

APLICACION DE LA COMPUTACIÓN

Sistema de supervisión para el monitoreo de redes eléctricas inteligentes

Supervision system for the monitoring of smart electric networks

Josnier Ramos Guardarrama¹, Orestes Hernández Areu¹, Raimundo Carlos Silverio Freire²

¹Universidad Politécnica de la Habana José Antonio Echeverría, Cujae. Cuba

²Universidad Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: josnier@electrica.cujae.edu.cu

Recibido: mayo del 2019

Aprobado: julio del 2019

Licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional



RESUMEN/ABSTRACT

En el presente trabajo se realiza una aplicación informática encargada de supervisar el monitoreo de una red inteligente en las condiciones de una infraestructura menos desarrollada y mediante el uso de software libre.

Actualmente con la incorporación de fuentes renovables de energía, nuevos sistemas de tarifas, servicios y el Internet de las Cosas; los sistemas eléctricos de potencia también han evolucionado hacia la red inteligente. Estos sistemas requieren de una infraestructura de comunicaciones y acceso a Internet que en ocasiones no está disponible, por lo cual la plataforma desarrollada puede dar cobertura a estas deficiencias y brindar un entorno para el crecimiento y la independencia tecnológica. El sistema es implementado usando el lenguaje de programación Python y una base de datos SQLite. La red de comunicaciones para los nodos de medición es desplegada mediante el protocolo ZigBee, de bajo consumo y tolerante a fallos.

Palabras clave: red inteligente, medidores de energía inteligentes, sistema de supervisión.

In the present work a computer application is made responsible for supervising the monitoring of an intelligent network in the conditions of a less developed infrastructure and through the use of free software.

Currently with incorporation of renewable sources of energy, new systems of tariffs, services and the Internet of Things; Electrical power systems have also evolved towards the smart grid. These require a communications infrastructure and Internet access that is sometimes not available, so the platform developed can cover these deficiencies and provide an environment for growth and technological independence. The system is implemented using the Python programming language and a SQLite database. The communication network for the measurement nodes is deployed using the ZigBee protocol, which is low consumption and fault-tolerant.

Key Words: smart grid, smart energy meters, supervision system.

INTRODUCCIÓN

Es un hecho que el cambio climático y la explotación continuada y creciente de los recursos naturales del planeta, han marcado a las nuevas generaciones con la necesidad de replantearse su forma de actuar. La disponibilidad de los combustibles fósiles no es eterna y su uso como fuente de energía produce contaminación y afectación a la capa de ozono, por lo que es perentorio tomar medidas para solventar o reducir el impacto que se lleva a cabo en el medio ambiente. Dentro de las soluciones a tomar, se encuentra la de mejorar la operación de la red, disminuir sus pérdidas eléctricas e incorporar en gran proporción, las fuentes renovables de energía. Estas son las causas primarias que han motivado y soportan a nivel mundial, el surgimiento de las redes inteligentes como una solución a la arquitectura de la red eléctrica tradicional.

