

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE UNIDAD DE MEDICIÓN FASORIAL (PMU – PHASOR MEASUREMENT UNIT) PARA EL MONITOREO, CONTROL Y PROTECCIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS

Diego Ortiz Villalba, Washington Freire Llerena, Danny Espín Sarzosa, Alex Villamarín Jácome

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga, Ecuador

RESUMEN: *En el sistema eléctrico ecuatoriano las transferencias elevadas de potencia han provocado en más de una ocasión inestabilidad en el sistema, por lo que la utilización de las nuevas tecnologías basadas en PMUs (Phasor Measurement Unit) son una solución para afrontar estos inconvenientes.*

En el presente trabajo se diseñó e implementó un prototipo de PMU con tecnología FPGA (Field Programmable Gate Array) para el monitoreo, control y protección de un sistema eléctrico de potencia a nivel de laboratorio, usando una interfaz amigable.

Palabras clave: *Sistemas Eléctricos de Potencia, Instrumentos de Medición de Parámetros Eléctricos, Tecnología FPGA, Prototipos de PMU.*

ABSTRACT: *In the Ecuadorian electrical system high power transfers have resulted in more than one occasion instability in the system, so the use of new technologies based on PMUs (Phasor Measurement Unit) are a solution to address these drawbacks.*

In this paper we designed and implemented a prototype of PMU with FPGA (Field Programmable Gate Array) technology for monitoring, control and protection of electric power system at the laboratory, using a friendly interface.

Keywords: *Electrical Power Systems, Instruments Measuring Electrical Parameters, FPGA technology, PMU prototypes.*

I. INTRODUCCIÓN

Dado que los sistemas eléctricos de potencia se han desarrollado durante el último siglo, las diferentes formas de inestabilidad se hicieron importantes durante diferentes períodos. Los métodos de análisis y resolución de problemas de estabilidad fueron influenciados por los desarrollos existentes en herramientas computacionales, la teoría de la estabilidad y el control tecnológico de sistemas de potencia. Una revisión de la historia de la materia de

estabilidad es útil para un mejor entendimiento de las prácticas de las industrias de energía eléctrica con respecto a la estabilidad del sistema [1].

Los sistemas eléctricos de potencia hoy en día se encuentran cada vez más debilitados y sobrecargados, por lo que un incremento en la diferencia angular entre los dos puntos de las líneas de transmisión podría generar problemas de inestabilidad en el sistema. Las restricciones medioambientales están limitando la expansión de la red de transporte, a la vez que, alejan, cada vez más, la generación del consumo final. Por otra parte, la gran presión del mercado eléctrico fuerza a las compañías eléctricas a aprovechar al máximo sus activos.

En los últimos años se ha incrementado el número de apagones en el mundo por colapso de voltaje, de tal manera, que en promedio en los últimos 40 años se ha presentado al menos un apagón de gran magnitud por año [2].

En el Ecuador el 12 de Abril de 2004 a las 06:07 horas se presentó una falla monofásica sostenida en la fase B de la Línea Electroquil-Gonzalo Zeballos a 69 kV, y luego se perdieron dos unidades de generación en la subestación Gonzalo Zeballos con aproximadamente 140 MW. La condición de falla sostenida afectó el voltaje del Sistema Ecuatoriano hasta la frontera con Colombia, presentando una caída de voltaje en Jamondino del orden de 17 kV entre fases. Dos características P-V extractadas de los registros de falla de los eventos de Septiembre 26 de 2003 y Marzo 29 de 2004 en forma comparativa con el evento de Abril 12 de 2004 representan tres condiciones diferentes en la operación de la interconexión y los comportamientos indican que el voltaje cae progresivamente y supera un valor crítico sin que sea posible detener esa evolución [3].

Por ello, y dada la mayor calidad del suministro eléctrico exigida hoy en día, es necesario operar el sistema de una manera más eficiente y confiable. Las unidades de medición fasorial (PMUs) presentan un

importante número de aplicaciones que permiten aumentar la eficacia de la red, por lo que cada vez más compañías eléctricas optan por implementar PMUs, con el fin de aprovechar las múltiples ventajas que ofrece la medida fasorial [4].

