje de la medición realizada a las 11:11:03 am utilizando la ecuación 6.

$$V_{Prom} = \frac{124.81 + 124.82 + 126.33}{3} = 125.32 \text{ V}$$

$$\%DesA = \frac{124.81 - 125.32}{125.32} * 100 = -0.4069\%$$

$$\%DesB = \frac{124.82 - 125.32}{125.32} * 100 = -0.3989\%$$

$$\%DesC = \frac{126.33 - 125.32}{125.32} * 100 = 0.8059\%$$

**Tabla 2.** Desbalance de voltaje en las fases medidos con el módulo.

Estadístico	Fase A	Fase B	Fase C	Desbalance A	Desbalance B	Desbalance C
<b>Promedio</b>	124.3	124.6	126.3	-0.5785	-0.3866	0.9651
<b>SD</b>	0.67	0.21	0.19	0.3541	0.1045	0.2694
<b>Max</b>	125.1	124.8	126.7	-0.0958	-0.1792	1.3855
<b>Min</b>	123.1	124.2	126.0	-1.2063	-0.4908	0.5749

### Comparación de mediciones de corriente

Así mismo, se hizo la comparación de las mediciones respecto a la corriente con el microcontrolador y el Registrador FLUKE, mediante una prueba de T para analizar el comportamiento de dos muestras diferentes (Ver tabla 3). Adicionalmente, la Norma Oficial Mexicana NOM-013-SCFI-2004 especifica que el error máximo permisible en la calibración no debe exceder  $\pm 0,8 \%$ , para instrumentos nuevos y de servicio.

De igual manera se realiza el análisis respecto al desbalance entre fases de la corriente para ello será necesario realizar el procedimiento para calcular el desbalance entre las fases de la medición realizada a las 07:26:24 pm utilizando la ecuación 6.

$$C_{Prom} = \frac{9.46 + 31.92 + 5.7}{3} = 15.6933 \text{ A}$$

$$\%DesA = \frac{9.46 - 15.6933}{15.6933} * 100 = -39.7194\%$$

$$\%DesB = \frac{31.92 - 15.6933}{15.6933} * 100 = 103.3989\%$$

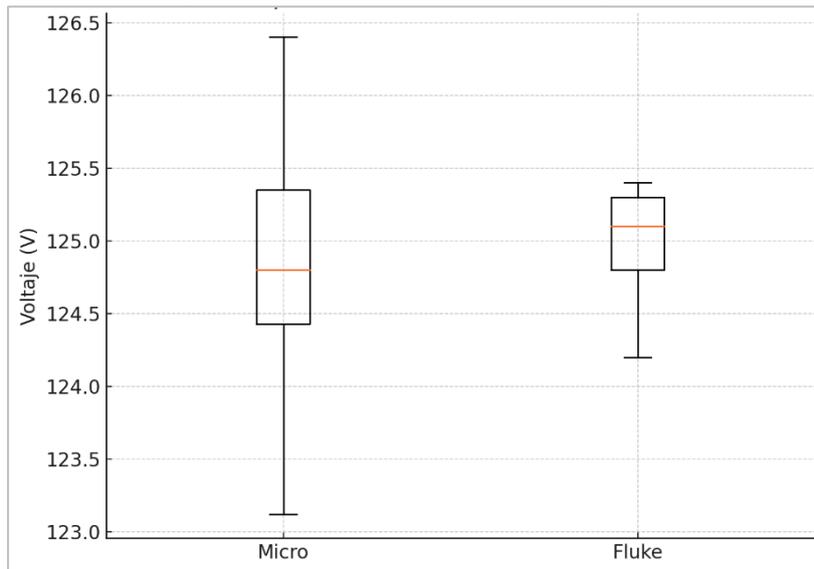
$$\%DesC = \frac{5.7 - 15.6933}{15.6933} * 100 = -63.6787\%$$



