

Monitoreo continuo de variables de calidad y seguridad en subestaciones transformadoras urbanas

Damian Marasco

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Del Neuquén
Plaza Huincol, Argentina
ndm922@hotmail.com

Ariel Agnello

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Del Neuquén
Plaza Huincol, Argentina
arielagn@hotmail.com

Javier Vallejos

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Del Neuquén
Plaza Huincol, Argentina
olindo26@gmail.com

Gustavo Monte

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Del Neuquén
Plaza Huincol, Argentina
gustavo.monte@ieec.org

Norberto Scarone

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Del Neuquén
Plaza Huincol, Argentina
scarone_norberto@hotmail.com

Pablo Liscovsky

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Del Neuquén
Plaza Huincol, Argentina
pliscovsky@frn.utm.edu.ar

Ruben Bufanio

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Del Neuquén
Plaza Huincol, Argentina
ruben.bufanio@speedy.com.ar

Lucas Solorzano

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Del Neuquén
Plaza Huincol, Argentina
lucasolorzano@gmail.com

Resumen—Debido a las grandes demandas que se generan durante el periodo estival, las subestaciones urbanas trabajan en un punto crítico que depende de la temperatura ambiente, del desequilibrio de las fases, de los puntos calientes y del desgaste natural, características que se agravan con el paso del tiempo. Este trabajo presenta el desarrollo del sistema de monitoreo continuo de variables de calidad eléctricas, acústicas, mecánicas y térmicas para subestaciones transformadoras urbanas. La información obtenida permite inferir la evolución de su estado operativo minimizando el impacto ambiental y asegurando la calidad del suministro.

Palabras clave—monitoreo continuo, microcontroladores, calidad de energía, impacto ambiental, cámaras infrarrojas.

I. INTRODUCCION

La **IoT** (*Internet Of Things*) ha revolucionado, no solo la forma de hacer negocios, sino nuestra interacción con el mundo [1]. Constantemente surgen nuevos paradigmas para el tratamiento de señales de sensores debido a la inteligencia disponible en el punto de adquisición y a la conectividad extrema.

Las redes de distribución eléctrica están migrando hacia redes inteligentes [2]. El concepto de monitorear los elementos de una red fue focalizado, en sus inicios, a los elementos más costosos [3]. La convergencia tecnológica propiciada por la **IoT** permite, sobre todo por la reducción drástica de costos, proponer soluciones tecnológicas en situaciones jamás pensadas. Esta “nueva” información alimenta los procesos de toma de decisiones empleando paradigmas de *Big Data* e inteligencia computacional. En particular, este trabajo presenta el monitoreo integral de subestaciones transformadoras urbanas de intemperie. Tres motivos principales sustentan la iniciativa, como se observa en la Fig. 1. Se monitorea el estado de salud de la **SET** (Subestación Transformadora) y se obtiene información del

estado de operación. El conocimiento de su estado integral actual, juntamente con la información obtenida en el pasado permite inferir estados futuros, certificar calidad de servicio y predecir posibles anomalías como se detallan en la siguiente sección.



Fig. 1. Síntesis de la justificación del sistema propuesto.

II. DESARROLLO DEL SISTEMA

A. Variables observadas

El sistema monitorea variables eléctricas, mecánicas y térmicas de forma integral como se muestra en la Fig. 2 para potenciar el uso de algoritmos de inferencia.

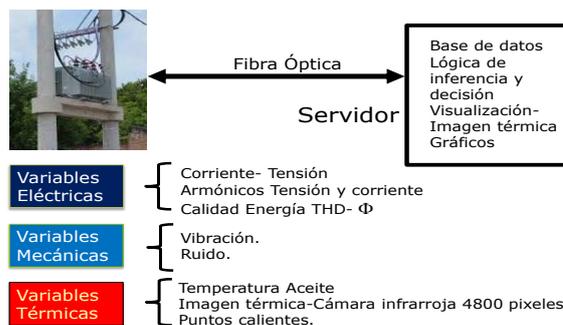


Fig. 2. Sistema integral de monitoreo de SETs.