La nueva red inteligente se apoya en la infraestructura de las comunicaciones, la informática, electrónica y en algoritmos matemáticos que la dotan de inteligencia con capacidades de diagnóstico, toma de decisiones, así como de una eficiencia nunca antes vista. Pero no todo son ventajas, ahora existen nuevos problemas dignos de este nuevo siglo. La preocupación por la seguridad informática en las redes se ha extendido hasta los mismos consumidores, abarcando todos sus actores en conjunto. También hay que tener en cuenta los riesgos de incumplimiento de la privacidad de los clientes. No se puede olvidar el incremento en el uso de los automóviles eléctricos y sus ventajas como elemento almacenador o generador de energía eléctrica en determinados momentos claves de operación de la red. Los automóviles eléctricos junto con la nano generación han creado necesidades de replantear la estabilidad del sistema, el control de la frecuencia y la tensión en los nodos. A nivel de las subestaciones y la distribución, se han implementado mecanismos inteligentes para la detección de fallas y su eliminación. Como última alternativa ante una falla permanente, se reconfigura el circuito eléctrico de suministro para mantener a la mayor cantidad posible de consumidores con energía. Todo lo mencionado anteriormente son algunos de los aspectos en los que esta nueva tendencia por lo “inteligente” está cambiando el mundo. La infraestructura que soporta todos estos nuevos cambios y permite que la red avance hacia la nueva arquitectura, es la capacidad de monitoreo en tiempo real extendida a los consumidores. En este trabajo se ha desarrollado un sistema de supervisión para el monitoreo de redes eléctricas inteligentes, implementado con software libre y diseñado específicamente para las condiciones de las redes cubanas. Sus principales características están desarrolladas basado en la flexibilidad, bajo costo del sistema y la creación de la infraestructura básica. Es necesario considerar que la importación de un sistema de semejantes prestaciones, requiere de un costo de inversión y mantenimiento elevado. También es necesario conocer que una transferencia de tecnología de esta magnitud, puede no ajustarse a las condiciones tecnológicas, sociales y políticas del país.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las principales investigaciones sobre la supervisión y control de las redes inteligentes se concentran en las áreas de la seguridad, latencia, tolerancia de fallos y los protocolos de comunicación. Como resultado del número de dispositivos conectados, el volumen de información intercambiado es cada vez mayor, creando un sistema de supervisión y control cada vez más complejo. Estos sistemas deben tener flexibilidad de administración, capacidad de crecimiento casi ilimitada y monitoreo de su flujo de datos a través de la red de comunicaciones. Los países que llevan la delantera en las redes inteligentes, cuentan con una infraestructura de comunicaciones bien desarrollada, con mejoras regulares y en expansión. La situación nacional es diferente, ya que no contamos con una red desplegada que cubra todos los clientes y que soporte el nuevo volumen de datos requerido. En muchos casos el sistema de supervisión está conectado en alguna medida con internet, lo que requiere de medidas de seguridad adicionales y aprovecha la red de comunicaciones de un tercero. Debido a la importancia de este sistema, se necesita de una red de comunicaciones con una alta tolerancia a los fallos. Esto implica que es necesario contar con garantías de operación de la red de comunicaciones. Se propone un sistema de supervisión desarrollado mediante herramientas de software abierto y diseñado para las condiciones nacionales. El lenguaje seleccionado es Python, por su capacidad de ser multiplataforma y multiparadigma. Este lenguaje ha ido creciendo en los últimos años y es aplicado en alguna medida en todas las áreas de la informática. Para conectar los dispositivos terminales y su despliegue, se utiliza dispositivos de conexión basados en el protocolo ZigBee [1]. Este protocolo tiene un bajo consumo, una velocidad de transferencia de datos aceptable, tolerancia a fallos y una posibilidad de conexión de un número elevados de dispositivos.

A. Arquitectura predecesora de las redes inteligentes

Las características más notables de las redes eléctricas anteriores o tradicionales son un flujo mono direccional de la energía hacia el consumidor, con grandes centros o plantas generadoras de energía y una infraestructura no integrada a través de las comunicaciones. Los elementos en sí, pueden tener un elevado uso de comunicaciones e informática, pero predomina el aislamiento entre los mismos. No existe, por tanto, un sistema centralizado o una “inteligencia” que aglomere y brinde una fase integral de supervisión y toma de decisiones. En la figura 1, se puede observar la arquitectura que durante mucho tiempo dominó los sistemas eléctricos de potencia [2,3].

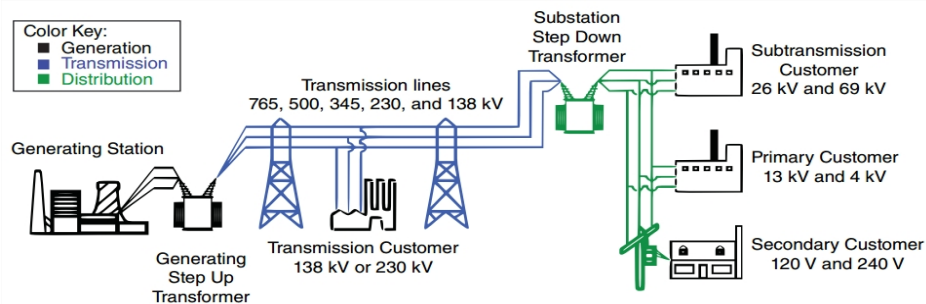


Fig. 1. Arquitectura representativa de los sistemas eléctricos de potencia predecesores de las redes inteligentes [2].

Las principales desventajas [4], de esta arquitectura es la de transportar la energía a largas distancias y a través de todo el sistema eléctrico, siendo considerables las pérdidas de energía. La mayor cantidad de energía es generada por medio de combustibles fósiles, lo cual contribuye al cambio climático. Las grandes plantas de generación son diseñadas para trabajar a su carga nominal, lo que las hace ineficientes en otros estados de carga diferentes. También existe el costo referido a su subutilización. La poca o no existencia de las capacidades de almacenamiento de energía, implica que es necesario constantemente reajustar la demanda con la generación.

