

PROTOTIPO DIDÁCTICO PARA MONITOREAR LA CALIDAD DE LA ENERGÍA EN UN CENTRO DE CARGA

EDUCATIONAL PROTOTYPE FOR POWER QUALITY MONITORING IN A LOAD CENTER

Luis Edwin López López

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
edwin.lopez@uacj.mx

Francisco Javier Enríquez Aguilera

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
fenrique@uacj.mx

Quirino Estrada Barbosa

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Quirino.estrada@uacj.mx

Gabriel Bravo Martínez

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
gbravo@uacj.mx

Jesús Martín Silva Aceves

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
jesilva@uacj.mx

David García Chaparro

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
dagarcia@uacj.mx

José David Díaz Román

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
david.roman@uacj.com

Recepción: 26/julio/2024

Aceptación: 7/marzo/2025

Resumen

La optimización de la calidad de la energía eléctrica es clave para garantizar el funcionamiento eficiente y seguro de los sistemas eléctricos. En este trabajo se desarrolla un prototipo didáctico en el cual se monitorean variables eléctricas V , I , P y Factor de Potencia (FP) obtenido de la carga, se calcula la potencia reactiva requerida para hacer la corrección a un nivel de 0.95 en un centro de carga. Un centro de carga es un punto crítico donde se concentra la demanda eléctrica, por lo

que es esencial mantener niveles óptimos de calidad energética para evitar fallos en los equipos, pérdidas económicas y riesgos de seguridad. Este desarrollo apoya la formación en ingeniería eléctrica ya que ofrece la capacidad de que los estudiantes propongan sus algoritmos computacionales para la gestión eficiente de la energía y se utiliza en la materia Calidad de la Energía.

Palabras Clave: Banco de capacitores, calidad de la energía, centro de carga, factor de potencia, LabVIEW.

Abstract

The optimization of electrical power quality is key to ensure the efficient and safe operation of electrical systems in various environments, from residential to industrial. This work focuses on the development of a didactic prototype in which V , I , P electrical variables of real loads are monitored, the Power Factor (FP) obtained from the load is also determined, and the reactive power required to make the correction to a level of 0.95 in a load center is calculated. A load center is a critical point where electrical demand is concentrated, so it is essential to maintain optimum power quality levels to avoid equipment failures, economic losses and safety risks. This technology supports electrical engineering education by enabling students to propose their own computational algorithms for efficient energy management.

Keywords: Capacitor bank, energy quality, load center, power factor, LabVIEW.

1. Introducción

Actualmente, en México, las empresas y grandes usuarios de energía (centros de carga) deben seguir las regulaciones aplicadas por la norma de código de red en lo que respecta con el factor de potencia [Hassan, 2020], frecuencia [Liang, 2016], tensión, y calidad de la energía [Ahmad, 2022]. Estas regulaciones aplican para los centros de carga que tengan una capacidad contratada superior a 1 MW, estableciendo que en condición normal de operación, el rango de tensión mínima debe ser 95% de la tensión nominal; que el horizonte de las pruebas de corto de circuito debe ser de 3 años y que el factor de potencia, Código de Red 2.0, se debe mantener al 95% (aumentara al 97% a partir del 2026) [de La Federación, 2016].

Según datos recientes, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) reporta que el 25% de las empresas mexicanas enfrenta penalizaciones por incumplir con el factor de potencia, y más del 30% sufre pérdidas económicas debido a problemas relacionados con la calidad de la energía, como interrupciones y distorsiones armónicas [Perez Olguin, 2022]. Estas estadísticas resaltan la urgencia de abordar el problema desde una perspectiva técnica y educativa.

Como objetivos de la investigación se requiere diseñar y desarrollar un prototipo de monitoreo eléctrico que permita medir y analizar variables como tensión, frecuencia y factor de potencia en tiempo real. Proveen una herramienta didáctica que permita a estudiantes de ingeniería eléctrica implementar algoritmos de gestión eficiente de la energía. Evaluar la viabilidad de este prototipo como solución accesible para empresas y centros de carga. Diversos estudios han explorado el impacto de la calidad de la energía en la eficiencia de los sistemas eléctricos y la vida útil de los equipos. Por ejemplo, [Becerra 2020] subraya que muchas empresas no cuentan con equipos propios para monitorear la calidad de la energía, mientras que [González, 2022] destaca los desafíos que enfrenta el sistema eléctrico debido a la creciente integración de dispositivos electrónicos. Estas investigaciones respaldan la necesidad de desarrollar soluciones como el prototipo propuesto en este trabajo. El prototipo no solo permite un análisis técnico de las variables eléctricas, sino que también tiene un impacto significativo en la educación y la industria:

- En el ámbito educativo, proporciona una plataforma para que los estudiantes de ingeniería eléctrica experimenten con mediciones reales y propongan algoritmos personalizados, fomentando el aprendizaje práctico y la innovación.
- Desde la perspectiva industrial, el prototipo ofrece una alternativa económica y accesible frente a los sistemas comerciales existentes, lo que puede ayudar a pequeñas y medianas empresas a cumplir con las normativas de calidad de energía y evitar penalizaciones.