Los datos actualmente son reportados mediante un canal de fibra óptica, pero pueden utilizarse otros canales de comunicación. El sistema se desarrolló bajo un concepto modular de cuatro bloques interconectados mediante RS485: *Calidad de energía, variables mecánicas, variables térmicas y comunicación*. Los cuatro módulos son supervisados por una fuente conmutada microcontrolada, con cargador de batería. Los módulos se supervisan entre ellos para asegurar el correcto funcionamiento y se posee la capacidad de interrumpir la energía a cada módulo ante fallos que pudieran incluir latch-up [4], ya que es un sistema de muy difícil acceso para la restauración.

B. Módulo variables eléctricas

Esta etapa involucra la medición de las variables eléctricas de la SET, donde los parámetros principales a medir son frecuencia, amplitud, distorsión armónica, en tensión y corriente y anomalías de tensión como micro cortes y fluctuaciones. Se adquieren tensión y corriente por fase incluyendo al neutro. Requiere un cuidadoso diseño para adquirir en forma lineal, sin distorsión, información hasta el armónico de orden 50. Todos los parámetros eléctricos son adquiridos y procesados bajo la norma IEC 61000-4-30 [5]. La adquisición de las señales de tensión y corriente se realiza mediante un sistema interno de doble buffer que permite almacenar los datos adquiridos en uno de los buffers mientras se procesa el otro, garantizando la adquisición y procesamiento a la totalidad de las señales.

Cada buffer abarca 200ms de cada fase de tensión y corriente, adquiridos a una frecuencia de muestreo de 8 kHz. Finalizada la adquisición, se aplica el esquema de procesamiento que se observa en la Fig. 3.

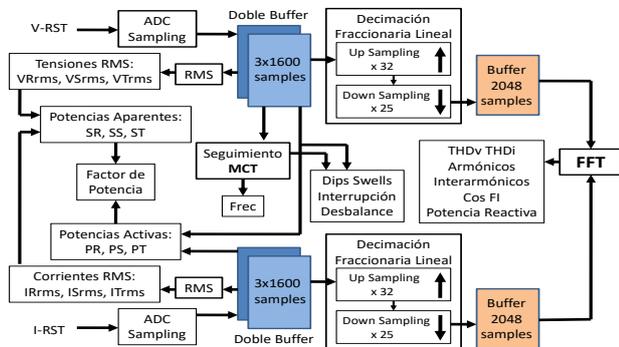


Fig. 3. Esquema de procesamiento de calidad de energía.

El hardware y software son de diseño totalmente propio y se centra en un microcontrolador ARM Cortex M7 [6] programado en lenguaje C. La etapa de aislación y digitalización incorpora a un convertor analógico digital de 24 bits Sigma Delta con conversión simultánea basado en el CI ADS131E8 [7]. Los algoritmos de FFT y cálculos vectoriales están basados en la librería CMSIS-DSP para punto flotante de simple precisión, optimizada en lenguaje assembler [8]. El cálculo de frecuencia se basa en el estándar IEEE 21451-001-2017 [9]. Se capturan los máximos y mínimos de la onda de tensión y se enlazan los nuevos eventos para los tiempos esperados. La frecuencia reportada es la inversa de periodo promedio de los últimos 500 eventos consistentes, logrando una precisión de 0.01 Hz. El tiempo total de procesamiento de un buffer de 200 ms es de 80 ms, que incluye al tiempo de adquisición del buffer alterno.

C. Módulo vibración, sonido y temperatura

Este sistema emplea un acelerómetro triaxial acoplado mecánicamente al transformador, dos micrófonos para cuantificar la contaminación ambiental y un sensor de temperatura. La información reportada de vibración corresponde al valor RMS promediado de cada eje. La señal de sonido es procesada para obtener un análisis espectral en baja frecuencia, debajo del 1kHz. Este espectro es promediado constantemente de manera tal que toda señal persistente será detectada, independientemente del ruido ambiental, mientras que el ruido no sea periódico. Este subsistema está diseñado sobre un microcontrolador PIC24FJ128GA202 [10] en una placa independiente.

D. Módulo cámara térmica

Esta etapa involucra el desarrollo del sistema de adquisición y procesamiento de imágenes térmicas mediante una cámara IR de bajo costo de 80 x 60 píxeles infrarrojos [11]. Este subsistema está orientado al monitoreo permanente de un proceso o dispositivo crítico que requiere monitoreo frecuente de su evolución térmica.

