

CONTROL DE TENSION EN ESTABILIZADORES DE 300 KVA MEDIANTE MICROCONTROLADOR PIC18F4550: DISEÑO, SIMULACIÓN Y PRUEBAS

VOLTAGE CONTROL IN 300 KVA STABILIZERS USING A PIC18F4550 MICROCONTROLLER: DESIGN, SIMULATION, AND TESTING

Ali Vivas Bonilla ¹  Fernando Lizcano Sánchez ² 

¹Universidad Nacional Experimental del Táchira - Venezuela

²Universidad Tecnológica del Perú (UTP) - Perú

Correspondencia:

Vivas Bonilla Ali Ernesto
ali.vivas@unet.edu.ve

Como citar este artículo: Vivas, A., & Lizcano, F. (2025). Control de tensión en estabilizadores de 300 kVA mediante microcontrolador PIC18F4550: Diseño, simulación y pruebas. *Revista de Investigación Hatun Yachay Wasi*, 4(2), pp. 43–52. DOI: 10.57107/hyw.v4i2.95

RESUMEN

Se desarrolló un sistema de control personalizado para un estabilizador de voltaje industrial Samlex de 300 kVA, con el objetivo de garantizar la estabilidad eléctrica en las instalaciones de Gurimetal. Ante la ausencia de documentación técnica del equipo, se realizó una caracterización exhaustiva mediante ensayos en condiciones de vacío y bajo carga. Se diseñó una tarjeta de control basada en el microcontrolador PIC18F4550, capaz de monitorear en tiempo real parámetros clave de la red eléctrica, como el voltaje y la frecuencia, permitiendo realizar ajustes precisos para mantener la tensión dentro de los rangos operativos requeridos. Se implementaron acondicionadores de señal y mecanismos de seguridad a nivel de hardware, incluyendo protección contra sobretensiones, sobrecorrientes y sobrecarga; así como, protecciones térmicas en los contactores del estabilizador. Estas protecciones evitan daños en los componentes sensibles y aseguran un funcionamiento estable durante variaciones de carga. El diseño fue validado mediante simulaciones y pruebas en prototipos antes de la fabricación final. Las pruebas demostraron que el sistema logra mantener la tensión dentro de los parámetros aceptables, incluso ante fluctuaciones de entrada.

Palabras clave: estabilizador de voltaje, diseño, tarjeta de control, acondicionadores de señal, microcontrolador, tarjeta de circuito impreso.

ABSTRACT

A control system was developed for a 300 kVA Samlex industrial voltage stabilizer to improve electrical stability at Gurimetal's facilities. Due to the lack of technical documentation, the equipment was characterized through no-load and load testing. Based on this analysis, a control board using the PIC18F4550 microcontroller was designed to monitor key electrical parameters in real time, such as voltage and frequency, enabling precise output adjustments to maintain voltage within required operating ranges. The system included signal conditioners and hardware-based protection mechanisms against overvoltage, overcurrent, and overload, as well as thermal protection for the stabilizer's contactors. These safety



features prevent damage to sensitive components and ensure stable performance under load variations. The design was validated through simulations and prototype testing before final production. Results confirmed the system's ability to maintain stable voltage levels within acceptable limits, even under input fluctuations.

Keywords: voltage stabilizer, design, control board, signal conditioners, microcontroller, printed circuit board.

INTRODUCCIÓN

En entornos industriales, las variaciones de voltaje pueden provocar desde paradas no programadas hasta fallos permanentes en equipos críticos, afectando la producción. Las fluctuaciones de tensión pueden generar desde interrupciones menores hasta fallas catastróficas en instalaciones productivas, especialmente en entornos donde la calidad de la energía es deficiente. Según Kundur, (1994) mantener un voltaje estable es fundamental para asegurar la confiabilidad de los sistemas de potencia. En este contexto, los estabilizadores de voltaje juegan un papel esencial, ya que permiten corregir desviaciones y proteger la infraestructura eléctrica.

La calidad de la energía no solo depende de la estabilidad de la tensión, sino también de la capacidad de monitoreo y respuesta ante perturbaciones. Estudios previos han demostrado que la implementación de sistemas de medición y control en tiempo real incrementa la precisión y eficiencia de los estabilizadores (Pérez & Gattorno, 2019; Viteri, 2019). Adicionalmente, las recomendaciones de la norma IEEE 519-2014 subrayan la necesidad de prácticas de control armónico y de tensión para prevenir impactos negativos en la red de distribución (IEEE, 2014).