**Tabla 3.** Desbalance de corriente en las fases medidos con el módulo.

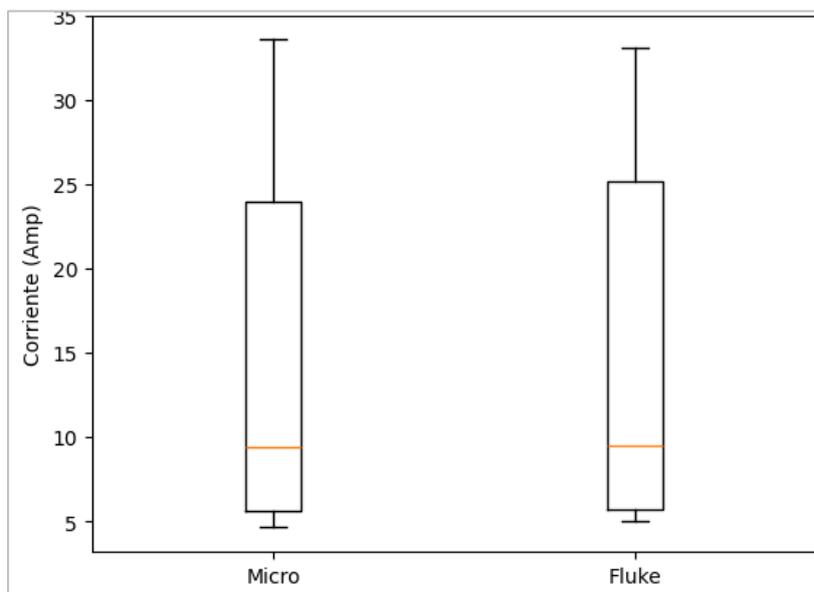
Estadístico	Fase A	Fase B	Fase C	Desbalance A	Desbalance B	Desbalance C
Promedio	10.4	28.1	5.6	-30.8979	91.8438	-60.9458
SD	4.83	4.15	0.07	23.2850	21.2682	5.0967
Max	22.4	33.6	5.8	12.0874	128.3572	-53.3497
Min	4.7	21.0	5.5	-67.7434	59.1531	-71.2404

**Figura 4.** Comparación de corriente eléctrica (Amperios) de microcontrolador vs medidor fluke



Fuente: Elaboración propia

**Figura 5.** Comparación de las medidas de corriente eléctrica (Amperios) del microcontrolador vs el medidor fluke.

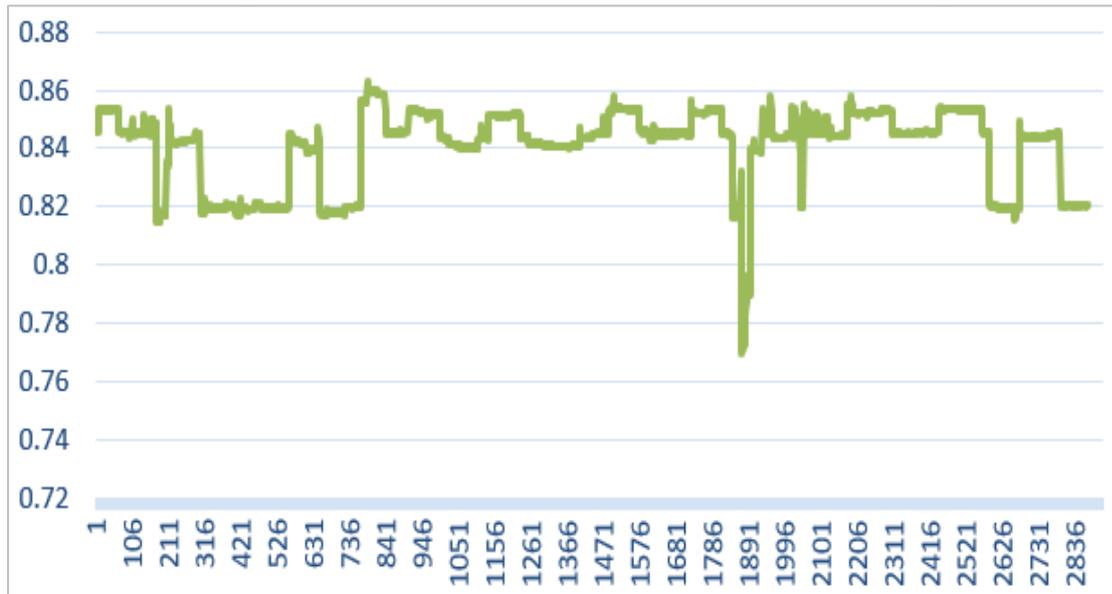


El análisis de datos indicó que no hay una diferencia estadísticamente significativa en la medición de voltaje ( $p = 0.879$ ) y en la medición de corriente ( $0.905$ ) entre el microcontrolador y el medidor fluke.

