

# Interfaz directa con FPGA para medición de variables eléctricas

Luis Edwin López López<sup>1\*</sup>, Francisco Javier Enríquez Aguilera<sup>2</sup>, David Luviano Cruz<sup>3</sup>

## Resumen

Este trabajo presenta el desarrollo de una interfaz directa basada en FPGA para la medición de variables eléctricas, con el objetivo de evitar el uso de sistemas CAD tradicionales. La propuesta busca mejorar la precisión, velocidad y confiabilidad en la adquisición y procesamiento de señales eléctricas, enfocándose en parámetros como RMS, factor de potencia y frecuencia. La metodología se estructura en tres etapas: selección de hardware y sensores, diseño de arquitectura lógica en FPGA, y validación experimental mediante pruebas comparativas entre sistemas CAD e interfaz directa (ID). Los objetivos específicos abarcan desde la adquisición de señales hasta el análisis de resultados, incluyendo el diseño de una interfaz de usuario para visualización y almacenamiento. Las hipótesis planteadas establecen que la ID es más eficiente que el sistema CAD, y que el uso de FPGA permite un procesamiento paralelo más robusto. El marco teórico aborda temas clave como calidad de energía, normativa del Código de Red, y fundamentos de diseño digital. El alcance del proyecto se limita a usuarios con demanda eléctrica superior a 1 MW, y se restringe a variables específicas de calidad de energía. En conjunto, la tesis demuestra una alineación metodológica sólida, con fundamentos técnicos y experimentales que respaldan la viabilidad de la solución propuesta.

## Palabras Clave

Interfaz Directa – Procesamiento Paralelo – FPGA – Medición en Tiempo Real

<sup>1,2,3</sup>Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México.

\*Autor de correspondencia: edwin.lopez@alumnos.uacj.mx

### Programa académico

Doctorado en Tecnología

### Fecha de presentación

22 de mayo de 2024

### Financiamiento

SECITHI (CVU 1338349)

### Institución responsable del estudio

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

### Evento académico

7.º Coloquio de Posgrados del IIT

### Conflictivo de interés

Sin conflicto de interés declarado

## Referencias

1. Hassan, S. R., Rehman, A., Shabbir, N., & Unbreen, A. (2020). Comparative analysis of power quality monitoring systems. NFC IEFR Journal of Engineering and Scientific Research, 7(1), 19–23.
2. Liang, X. (2016). Emerging power quality challenges due to integration of renewable energy sources. IEEE Transactions on Industry Applications, 53(2), 855–866.
3. 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.
4. 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.
5. González, F. J. B. (2022). Viabilidad para que la UAEM obtenga el suministro eléctrico como usuario de servicios calificados.

CITACIÓN: López López, L.E., Enríquez Aguilera, F.J., & Luviano Cruz, D. (2025). Interfaz directa con FPGA para medición de variables eléctricas [edición especial]. Memorias Científicas y Tecnológicas, 4(1), 127-128.

# Interfaz directa con FPGA para medición de variables eléctricas

M.I.I. Luis Edwin López López  
Dr. Francisco Javier Enríquez Aguilera, Dr. David Luviano Cruz  
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez  
Instituto de Ingeniería y Tecnología  
Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura  
Doctorado en Tecnología

**Resumen**

El Código de Red en México ha marcado pauta en el sector eléctrico desde que la CRE la emitió en 2016. Con su actualización en 2021, conocida como Código de Red 2.0, se han introducido cambios significativos que impactan directamente a las empresas del país. Monitorear la calidad de la energía eléctrica es una necesidad debido a que las cargas inductivas y capacitativas afectan a los equipos industriales. Debido a esto es necesario monitorear voltaje y corriente para determinar si el factor de potencia se encuentra bajo los niveles requeridos.

**Hipótesis**

La interfaz propuesta mide correctamente las variables eléctricas. Para la verificación de la hipótesis se comprobará el uso de interfaz directa para adquirir señales de voltaje y corriente por medio de sensores, evitando el uso de convertidores análogo-digital con FPGA para procesamiento paralelo de variables eléctricas.