Los avances en microcontroladores de alto rendimiento, como el PIC18F4550, ofrecen características de conversión analógica-digital de alta resolución y capacidades de procesamiento que facilitan la implementación de lógicas de control complejas (López & Reinoso, 2021; Microchip Technology, 2009). Estas plataformas permiten

integrar, en un solo dispositivo, funciones de medición, procesamiento y activación de actuadores de potencia, reduciendo costos y simplificando el diseño.

Tal es el caso del estabilizador industrial trifásico Samlex de 300 kVA utilizado en la empresa Gurimetal, que presentaba deficiencias operativas debido a la ausencia de un sistema de control eficiente y la falta de información técnica oficial. Ante esta problemática, se identificó la necesidad de diseñar e implementar una tarjeta de control personalizada que permitiera supervisar y regular el funcionamiento del estabilizador de manera segura, precisa y adaptable a las condiciones reales de carga.

Este estudio presenta un sistema de control con PIC18F4550 que permite detectar y corregir variaciones de tensión mediante el accionamiento coordinado de contactores. Además, se busca validar experimentalmente la eficacia del diseño propuesto a través de simulaciones y pruebas funcionales con carga real, contribuyendo así a mejorar la confiabilidad del suministro eléctrico en entornos industriales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para alcanzar este objetivo, se desarrolló un procedimiento experimental que incluyó la caracterización eléctrica del equipo, el diseño y programación de la tarjeta de control, seguido de su simulación, fabricación y validación mediante pruebas reales.

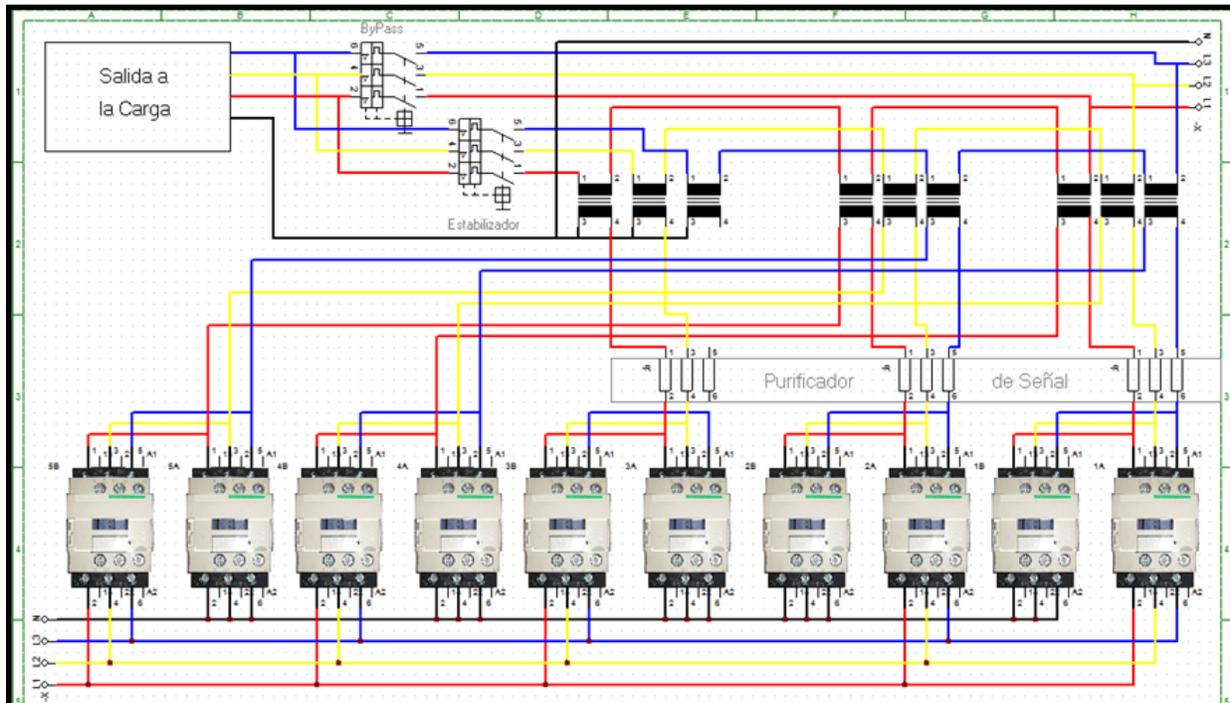
Procedimiento experimental

Con la finalidad de identificar claramente la configuración interna del estabilizador y garantizar la seguridad operativa, se elaboraron diagramas eléctricos de mando y potencia siguiendo las recomendaciones técnicas para esquemas de