II. METODOLOGÍA

La propuesta tiene como objetivo fundamental construir un sistema de monitoreo sincrofasorial en tiempo real, es decir, un sistema que permite el análisis comparativo fasorial entre dos puntos de la red eléctrica; con la finalidad detectar situaciones de riesgo de inestabilidad y controlar evitando el colapso generalizado de los voltajes del sistema, logrando una operación eficiente dentro de los márgenes eléctricos establecidos. Para el efecto se pretende mostrar mediante una interfaz amigable los sincrofasores de voltajes en las barras de generación y de carga del sistema.

Para el desarrollo de este prototipo de PMU, se tomó en cuenta diversos factores determinantes en el diseño final del prototipo, a continuación en la Figura 01 se detallan los aspectos considerados:

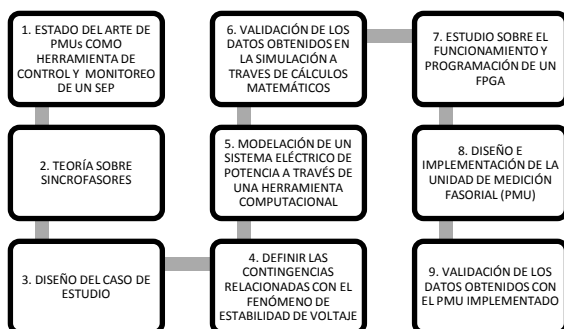


Figura 01: Aspectos considerados en la implementación de un PMU

Estado del Arte: Se diagnosticó la evolución de los PMUs como herramienta acorde a las nuevas tecnologías disponibles en el mundo, para solucionar problemas de estabilidad de voltaje en sistemas eléctricos de potencia.

Sincrofasores: Se estudió la teoría de sincrofasores [5] como herramienta fundamental en la medición sincrofasorial basada en PMUs.

Diseño del caso de estudio: En vista de los equipos con los cuales cuenta la Universidad se analizó la disponibilidad de los mismos y se llegó a la conclusión de utilizar un circuito de

un sistema eléctrico de potencia trifásico balanceado que consta de una fuente de alimentación, un banco de transformadores conectados en Yn-Yn, un módulo de líneas de transmisión, un módulo de resistencias y un módulo de capacitores, el circuito del caso de estudio se muestra en la Figura 02.

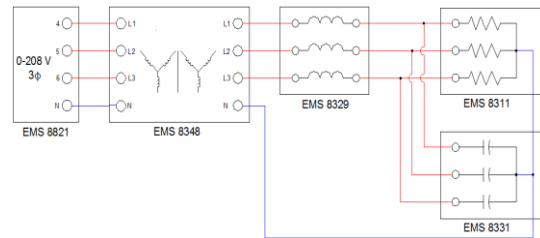


Figura 02: Caso de estudio

Contingencias para provocar inestabilidad de voltaje: Las causas que provocan la inestabilidad de voltaje son varias, entre las que se citan [6]:

- Aumento de la demanda de reactivos de las cargas.
- Sistema de potencia fuertemente sobrecargado.
- Limitaciones en la producción de potencia reactiva que involucran límites de reactivos en generadores y SVCs (Static Var Compesator).
- Limitaciones en la transmisión de potencia reactiva que involucra grandes pérdidas de reactivos en líneas de transmisión fuertemente cargadas.
- Acción de los cambiadores de “taps” de los transformadores.
- Retoma de carga dinámica.
- Salida de líneas y generadores, reducción de la capacidad de producción y transmisión del sistema de potencia.
- Cambios en cascada en el sistema de potencia, como por ejemplo, una serie de salidas o cortes de líneas con el consiguiente alcance del límite de generación de reactivos.

Modelado del caso de estudio: Se desarrolló el modelo del sistema eléctrico de potencia simulando el fenómeno físico de estabilidad de voltaje, el cual fue realizado en el software Matlab - Simulink – SimPowerSystems.

Validación del modelo del caso de estudio: Los valores obtenidos de la simulación fueron validados a través de cálculos matemáticos. Para el caso del circuito modelado sin compensación de reactivos que se muestra en la Figura 03a, se utilizaron las ecuaciones (1), (2), (3) y (4).

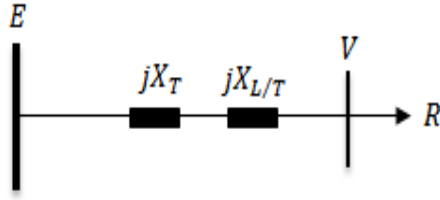


Figura 03a: Circuito sin compensación de reactivos

$$E = \frac{V_{3\phi}}{\sqrt{3}} \quad (1)$$

$$I_L = \frac{E}{X_T + X_{L/T} + R} \quad (2)$$

$$P_{1\phi} = (I_L)^2 \cdot R \quad (3)$$

$$V = E - I_L \cdot (X_T + X_{L/T}) \quad (4)$$

Para el caso del circuito modelado con compensación de reactivos que se muestra en la Figura 03b, se utilizaron las ecuaciones (5), (6), (7) y (8).

