

Diseño e Implementación de un Sistema de Monitoreo de Consumo Energético

A. Chela, F. Quinaluisa, A. Villegas y E. Pérez

angel.chela@epn.edu.ec, felipe.quinaluisa@epn.edu.ec, andres.villegas@epn.edu.ec, y esteban.perez01@epn.edu.ec

Escuela Politécnica Nacional

Resumen—Este proyecto describe la creación de un Sistema de Monitoreo de Consumo Energético que utiliza una plataforma ESP32, junto con Firebase, App Inventor, Arduino IDE y LabView. El sistema permite el monitoreo en tiempo real del consumo eléctrico, lo que fomenta la eficiencia energética y la conciencia ambiental. Los objetivos se detallan claramente, incluyendo la visualización de datos en una aplicación personalizada. Se presenta una metodología sólida que abarca el diseño del sistema y sus componentes, así como pruebas exhaustivas y análisis de resultados. Se destacan los sensores utilizados y sus especificaciones técnicas. A través de la integración de estas tecnologías, se logra una solución eficaz para empoderar a los usuarios en la gestión de su consumo de energía, contribuyendo así a un uso más responsable de los recursos.

Abstract-- This project describes the development of an Energy Consumption Monitoring System utilizing an ESP32 platform, in conjunction with Firebase, App Inventor, Arduino IDE, and LabView. The system enables real-time monitoring of electrical consumption, promoting energy efficiency and environmental awareness. Clear objectives are outlined, including data visualization in a customized application. A robust methodology covering system design and components, comprehensive testing, and result analysis is presented. Emphasis is placed on the sensors used and their technical specifications. Through the integration of these technologies, an effective solution is achieved, empowering users to manage their energy consumption responsibly, thus contributing to resource conservation.

I. INTRODUCCIÓN

El monitoreo del consumo energético ha adquirido una relevancia creciente en el contexto de la gestión sostenible de recursos y la eficiencia energética. A medida que la demanda global de energía eléctrica continúa en aumento, surgen desafíos significativos relacionados con el suministro, los costos y la sostenibilidad ambiental. En este contexto, los sistemas de monitoreo de consumo energético se han convertido en herramientas fundamentales para abordar estos desafíos y promover prácticas energéticas más responsables.

Los sistemas de monitoreo de consumo energético revelan una gama diversa de soluciones innovadoras que abarcan desde medidores inteligentes en entornos residenciales hasta implementaciones sofisticadas en aplicaciones industriales.

A nivel doméstico, dispositivos como los medidores inteligentes permiten a los usuarios rastrear su consumo eléctrico en tiempo real y obtener análisis detallados de sus patrones de uso. Paralelamente, en el sector industrial, sistemas de monitoreo energético avanzados se utilizan para optimizar la eficiencia en instalaciones de mayor escala.

Los beneficios derivados de la implementación de sistemas de monitoreo de consumo energético son significativos y abarcan varios aspectos:

1. **Eficiencia Energética:** La capacidad de visualizar y analizar el consumo en tiempo real facilita la identificación y mitigación de desperdicios de energía.
2. **Ahorro de Costos:** La gestión precisa de la energía conduce a la reducción de gastos operativos, particularmente relevante en contextos comerciales e industriales.
3. **Sostenibilidad Ambiental:** La optimización del uso de energía contribuye directamente a la reducción de la huella de carbono y a la conservación de recursos naturales.
4. **Gestión de Cargas:** El monitoreo continuo permite una mejor administración de las cargas eléctricas y la prevención de sobrecargas en los sistemas.

Objetivos

Este proyecto tiene como objetivo principal diseñar e implementar un Sistema de Monitoreo de Consumo Energético eficiente y accesible, basado en una plataforma ESP32 y tecnologías como Firebase, App Inventor, Arduino IDE y LabView. Los objetivos específicos incluyen:

1. Desarrollar un sistema que permita a los usuarios monitorear en tiempo real su consumo de energía eléctrica.
2. Ofrecer una interfaz intuitiva y personalizada a través de una aplicación móvil que muestre datos precisos y relevantes sobre el consumo eléctrico.
3. Integrar sensores y componentes que permitan la adquisición precisa de datos de consumo.
4. Facilitar la toma de decisiones informadas sobre la gestión de la energía, fomentando la eficiencia y la reducción de costos.
5. Realizar pruebas exhaustivas para validar la precisión y la funcionalidad del sistema.