En este sentido se concluye que la propuesta del módulo de monitoreo de parámetros eléctricos cumple con las necesidades de precisión requeridas para las mediciones de voltaje y corriente.

En la figura 6 se presenta el comportamiento gráfico del factor de potencia cuando este se encuentra en condiciones inestables; es decir, sin un banco de compensación, se muestra que en cierto punto decrementa a 0.77.

**Figura 6.** Factor de potencia en condiciones de inestabilidad sin el banco de capacitores



Una vez identificado el factor de potencia de 0.8424 aproximadamente, se propone la implementación de un banco de capacitores el cual aumentará el factor de potencia al deseado, reducirá las pérdidas en el sistema (compensación de la potencia reactiva), la caída de tensión, penalizaciones económicas; además, mejorará la regulación de voltaje y recibirá una bonificación monetaria por parte de la compañía suministradora de energía eléctrica.

Con base a CFE el precio que se estableció por kWh en tarifa GDMTO del mes de agosto 2024 es de \$1.15 MXN + IVA como se muestra en la figura 14, por lo que el costo total por kWh hace referencia a \$7.33625644 MXN.

Respecto a la factura de pago del periodo agosto - septiembre 2024 se realizó el cálculo para determinar el costo total mensual obtenido con base al multiplicador mostrado en la figura (Steven S &Wadhwa, 2002).

$$kW = \frac{W}{1000} = \frac{4,692.3757 W}{1000} = 4.6923757 kW$$



$$\text{\$kWh} = (4.6923757 \text{ kW} * 140) * 1.15 \frac{\text{moneda}}{\text{kWh}} = \$ 755.4724 \text{ MXN}$$

$$\text{IVA} = 755.4724 * 0.16 = \$ 120.8755 \text{ MXN}$$

$$\text{Total} = \text{\$kWh} + \text{IVA} = \$ 876.3479 \text{ MXN 1 dia}$$

Suponiendo que se trabaja por 24 días hábiles al mes, el costo mensual equivale a:

$$\text{Total} = 876.3479 * 24 = \$ 21,032.3519 \text{ MXN}$$

El costo por consumo eléctrico analizado se reflejó en \$30,964.92 MXN por lo que el 67.91 % fue aportado por el consumo eléctrico de la factura de pago. La CFE establece que el recargo o bonificación con base al factor de potencia es de:

Fórmula de Recargo:

$$\% \text{Recargo} = +120\%$$

Fórmula de Bonificación:

$$\% \text{Bonificación} = -2.5\%$$

Entonces, se espera que para el periodo septiembre-octubre 2024 el costo por consumo eléctrico reduzca %Bonificación, cabe mencionar que el costo por kWh varia cada mes siendo el mes de septiembre de \$1.348 MXN + IVA

De acuerdo con Steven S & Wadhwa (2002), se supone que se obtuvo la misma potencia activa durante el periodo septiembre-octubre 2024, se determina que el costo de consumo eléctrico por día es:

$$\text{kW} = \frac{W}{1000} = \frac{4,619.07 \text{ W}}{1000} = 4.61907 \text{ kW}$$

$$\text{\$kWh} = (4.61907 \text{ kW} * 140) * 1.348 \frac{\text{moneda}}{\text{kWh}} = \$ 871.7108 \text{ MXN}$$

$$\text{IVA} = 871.7108 * 0.16 = \$ 139.4737 \text{ MXN}$$

$$\text{Total} = \text{\$kWh} + \text{IVA} = \$ 1,011.1845 \text{ MXN por 1 dia}$$

Suponiendo que se trabaja por 24 días hábiles al mes, el costo mensual por parte de la cafetería de la institución equivale a:

$$\text{Subtotal} = 1,011.1845 * 24 = \$ 24,268.428 \text{ MXN}$$

Se resta la bonificación:

$$\text{Total} = 24,268.428 - 2.5\% = \$ 23,661.7173 \text{ MXN}$$



Por lo que la capacidad del banco de capacitores para un factor de potencia deseado de 0.95 respecto a (Sankaran, 2001), es:

