

C3

SISTEMA INTELIGENTE INALÁMBRICO PARA ANÁLISIS Y MONITORIZACIÓN DE LÍNEAS DE TENSIÓN SUBTERRÁNEAS EN SMART GRIDS (SIAM)

Romero Hinojosa, Francisco; Parejo Matos, Antonio; Larios Marín, Diego Francisco; León de Mora, Carlos. Grupo de investigación TIC-150: Tecnología Electrónica e Informática Industrial. Departamento de Tecnología Electrónica. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Sevilla.

RESUMEN

El mantenimiento de la infraestructura eléctrica supone un enorme coste para las compañías. Por ello, es una línea de investigación activa el desarrollo de sistemas de monitorización de dicha infraestructura. Lamentablemente, es inevitable que se sigan produciendo algunos desperfectos, debido a agentes externos y al propio desgaste de las instalaciones.

Estos problemas provocan las “faltas” (que es la interrupción del suministro eléctrico en una zona afectada). Ante dichas faltas las compañías deben actuar con la mayor celeridad posible (identificando la posición de la falta y reconfigurando la red). No obstante, a pesar de los avances existentes en monitorización de líneas eléctricas, la localización de una “falta” no es un problema sencillo, requiriendo una gran inversión de recursos materiales y humanos. Una de las infraestructuras en las que más se agrava este problema es en las líneas de media tensión subterráneas, ya que su monitorización actualmente está poco desarrollada.

Por ello, en el marco del proyecto SIAM se han investigado diversas soluciones para la monitorización de este tipo de líneas de distribución, para las cuales actualmente se está finalizando el desarrollo de un prototipo preindustrial, que permita monitorizar y facilite la localización en caso de falta.

Palabras clave: *Red Eléctrica Inteligente, Localización de Faltas, Línea Eléctrica subterránea, PLC.*

ABSTRACT

The maintenance of electrical structure to guarantee the proper functioning of service, pose a huge cost for the electrical enterprises. This causes that monitoring of the electrical infrastructure becomes an active research line, so we can reach a fast error detection and reduce the electrical lines problems. Unfortunately, it is impossible to avoid damages in the system caused by external agents, that causes electrical installation wear away.

These Problems produce “faults” (Interruption of energy supply over one affected area).

The companies need to fix this fault quickly (The Company need to locate the fault and reconfigure the electrical network, trying to restore the energy supply to the bigger number of clients). However, the fault location need to employ a lot of workers and materials, despite nowadays the monitoring process is very advanced.

This problem is worse in the medium voltage underground lines, because of fault monitoring devices are little developed here.

In SIAM Project, we have studied some solutions to fix monitoring problem of underground medium voltage lines. Currently, we have finished a prototype that can monitor and locate fault in medium voltage underground lines without the need to damage the cable or its shield.

Keywords: *Smart Grid, Fault Location, Underground Electrical Line, Power Line Communication.*

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El proyecto SIAM (Sistema Inteligente Inalámbrico para Análisis y Monitorización de Líneas de Tensión Subterráneas en Smart Grids) está englobado en el concepto que se conoce actualmente como

Smart Grids [1], dentro del paradigma de las ciudades inteligentes (en inglés, *Smart Cities*) [2]. Smart grids se utiliza para referirse a las redes de distribución eléctrica "inteligentes" [3]. La red inteligente se define así porque son redes eléctricas donde la electricidad no solo va hacia un sentido, sino que es bidireccional.

Las Smart Grids son básicamente redes de distribución eléctrica combinadas con modernas tecnologías de información [4], que proporcionan datos tanto a las empresas distribuidoras de electricidad como a los consumidores, lo que es ventajoso para ambas partes. Por lo tanto, la Smart Grid es más compleja en su funcionamiento que la actual red eléctrica.

En las smart grids se está tendiendo al paradigma de los sistemas autocicatrizantes (self-healing) [5][6], los cuales, son sistemas compuestos por sensores y software avanzado que usan datos en tiempo real para aislar y reconfigurar la red de distribución, con esto se pretende minimizar el impacto en los clientes (véase la Figura), buscando maximizar la eficiencia de la red [7]. Para lograr este objetivo, se recurre a las técnicas de Localización de faltas, aislamiento y restauración del servicio (Fault Location Isolation and Service Restoration, FLIR).