Hay que destacar que existe generación en centros de fuentes renovables de energía, donde puede incluso existir un alto nivel de comunicación entre sus elementos, pero lo que dio el soporte a la nueva estructura es sin duda la capacidad de monitorear remotamente a todos o a una mayoría de los consumidores de energía de forma confiable y organizada. Esto permite, a gran escala y con un nivel alto de penetración en el sistema eléctrico, acercar tanto como sea posible la generación a las cargas. Lo ideal sería que las cargas sean capaces de generar su propia energía, surgiendo así el término prosumidor (productor y consumidor de energía al mismo tiempo) [5].

Necesidad del cambio en la red eléctrica

Gracias a otras infraestructuras tecnológicas de soporte, la red eléctrica se encuentra en condiciones para pasar a otra fase de su desarrollo [6,7]. Este soporte fue brindado por la electrónica, las comunicaciones y la informática a gran escala en la vida diaria [8,9]. En este contexto de desarrollo tecnológico, la red eléctrica pudo evolucionar debido a los siguientes factores:

- Una parte considerable de la energía es gastada en la generación, transmisión y distribución. La solución es llevar la generación hasta las propias cargas, solución que la red no permite en su diseño tradicional.
- Existen serios problemas de estabilidad, control y operación de la red tradicional al contemplar la incorporación de todos los tipos de generación y almacenamientos disponibles.
- Poca capacidad para operar y disponer de los activos de forma óptima.
- Su respuesta anticipativa fundamental es responder para prevenir daños en la red tradicional. Es necesario automáticamente detectar y responder a problemas enfocados a la prevención y la minimización de los impactos en los consumidores; capacidad no disponible anteriormente.
- Una respuesta vulnerable y lenta ante los actos de terrorismo y desastres naturales.
- Los consumidores son pasivos, sin estar informados del estado de la red, y limitados en el aprovechamiento de la integración de las fuentes de energía a escala de nano generación.
- Los servicios recibidos se limitan a recibir energía, limitando las oportunidades de participar en el mercado de la misma.

De cualquier forma posible, los factores antes mencionados están estrechamente ligados al cambio climático, el agotamiento de los combustibles fósiles, al incremento del consumo energético (y a la cantidad de consumidores, que aumentan la complejidad de la red), la penetración de nuevas y más eficientes formas de generación renovables y al ciclo del reemplazo tecnológico.

B. Arquitectura de las redes inteligentes

En dependencia de la visión que tenga el especialista de la red eléctrica, así estará conformado su criterio de definición sobre la red inteligente o al menos, el peso del área de importancia que esta le brinda [10]. Algunas de estas definiciones incompletas o áreas de mayor peso son que la red inteligente es: la automatización de la distribución, la generación distribuida, la automatización de las subestaciones, la infraestructura avanzada de medición con medidores de energía, etc. Todos estos criterios mencionados anteriormente son parcialmente verdaderos [11]. La definición más completa *es una red con inteligencia capaz de integrar las diferentes tecnologías avanzadas de medición, métodos de control y comunicaciones dentro de la red eléctrica y que presenta las siguientes características:*

- Participación de los consumidores.
- Opciones de acomodar las diferentes fuentes de generación de energía.
- Establece un mercado de la electricidad con nuevos servicios y productos.
- Energía con una alta calidad, capaz de una economía basada en la comunicación, la computación y la operación digital de la red.
- Operación eficiente, con optimización de los activos existentes y de los nuevos incorporados.
- Auto recuperación mediante la anticipación y la respuesta ante los disturbios ocurridos en la red.
- Resistencia a los ataques, ya sean naturales o provocados.

La nueva arquitectura entonces queda desarrollada como se muestra en la figura 2.

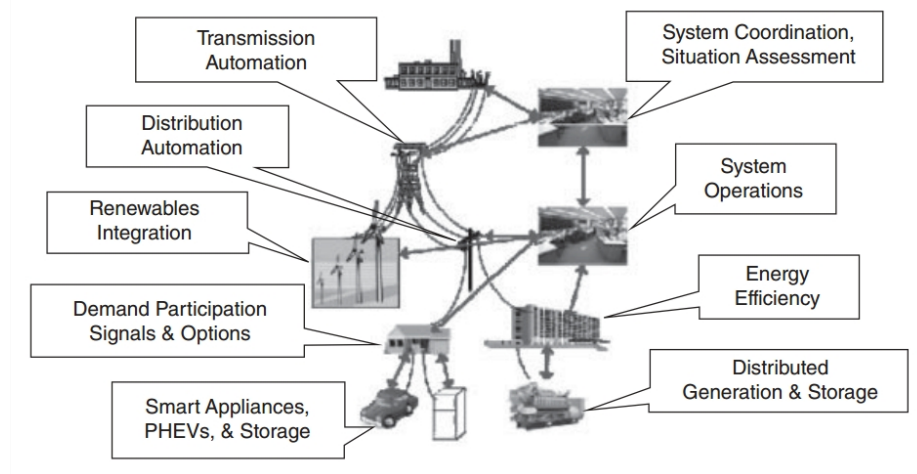


Fig. 2. Arquitectura representativa de las redes inteligentes [12].