interbloqueo de Pérez & Gattorno, (2019). La Figura 1 muestra el diagrama eléctrico del circuito de potencia del estabilizador de voltaje utilizado, mostrando cómo la configuración de los contactores evita cortocircuitos, garantizando el aislamiento seguro entre fases y neutro durante la operación.

FIGURA 1

Circuito de potencia del estabilizador de voltaje



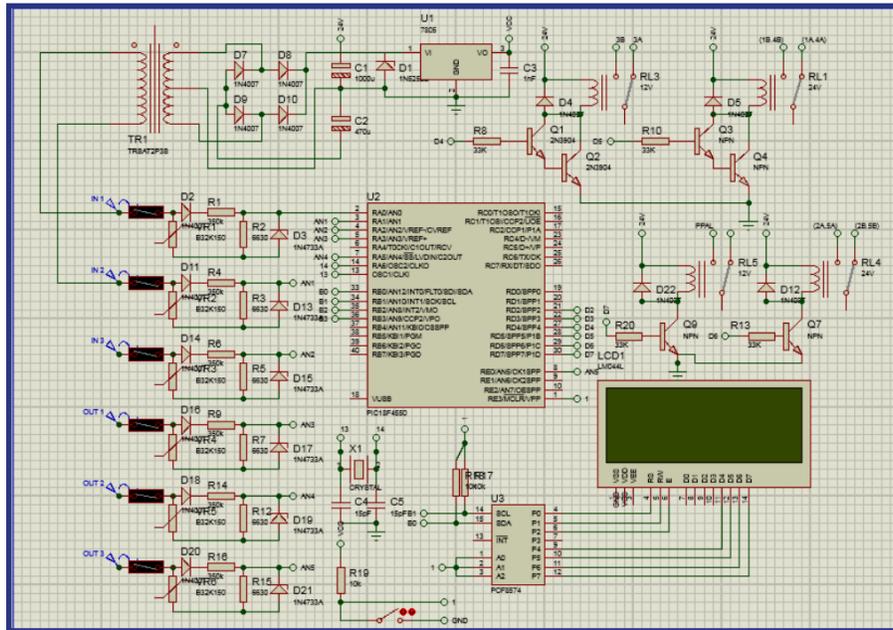
Caracterización en vacío y con carga

La caracterización del estabilizador se realizó siguiendo la normativa IEC 61000-4-30 Clase A, recomendada por Neumann, (2007). Inicialmente, se ejecutaron pruebas en vacío, analizando distintas combinaciones de contactores sin conectar la carga, lo que permitió establecer una referencia operativa básica del equipo. Posteriormente, se realizaron pruebas bajo carga resistiva utilizando un horno de temple bifásico. Se evaluaron diferentes combinaciones de fases, registrando los parámetros de voltaje y corriente para determinar la respuesta dinámica del estabilizador.

Diseño electrónico de la tarjeta de control

Basándose en la caracterización previa, se diseñó una tarjeta de control con el microcontrolador PIC18F4550, elegido por su capacidad de procesamiento rápido y bajo consumo energético. El circuito incorpora acondicionadores de señal y protecciones de hardware contra sobretensión, sobrecorriente, sobrecarga y temperatura. El diseño fue modelado y verificado en Proteus 8, incluyendo la interfaz de la pantalla LCD. El esquema electrónico integral se ilustra en la Figura 2.