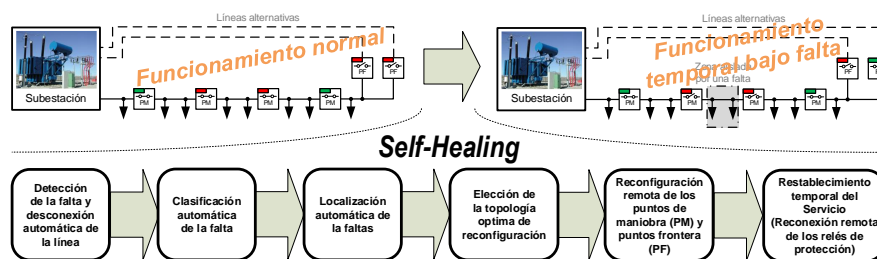


Figura 1: Self-Healing [8].

El proyecto SIAM, actualmente en desarrollo, plantea el diseño de un sistema enmarcado dentro de las ciudades inteligentes que permita la monitorización de las instalaciones de distribución eléctrica subterráneas de media tensión.

Una falta (cualquier evento que provoca una alteración en la corriente eléctrica que circula por una línea, tal y como se observa en la Figura), en este tipo de redes afecta de manera muy significativa a la calidad del servicio de los usuarios. Es por ello que las empresas suministradoras están muy interesadas en la supervisión de estos tipos de redes, que a día de hoy no cuentan con la sensorización adecuada para detectar y localizar estas incidencias.

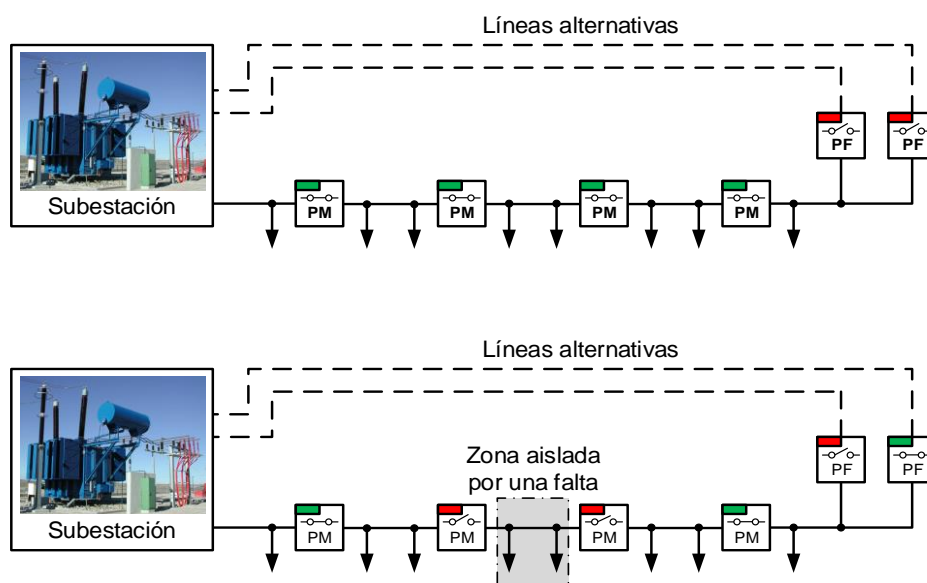


Figura 2: Zona aislada por una falta [8].

Tal y como se representa en la Figura , el proyecto SIAM propone una red de sensores [9] para realizar dicha monitorización, basándose en el empleo de algoritmos de inteligencia computacional (*Intelligent Computation, IC*); redes neuronales (*Artificial Neural Networks, ANNs*), lógica difusa (*Fuzzy Logic, FL*), árboles de decisión (*Decision Trees, DTs*) o máquina de soporte de vectores (*Support Vector Machines, SVMs*) [8], para la detección de las incidencias, tales como cortocircuitos y/o roturas de los cables. Estos algoritmos han sido testeados mediante simuladores diseñados específicamente para tal fin, demostrando obtener un éxito en la localización de faltas muy superior a la obtenida con otros sistemas de monitorización.