La complejidad de la red inteligente es cada vez mayor, debido a la incorporación de nuevas aplicaciones o tecnologías. Existe un aumento del soporte brindado por internet a la red inteligente, además del internet de las cosas presente en la domótica de los edificios y hogares inteligentes [13–16].

C. Sistema de supervisión a la medida desarrollado para las condiciones cubanas

El centro u origen de todo el desarrollo de las redes inteligentes es la infraestructura de medición avanzada (AMI) [17]. El dispositivo insignia de esta infraestructura es el medidor inteligente de energía. Este tipo de instrumento fue desplegado por primera vez en Italia en el año 2007. Se tratan de dispositivos electrónicos digitales, con capacidad de procesamiento digital, almacenamiento de información, visualización y comunicación.

También nuevas técnicas para la transmisión de la información cifrada se están desarrollando, debido a que los métodos existentes generalmente representan una carga considerable en el ancho de banda de la red inteligente y su capacidad de procesamiento distribuida.

A diferencia de los países más desarrollados, en no todos los países en desarrollo se cuenta con una infraestructura de comunicaciones o conexión a Internet con los requisitos de velocidad, garantías de operación, capacidad de crecimiento y tecnologías, adecuadas o modernas. Las redes móviles han sido usadas con anterioridad para lograr crear las conexiones de los equipos terminales de las redes inteligentes y el uso de la conexión preexistente a Internet en los hogares también es una solución que ha sido valorada.

Se impone la existencia de un marco legal a tener en cuenta ya que, si dentro del servicio que brinda una compañía de electricidad, la conexión de todos o la mayoría de los equipos de medición remotos dependen de las redes de comunicaciones de otra compañía especializada, al existir una interrupción en la red de datos, quien asume las responsabilidades directas es la compañía eléctrica. Esto significa que tienen que existir regulaciones y leyes para penalizar e incentivar a las compañías responsables de la operación estable y segura de la red eléctrica.

Las compañías de electricidad en muchos casos evitan depender en su infraestructura clave de un tercero siendo más conveniente para estas mantener un control estricto de su propia infraestructura y servicios.

Una propuesta de sistema de comunicación debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La mayor cantidad de nodos y complejidad de conexión se encuentra en la última milla.
- La disposición física de los equipos terminales de medición y las barreras arquitectónicas para su despliegue y operación.
- Flexibilidad técnica para la gran variedad de condiciones y equipos existentes.
- Soporte para el volumen de datos y cantidad de terminales.
- Bajo consumo de operación.
- Distancia de transmisión y recepción.

Los nodos de la última milla son conectados a través de la infraestructura de comunicaciones que soporta Internet generalmente. En los casos de países poco desarrollados, los costos de operación del sistema pueden ser prohibitivos. Una solución es disminuir la cantidad de nodos en esta infraestructura y usar concentradores de red para lograr el enlace bidireccional de comunicación.

Otro problema técnico y económico son las licencias o patentes. Existe variedad de suministradores de equipamiento para redes inteligentes y su infraestructura crítica. El problema es que la mayoría está desarrollada bajo licencias privadas. No solo hay que pagar la cuota por la licencia, si no que en un país tecnológicamente atrasado, la dependencia en esta área puede paralizar y afectar negativamente su desarrollo. La compañía china Huawei ha sido recientemente afectada por políticas de su rival económico Estados Unidos de América. Se le prohibió el uso de ciertas tecnologías y dispositivos electrónicos que, aunque fue temporal, hace difícil estimar los daños económicos y de imagen a la compañía.

En la figura 3, se propone un esquema que soporta la gestión de la infraestructura de medición avanzada necesaria para desplegar una red inteligente disminuyendo la dependencia tecnológica y política externa. Para su creación han sido usadas plataformas abiertas en donde las posibilidades lo han permitido. El uso de software libre para el desarrollo es clave para mantener bajo los costos y la independencia.