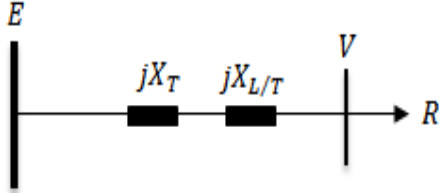


Figura 03b: Circuito con compensación de reactivos

$$E = \frac{V_{3\phi}}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

$$Z_{eq} = (jX_T + jX_{L/T}) + \frac{R \cdot (-jX_C)}{R - jX_C} \quad (6)$$

$$I_L = \frac{V_{1\phi}}{Z_{eq}} \quad (7)$$

$$V = E - I_L \cdot (jX_T + jX_{L/T}) \quad (8)$$

$$Q_{L1\phi} = (I_L)^2 \cdot (jX_T + jX_{L/T}) \quad (9)$$

$$Q_{C1\phi} = \frac{(V)^2}{-jX_C} \quad (10)$$

$$P_{1\phi} = \frac{(V)^2}{R} \quad (11)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{Q_{C1\phi}}{P_{1\phi}} \right) \quad (12)$$

$$f.p. = \cos \theta \quad (13)$$

Funcionamiento y programación de un FPGA: En esta etapa se realizó el estudio de la arquitectura RIO con tecnología FPGA, la misma que proporciona varias ventajas para sistemas de monitoreo y control avanzado.

Diseño e implementación del prototipo: Se realizó el diseño e implementación de los

componentes que conforman el prototipo de PMU.

A continuación se dio inicio a la implementación del prototipo, utilizando dispositivos como son: cuatro transformadores de voltaje, dos transformadores de corriente, tarjeta para adquisición de datos (NI sb-RIO 9636), acondicionadores de señal de disparo de activación/desactivación de carga, interfaz gráfica y programación.

Validación del PMU implementado: Se procedió al ajuste y calibración del prototipo, contrastando con instrumento patrón, que en este caso un analizador de calidad de energía FLUKE 41B [7], con la finalidad de presentar un equipo que posea un margen de error aceptable.

III. IMPLEMENTACIÓN

Con la finalidad de analizar el fenómeno de inestabilidad de voltaje [8], la estabilidad del sistema frente a pequeñas y grandes perturbaciones [9], detección de fallas de sistema, y hacer un control adecuado de la acción de los bancos de pruebas del sistema eléctrico de potencia a escala implementado en el Laboratorio, realizando el análisis del sistema en tiempo real y en estado estable. El objetivo más importante en el desarrollo de la investigación de estos sistemas de energía basada en banco de pruebas, es una medición precisa de los parámetros del sistema en tiempo real que es aplicable mediante el uso de los PMUs. Por lo tanto, este proyecto se concentró en el desarrollo de un prototipo de PMU mediante el uso de arquitectura RIO con tecnología FPGA y un software para la medición sincrofásorial desarrollado en LabVIEW utilizando las herramientas del Electrical Power Suite, las cuales cumplen con lo estipulado en la norma IEEE C37.118:2005 [10], con fines de medición y control. La Figura 04 muestra los elementos que forman el circuito de potencia a escala junto con el PMU implementado. La fuente de alimentación utilizada en este circuito, es de 200 V a 60 Hz. Cada fase tiene su propio TP y TC que tienen una relación de tensión de 200 Vrms a 6 Vrms y relación de 5 A a 2 Vrms, respectivamente. Las líneas de transmisión están diseñadas basándose en el modelo de impedancia en serie porque es una línea de corta distancia. El módulo de carga resistiva permite conmutar a 1200, 600 y 300 Ohmios. El módulo de carga capacitiva permite conmutar a 1200, 600 y 300 Ohmios (X_C).

El sistema de medición se efectuó con el sistema embebido de National Instruments, Kit Evaluation NI Single Board RIO 9636, con 6 entradas analógicas conectados a los lados secundarios de los 2 TCs y 4 TPs, debido a la insuficiente cantidad de entradas analógicas se estimó el voltaje en la tercera fase de la barra de generación y carga, así como también la corriente en la tercera línea del sistema. Además, las 4 salidas digitales y 2 analógicas del sb-RIO 9636 se utilizaron para conectar el control de activación/desactivación de los bancos de resistencias y capacitores.