Resultados

La implementación exitosa de este proyecto ha generado una serie de resultados significativos:

1. Un Sistema de Monitoreo de Consumo Energético funcional y escalable, basado en una plataforma ESP32, que proporciona a los usuarios acceso en tiempo real a datos de consumo eléctrico.

- Una aplicación móvil personalizada que visualiza los datos de consumo de manera clara y accesible.
- La integración efectiva de sensores y componentes, como medidores eléctricos y módulos de comunicación, para garantizar la adquisición precisa de datos.
- Pruebas exitosas que respaldan la precisión y la fiabilidad del sistema en diversas condiciones de uso.

El texto en las columnas debe estar justificado. La longitud de las figuras y tablas debe ajustarse al de la columna.

II. METODOLOGIA

A. Diseño del Sistema

El diseño del Sistema de Monitoreo de Consumo Energético se basa en una cuidadosa planificación y selección de componentes clave. A continuación, se detallan los pasos y las consideraciones metodológicas:

- Definición de Requisitos del Sistema:** Antes de iniciar el diseño, se llevaron a cabo reuniones para definir los requisitos del sistema en colaboración con los usuarios finales. Esto incluyó la identificación de los datos necesarios, las características de la interfaz de usuario y las expectativas de rendimiento.
- Selección de Plataforma:** Se eligió la plataforma ESP32 debido a su versatilidad, capacidad de comunicación Wi-Fi y amplio soporte para sensores. Esta elección se basó en la capacidad de la ESP32 para ofrecer conectividad y potencia de procesamiento adecuadas.
- Diseño de la Interfaz de Usuario:** Se diseñó una interfaz de usuario intuitiva utilizando App Inventor, que permite a los usuarios acceder a datos de consumo en tiempo real, ver gráficos y establecer alertas personalizadas. La interfaz se creó para dispositivos móviles Android.
- Integración de Sensores:** Se incorporaron sensores de corriente y voltaje (ACS712 y ZMPT101B) para medir el consumo eléctrico. Estos sensores se conectaron a la ESP32 y se calibraron para garantizar mediciones precisas.
- Desarrollo de Firmware y Comunicación:** Se utilizó el entorno de desarrollo Arduino IDE para programar la ESP32. Se implementó una comunicación efectiva con Firebase para enviar datos de consumo a la nube en tiempo real.
- Diseño de la Base de Datos Firebase:** Se diseñó una estructura de base de datos en Firebase para almacenar los datos de consumo. Esto permitió el acceso y la visualización de datos desde la aplicación móvil en tiempo real.
- Integración con LabVIEW y App Inventor:** LabVIEW se utilizó para graficar los valores de voltaje, corriente y potencia, lo que permitió un control gráfico desde un HMI en la PC. Por otro lado, con App Inventor, se mostraron valores de potencia, consumo

total y el valor a pagar en una interfaz de APP para el teléfono.

- Pruebas y Validación:** Se llevaron a cabo pruebas exhaustivas para validar la funcionalidad del sistema. Esto incluyó pruebas de precisión de medición, pruebas de conectividad y pruebas de respuesta de la interfaz de usuario.
- Cruce por Cero:** Se implementó una funcionalidad adicional para detectar el cruce por cero en las formas de onda de voltaje y corriente. Esta detección se utilizó para calcular el desfase entre ambas ondas y, posteriormente, determinar el factor de potencia y la potencia activa del sistema.