El módulo está basado en el DSPIC33EP256GP502 [12] de Microchip, debido a principalmente a cuatro motivos: velocidad de ejecución, tamaño de RAM, costo y arquitectura de 16 bits para procesar eficientemente los píxeles empaquetados también en 16 bits. Se adquiere y se procesa la imagen de 4800 píxeles en busca de puntos calientes para seguir la evolución temporal de ellos en el software lado servidor. La cámara IR enfoca los terminales de baja tensión que son los puntos críticos de los transformadores, ver Fig. 4.

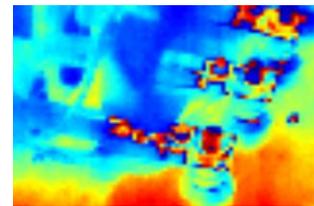


Fig. 4. Imagen térmica de la SET capturada con nuestro sistema de adquisición: Se observan los tres terminales de baja del transformador.

E. Módulo comunicación

Este módulo, desarrollado en base a un microcontrolador PIC32MX795F512 [13], posee dos funciones importantes. Primero es máster de la red interna RS485 y ante la falta de respuesta de un integrante, corta y restaura la energía ya que contiene los relés de corte. A su vez, este módulo y el de energía se supervisan mutuamente. Segundo, posee el puerto Ethernet para la comunicación con el lado servidor remoto.

F. Software lado servidor

El *backend* fue montado en un servidor LINUX, la base de datos se desarrolló en PostgreSQL y se empleó el *framework* Django para visualización, interacción y manejo de alarmas. [14].

III. CONCLUSIONES

Se ha desarrollado completamente un sistema electrónico complejo que monitorea las condiciones de operación e impacto ambiental de las SET que incluye variables de calidad de energía, mecánicas y de comportamiento térmico. El sistema fue instalado en una SET y se encuentra operativo. El fundamento de los sistemas de gestión modernos es la medición de las variables que afectan la calidad del servicio.

REFERENCIAS

- [1] A. R. Biswas and R. Giaffreda, "IoT and cloud convergence: Opportunities and challenges," 2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT), Seoul, 2014, pp. 375-376, doi: 10.1109/WF-IoT.2014.6803194.
- [2] A. Annaswamy, "IEEE Vision for Smart Grid Control: 2030 and Beyond Roadmap," in IEEE Vision for Smart Grid Control: 2030 and Beyond Roadmap , vol., no., pp.1-12, 24 Oct. 2013, doi: 10.1109/IEEESTD.2013.6648362.
- [3] T. Leibfried, "Online monitoring of power transformers-system technology and data evaluation," 1999 Eleventh International Symposium on High Voltage Engineering, London, UK, 1999, pp. 184-187 vol.5, doi: 10.1049/cp:19990916.
- [4] S. Liang et al., "A study of latch-up mechanisms for adjacent pins on multiple power supply circuits," Proceedings of the 20th IEEE International Symposium on the Physical and Failure Analysis of Integrated Circuits (IPFA), Suzhou, 2013, pp. 78-82, doi: 10.1109/IPFA.2013.6599130.
- [5] IEC 61000-4-30: Testing and measurement techniques for Power Quality Measurement methods. <https://webstore.ansi.org/standards/iec/iec6100030ed2015>.
- [6] <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f746ng.html>
- [7] ADS131E8 -24-Bit, 64kSPS, 8-Ch Simultaneous Sampling ADC, Texas Instruments. Available:<http://www.ti.com/product/ADS131E08>.
- [8] <https://developer.arm.com/tools-and-software/embedded/cmsis>
- [9] 21451-001-2017 - IEEE Recommended Practice for Signal Treatment Applied to Smart Transducers. <https://standards.ieee.org/standard/21451-001-2017.html>.
- [10] <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC24FJ128GA202>
- [11] Módulo de microcámara térmica LWIR <https://www.flir.es/products/lepton/?model=500-0763-01>.
- [12] <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/dsPIC33EP256GP502>
- [13] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/61156g.pdf>
- [14] Django Python Web framework <https://www.djangoproject.com/>