FIGURA 2
Circuito integral de la tarjeta de control

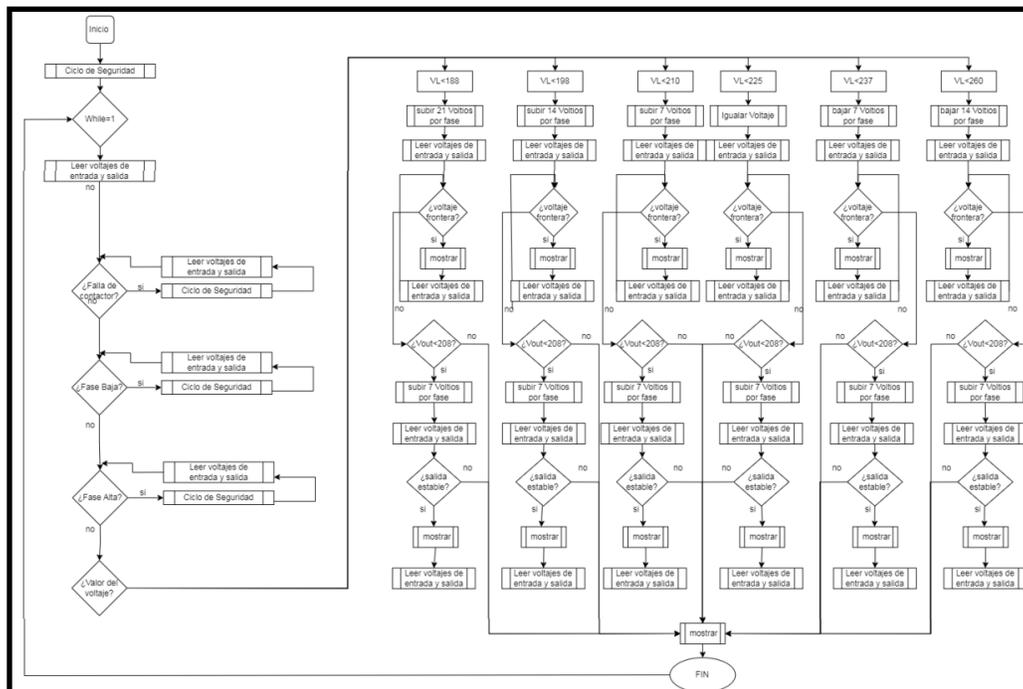


Programación del microcontrolador

El firmware se desarrolló en lenguaje C utilizando el compilador CCS (López & Reinoso, 2021). Se implementaron rutinas para la adquisición de datos en tiempo real, procesamiento de señales y

generación de comandos de control con histéresis para minimizar conmutaciones innecesarias. La lógica de operación se resume en el diagrama de flujo presentado en la Figura 3.

FIGURA 3
Diagrama de flujo del código implementado



Simulación previa

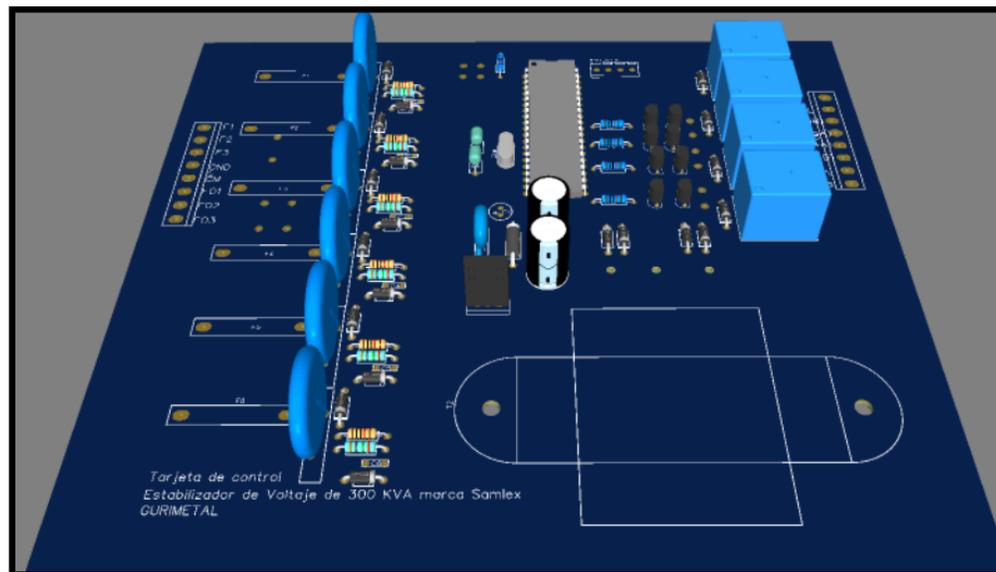
Antes de la implementación física, se llevó a cabo una simulación del circuito completo en Proteus 8 (Labcenter Electronics, s.f.). Durante esta fase, se verificó la lógica de control, la interacción entre los módulos acondicionadores de señal y la funcionalidad de la pantalla LCD para mostrar parámetros de voltaje en tiempo real, lo que permitió validar el funcionamiento seguro del sistema y realizar los ajustes necesarios antes de la implementación física.