Con el fin de sincronizar los fasores medidos de voltaje y corriente del sistema, los PMUs de tipo industrial para una amplia zona del sistema de energía utilizan el sistema GPS para coordinar su tiempo con referencia de tiempo global [11]. Además, todos los PMUs reciben una señal durante un segundo para hacer referencia de tiempo para todos los parámetros medidos. Por aplicación de la investigación, esta referencia de tiempo puede ser proporcionada por el sistema de medición. Por lo tanto, en esta implementación se creó una forma de onda para los dispositivos de medición, para actuar como la comparación de forma de onda con cualquier señal medida para lograr su ángulo de fase en tiempo único referencial para todo el sistema. La forma de onda del primer voltaje fue seleccionada para ser la referencia de las otras señales adquiridas y por lo tanto su faser tendrá voltaje con ángulo de cero y los demás fasores se harán referencia a este voltaje para el ángulo del faser.

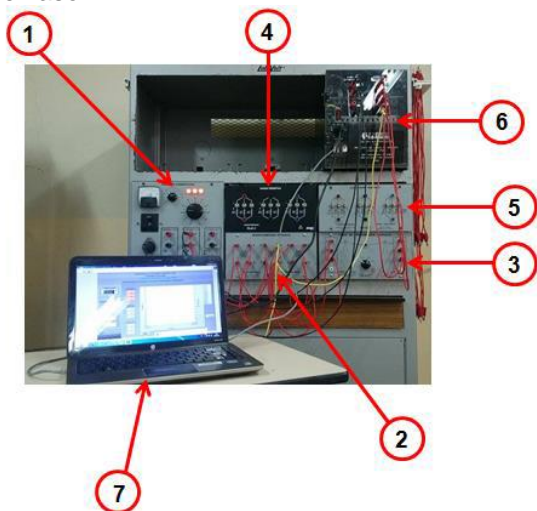


Figura 04: PMU implementado en el circuito de potencia

A continuación se detallan los elementos que se enumeran en la Figura 04:

1. EMS 8821 Módulo de suministro de potencia (0-120/208 V 3 Φ)
2. EMS 8348 Módulo de transformador trifásico
3. EMS 8329 Módulo de la línea de transmisión trifásica
4. EMS 8311 Módulo de resistencia
5. EMS 8331 Módulo de capacitancia
6. Prototipo de Unidad de Medición Fasorial (PMU)
7. Computador

IV. RESULTADOS

A. Resultados simulados

En la Figura 05a se indica el algoritmo del circuito con la contingencia que provoca la inestabilidad de voltaje en la barra de carga.

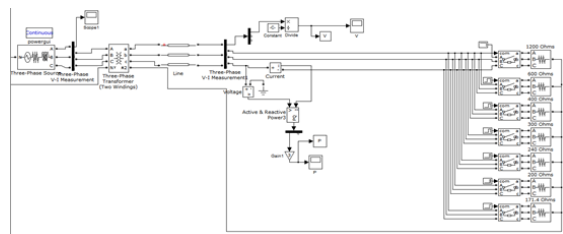


Figura 05a: Circuito modelado sin compensación de reactivos en Matlab-Simulink

En el circuito del caso de estudio se provocó la contingencia de un sistema de potencia fuertemente cargado, el resultado obtenido del modelo anterior fue la curva P-V que se muestra en la Figura 05b.

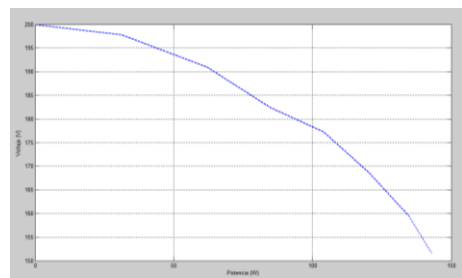


Figura 05b: Curva P-V obtenida en la barra de carga

En la Figura 05c se indica el algoritmo del circuito con la solución a la contingencia que provoca la inestabilidad de voltaje en la barra de carga.

