

# Documento Final del Proyecto

---

## **Comparador de Pulses para Calibración de Medidores**

Autor: Emmanuel Bermont Salazar

Supervisión: Gabriel Enrique Euan Valle

### **Resumen Ejecutivo**

Este proyecto consiste en el diseño, desarrollo e implementación de un comparador de pulsos portátil y preciso, destinado a la calibración de medidores eléctricos. Realizado en colaboración con la Comisión Federal de Electricidad (CFE), responde a la necesidad de contar con una herramienta accesible, confiable y fácil de usar para validar la exactitud de los medidores en condiciones reales.

### **Objetivo General**

Desarrollar un comparador de pulsos de alta precisión que permita verificar la exactitud de los medidores eléctricos mediante la comparación de pulsos con un patrón de referencia, garantizando confiabilidad en la medición y reduciendo errores de facturación.

### **Metodología**

El proyecto se dividió en varias fases, desde la definición de requisitos hasta la validación funcional. Se utilizaron herramientas como Proteus para simulaciones realistas ATMEGA328P como microcontrolador central y ThingSpeak para la visualización de datos. El enfoque combinó diseño iterativo de hardware, desarrollo de software embebido, pruebas en laboratorio y retroalimentación técnica de CFE.

### **Principales Componentes Técnicos**

- Microcontrolador: ATMEGA328P
- Sensor de pulsos: LM35 (para compensación térmica)
- Software: Arduino, MATLAB, GitHub, ThingSpeak
- Interfaz de usuario: LCD con navegación optimizada y menú interactivo
- Estrategias: Uso de interrupciones, filtros digitales, desacoplos físicos y modularización del Código

## **Resultados Relevantes**

- Precisión superior al 99.95% con diferencia máxima < 0.05% frente a equipo profesional.
- Operación estable con capacidad de conteo de hasta 50,000 pulsos por segundo.
- Pruebas exitosas en sesiones de 2 a 5 minutos, procesando más de 9 millones de pulsos.
- Interfaz intuitiva validada por técnicos del laboratorio de CFE.
- Sistema portable, con respuesta rápida, confiable y resistente a ruido electromagnético.

## **Pruebas Funcionales y Validación**

Se realizaron múltiples pruebas comparativas con un equipo profesional de CFE. Las condiciones fueron controladas usando sensores ambientales. Las desviaciones fueron mínimas y se corrigieron mediante la implementación de algoritmos de filtrado, reestructuración del código y blindaje físico del circuito.

## **Fortalezas Identificadas**

- Alta precisión y confiabilidad
- Interfaz clara y eficiente
- Diseño modular y portable
- Validación técnica por personal de CFE
- Bajo costo de producción

## **Áreas de Mejora**

- Integración de almacenamiento local (SD) para trazabilidad
- Encapsulado profesional resistente a campo
- Inclusión de comunicación inalámbrica (Wi-Fi/Bluetooth) para monitoreo remoto

## **Lecciones Aprendidas**

- Validar siempre en entornos físicos más allá de la simulación digital
- Anticipar interferencias electromagnéticas y diseñar filtrado desde el inicio
- Dividir el sistema en módulos facilita ajustes sin alterar el funcionamiento global
- La supervisión técnica y retroalimentación constante son clave para lograr mejoras reales

## **Conclusión**

El comparador de pulsos ha demostrado ser una herramienta viable para la calibración de medidores eléctricos. Gracias a su precisión, portabilidad y facilidad de uso, representa una solución funcional que puede escalarse y certificarse formalmente para uso profesional en CFE. Las mejoras implementadas permiten vislumbrar un alto potencial de adopción industrial.