Fabricación del prototipo

El diseño final de la tarjeta de control fue exportado en formato Gerber desde EasyEDA y transferido a una placa de baquelita virgen mediante la técnica de transferencia térmica. Se utilizó la técnica de transferencia térmica para grabar las pistas, seguida del taladrado y ensamblaje manual de los componentes, garantizando la integridad eléctrica del prototipo. La Figura 4 muestra el bosquejo 3D de la placa de circuito impreso antes del ensamblaje.

FIGURA 4

Bosquejo 3D de la tarjeta PCB



Pruebas funcionales del prototipo

Una vez ensamblada la tarjeta, se integró al prototipo del estabilizador y se ejecutaron pruebas funcionales bajo condiciones controladas. Se evaluó la estabilidad de la tensión de salida al aplicar perturbaciones en la tensión de entrada, así como la precisión de las mediciones de voltaje y corriente. La Figura 5 ilustra la tarjeta de control instalada en el prototipo durante las pruebas.

Integración final

Finalmente, la placa de control fue integrada al estabilizador Samlex operativo y se realizaron pruebas finales con carga real. Se comprobó que el sistema mantenía la tensión dentro de los márgenes requeridos, incluso ante variaciones bruscas de carga simuladas en las pruebas. La Figura 6 muestra el estabilizador de voltaje de 300 kVA con la tarjeta de control operativa.

FIGURA 5

Tarjeta de control instalada en el prototipo del estabilizador

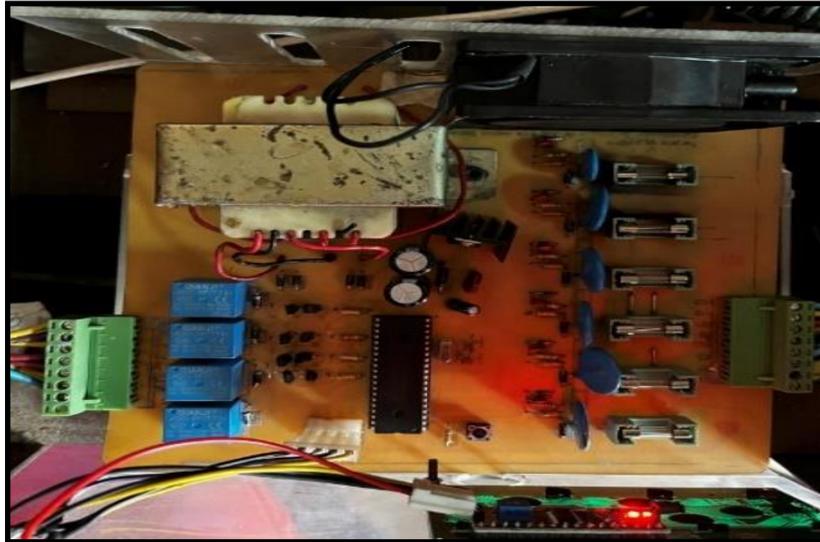
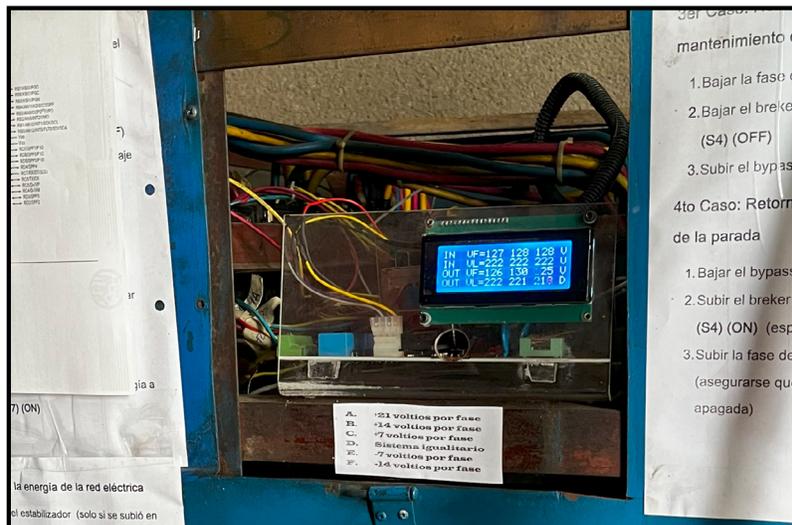