Determinamos el ángulo del factor de potencia inicial:

$$Ang = \cos^{-1}(FP_{inicial}) = \cos^{-1}(0.8424) = 32.6055^\circ$$

$$\tan(Ang) = \tan(32.6055^\circ) = 0.6396$$

Calcular la potencia reactiva inicial:

$$Q1 = 100 * 0.6396 = 63.96 \text{ kVAR}$$

Determinamos el ángulo del factor de potencia final:

$$Ang = \cos^{-1}(FP_{final}) = \cos^{-1}(0.95) = 18.19^\circ$$

$$\tan(Ang) = \tan(18.19^\circ) = 0.3287$$

Calcular la potencia reactiva final:

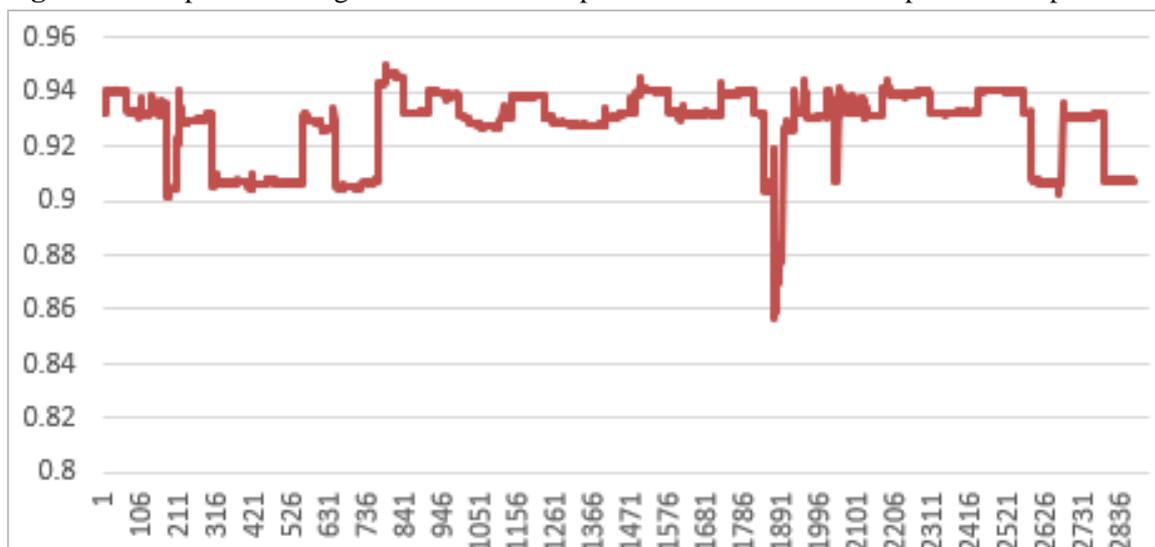
$$Q2 = 100 * 0.3287 = 32.87 \text{ kVAR}$$

Calcular la capacidad de compensación necesaria:

$$Q_{comp} = 63.96 - 32.87 = 31.09 \text{ kVAR} = 35 \text{ kVAR}$$

En la figura 7 se muestra el comportamiento del factor de potencia de tal forma que se tomó en cuenta la misma carga, en este caso el FP deseado es de 0.95 con el banco de capacitores conectado.

**Figura 7.** Comportamiento grafico del factor de potencia con el banco de capacitores implementado



## CONCLUSIONES

Se concluyó con el cumplimiento en el diseño de un módulo de monitoreo de parámetros eléctricos en un sistema trifásico de baja tensión en donde se utilizaron microcontroladores Arduino UNO, circuitos electrónicos, sensores de voltaje y corriente que permiten la medición a niveles bajos de alimentación; se diseñaron circuitos electrónicos con software de simulación (Fritzing) para la recepción de señales analógicas y envió de señales digitales al microcontrolador por medio de transductores y amplificadores ideales para la conversión. Posteriormente se realizaron las proyecciones digitales de conexión en 3D y 2D del prototipo final utilizando AutoCAD, se realizó la integración de los elementos al Arduino UNO y en conjunto se obtuvieron mediciones de voltaje y corriente por medio de un código de programación realizado en Arduino, el cual su funcionamiento se basa en detectar, visualizar y enviar las variables monitoreadas a una base de Excel configurada con un programa denominado PLX-DAQ en donde se registran los parámetros por fase del sistema para su posterior análisis mediante ecuaciones que determinan las potencias eléctricas (activa, aparente y reactiva) del sistema y factor de potencia, así mismo se determinó que el uso eficiente de la energía es deficiente, esto se comprueba por cálculos realizados para determinar el costo kW/h del sistema, se recomendó implementar estrategias que minimicen y mejoren el factor de potencia del circuito monitoreado.