2. Métodos

El desarrollo del prototipo mostrado en la Figura 1 incluye el diseño para monitoreo eléctrico, instalación de un Arduino, sensor, tomacorrientes y dos

relevadores, en un banco real de capacitores ya descontinuado. El Arduino adquiere datos mediante la comunicación con el módulo sensor, obteniendo la corriente, tensión, frecuencia, potencia y factor de potencia mediante. Estos datos se comparan con los medidos por un multímetro para verificar su precisión. LabVIEW recibe los parámetros del Arduino, además se determina si el factor de potencia es menor a 0.90, envía una señal a los pines digitales del Arduino. Esta señal activa un relevador que controla contactores electromagnéticos, simulando la activación de bancos de capacitores usados en la industria para mejorar el factor de potencia. Este estudio utiliza un enfoque cuantitativo porque se centra en la medición y comparación de parámetros eléctricos obtenidos del prototipo, como corriente, voltaje, frecuencia, potencia y factor de potencia. La elección se justifica por la necesidad de validar los datos obtenidos del sistema con instrumentos confiables, como multímetros, asegurando precisión y replicabilidad.



Fuente: elaboración propia.

Figura 1 Procedimiento del diseño del prototipo.

Criterios de selección

Se presenta un sistema basado en Arduino, LabVIEW y sensor PZEM-004T, validado mediante un banco de capacitores y un multímetro, Tabla 1:

- Universo: El prototipo está diseñado para entornos educativos y pequeñas industrias que requieran monitoreo y mejora de calidad energética.
- Muestra: Para la prueba, se utilizó un banco de capacitores adaptado para un sistema monofásico de 120 V. Este dispositivo representa condiciones reales de operación, permitiendo validar la funcionalidad del prototipo en contextos industriales. Arduino Uno: Se usó como unidad central de procesamiento para recolectar y gestionar datos del sensor PZEM-004T y controlar relevadores.

- LabVIEW: Se empleó para desarrollar una interfaz gráfica, que muestra parámetros eléctricos en tiempo real y alertas basadas en factor de potencia.
- Multímetro: Validación de los datos obtenidos por el sensor PZEM-004T, asegurando precisión y confiabilidad.
- Sensor PZEM-004T: Dispositivo para medir corriente, voltaje, frecuencia, potencia activa y factor de potencia con alta precisión ($\pm 0.5\%$).
- Banco de Capacitores: Simulación de condiciones reales en sistemas eléctricos para comprobar la funcionalidad del prototipo.

Tabla 1 Variables y categorías

Variable	Categoría	Instrumento	Unidad
Corriente	Parámetro Eléctrico	Sensor PZEM-004T	Amperios (A)
Voltaje			Voltios (V)
Frecuencia			Hertz (Hz)
Potencia			Watts (W)
Factor de potencia	Parámetro de Calidad		Escalar (0-1)