FIGURA 6

Estabilizador de voltaje de 300 KVA marca Samlex operativo



RESULTADOS

Resultados de pruebas en vacío

Se analizaron las mediciones de tensión de fase y fase-neutro para diversas combinaciones de contactores sin carga (Tabla 1). Los datos demostraron que:

- Contactor 3A mantiene la tensión de salida constante en condiciones de vacío.
- Contactores 3B, (1B&4B), (2B&5B) incrementan

la tensión de salida aproximadamente en 7 V por fase.

- Combinaciones (1A&4A) y (2A&5A) reducen la tensión de salida en un rango similar.

Estos resultados evidencian que el sistema permite modificar con precisión el nivel de salida mediante combinaciones específicas de contactores, optimizando el desempeño bajo diferentes escenarios.

TABLA 1*Pruebas en vacío*

Combinación	Entrada						Salida					
	F1-N	F2-N	F3-N	F1-F2	F1-F3	F2-F3	F1-N	F2-N	F3-N	F1-F2	F1-F3	F2-F3
Sin conexión	126	125.5	123.2	219.1	215.7	213.5	126	125.5	123.1	219.1	215.6	213.4
3A	127.7	127	124.3	223	219.5	216.5	127.7	127	124.2	223	219	216
(1A&4A)	123.5	123.1	123.1	212.5	213	212.8	116.2	116	116	200	200.5	200.3
(1B&4B)	122.6	123.5	123.8	212.4	213	213.6	129.7	130.7	131	224.8	225.5	226
(2A&5A)	122.9	123.2	122.9	212.2	213	212.8	115.6	116	115.8	199.9	200.3	200.2
(2B&5B)	122.5	123.5	124	213.2	213	214	130	130.6	131	225.8	225.1	226.5
3B	122.8	123.8	123.4	212.9	213	213.1	130	131	130.5	225.2	225.5	225
3B&(1A&4A)	124.1	123.7	121.7	217.4	214.1	212.6	124.1	123.7	121.8	217.4	214.1	212.6
3B&(1B&4B)	123.6	123.8	122.2	216.6	213.1	212	138	138.2	136.3	241.2	238.4	237
3B&(2A&5A)	124	124.4	122.6	217.3	214.1	212.2	124	124.4	122.6	217.2	214.1	212.4
3B&(2B&5B)	125.5	125	125.3	218.7	216	214.9	140	139.7	137.8	244.4	241.7	239.9
3B&(1A&4A)&(2A&5A)	129.3	128.8	126.6	226.8	22.8	220.5	121.9	121.3	119.3	213.6	210	208
3B&(1A&4A)&(2B&5B)	128.5	127.8	126	225	221.1	218.8	136	135.2	133.3	238.1	233.8	231.4
3B&(1B&4B)&(2B&5B)	128	128.2	126.4	224.4	220.5	216.6	150.4	150.6	148.4	263.5	258.6	254
3B&(1B&4B)&(2A&5A)	125.9	125	122.8	218	215	213	133.1	132.3	130	230.5	227	225.5
3A&(1A&4A)&(2A&5A)	126.7	126	124.4	220.8	217.6	215.6	112	11.2	109.9	195.3	192.2	190.6
3A&(1A&4A)&(2B&5B)	126	125.5	123.2	219.1	215.7	213.5	126	125.5	123.1	219.1	215.6	213.4
3A&(1B&4B)&(2B&5B)	123.3	123.3	123.3	212.3	213.4	212.9	136.5	137.6	137.8	237	238.1	237.8
3A&(1B&4B)&(2A&5A)	124.8	123.5	121.3	215.4	213.9	213.4	124.8	123.6	121.2	215.4	214	213.4

Resultados de pruebas con carga

Las pruebas bajo carga resistiva (horno de temple bifásico) evaluaron la respuesta dinámica ante variaciones de entrada. En las Tablas 2 y 3 se resumen los valores de $\Delta V1$ y $\Delta V2$ (fases 1–2) y $\Delta V2$ y $\Delta V3$ (fases 2–3) respectivamente.