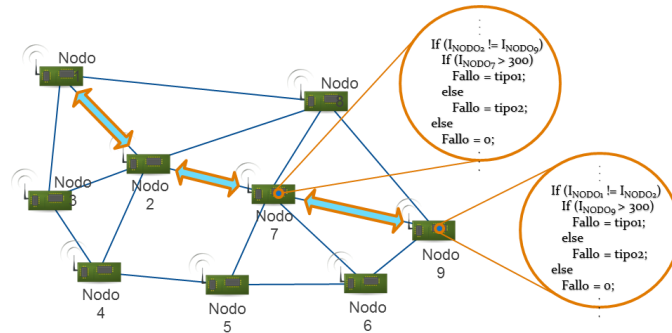


Figura 3: Arquitectura de SIAM.

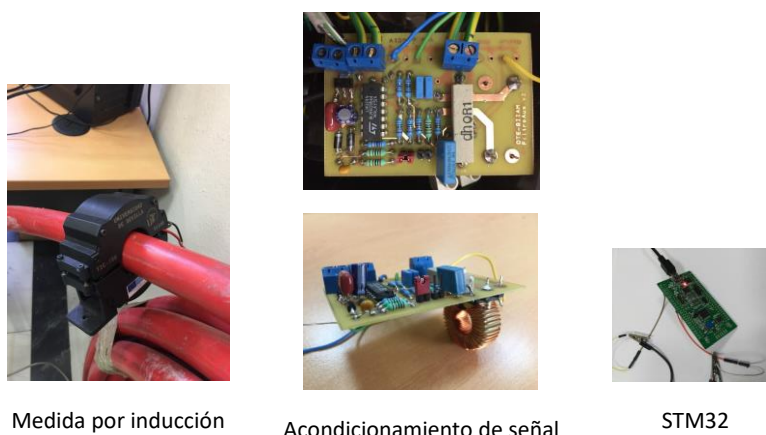
METODOLOGÍA

Tras un período de investigación y pruebas, se ha decidido que cada dispositivo SIAM debe estar compuesto de varios subsistemas.

Subsistema de medida

Se representa en la

Figura y es el encargado de medir los armónicos presentes en las corrientes de fase de cada segmento de la línea trifásica a monitorizar. Para ello, se cuenta con diversos sensores de corriente, los cuales se acoplan a cada línea, y mediante inducción captan la intensidad que circula por ella, además de disponerse de un sistema de procesado de bajo consumo, capaz de detectar, mediante el debido acondicionamiento de la señal, si los valores obtenidos están fuera de rango, empleando algoritmos IC, todo este proceso de captación está gestionado mediante un procesador cortex M3.



Medida por inducción

Acondicionamiento de señal

STM32

Figura 4: Subsistema de medida

Subsistema de comunicaciones

Su funcionamiento se representa en la Figura 5. Está basado en tecnología PLC (*Power Line Communication*), sigue el estándar IEC 61334-5-1 y permite emplear los propios cables a monitorizar como medio de transporte de la información. Empleando algoritmos de reencaminamiento de bajo consumo [10], es posible recoger en un sistema central toda la información sobre el estado actual de la red. Este subsistema está representado en la Figura 5.

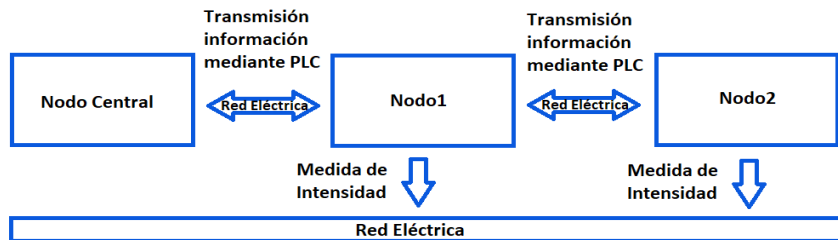
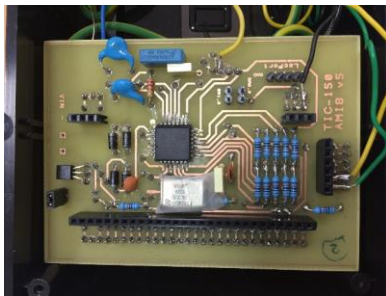
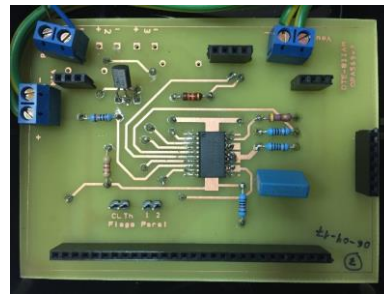


Figura 5: Funcionamiento Subsistema de comunicaciones.