Fuente: elaboración propia

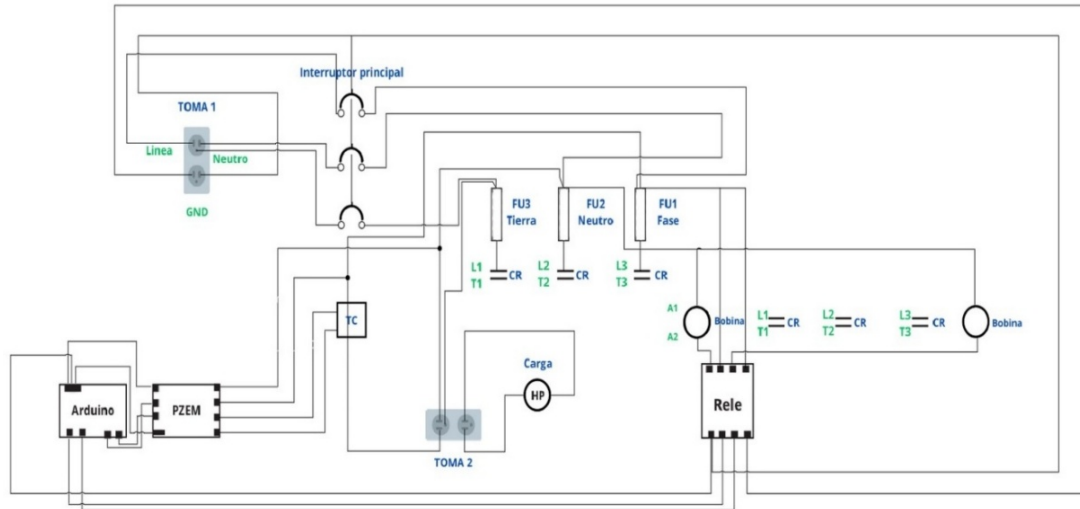
Módulo Sensor PZEM-004T-100 A

Este módulo de comunicación de corriente alterna mide energía activa, potencia activa, corriente, voltaje, frecuencia y factor de potencia. Puede medir hasta 100 A con una resolución de 0.001 A y una precisión de 0.5%, y hay una versión para 10 A. En voltaje, mide entre 80 y 260 V CA, con una resolución de 0.1 V y una precisión de 0.5%. Además, mide hasta 23 kW de potencia y el factor de potencia con una precisión del 1%. Utiliza un protocolo de comunicación serial con 8 bits de datos, Baud rate de 9600 y sin paridad, compatible con Arduino IDE. Para su uso, se requiere un número serial del software y la conexión de los pines físicos a pines digitales para recibir señales del sensor. El costo del módulo es de aproximadamente \$10 USD [Harahap, 2020].

Diagrama eléctrico

Una vez seleccionado el sensor de medición de parámetros eléctricos, es importante desarrollar la representación gráfica del circuito eléctrico mostrado en la Figura 2. Se observa la manera en que se conectan los distintos componentes

eléctricos a utilizar, entre ellos interruptores, fusibles, contactores, tomacorrientes, fuentes de alimentación, cargas, entre otros. El sistema por utilizar en este prototipo es monofásico 120 V una fase a tres hilos 1F-3H, considerando una fase, neutro y tierra.



Fuente: elaboración propia.

Figura 2 Diagrama eléctrico.

Dispositivos de Banco de Capacitores

Para el proyecto, se utiliza un banco de capacitores General Electric modelo C15P12548, serie 061197100706, donado por la empresa IEGSA. Este banco, previamente usado en la industria maquiladora, corregía el factor de potencia de su red eléctrica. El prototipo originalmente es para un sistema trifásico y se manipuló para emplear un sistema monofásico de 120 V con una fase, neutro y tierra (1 Fase – 3 Hilos). Este contiene distintos dispositivos que componen el circuito eléctrico del mismo, y es importante verificar su funcionamiento para el desarrollo del proyecto como interruptores, fusibles, contactores, transformador, conductores, entre otros [El-Hadidy, 2007].

Instalación de tomacorrientes

Para la conexión de cargas al banco de capacitores, se instalan tres tomacorrientes dobles con su fase, neutro y tierra, aunque solo se requiere uno para

este proyecto, dejando los otros disponibles para futuros desarrollos. Según la NOM-001 SEDE 2012 [Nom-001 & 2012], en circuitos derivados de 100 A o menos, se emplean cables de calibre 14 a 1 AWG con aislamiento de 60 °C, salvo para motores de diseño específico, que pueden usar 75 °C. Para este caso, se utiliza un cable 10 AWG THW – LS, que soporta teóricamente 35 A a 75 °C, con características de resistencia a la humedad, flama y emisión de gases.

En Ciudad Juárez, con una temperatura ambiente de 30 °C y una del laboratorio de 34 °C, el factor de corrección para el cable es de 0.94, ajustando su ampacidad a 32.9 A. Dado que no hay agrupamiento de conductores, este valor no cambia. Así, el cable 10 AWG puede alimentar motores monofásicos de hasta 2 HP (24 A), ya que su corriente ajustada para servicio continuo es 30 A.

Por ejemplo, al conectar un motor monofásico de 1 HP (14 A ajustados a 17.5 A) y una carga de alumbrado de 500 VA (3.93 A), la corriente total es 21.43 A. Aplicando el factor de corrección (0.94), la corriente ajustada resulta en 22.79 A, confirmando que el conductor calibre 10 AWG soporta dichas cargas conforme a la NOM-001 SEDE 2012.

Arduino

El arduino se comunica al PZEM-004T mediante 4 pines: GND, RX, TX y 5 V:

- GND PZEM va conectado a GND Arduino.
- RX PZEM va conectado al Pin digital 11 de Arduino.
- TX PZEM va conectado al pin digital 12 de Arduino.
- 5V PZEM va conectado a 5 V Arduino.

De igual manera que el módulo, el Arduino se coloca en una caja de plástico para aislarlo de la carcasa del banco de capacitores y protegerlo [Torrente, 2013].