Para el punto 9 el circuito implementado se muestra en la siguiente Figura:

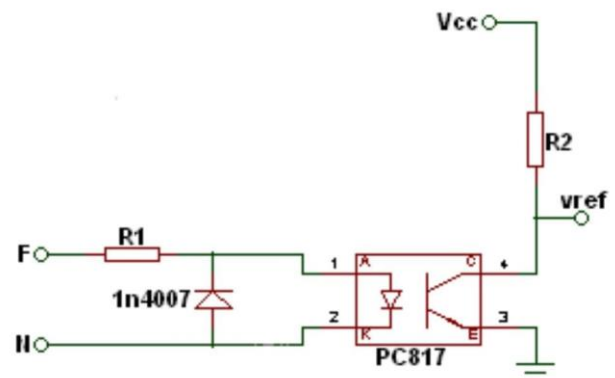


Fig. 1. Circuito para la detección del cruce por cero para los dos sensores.

El diseño del sistema se realizó cuidadosamente para garantizar que cumpla con los objetivos del proyecto y proporcione a los usuarios una herramienta efectiva para monitorear su consumo energético en tiempo real. Este enfoque metodológico riguroso sienta las bases para la implementación exitosa del Sistema de Monitoreo de Consumo Energético.

B. Sensores utilizados

Para lograr mediciones precisas de consumo energético en el Sistema de Monitoreo, se incorporaron dos tipos de sensores clave: un sensor de corriente ACS711LC y un sensor de voltaje ZMPT101B.

1. Sensor de Corriente ACS711LC:

El sensor de corriente ACS711LC es un componente esencial para medir la corriente eléctrica en el circuito. Este sensor ofrece un rango de medición de $-12.5A$ a $+12.5A$, lo que lo hace adecuado para aplicaciones de bajo y alto consumo. El ACS711LC se basa en el efecto Hall, que proporciona mediciones sin contacto y alta precisión. Para su integración, se conectó en serie con la carga eléctrica que se deseaba monitorear. A través de su salida analógica, proporciona una señal proporcional a la corriente que fluye a través de él.

C. Características técnicas

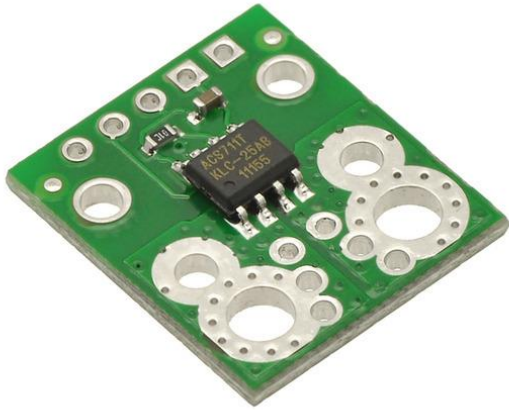


Fig. 2. Magnetización como una función del campo aplicado.

2. Sensor de Voltaje ZMPT101B:

El sensor de voltaje ZMPT101B se utiliza para medir la tensión eléctrica en el sistema. Este sensor está diseñado específicamente para detectar voltaje de corriente alterna (AC) y opera en un rango de 0 a 250V AC. Al igual que el ACS711LC, el ZMPT101B se basa en el efecto Hall y proporciona mediciones precisas. Se conecta en paralelo al circuito eléctrico para medir la tensión y proporciona una señal de salida proporcional al voltaje detectado. Es ideal para aplicaciones de monitoreo de energía eléctrica, muy común en aplicaciones de domótica e IoT (Internet of Things) como: Medidores de energía conectados a internet por Wifi/Bluetooth/GSM/LoRa. Debido a la naturaleza de los transformadores solo puede medir voltaje AC. El módulo ZMPT101B soluciona el problema reduciendo el voltaje AC de entrada a un voltaje AC de amplitud menor que pueda ser leído por el Arduino o cualquier otro microcontrolador. Se recomienda calibrar la salida con un voltímetro *ANTES* de conectar cualquier dispositivo a la salida.

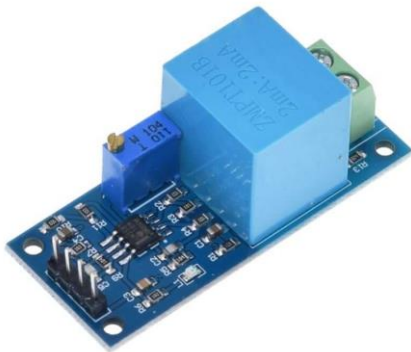


Fig. 3. Magnetización como una función del campo aplicado.