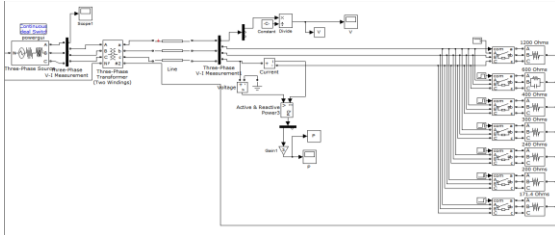


Figura 05c: Circuito modelado con compensación de reactivos en Matlab-Simulink

Para mitigar la contingencia se agregaron al modelo cargas capacitivas en paralelo a todas las cargas resistivas, el resultado obtenido del modelo anterior fue mantener el voltaje estable en la barra de carga del sistema dentro de valores aceptables luego de que se produzca la perturbación, como se muestra en la Figura 05d.



Figura 05d: Perfil de voltaje compensado en la barra de carga

B. Resultados calculados

Con las ecuaciones que rigen el circuito de la Figura 03a, se demuestra el fenómeno de inestabilidad de voltaje, como se muestra en la Figura 06 mientras incrementa la potencia activa, disminuye el voltaje en la barra de carga.

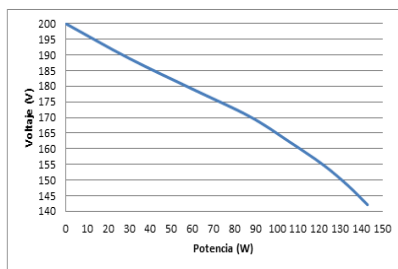


Figura 06: Curva P-V realizada con los valores calculados

C. Resultados medidos

La Figura 07a muestra la curva P-V que se obtiene con el prototipo de PMU que se implementó en el caso de estudio y en la Figura 07b se indica el perfil de voltaje compensado en la barra de carga.

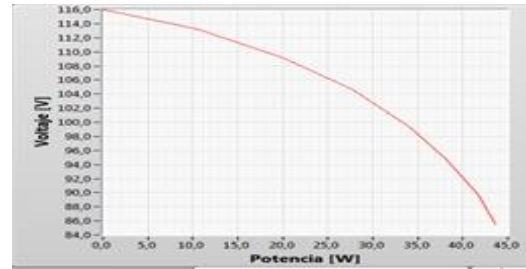


Figura 07a: Curva P-V realizada con los valores calculados

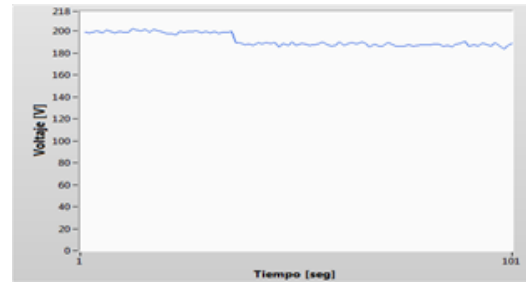


Figura 07b: Perfil de voltaje compensado en la barra de carga

La diferencia angular (Figura 07c) entre los voltajes de la barra de generación y de carga es detectada con el PMU, con lo que se demuestra mientras el sistema es sobrecargado, la diferencia angular va en aumento y el voltaje reduce en la barra de carga.

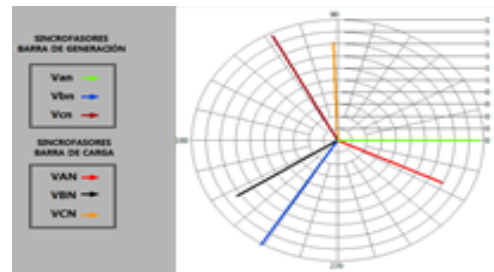


Figura 07c: Perfil de voltaje compensado en la barra de carga

D. Errores de mediciones

La Tabla 01 muestra el análisis porcentual del margen de error de la comparación entre los los valores de voltajes sin compensación simulados, medidos con el prototipo y contrastados con el instrumento patrón.

Tabla 01: Errores de los valores de voltajes sin compensación

Carga (Ω)	Voltajes obtenidos de la simulación (V)	Voltajes obtenidos con el PMU (V)	Voltajes obtenidos con el instrumento (V)	[% Error] entre los valores de la simulación y el PMU	[% Error] entre los valores del instrumento patrón y el PMU
0	115,47	115,30	115,40	0,14	0,08
1200	114,22	111,60	111,20	2,29	0,35
600	111,76	107,80	107,60	3,54	0,18
400	108,87	104,20	103,90	4,28	0,28
300	105,37	98,50	98,90	6,51	0,40
240	98,41	94,40	94,10	4,07	0,32
200	95,29	89,90	89,70	5,65	0,22
171,4	90,97	85,60	86,10	5,90	0,58

La Tabla 02 muestra el análisis porcentual del margen de error de la comparación entre los valores de potencias activas sin compensación simulados, medidos con el prototipo y contrastados con el instrumento patrón.