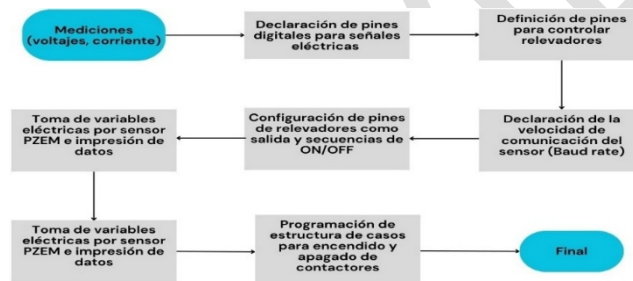
Relevador modulo HL 525

El módulo HL 525, con dos relevadores SRD-05VDC-SL-C controlados por Arduino, actúa como interruptor para activar contactores de bancos de capacitores, funciona a 5 V en corriente continua con contactos normalmente abiertos y cerrados.

Para alimentarlo, se usa un cargador de celular de 5 V. Hay que conectar la fuente y la tierra del cargador a los pines del módulo. Luego, conectar el pin NO del primer relevador a una fuente de 120 V en paralelo con el conductor negro, y repetir con el segundo relé. Finalmente, se conecta el pin común de cada relevador a una terminal de cada bobina y la otra terminal a tierra para cerrar el circuito [Husni, 2021].

Adquisición de datos

En la Figura 3 se visualiza en el diagrama de flujo como interactúa el código con el sensor seleccionado PZEM004T y controla los dos relevadores mencionados anteriormente. Como se explicó anteriormente, se utiliza Arduino IDE como entorno de programación, para cargar código en la placa de Arduino (hardware).

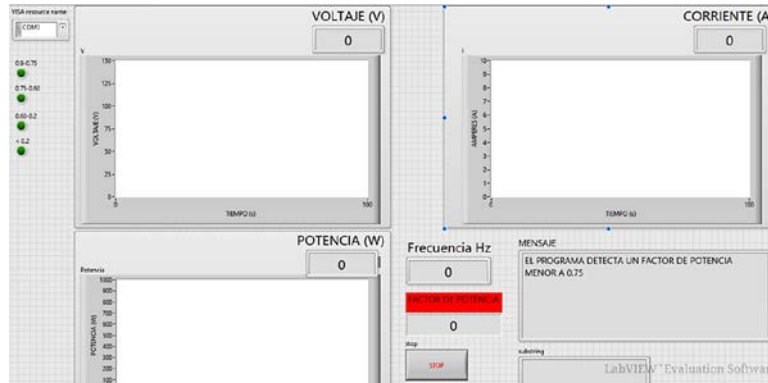


Fuente: elaboración propia.

Figura 3 Diagrama de flujo adquisición de datos.

Interfaz gráfica en LabVIEW

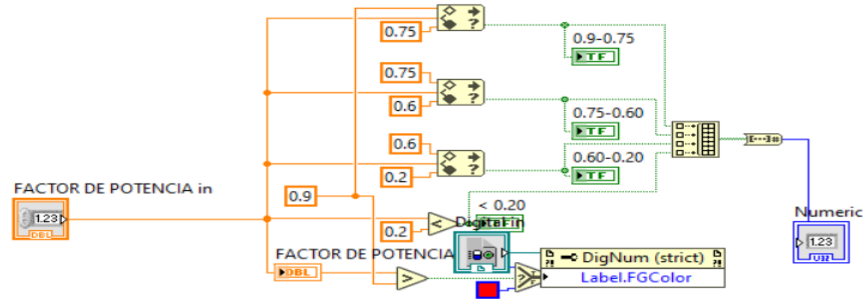
Los datos se almacenan y se envían por el puerto serial cuando se solicitan. Se utiliza LabVIEW para adquirir estos datos. En la Figura 4 se presenta como el usuario visualiza los datos medidos, el voltaje, corriente y potencia con sus gráficas respectivamente. Primero, se define el puerto USB de la computadora conectada al Arduino y se establece el protocolo de comunicación. Este protocolo debe configurar 8 bits de datos, Baud rate de 9600, sin paridad y 1 bit de parada. Luego, LabVIEW escribe los datos en el puerto serial, los lee y los muestra. Además, se muestran los indicadores de frecuencia y factor de potencia. Este último será el parámetro utilizado para activar los contactores simulando la activación de pasos de bancos de capacitores para la mejora del factor de potencia. Para ello, se desarrolla el programa en LabVIEW.



Fuente: elaboración propia.

Figura 4 Panel Frontal de LabVIEW.

Se observa en la Figura 5 primeramente que en caso de que el factor sea mayor a 0.90, lo cual es lo mínimo aceptado por CFE para no tener penalización, se va a mostrar el indicador en verde, por otra parte, en caso de ser menor a 0.90.

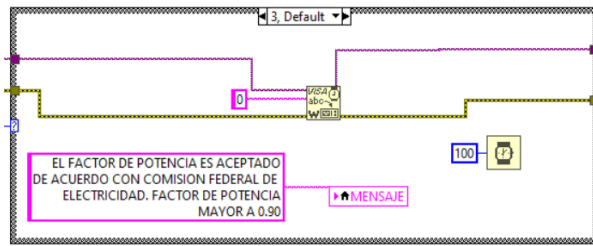


Fuente: elaboración propia.