Ambos sensores se seleccionaron cuidadosamente por su precisión y rango de medición adecuado para el proyecto. La información recopilada por estos sensores es esencial para calcular el consumo de energía en tiempo real y brindar a los usuarios una visión precisa de su consumo eléctrico.

Sensor de Corriente ACS711LC:

El sensor de corriente ACS711LC, de acuerdo con la información de [1], presenta las siguientes características técnicas:

- **Rango de Corriente:** Este sensor tiene un rango de medición de corriente de -12.5A a +12.5A.
- **Tecnología de Detección:** Emplea tecnología Hall efecto en un dispositivo de estado sólido, lo que proporciona una medición precisa de la corriente eléctrica.
- **Salida Analógica:** Ofrece una señal de salida analógica de 2.5 V que varía linealmente con la corriente medida.
- **Precisión:** Tiene una precisión típica de $\pm 1.5\%$ en todo el rango de corriente.
- **Alimentación:** Requiere una alimentación de voltaje de 3.3V a 5.5V.

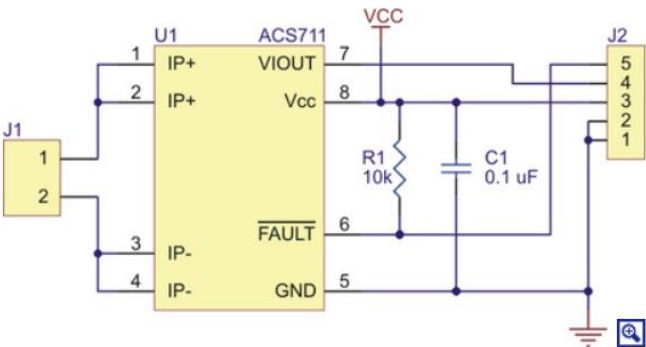


Fig. 4. Magnetización como una función del campo aplicado.

Sensor de voltaje ZMPT101B:

El sensor de voltaje ZMPT101B, según [2], presenta las siguientes características técnicas:

- **Rango de Voltaje:** Está diseñado para medir voltajes de corriente alterna (AC) en un rango de 0 a 250V AC.
- **Tecnología de Detección:** Utiliza el principio del transformador y un circuito integrado de acondicionamiento para realizar mediciones precisas de voltaje AC.
- **Salida Analógica:** Proporciona una señal analógica de 0 a 1 V que varía con el voltaje AC detectado.
- **Precisión:** Tiene una precisión típica de $\pm 3\%$ en todo el rango de voltaje.
- **Alimentación:** Requiere una alimentación de voltaje de 5V.

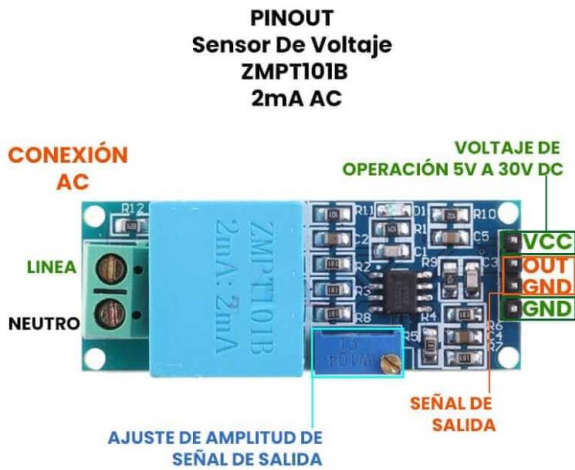


Fig. 5. Magnetización como una función del campo aplicado.

III. DESAROLLO DEL SOFTWARE

La programación de este proyecto se ha realizado en tres plataformas distintas para lograr una integración efectiva de sus componentes.

Para el elemento central de control, el microcontrolador ESP32, se desarrolló el programa en el entorno de desarrollo Arduino IDE. Este entorno proporciona una amplia gama de librerías y soporte para microcontroladores ESP32, lo que facilitó la programación y la comunicación con los sensores de corriente ACS712 y voltaje ZMPT101B.