Modem PLC



Acondicionamiento de señal

Figura 6: Subsistema de comunicaciones

Subsistema de alimentación

Se representa en la Figura 7. Está basado en tecnología de recolección energética [11], de forma que aprovecha los campos eléctricos generados por los propios cables, durante su funcionamiento normal, para cargar las baterías requeridas para alimentar el sistema.

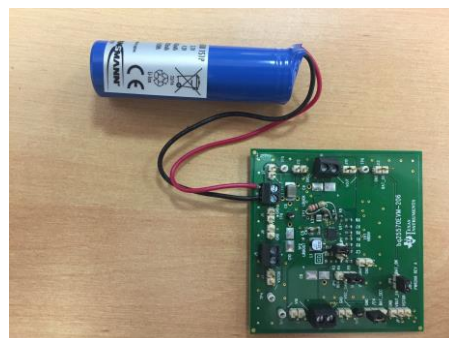


Figura 7: Subsistema de alimentación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Siguiendo la metodología descrita anteriormente, se diseñó y construyó un prototipo inicial. Con este prototipo se realizaron varias pruebas para garantizar el correcto funcionamiento de todos los

subsistemas diseñados, así como realizar diversos ajustes y mejoras. Además, se han realizado pruebas de campo (Figura 8) para observar el funcionamiento del sistema de comunicación entre dos dispositivos iguales, siendo los resultados satisfactorios. Figura

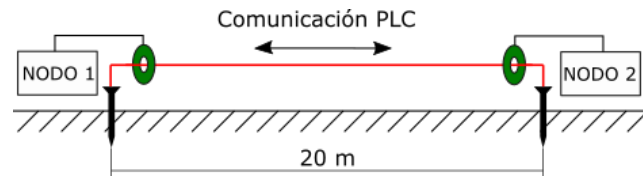


Figura 8: Pruebas en campo de prototipo.

Una vez comprobado el correcto funcionamiento, se ha llevado a cabo el diseño y desarrollo de un prototipo pre industrial trifásico capaz de controlar el envío y recepción de los mensajes entre nodos, además de gestionar la carga de la batería que alimenta al sistema, por lo tanto, dicho dispositivo está preparado para ser instalado en una red subterránea trifásica de media tensión real. Este prototipo puede verse en la Figura 9.



Figura 9: Prototipo Preindustrial.

Este prototipo ha sido probado en laboratorio, captando información de dos nodos acoplados a una misma línea, de la cual realizan medidas de intensidad, comunicando entre ellos. Uno de estos nodos actúa como nodo central, que conectado a un ordenador mediante puerto serie, transmite su propia medida, junto a la recibida del otro nodo. El resultado de estas pruebas es mostrado mediante una aplicación diseñada para SIAM (Figura).

Decoded msg	
Current: line 1:	AC=115.238 A, Phase=55.1758 °, DC=1247; line 2: AC=0 A, Phase=0 °, DC=0; line 3: AC=0 A, Phase=-161.975 °, DC=1241

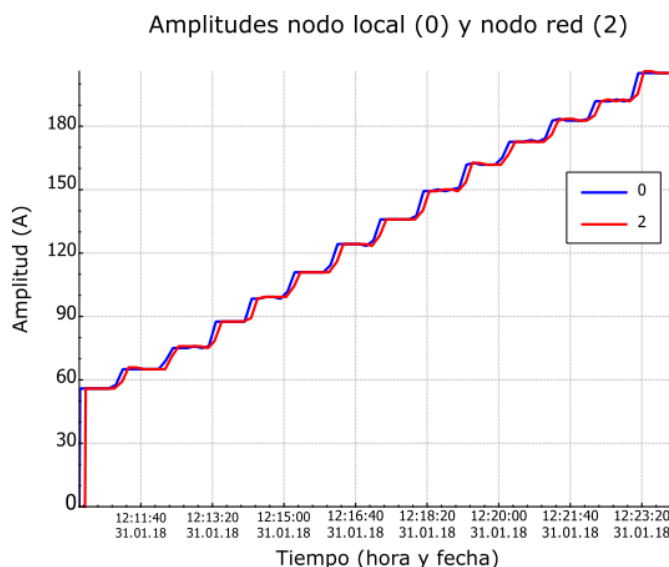


Figura 10: Datos proporcionados por la aplicación.