Figura 5 Diagrama de bloques LabVIEW- filtración de factor de potencia.

Se muestra en rojo, alarmando al usuario de que hay un factor de potencia no aceptado. Después, se compara el valor del factor de potencia en casos distintos:

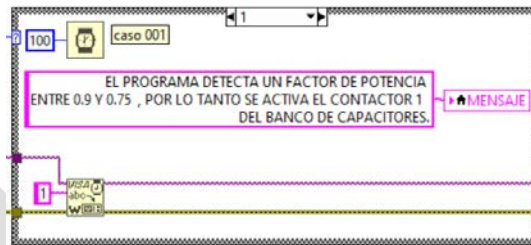
- Si el factor de potencia es mayor a 0.90 observado en la Figura 6, el programa de LabVIEW comanda un cero, el cual es recibido por Arduino IDE. El cero envía dos señales de apagado a los pines digitales del Arduino los cuales son conectados a los relevadores y estos a su vez conectados a los contactores. En este caso, ambos dispositivos se mantienen apagados y el programa de LabVIEW arroja el siguiente mensaje: “El factor de potencia es aceptado de acuerdo con la Comisión Federal de Electricidad. Factor de potencia mayor a 0.90”.



Fuente: elaboración propia.

Figura 6 Caso 0.

- En el momento que se conecte una carga que ocasione que el factor de potencia se encuentre entre 0.90 y 0.75, el programa arroja la alerta siguiente: “El programa detecta un factor de potencia entre 0.90 y 0.75, por lo tanto, se activa el contactor 1 del banco de capacitores”. LabVIEW comanda un número uno, el cual es recibido por Arduino IDE que manda una señal de encendido al relevador del contactor 1 y una señal de apagado al relevador del contactor 2, simulando la activación de un paso de un banco de capacitores para después mejorar el factor de potencia, Figura 7.



Fuente: elaboración propia.

Figura 7 caso 1.

- Suponiendo que se conecta otra carga inductiva que haga que el factor de potencia se encuentre entre 0.75 y 0.60, el programa lanza la siguiente alerta: “El programa detecta un factor de potencia entre 0.75 y 0.60, por lo tanto, se activa el contactor 2 del banco de capacitores”. LabVIEW comanda un número dos, el cual es recibido por Arduino IDE que manda una señal de apagado al relevador del contactor 1 y una señal de encendido al relevador del contactor 2, simulando la activación de un paso de un banco de capacitores para después mejorar el factor de potencia.

- El programa detecta un factor de potencia entre 0.60 y 0.20, entran ambos contactores. En caso de que se presente esta alerta, LabVIEW envía un número tres, recibido por Arduino IDE que manda dos señales de encendido para cada relevador respectivamente, y así activar ambos contactores, simulando la activación de dos capacitores para en conjunto mejorar el factor de potencia de sistema.

3. Resultados

Se presentan los resultados del desarrollo del prototipo, desde su sistema eléctrico hasta su comunicación con los dispositivos: Arduino, sensor, y relevadores. Primeramente, se comprueba que hay electricidad en la toma donde se van a realizar los análisis de parámetros. Una vez hecho esto, hay que verificar que existe una medición de V , I , P por el sensor, leídas en el programa de LabVIEW para poder evaluarlas, obtener el factor de potencia y poder simular la optimización.

Dispositivos a conectar, son los objetos de estudio para evaluar los parámetros eléctricos en el sistema eléctrico donde el sensor realiza sus mediciones:

- **Motor.** Se conecta un motor monofásico Dayton modelo 4K928 de $1/3$ hp, a 1725 rpm, alimentado a un voltaje de $115/230$ V CA a 60 Hz. El motor tiene un consumo de corriente de 6.91 A. Dado a que el voltaje de alimentación leído por el multímetro es de 130.3 V, se considera una potencia de 0.25 kW a 7.2 A, lo cual corresponde a la lectura, indicando que el cable utilizado 10 AWG THW – LS soporta el amperaje de este motor, Figura 8.



a) Toma de voltaje.

b) Toma de corriente.

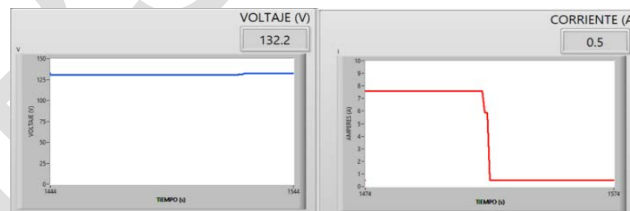
Fuente: elaboración propia.

Figura 8 Toma de voltaje y corriente en motor.