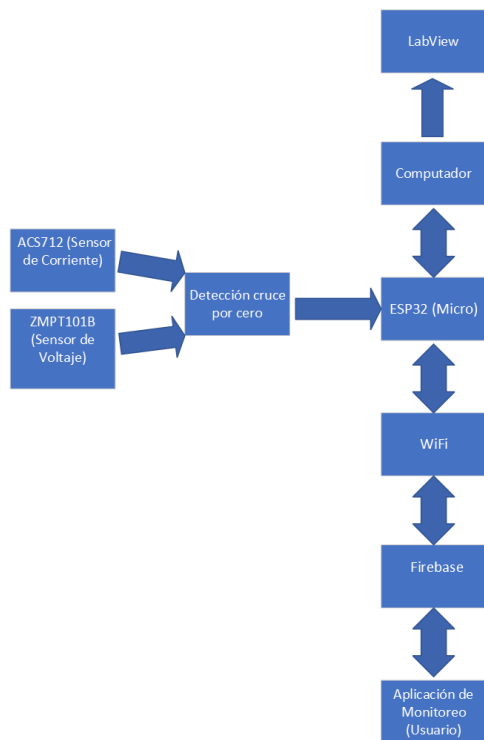


Fig. 6. Magnetización como una función del campo aplicado.

La interfaz de usuario para el monitoreo en tiempo real se implementó en una aplicación para dispositivos móviles utilizando App Inventor. Esta plataforma de desarrollo visual permitió crear una interfaz intuitiva para mostrar datos de potencia, consumo total y el valor a pagar en tiempo real en los teléfonos móviles de los usuarios.



Fig. 7. Magnetización como una función del campo aplicado.



Fig. 8. Magnetización como una función del campo aplicado.

Además, se utilizó LabVIEW para la visualización gráfica de los valores de voltaje, corriente y potencia en un HMI (Interfaz Hombre-Máquina) en la PC. LabVIEW proporcionó herramientas poderosas para la creación de una interfaz gráfica que facilitó la monitorización y el control desde la computadora.

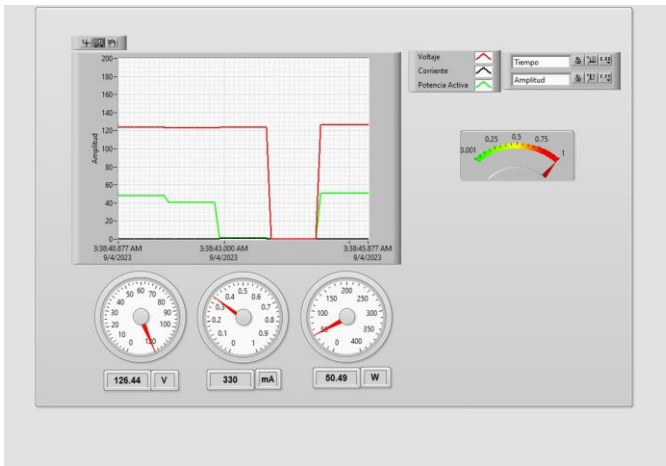


Fig. 9. Magnetización como una función del campo aplicado.

Esta programación diversificada permitió una implementación eficiente y una integración sólida de los sensores y la interfaz de usuario en el sistema de monitoreo de consumo energético.

IV. PRUEBAS Y RESULTADOS

En primer lugar, el desfase, también conocido como ángulo de fase, representa la diferencia en tiempo entre la forma de onda de voltaje y la forma de onda de corriente en un circuito eléctrico. Esta diferencia temporal es fundamental porque indica cómo la carga eléctrica en el sistema responde al voltaje aplicado. Cuando la corriente y el voltaje están perfectamente en fase, significa que la carga está consumiendo energía de manera eficiente, lo que resulta en un factor de potencia cercano a 1 ($\cos\phi \approx 1$).