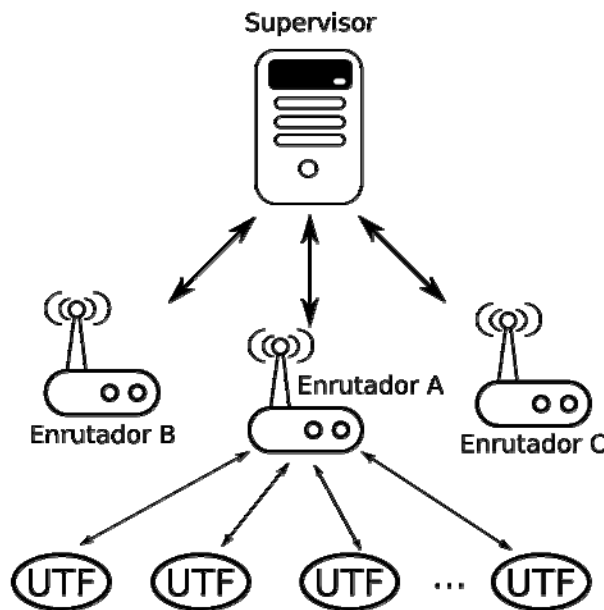


Fig. 3. Esquema flexible y capaz de soportar la infraestructura de comunicaciones avanzadas de una red inteligente.

El sistema está desarrollado por capas y puede ser desplegado mediante el uso de clústeres o bloques. Existen tres capas bien definidas: la capa superior es la encargada de gestionar toda la red y sus datos, la capa del medio tiene la función de desplegar la red primaria de comunicación y cuenta con los enrutadores adecuados para esa tarea y la capa más baja es encargada de la conexión de todas las unidades terminales finales (medidores inteligentes de energía pero no exclusivamente).

Es interés en este trabajo el programa alojado en el servidor para gestionar la infraestructura. El programa es implementado usando el lenguaje de programación Python. Es un lenguaje interpretado con una sintaxis que favorece la legibilidad del código. Es multiparadigma por su soporte a la programación orientada a objetos, programación imperativa y en menor medida a la programación funcional. Es de licencia de código abierto y es compatible a partir de la versión 2.1.1 con la Licencia Pública General de GNU [18]. Se seleccionó un gestor de base de datos que cumpliera con los principios del software libre.

Método de operación del sistema de supervisión

A diferencia de otros programas informáticos, un sistema de supervisión debe tener tareas programadas que operen en intervalos de tiempo bien definidos. Los sistemas SCADA profesionales tienen la capacidad de manejar una estructura compleja de tareas temporizadas. La principal diferencia con un sistema SCADA de propósito general, es que el sistema desarrollado tiene una aplicación específica, lo que significa que se puede crear un sistema de control del tiempo de llamadas de las tareas menos complejo.

La implementación en Python para un sistema multitarea y con ejecución en tiempos bien definidos se puede realizar por dos métodos: usando hilos (Threading) o por procesos múltiples (Multiprocessing). Ambas opciones tienen sus ventajas y desventajas. Siendo la última opción la seleccionada para implementar en este trabajo, las tareas temporizadas.

Existen varias tareas temporizadas de máxima prioridad:

- Petición y almacenamiento de los datos presentados por los dispositivos terminales.
- Monitoreo y actualización de la base de datos del sistema.
- Actualización de toda la información mostrada en el programa.
- Estado de los nodos de la red.

Hay otras tareas en el sistema que no se mencionan para no dificultar la explicación del funcionamiento básico del sistema. Las alarmas del sistema es un ejemplo de las tareas del caso anterior. Hay tareas que pueden ser vistas como un servicio para una tarea más compleja y de orden superior.

Por todo lo anterior no estamos en presencia de un programa secuencial en su funcionamiento, sino que es basado en eventos con y sin temporización. En la figura 4, se encuentra un diagrama en bloques que representa al algoritmo simplificado de las funciones de alto nivel del sistema de supervisión.