- Monitoreo del prototipo** . Posterior a obtener las referencias detectadas por el multímetro, se miden mediante el prototipo didáctico los parámetros de voltaje, corriente, potencia, factor de potencia y frecuencia de las distintas cargas mencionadas anteriormente, y en caso de que alguna carga o cargas provoquen que el factor de potencia sea menor a 0.9, se activan los contactores simulando los capacitores que optimizarían el factor, por ende, la calidad de la energía del centro de carga.

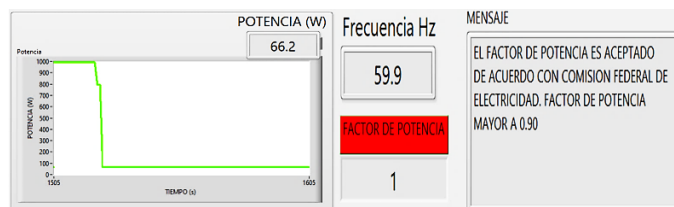
Foco Incandescente. En la Figura 9 se muestra la lectura de voltaje y corriente seguido de la Figura 10 que muestra la lectura de potencia, frecuencia y factor de potencia del prototipo. De acuerdo con los datos obtenidos en la Figura 10 la potencia aparente se encuentra dada por la multiplicación de voltaje por corriente obteniendo 66.2 VA. Donde el factor de potencia se calcula en la ecuación 1, donde FP es el factor de potencia, P la potencia activa y S la potencia aparente Volt-Ampere (VA). Obteniendo un valor unitario ya que es una carga resistiva por lo cual la potencia activa se obtiene del resultado de multiplicar el factor de potencia por la potencia aparente, teniendo así 66.2 W.

$$FP = \frac{P}{S} \quad (1)$$



Fuente: elaboración propia.

Figura 9 lectura de voltaje y corriente del prototipo en foco incandescente.

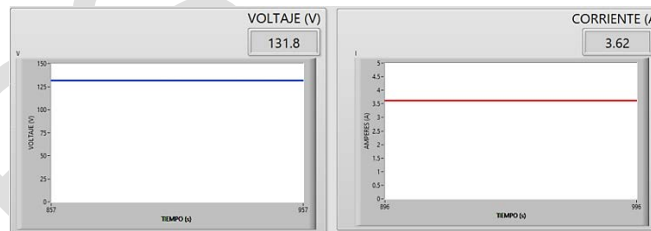


Fuente: elaboración propia.

Figura 10 lectura de potencia, frecuencia y factor de potencia del prototipo.

Se observa que el ángulo de desfase entre el voltaje y la corriente es 0, por lo que toda la energía proporcionada se utiliza para transformarla en calor e iluminación, convirtiendo al foco en una carga totalmente resistiva y lineal. Debido a que el factor de potencia en el sistema se mantiene mayor a 0.90 cuando el foco está conectado, el prototipo arroja un mensaje al usuario para informarle que el parámetro es aceptado según Comisión Federal de Electricidad y ningún contactor se acciona para simular la entrada de un capacitor, ya que no hay potencia reactiva en el sistema [Macías García].

- **Calentón nivel bajo.** La potencia activa de acuerdo con los parámetros leídos por el prototipo es de 477.04 W obtenido como resultado de multiplicar la potencia aparente por el factor de potencia 1 a lo cual la potencia aparente es obtenida de multiplicar los 131.8 V por los 3.62 A de corriente dando como resultado 477.04 VA. Dada que la lectura de factor de potencia es de la unidad, el calentón es considerado una carga totalmente resistiva, por lo que el sistema indica que el factor de potencia es aceptado mostrado en las Figuras 11 y Figura 12, no hay necesidad de simular la compensación de potencia reactiva y el prototipo no activa ningún contactor.



Fuente: elaboración propia.

Figura 11 lectura de potencia, frecuencia y factor de potencia del prototipo.



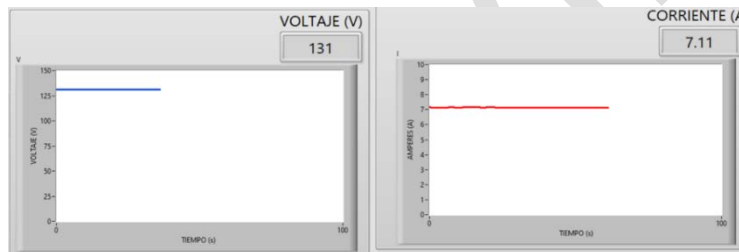
Fuente: elaboración propia.

Figura 12 lectura de potencia, frecuencia y factor de potencia del prototipo.