Sin embargo, en situaciones donde el desfase es significativo, la carga puede estar operando de manera menos eficiente, lo que se traduce en un factor de potencia más bajo ($\cos\phi < 1$). Un factor de potencia bajo implica que parte de la energía suministrada se pierde en forma de energía reactiva, lo que aumenta la carga en la red eléctrica y puede resultar en costos adicionales para los usuarios.

Por lo tanto, al medir y tener en cuenta el desfase entre el voltaje y la corriente, nuestro sistema puede calcular con precisión el factor de potencia y la potencia activa consumida por el sistema. Esto permite a los usuarios tomar medidas para mejorar la eficiencia energética y reducir las pérdidas de energía reactiva, lo que a su vez puede tener un impacto positivo en la factura de energía y en la sostenibilidad ambiental.

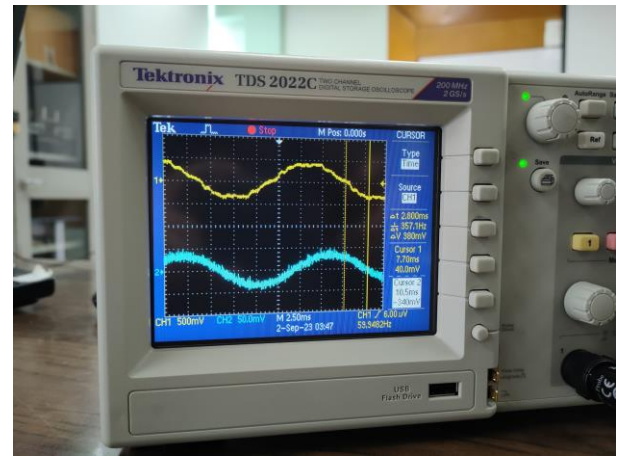


Fig. 10. Magnetización como una función del campo aplicado.

Para evaluar y validar la eficacia de nuestro sistema de monitoreo de consumo energético, realizamos diversas pruebas con cargas eléctricas variadas.

Conectamos cargas que representan diferentes escenarios, incluyendo un foco incandescente y un foco LED para analizar cómo el sistema responde a cargas resistivas. Además, incorporamos un motor inductivo para evaluar el efecto de las cargas no resistivas en el factor de potencia.

Estas pruebas nos permitieron comprender cómo el sistema reacciona ante diferentes tipos de cargas y cómo el factor de potencia se ve afectado por la presencia de energía reactiva en el circuito. También pudimos observar el impacto en el consumo de energía cuando se utilizan cargas resistivas y no resistivas.

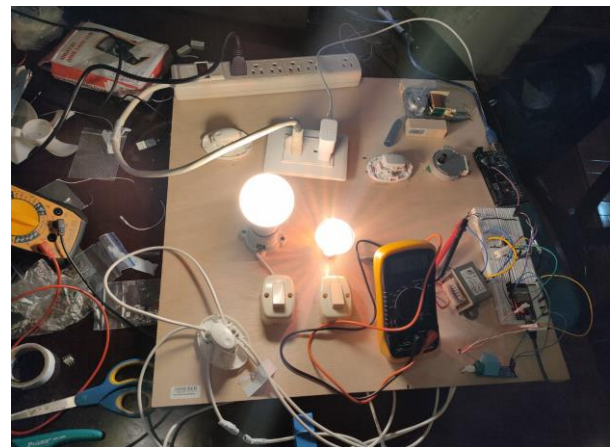


Fig. 11. Prueba de sensores para la correcta lectura de datos.

En última instancia, estas pruebas nos proporcionaron información valiosa para optimizar el monitoreo del consumo energético y tomar decisiones informadas para mejorar la eficiencia y reducir los costos relacionados con la energía eléctrica.

REFERENCIAS

- [1] «Pololu - ACS711LC Current Sensor Carrier -12.5A to +12.5A». <https://www.pololu.com/product/2197> (accedido 4 de septiembre de 2023).

- [2] «ZMPT101B Sensor De Voltaje AC 2mA», *UNIT Electronics*.
<https://uelectronics.com/producto/zmpt101b-sensor-de-voltaje-ac-2ma/>
(accedido 4 de septiembre de 2023).