- La combinación 3B&(1B&4B) &(2B&5B) mostró el mayor incremento (≈ 21 V) en tensión de salida, evidenciando una respuesta rápida ante caídas de entrada.

- En todas las configuraciones, mantener al menos cinco contactores activos aseguró un flujo magnético óptimo y redujo pérdidas energéticas.

Estos resultados demuestran la efectividad del diseño de control para mantener la estabilidad de voltaje bajo condiciones reales.

TABLA 2*Pruebas con carga para las fases 1 y 2*

Combinación	Entrada			Salida					
	F1-N	F2-N	F1-F2	F1-N	F2-N	F1-F2	If	$\Delta V1$	$\Delta V2$
Sin conexión	124	122.7	210	93.4	108	155	28A	-26	-27
3A&(1A&4A) &(2A&5A)	124	124	213	110	110	189	46.5A	-14.6	-15.1
3A&(1A&4A) &(2B&5B)	121.5	121.4	210	120.7	120.5	208	50A	-1.3	-1.4
3A&(1B&4B) &(2B&5B)	121	121.4	206.8	134	131.4	229	54A	12.9	12.7
3B&(1A&4A) &(2A&5A)	123	121.8	210.6	115	113.5	198.1	40A	-7.3	-8.3
3B&(1B&4B) &(2B&5B)	127.7	125	223.7	149.4	145.5	255.5	62.7A	21.5	20.1
3B&(1B&4B) &(2A&5A)	126	123.6	214.4	132.4	128.7	226.3	55A	6.5	5.6

TABLA 3*Pruebas con carga para las fases 2 y 3*

Combinación	Entrada			Salida					
	F2-N	F3-N	F2-F3	F2-N	F3-N	F2-F3	If	$\Delta V2$	$\Delta V3$
3A&(1A&4A) &(2A&5A)	122.3	121.3	209.6	107.8	106.3	183.6	36 A	-14.2	-14.7
3A&(1A&4A) &(2B&5B)	121.7	120.3	207.5	121.4	119.3	205.8	41 A	-1.4	-1.2
3A&(1B&4B) &(2B&5B)	121.3	119.2	206	135	131.5	227.8	57 A	13.5	12.3
3B&(1A&4A) &(2A&5A)	122.2	120.5	209	114.7	112.4	194.7	43 A	-7.3	-8.1
3B&(1B&4B) &(2B&5B)	125	120.8	210	143.3	14.4	244	54 A	21.1	19.3
3B&(1B&4B) &(2A&5A)	122.2	121.2	208.1	129.1	127.1	218	50 A	6.5	5.3

Validación del diseño electrónico

La simulación en Proteus 8 corroboró la lógica de conmutación y la visualización en pantalla LCD sin errores. La implementación física confirmada en el prototipo (Figura 5) validó:

- Precisión en la lectura de voltaje y corriente.
- Activación oportuna de protecciones por sobre corriente y sobretensión.
- Respuesta estable ante perturbaciones.

DISCUSIÓN

La integración del microcontrolador PIC18F4550, junto con una lógica de histéresis, logró reducir las conmutaciones excesivas, protegiendo la integridad mecánica y eléctrica de los contactores en condiciones de operación variables, lo que coincide con lo planteado por López & Reinoso, (2021) quienes destacaron las capacidades de este microcontrolador para aplicaciones industriales de alta demanda. A diferencia de sistemas tradicionales basados únicamente en relés mecánicos o controladores sin retroalimentación en tiempo real (Pérez & Gattorno, 2019), el diseño propuesto permite un ajuste dinámico de la tensión, mejorando la precisión del estabilizador.

Los resultados obtenidos en las pruebas con carga real evidencian que el sistema responde eficazmente a variaciones de tensión, cumpliendo con los parámetros establecidos por la norma IEEE 519-2014 para el control de distorsiones armónicas y fluctuaciones de voltaje en aplicaciones industriales. A diferencia del sistema desarrollado por Viteri, (2019) orientado a instalaciones residenciales, el presente diseño fue validado en un entorno industrial de 300 kVA, demostrando un rendimiento estable bajo condiciones de carga que no habían sido abordadas en estudios previos de menor escala.