Motor

Los motores funcionan a base de bobinas que generan campos magnéticos al momento de aplicar corriente eléctrica, por lo cual hay una inducción de corriente en el circuito (Figuras 13 y 14), por lo que esta carga si presenta un factor de potencia atrasado. La potencia aparente se obtiene de multiplicar 131 V de tensión por 7.11 A de corriente dándonos como resultado 931.41 VA por ello la potencia activa que realmente es aprovechada se obtiene de multiplicar la potencia aparente por el factor de potencia de 0.28 dando como resultado 260.79 W. En este caso, para obtener el ángulo entre la potencia aparente y activa, se despeja este mismo de la Ecuación 2, dando como resultado 73.74°.

$$\phi = \cos^{-1} \frac{P}{S} \quad (2)$$



Fuente: elaboración propia.

Figura 13 lectura de voltaje y corriente del prototipo.



Fuente: elaboración propia.

Figura 14 lectura de potencia, frecuencia y factor de potencia del prototipo.

Por lo tanto, la potencia reactiva se obtiene como resultado de multiplicar la potencia aparente por el seno de 73.74° resultando 894.15 VAR. Debido a que el factor de potencia se encuentra entre 0.60 y 0.20, el programa envía una señal a ambos relevadores que accionan a los contactores que simulan la compensación de potencia reactiva en el sistema eléctrico, mejorando el factor de potencia.

Para calcular el valor del capacitor conectado en paralelo que elevaría el factor de potencia de 0.28 a 0.90 en atraso, se calcula el ángulo del factor de potencia deseado por medio del arco coseno de 0.9 obteniendo como resultado de 25.84°. Para calcular la nueva potencia reactiva se obtiene a partir de la Ecuación 3.

$$Q_1 = P_1 \tan \phi \quad (3)$$

Por lo que al multiplicar la potencia activa por la tangente del ángulo de factor de potencia deseado se obtiene una potencia reactiva corregida de 126.29 VAR. Por consiguiente, la potencia reactiva del capacitor que va a suministrar a la carga es obtenida por medio de la Ecuación 4, ya que es la resta de la potencia reactiva menos la potencia reactiva corregida, teniendo como resultado 767.85 VAR.

$$Q_c = Q - Q_1 \quad (4)$$

La capacitancia del capacitor se define por la Ecuación 5 dando como resultado 118.68 μF . En este caso, como se activan los dos contactores simulando dos capacitores, cada uno tendría un valor de 68 μF el cual es el valor comercial.

$$C = \frac{Q_c}{2\pi f V^2} \quad (5)$$

En este caso, como se activan los dos contactores simulando dos capacitores, cada uno tendría un valor de 68 μF el cual es el valor comercial.

El factor de potencia unitario para estas pruebas fue verificado mediante el cálculo realizado por la tarjeta NI a través de las señales recibidas del sensor PZEM-004T-100 A.

4. Discusión

Como se muestra en la Tabla 2, la comparación de mediciones del multímetro en contra del prototipo donde los parámetros de voltaje, corriente y potencia calculada y leída son sumamente similares, por lo que el prototipo resulta útil para el análisis de la energía. Abarcar este proyecto trae consigo beneficios para la enseñanza en la materia de Calidad de la Energía, ya que se requiere utilizar equipo profesional para monitorear un centro de carga y así verificar la eficiencia energética. Este prototipo es de gran ayuda para ejemplificar las bases de la calidad de la energía,

antes de utilizar el equipo, ya que permite la implementación de algoritmos de adquisición, mediante el uso de otro hardware para la adquisición de las señales, con la finalidad de lograr el entendimiento de no solo la simulación de variables eléctricas, sino de la implementación física con datos reales.

Tabla 2 Comparación de Datos.

Cargas/Parámetros	Datos de multímetro			Datos de prototipo			
	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia calculada (W)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Factor de Potencia
Foco	130.6	0.472	61.64	132.2	0.5	66.2	1
Calentón bajo	130.3	3.33	433.89	131.8	3.62	477	1
Calentón alto	129.3	6.83	883.119	130.8	7.13	929.9	1
Motor	130.3	6.91	252.1	131	7.11	257.3	0.28
Foco y motor	130.3	7.04	311.88	131.5	7.33	325.3	0.34
Foco y calentón alto	129.2	7.98	1,031.01	130.5	7.59	990	1
Motor y calentón alto	128.9	10.82	1,129.70	129	11.13	1167.8	0.81

Fuente: elaboración propia.

Al optimizar la calidad de la energía, se reducen los riesgos de fallos en los equipos y se prolonga su vida útil. Es importante considerar que en un centro de carga real, el diagrama unifilar puede presentar diversas derivaciones. Esto es especialmente relevante en sistemas monofásicos de 220 V o en sistemas trifásicos, donde la combinación de cargas puede afectar significativamente el factor de potencia y la calidad de la energía. La capacidad de nuestro prototipo para monitorear y corregir el factor de potencia en estas configuraciones complejas es una ventaja clave.