Tabla 02: Errores de los valores de voltajes con compensación

Carga (Ω)	Potencias activas obtenidas de la simulación (W)	Potencias activas obtenidas con el PMU (W)	Potencias activas obtenidas con el instrumento patrón (W)	[% Error] entre los valores de la simulación y el PMU	[% Error] entre los valores del instrumento patrón y el PMU
0	0	0	0	0	0
1200	10,38	10,35	10,30	0,29	0,49
600	20,90	19,95	19,26	4,54	3,58
400	28,18	27,37	26,54	2,87	3,13
300	34,68	33,45	33,72	3,55	0,80
240	39,98	37,99	37,39	4,98	1,60
200	42,35	41,39	41,21	2,27	0,44
171,4	47,52	43,59	44,73	8,27	2,55

La Tabla 03 muestra el análisis porcentual del margen de error de la comparación entre los valores de voltajes con compensación simulados, medidos con el prototipo y contrastados con el instrumento patrón.

Tabla 03: Errores de los valores de voltajes con compensación

Carga (Ω)	Voltajes obtenidos de la simulación (V)	Voltajes obtenidos con el PMU (V)	Voltajes obtenidos con el instrumento (V)	[% Error] entre los valores de la simulación y el PMU	[% Error] entre los valores del instrumento patrón y el PMU
300	119,72	115,8	116,10	3,27	0,26
240	118,92	108,60	109,20	8,68	0,55
200	118,90	108,90	109,30	8,41	0,37
171,4	126,04	112,90	113,1	10,43	0,18

La Tabla 04 muestra el análisis porcentual del margen de error de la comparación entre los valores de factores de potencia (f.p.) con compensación simulados, medidos con el

prototipo y contrastados con el instrumento patrón.

Tabla 04: Errores de los f.p. con compensación

Carga (Ω)	f.p. obtenidos de la simulación (V)	f.p. obtenidos con el PMU (V)	f.p. obtenidos con el instrumento (V)	[% Error] entre los valores de la simulación y el PMU	[% Error] entre los valores del instrumento patrón y el PMU
300	0,92	0,91	0,90	1,09	1,11
240	0,93	0,94	0,93	1,08	1,08
200	0,90	0,91	0,92	1,11	1,09
171,4	0,81	0,84	0,83	3,70	1,20

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El prototipo de PMU fue probado e implementado, posee una interfaz intuitiva, amigable y de fácil acceso. Los usuarios pueden acceder a la información las formas de onda de voltajes y corrientes, los parámetros eléctricos del sistema, la pantalla para generar la curva P-V del sistema, así como también a la gráfica en tiempo real de los sincrofasores.

• ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS VALORES DE LOS VOLTAJES SIN COMPENSACIÓN

Como lo indica la Tabla 05, con el prototipo se obtuvo un error promedio de +0,30% en la medición de los voltajes sin compensación, tomando en cuenta que todo prototipo presenta en sus características un margen de error considerable.

Tabla 05: Análisis de los valores de voltajes sin compensación

Error mínimo (%)	Error máximo (%)	Error promedio (%)
0,08	0,58	0,30

• ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS VALORES DE LAS POTENCIAS ACTIVAS SIN COMPENSACIÓN

La Tabla 06 muestra el análisis de errores de los valores obtenidos con el prototipo en relación a las potencias activas sin compensación, donde el error promedio que es de +1,57%.

Tabla 06: Análisis de los valores de potencias activas sin compensación

Error mínimo (%)	Error máximo (%)	Error promedio (%)
0	3,58	1,57

- **ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS VALORES DE LOS VOLTAJES CON COMPENSACIÓN**

La Tabla 07 muestra el análisis de errores de los valores de voltajes con compensación obtenidos con el prototipo, donde el error promedio que es de +0,34%.

Tabla 07: Análisis de los valores de voltajes con compensación

Error mínimo (%)	Error máximo (%)	Error promedio (%)
0,18	0,55	0,34

- **ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS VALORES DE LOS FACTORES DE POTENCIA CON COMPENSACIÓN**

En la Tabla 08 se muestra el análisis de errores de los valores de f.p. con compensación obtenidos con el prototipo, donde el error promedio que es de +1,12%.