La metodología de caracterización eléctrica, basada en la norma IEC 61000-4-30 Clase A (Neumann,

2007), permitió validar parámetros de tensión y corriente conforme a las condiciones de clase A, como también destacó Legarreta, (2011) en su análisis de equipos de monitoreo sobre la importancia de estándares internacionales, para validar equipos de monitoreo de calidad de energía. Finalmente, la fabricación de la tarjeta de control utilizando componentes comerciales y técnicas de bajo costo presenta una alternativa viable para pequeñas y medianas industrias que requieren modernizar estabilizadores existentes sin incurrir en altos costos. La metodología validada en este estudio puede ser adaptada a otros sistemas industriales que requieran estabilización de voltaje de alta capacidad, siguiendo la tendencia destacada por Moreno, (2014) que proyecta el crecimiento de sistemas con monitoreo remoto para optimizar la gestión energética industrial.

CONCLUSIONES

- El diseño e implementación de la tarjeta de control basada en PIC18F4550 permitió regular con alta precisión la tensión de salida del estabilizador de 300 kVA, respondiendo eficazmente a variaciones de la red, mediante la activación optimizada de combinaciones de contactores.
- Las pruebas en vacío y con carga demostraron que mantener al menos cinco contactores activos garantiza un flujo magnético óptimo y minimiza pérdidas energéticas, validando la lógica de control con histéresis, para prolongar la vida útil de los componentes.
- La solución propuesta combina componentes comerciales de bajo costo, simulación previa y fabricación casera de la tarjeta PCB, ofreciendo una solución práctica y de bajo costo, para la actualización tecnológica de estabilizadores industriales existentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- IEEE. (2014). IEEE recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power systems. In *IEEE Std 519-2014*. Institute of Electrical and Electronics Engineers. Doi: 10.1109/IEEESTD.2014.6826459
- International Electrotechnical Commission (IEC). (2023). IEC 61000-4-30: Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-30: Testing and measurement techniques – Electromagnetic compatibility for power quality measurement equipment. (6th ed.).
- Kundur, P. (1994). *Power system stability and control*. McGraw-Hill.
- Labcenter, E. (s.f.). Proteus 8 [Software]. <https://www.labcenter.com/>
- Legarreta, A., Figueroa, J., & Bortolin, J. (17-19 October 2011). *An IEC 61000-4-30 class A— Power quality monitor: Development and performance analysis*. 11th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation. Lisbon, Portugal.
- López, J., & Reinoso, L. (2021). Diseño e implementación de un módulo de entrenamiento para microcontrolador 18F4550 con software didáctico para la materia de microcontroladores I y II. [Tesis de Licenciatura, Universidad Técnica de Ambato]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21123>
- Microchip datasheet Technology. (Document (2009). No. PIC18F4550 DS39632E). <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632E.pdf>
- Moreno, A., Cárdenas, F., & Alcaraz, G. (2014). Design of a multilevel class D voltage amplifier for relay testing. *IEEE Latin America Transactions*, 12(4), 543–549. DOI:10.1109/TLA.2014.6868853
- Neumann, R. (09-11 October 2007). *The importance of IEC 61000 4-30 class A for the coordination of power quality levels: Is it important?* 9th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation. Barcelona, Spain.
- Pérez, L., & Gattorno, R. (2019). Metodología para la coordinación de los elementos sobrecorrientes y optimización de los esquemas de protección en emplazamiento diesel de generación distribuida. XVIII Simposio Internacional de Ingeniería Eléctrica. Cuba.
- Viteri, R. (2019). *Sistema digital inteligente de protección eléctrica, con supresor de picos y detección de cruce por cero para uso residencial*. [Tesis de Licenciatura, Escuela Politécnica Nacional]. <http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/1903>
- Vivas, A. (2023). *Diseño de una tarjeta de control para la máquina estabilizadora de voltaje de 300KVA marca Samlex*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Experimental del Táchira]. [https://repositorio.unet.edu.ve:8443/jspui/handle/123456789/189912\(4\)](https://repositorio.unet.edu.ve:8443/jspui/handle/123456789/189912(4))