**Introducción**

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 [1], frecuencia [2], tensión, y calidad de la energía [3]. Estas regulaciones aplican para los centros de carga que tengan una capacidad contratada superior a un mega watt, 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 corte de circuito debe ser de 3 años y con relación al factor de potencia, con el Código de Red 2.0 (ver figura 1), se debe mantener al 95% (cifra que aumentara al 97% a partir del 2026). Esto ocasiona que las empresas normalmente contraten compañías externas para realizar el análisis de calidad de la energía, porque no cuentan con equipos que estén monitoreando en todo momento su sistema eléctrico [4]. Con el aumento en el uso de dispositivos electrónicos en entornos domésticos, comerciales y en la industria, mantener una buena calidad de energía es necesario para asegurar su eficiencia; además que, en las últimas décadas, la reestructuración y desregulación del sistema eléctrico han cambiado la estructura básica de operación y planificación del sistema [5].

Figura 1: código de Red 2.0

**Metodología**

```

    graph TD
        A[Examinar los datos recolectados con diferentes tipos de carga] --> B[Realizar pruebas]
        B --> C[Validar el funcionamiento del dispositivo diseñado en las etapas de medición]
        C --> D[Elegir el sistema de Adquisición de Datos]
        D --> E[Crear un diagrama de flujo para la lógica de programación]
        E --> F[Describir la arquitectura para el FPGA y la viabilidad de aplicar la interfaz Directa]
        F --> G[Replicar la arquitectura propuesta en el punto anterior para las 3 mediciones de manera simultánea]
        G --> H[Elaborar esquema de conexión]
        H --> I[Seleccionar FPGA]
        I --> A
    
```

**Justificación**

Es un proyecto importante por el impacto tecnológico que representa y el beneficio que puede aportar a la comunidad científica, industrial y tecnológica (ver figura 2).

Figura 2: Impacto Tecnológico

**Resultados esperados**

Crear una interfaz directa con FPGA para medición de variables eléctricas con dispositivos de bajo costo para llevar a cabo mediciones precisas, similares a aquellos dispositivos especializados para esta función. Este proyecto busca facilitar la obtención del factor de potencia, un elemento crucial para que las empresas eviten los riesgos asociados con mediciones deficientes de calidad energética.

**Planteamiento del problema**

Las empresas que no cumplen las normas establecidas por el código de red 2.0 buscan mejorar su gestión energética por medio de:

- Implementación de filtros de energía y compensadores armónicos
- Monitoreo continuo
- Monitoreo y análisis en tiempo real
- No hay una metodología eficaz

**Conclusiones**

Este proyecto, además de representar un avance tecnológico, busca contribuir a la optimización de la gestión energética y en la garantía de mediciones precisas para asegurar un suministro energético confiable. Estos aspectos son esenciales para promover la eficiencia tanto en la industria como en la sociedad en su conjunto.

**Objetivo general**

Desarrollar una interfaz directa con FPGA para medición de variables eléctricas.

**Referencias:**

- [1] S. R. Hassan, A. Rehman, N. Shabbir, and A. Unbrein, "Comparative analysis of power quality monitoring systems," *NFC IFR Journal of Engineering And Scientific Research*, vol. 7, no. 1, pp. 19–23, 2020.
- [2] X. Liang, "Emerging power quality challenges due to integration of renewable energy sources," *IEEE Trans Ind Appl*, vol. 53, no. 2, pp. 855–866, 2016.
- [3] S. Ahmad, A. Iqbal, I. Ashraf, and M. Meraj, "Improved power quality operation of symmetrical and asymmetrical multilevel inverter using invasive weed optimization technique," *Energ Reports*, vol. 8, pp. 3323–3336, 2022.
- [4] L. A. F. Becerra, M. D. C. Rivera, and D. C. S. García, "Naturaliza y alcance jurídico del Código de Red, en el sistema eléctrico mexicano," *EDUCATECONCIENCIA*, vol. 26, no. 27, pp. 101–121, 2020.
- [5] F. J. B. GONZÁLEZ, "Viabilidad para que la UAEIM obtenga el suministro eléctrico como usuario de servicios calificados," 2022.

Figura 1. Cartel Académico: Interfaz directa con FPGA para medición de variables eléctricas.