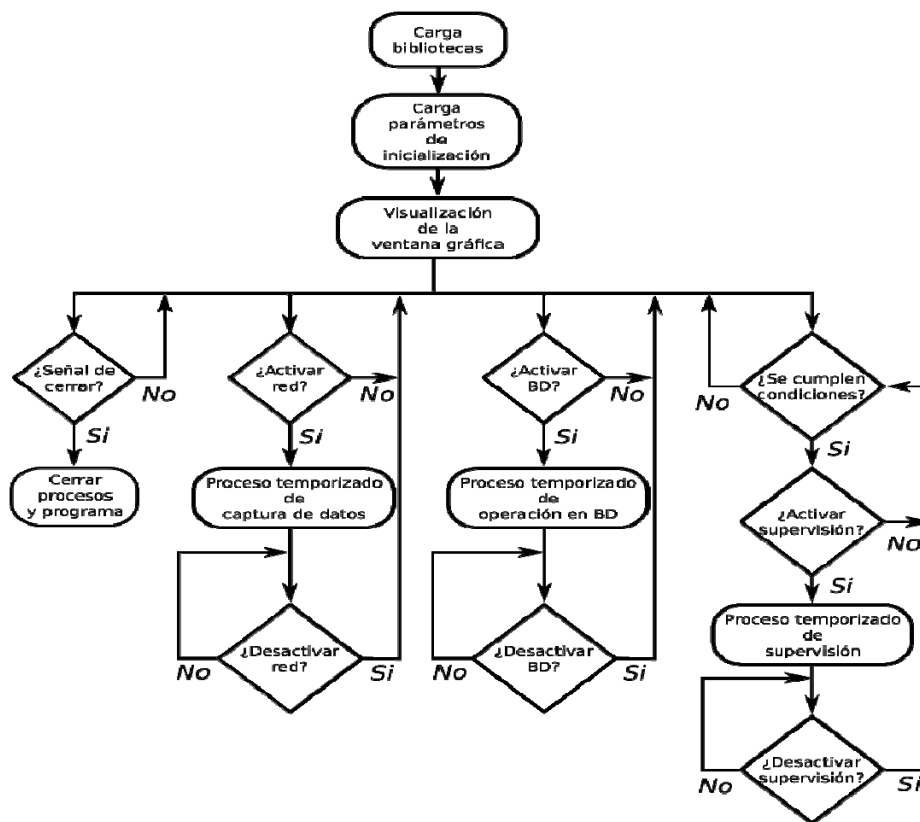


Fig. 4. Algoritmo general simplificado de la programación del sistema de supervisión desarrollado.

Al ejecutar el código del programa, se cargan inicialmente las bibliotecas necesarias, seguido de unas variables predefinidas (parámetros). Las variables permiten fijar la configuración básica de no solo el ambiente gráfico, sino también de las necesidades de la base de datos. El resto del algoritmo está basado en eventos. Existen tres procesos de suma importancia: la temporización de la captura de datos de los dispositivos de medición, las operaciones en la base de datos y el funcionamiento del sistema de supervisión encargado de manejar todos los demás procesos. Aunque no esté representado en el diagrama, los procesos tienen un mecanismo de intercambio de información entre ellos.

Diseño del entorno gráfico del usuario

Las ventanas gráficas de la aplicación fueron implementadas mediante un conjunto de bibliotecas multiplataforma desarrolladas para la creación de interfaces gráficas de usuario (GUI). El conjunto GTK+ es de excelentes prestaciones y facilita el diseño mediante la herramienta GLADE, que permite diseñar las interfaces de forma gráfica e independiente del lenguaje de programación. Vea la figura 5.

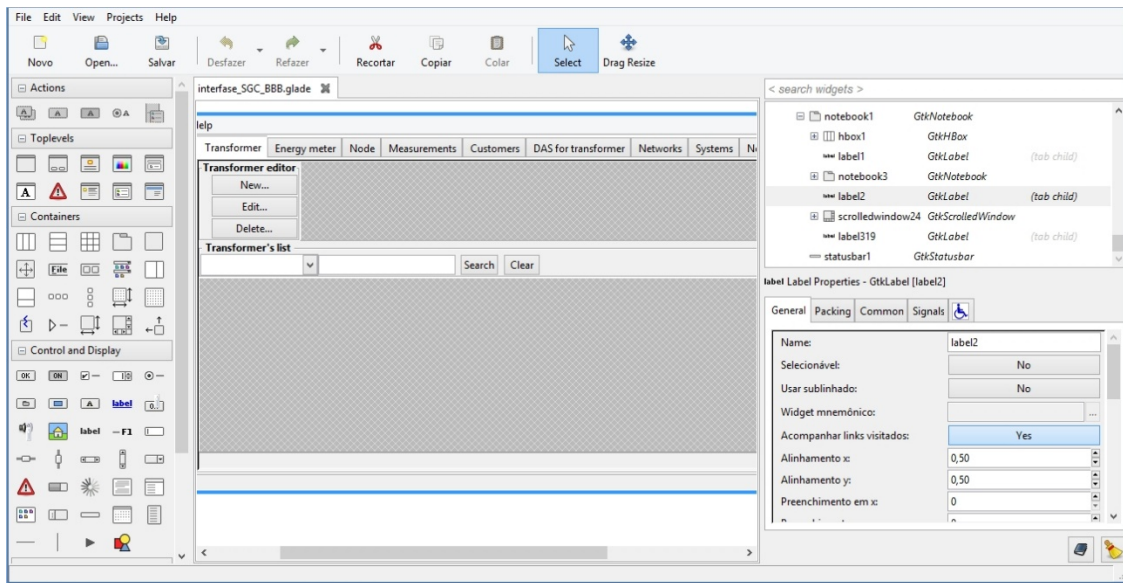


Fig. 5. Entorno de diseño de la interface de usuario gráfica (GLADE).