Finalmente, con base a la normatividad vigente se concluye que el prototipo cumple con estándares respecto al voltaje, pero no en corriente, por lo que se recomienda seguir modificando el proyecto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Agencia Internacional de Energía (AIE). (2019). *Mejoras en la eficiencia energética: Informe global 2019*.

<https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2019-global>

Alexander, C. K., & Sadiku, M. N. O. (2016). *Fundamentals of Electric Circuits* (6th ed.). McGraw-Hill Education.

Anderson, M. (2008). Design of an IoT-Based Energy Monitoring System Using a Microcontroller for Industrial Applications. *IEEE Access*, 9, 98467-98477.

<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3093827>

Brown, P., & Johnson, R. (2011). A Low-Cost IoT Based Energy Monitoring System for Smart Home.



*Procedia Computer Science*, 165, 7-14. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.01.085>

Castro, L. (2017). *Proyectos de Arduino en la gestión de energía: Un enfoque práctico. Soluciones de ingeniería*.

CONUEE. (03 de 04 de 2016). Gobierno de México. Obtenido de <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/herramienta-para-el-ajuste-del-factor-de-potencia?state=published>

Gómez, J., & Davis, N. (2012). *Eléctrica aplicada*. Obtenido de <https://www.electricaplicada.com/calculos-diseno-electrico/>

Gómez, J., & Ramírez, A. (2023). *Optimizando el uso de energía con módulos Arduino: Una guía*. *Revista de Ingeniería Eléctrica*.

Grainger, J. J., & Stevenson, W. D. (1996). *Power System Analysis*. McGraw-Hill.

Grainger, J. J., & Stevenson, W. D. (1997). *Power system analysis*. McGraw-Hill.

Hambley, A.R. 2001. *Electrónica*. México:Editex. 692 p.

Hernández, R. (2014). *Arduino and its role in electronic automation*. *Electronics Review*

James, S., & Taylor, B. (2007). *Energy-efficient buildings and monitoring systems*. *Journal of Building Engineering*, 122-130.

Jones, L., & Miller, T. (2019). *Arduino and its impact on energy monitoring systems*. *Journal of Automation and Robotics*, 189-203.

Ortiz, P., & Wilson, D. (2018). Smart Monitoring and Control System for Three-Phase Induction Motor Using Arduino and IoT. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 9(10), 328-332. <https://doi.org/10.17577/IJERTV9IS100128>

Perez, G., Morales A, V. (2016). Análisis comparativo de sistemas de medición inteligentes en el contexto de las redes inteligentes. *Facultad de Ingeniería-UNLP*, 7

Ramírez, A. (2015). Sistema de monitoreo de variables eléctricas V, I y P. *Culcyt/Sistemas*, 9.

Sánchez, M. (2014). Implementación de un sistema de monitoreo de parámetros eléctricos para el reinicio remoto de equipos de radio enlace de un proveedor de servicio de internet (ISP). Loja, Ecuador: Universidad Nacional de Loja.



Sankaran, C. (2001). *Power quality*. CRC Press.

Smith, J. (2021). *Arduino-based monitoring in commercial buildings: An efficiency perspective*. *Building and Energy Journal*, 19(2), 87-102. <https://www.buildingenergyjournal.org/>

Webster, J. G. (2020). *Measurement, instrumentation, and sensors handbook* (2nd ed.). CRC Press.  
<https://www.crcpress.com>

Weedy, B. M., & Cory, B. J. (2009). *Electric power systems* (5th ed.). Wiley.

Stoft, S., Wadhwa, C. L. (2002). *Electrical power systems*. New Age International Publishers