Estos datos muestran el resultado de la comunicación entre los dos nodos mencionados anteriormente, como se puede observar en la gráfica la señal que se transmite (azul), prácticamente coincide con la señal que se recibe (rojo), de aquí se deduce que la medida de corriente y la comunicación entre nodos es correcta.

CONCLUSIONES

En este documento se ha presentado una de las líneas de investigación en la que el grupo de investigación TIC-150 lleva trabajando varios años, respaldado a través de proyectos como son el SIAM (ref. TEC2013-40767-R) o el DELFOS (ref. P023-10/E24). Para ello se ha comentado brevemente, el objetivo de este proyecto y el nivel de desarrollo en el que se encuentra.

Este proyecto tiene muchas ventajas, y es de gran interés para mejorar la detección de errores en líneas eléctricas subterráneas de media tensión, dado que actualmente existen métodos de localización de faltas que requieren de un gran coste o tiempo.

SIAM representa un claro ejemplo del carácter multidisciplinar del grupo TIC-150, además de su capacidad para poder afrontar proyectos complejos, ya que abarca varios campos de la ingeniería como pueden ser: desarrollo software, desarrollo hardware, sistemas de comunicación industrial, sistema eléctrico, etc.

AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos agradecer a la dirección de la Escuela Politécnica Superior por la organización de estas jornadas. También quisiéramos agradecer al Ministerio de Economía y Competitividad por la concesión del proyecto reto I+D+i del plan Estatal 2013-2016 SIAM: “Sistema Inteligente Inalámbrico para Análisis y Monitorización de Líneas de Tensión Subterráneas en Smart Grids” con referencia: TEC2013-40767-R, que ha permitido financiar los costes del proyecto presentado.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Farhangi, H.(Jan.-2010). The path of the smart grid. *IEEE Power and Energy Magazine*, vol. 8, (no. 1). Pp. 18–28.
- [2] Chakraborty, D.(Sep.-2015).Smart Cities – From concept to action. [Online]:<http://blog.schneider-electric.com/smart-cities/2015/09/17/smart-cities-concept-action>.
- [3] Das, R., Madani, V., Aminifar, F., McDonald, J., Venkata, M., Novosel, D., Bose, A. and Shahidehpour, M.(2015). Distribution automation strategies: Evolution of technologies and the business case. *IEEE Power & Energy Society General Meeting*.
- [4] Personal, E., Guerrero, J. I., Garcia, A., Peña, M. and Leon, C.(Nov.-2014). Key performance indicators: A useful tool to assess Smart Grid goals. *Energy*, vol. 76.Pp. 976–988.
- [5] Amin, S. M. and Giacomoni, A. M.(Jan.-2012). Smart Grid, Safe Grid. *IEEE Power and Energy Magazine*, vol. 10, (no. 1).Pp. 33–40.
- [6] Zidan, A and El-Saadany, E. F.(Sep.-2012). A Cooperative Multiagent Framework for Self-Healing Mechanisms in Distribution Systems. *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 3, (no. 3).Pp. 1525–1539.
- [7] Kezunovic, M., McCalley, J. D. and Overbye, T. J.(May-2012). Smart Grids and Beyond: Achieving the Full Potential of Electricity Systems. *Proceedings of the IEEE*, vol. 100, (no. Special Centennial Issue). Pp. 1329–1341.
- [8] Personal Vazquez, E.(2016). Sistema para localización de faltas en líneas subterráneas de distribución eléctrica de media tensión, mediante una red distribuida de sensores de corrientes.*Universidad de Sevilla*.
- [9] Chong, C.-Y. and Kumar, S. P.(Aug.-2003). Sensor networks: Evolution, opportunities, and challenges. *Proceedings of the IEEE*, vol. 91, (no. 8). Pp. 1247–1256.
- [10] Larios, D. F., Barbancho, J., Rodriguez, G., Sevillano, J. L., Molina F. J., and Leon, C.(2012). Energy efficient wireless sensor network communications based on computational intelligent data fusion for environmental monitoring. *IET Communications*, vol. 6, (no. 14). P. 2189.
- [11] Ding, Z., Perlaza, S. M., Esnaola, I. and Poor, H. V.(Feb.-2014). Power Allocation Strategies in Energy Harvesting Wireless Cooperative Networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 13, (no. 2). Pp. 846–860.