La herramienta es multiplataforma y de software abierto, contribuyendo a la filosofía de mantener el código libre de patentes propietarias. Se integra de forma simple y muy cómoda con el lenguaje de programación Python para las aplicaciones de Escritorio. Todas las ventanas del sistema fueron desarrolladas mediante GLADE. En algunos casos fue necesario generar parte de la ventana seleccionada mediante la programación directa en Python. Se debe en gran medida a la necesidad de insertar información compleja desde la base de datos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se ha obtenido un sistema capaz de realizar las tareas de supervisión y almacenamiento de la información en una base de datos mediante el uso de software abierto. La plataforma permite el crecimiento de la infraestructura y su gestión. En la figura 6, se muestra la captura de la aplicación en la ventana de configuración inicial.

En el panel izquierdo se muestran las tres divisiones organizativas del programa. Estas divisiones permiten separar la configuración inicial y arranque del sistema de supervisión, de la administración de la base de datos y el monitoreo de los nodos del sistema de medición. En vez de crear una aplicación con todas las facilidades en una misma ventana principal, se decidió que es mejor fragmentar la aplicación para mejorar la intervención de los usuarios y mejorar su experiencia.

El panel izquierdo se encarga de la activación/desactivación de la red de comunicación por el protocolo ZigBee, la base de datos y la supervisión. Como el módulo de comunicaciones puede variar su localización en los puertos del servidor, se incorporó una función de escaneo y detección de dicho modulo. Una vez detectado y seleccionado en la lista desplegable, solo es necesario activar el funcionamiento de la red. Los mensajes de alerta e informativos son mostrados en el panel derecho.

La activación de la base de datos en esta versión del sistema es solo local y cuenta con el mismo sistema de mensajes de alerta e informaciones que el de red. Ya es predefinida la ubicación de la base de datos, la cual es gestionada por el sistema de bases de datos relacional SQLite. Tiene como característica que SQLite no es un proceso independiente en el sistema operativo, sino que la biblioteca se enlaza con el programa principal, formando parte integral del mismo. Esto reduce la latencia en el acceso a la base de datos, justificado por el hecho que las llamadas a funciones son más eficientes que la comunicación entre procesos.

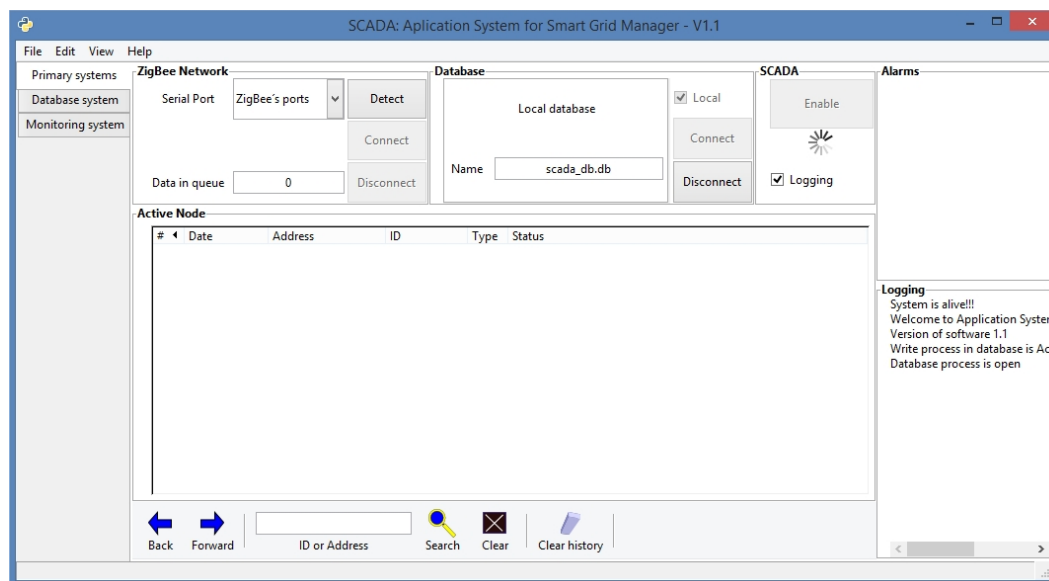


Fig. 6. Sistema de supervisión de la infraestructura de medición de una red inteligente mediante software abierto.

En la figura 7, se puede apreciar la sección de la ventana gráfica donde se encuentra la administración de los medidores inteligentes pertenecientes al sistema de supervisión. La función es la de incorporar, editar y borrar las especificaciones técnicas de los medidores. También es posible filtrar los resultados de la base de datos en cuanto a los medidores. Es posible exportar los resultados de la búsqueda e importar datos de configuración de un medidor en específico.