El prototipo propuesto permite la corrección del factor de potencia a un bajo costo mediante el control de un banco de capacitores. Esta solución no solo es económica, sino que también es eficiente, ya que permite ajustar el factor de potencia en tiempo real, mejorando así la calidad de la energía y reduciendo las penalizaciones por bajo factor de potencia en las facturas de electricidad.

5. Conclusiones

Este trabajo representa una contribución significativa en el campo de la ingeniería eléctrica y la gestión de la energía mediante el desarrollo de un prototipo didáctico que combina funciones educativas y prácticas para el monitoreo eléctrico y la mejora de la calidad de la energía en diferentes entornos.

La optimización de la calidad de la energía en un centro de carga es esencial para garantizar la seguridad y eficiencia de los sistemas eléctricos, prolongar la vida útil de los equipos y reducir tiempos de inactividad, costos operativos y fallos, lo que resulta en un impacto económico positivo a través del ahorro energético y el aumento de la productividad.

El prototipo desarrollado es eficaz en la medición de parámetros eléctricos, garantizando seguridad y confiabilidad para usuarios y dispositivos. Su capacidad para medir voltaje, corriente y potencia, junto con su integración con tecnologías como Arduino, sensores y LabVIEW, ofrece una herramienta completa para el análisis y optimización energética. Además, su diseño permite monitorear el consumo de dispositivos como motores, focos y calentadores, proporcionando datos clave para reducir el consumo energético y maximizar la eficiencia.

El sistema puede ampliarse con nuevas funciones para incrementar su utilidad. Entre estas mejoras destacan la incorporación de sensores para medir la distorsión armónica total (THD) y analizar el impacto de los armónicos en equipos industriales, la capacidad de registrar transitorios eléctricos mediante un osciloscopio integrado, y la conexión a plataformas IoT para monitoreo remoto, análisis en tiempo real y alertas automáticas. También se podrían incluir una interfaz gráfica más intuitiva para facilitar el uso, simuladores de cargas para evaluar diferentes condiciones eléctricas, y algoritmos de aprendizaje automático para prever problemas futuros. Por último, la generación de informes automáticos de cumplimiento normativo agilizaría la adaptación a regulaciones locales. Estas ampliaciones no solo aumentarían la funcionalidad del prototipo en sectores educativos e industriales, sino que también contribuirían a una gestión energética más eficiente, reduciendo costos y promoviendo un uso más sostenible de la energía.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Ahmad, S., Iqbal, A., Ashraf, I., & Meraj, M. (2022). Improved power quality operation of symmetrical and asymmetrical multilevel inverter using invasive weed optimization technique. *Energy Reports*, 8, 3323–3336.

- [2] Becerra, L. A. F., Rivera, M. D. C., & García, D. C. S. (2020). Naturaleza y alcance jurídico del Código de Red, en el sistema eléctrico mexicano. *EDUCATECONCIENCIA*, 26(27), 101–121.
- [3] El-Hadidy, M. A., Samir, A., Helmi, D. H., & Ibrahim, M. T. (2007). The Impact Of Capacitor Bank Installation On The Performance Of Distribution Systems- A Case Study. Paper.
- [4] González, F. J. B. (2022). Viabilidad para que la UAEM obtenga el suministro eléctrico como usuario de servicios calificados.
- [5] Harahap, P., Pasaribu, F. I., & Adam, M. (2020). Prototype Measuring Device for Electric Load in Households Using the Pzem-004T Sensor. *Budapest International Research in Exact Sciences (BirEx) Journal*, 2(3), 347–361.
- [6] Hassan, S. R., Rehman, A., Shabbir, N., & Unbreen, A. (2020). Comparative analysis of power quality monitoring systems. *NFC IEFER Journal of Engineering And Scientific Research*, 7(1), 19–23.
- [7] Husni, M., Ginardi, R. V. H., Gozali, K., Rahman, R., Indrawanti, A. S., & Senoaji, M. I. (2021). Mobile security vehicle's based on internet of things. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 2(6), 546–551.
- [8] Liang, X. (2016). Emerging power quality challenges due to integration of renewable energy sources. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 53(2), 855–866.
- [9] Macías García, M. E., Contreras Hinojosa, C., Anaya Zamora, R., García, M. E. M., Hinojosa, C. C., & Zamora, R. A. (n.d.). Cobro de consumo de energía eléctrica y factor de potencia.
- [10] Nom-001, & 2012. (n.d.). NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (utilización)(Continúa de la Octava Sección).
- [11] Sosa, L. H. (2013). Temperatura y rangos de confort térmico en viviendas de bajo costo en clima árido seco. *Hábitat Sustentable*, 26–36.
- [12] Torrente, Ó. (2013). *Arduino: curso práctico de formación*. Alpha Editorial.