Tabla 08: Análisis de los valores de f.p. con compensación

Error mínimo (%)	Error máximo (%)	Error promedio (%)
1,08	1,20	1,12

VI. CONCLUSIONES

- Los resultados que se obtuvieron en la simulación, en los cálculos matemáticos y que se adquirieron con el PMU implementado son coherentes porque los porcentajes de errores son mínimos.
- Con el prototipo de PMU se consiguió monitorear en tiempo real el sistema de potencia mediante software y el uso de tecnología FPGA con arquitectura RIO, detectar situaciones de riesgo de inestabilidad y controlar evitando el colapso generalizado de los voltajes del sistema, logrando una operación eficiente dentro de los márgenes eléctricos.
- Se realizó una interfaz para el usuario a través del software LabVIEW myRIO 2013 para monitorear, controlar y proteger al sistema eléctrico de potencia implementado, el sistema de medición sincrofasorial cumple con lo estipulado en la norma IEEE C37.118:2005.

VII. REFERENCIAS

[1] P. Kundur, *Power Stability and Control*. New York, 1994.

[2] O. Arango, "Análisis de estabilidad de voltaje en tiempo real," 2006.

[3] S. Carvajal and J. Ortega, "Herramienta Computacional básica para el análisis y contribución en la prevención de apagones," 2009.

[4] G. J. Araque and R. Barba, "Unidades de Medición Fasorial - PMU," pp. 44–50.

[5] A. Phadke and J. Thorp, *Synchronized Phasor Measurements and Their Applications*. Boston, 2008.

[6] I. A. Ortiz, S. A. Pil, I. J. Játiva, and D. Ph, "Análisis de Estabilidad de Voltaje en Estado Estable del Sistema de Subtransmisión de la Empresa Eléctrica Quito." Quito.

[7] FLUKE, "Analizador de Calidad de Energía." [Online]. Available: <http://www.fluke.com/fluke/eces/medido-res-de-calidad-de-la-energia-electrica/instrumentos-para-solucionar-problemas-de-calidad-electrica/41b.htm?PID=54783>.

[8] T. Van Cutsem and C. Vournas, *Voltage Stability of Electric Power Systems*, First. New York, 2008.

[9] P. Kundur, J. Paserba, V. Ajjarapu, G. Andersson, A. Bose, C. Cañizares, N. Hatzargyriou, D. Hill, A. Stankovic, C. W. Taylor, T. Van Cutsem, and V. Vittal, "Definition and Classification of Power System Stability," *IEEE/CIGRE Jt. Task Force Stab. Terms Defin.*, pp. 1–15, 2004.

[10] I. C37.118, *IEEE Standard for Synchrophasors for Power Systems*. 2011.

[11] V. Salehi, S. Member, A. Mazloomzadeh, S. Member, and O. Mohammed, "Development and Implementation of a Phasor Measurement Unit for Real-Time Monitoring, Control and Protection of Power Systems," pp. 1–7, 2011.

BIOGRAFÍAS:

Danny Alexander Espín Sarzosa: Nació el 30 de mayo de 1990 en la ciudad de Latacunga, cursó sus estudios de bachillerato en el Instituto Tecnológico Superior Ramón Barba Naranjo de la ciudad de Latacunga, sus estudios superiores de Ingeniería Electromecánica en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Participó como expositor en las Séptimas Jornadas Nacionales de Ingeniería Electromecánica realizadas en Loja, en Junio del 2012.

Su proyecto de titulación trata sobre diseño e implementación de un prototipo de unidad de medición fasorial (PMU – Phasor Measurement Unit) para el monitoreo, control y protección de sistemas eléctricos.

Alex Fernando Villamarín Jácome: Nació el 10 de agosto de 1990 en la ciudad de Latacunga, cursó sus estudios de bachillerato en el Instituto Tecnológico Superior Ramón Barba Naranjo de la ciudad de Latacunga, sus estudios superiores de Ingeniería Electromecánica en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Participó como expositor en las Séptimas Jornadas Nacionales de Ingeniería Electromecánica realizadas en Loja, en Junio del 2012.

Su proyecto de titulación trata sobre diseño e implementación de un prototipo de unidad de medición fasorial (PMU – Phasor Measurement Unit) para el monitoreo, control y protección de sistemas eléctricos.