Energy meter editor

Tools

New...

Edit...

Delete...

Import...

Export...

Energy meter's list

All

Search

Clear

#	Identification code	Manufacturer	Fases	Power	Voltage	Current	Version	Date of build	Xbee address
0	LAT_metro_5555	Latino	3	15.0 kVA	240.0 V	100.0 A	V1.01	15/August/2013	0B32A45C456
1	LAT_metro_4587559	Latino	1	10.0 kVA	120.0 V	100.0 A	V1.84	15/April/2014	AA45C34D560
2	LAT_metro_5887145	Latino	3	10.0 kVA	240.0 V	100.0 A	V1.84	27/February/2016	0B32A45C125
3	LAT_metro_5887155	Latino	1	25.0 kVA	440.0 V	100.0 A	V1.5	27/February/2015	0B32A45D857
4	LAT_metro_258147	Latino	3	15.0 kVA	440.0 V	100.0 A	V2.10 - M1	20/August/2014	0A12B23D323

Fig. 7. Captura de la administración de los medidores inteligentes pertenecientes al sistema de supervisión.

La información recibida por la red de comunicaciones y el protocolo ZigBee, es almacenada en la base de datos para su posterior utilización. Esta información es recopilada con su propia estructura predefinida, que tiene en cuenta la posibilidad de distintos dispositivos nuevos a incorporar en el futuro.

CONCLUSIONES

Se obtuvo un sistema capaz de realizar las tareas de supervisión y monitoreo de una red inteligente de estructura menos desarrollada, empleando programación abierta, a través del software libre Python.

Se logró el almacenamiento de la información obtenida en una base de datos SQLite.

La red de comunicaciones para los nodos de medición se desplegó mediante el protocolo ZigBee, de bajo consumo y tolerante a fallos.

El sistema de supervisión implementado permite la disminución o eliminación en algunos casos de nodos de comunicaciones gestionados por terceros, brindando independencia y confiabilidad. También permite la soberanía tecnológica mediante el desarrollo de la Industria Nacional del Software y el uso de plataformas de código abierto.

REFERENCIAS

- [1].G. Pan, *et al.*, “Automatic stabilization of Zigbee network,” in *2018 International Conference on Artificial Intelligence and Big Data (ICAIBD)*, 2018, Capítulo 1, p. 224–227. [Consultado en septiembre de 2018]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6740212?arnumber=6740212> , DOI [10.1002/9781118820216.ch1](https://doi.org/10.1002/9781118820216.ch1)
- [2].S. F. Bush, “Introduction to Power Systems Before Smart Grid,” in *Smart Grid: Communication Enabled Intelligence for the Electric Power Grid*, Wiley-IEEE Press, 2013, Capítulo 1 p. 1-53.[Consultado en agosto de 2018] Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6740212?arnumber=6740212>. DOI [10.1002/9781118820216.ch1](https://doi.org/10.1002/9781118820216.ch1), ISSN 978-1-118-82021-6
- [3].S. Srinivasan, *et al.*, “A layered architecture for control functionality implementation in smart grids,” in *2013 10th IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC)*, 2013, p. 100–105. [Consultado en septiembre de 2018]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6548719>
- [4].Jinju Zhou, *et al.*, “What’s the difference between traditional power grid and smart grid? - From dispatching perspective,” in *Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2013 IEEE PES Asia-Pacific*, 2013, p.1–6. [Consultado en septiembre de 2018]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6837107>
- [5].I. Dukovska, *et al.*, “Local Energy Exchange Considering Heterogeneous Prosumer Preferences,” in *2018 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)*, 2018, p. 1–6. [Consultado en agosto de 2018]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8495865>
- [6].J. Zhu, “Operation of Smart Grid,” in *Optimization of Power System Operation*, Wiley-IEEE Press, 2015, Capítulo 14, p. 479 - 627. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=7046732>, DOI: [10.1002/9781118887004.ch14](https://doi.org/10.1002/9781118887004.ch14)
- [7].B. P. Bhattarai *et al.*, “Big data analytics in smart grids: state-of-the-art, challenges, opportunities, and future directions,” *IET Smart Grid*, v. 2, n. 2, p. 141–154, 2019.[Consultado en septiembre de 2018]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/330905205_Big_Data_Analytics_in_Smart_Grids_State-of-the-Art_Challenges_Opportunities_and_Future_Directions
- [8].J. Momoh, “Smart Grid Architectural Designs,” in *Smart Grid: Fundamentals of Design and Analysis*, Wiley-IEEE Press, 2012, p. 1–15.[Consultado en septiembre de 2018]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9781118156117.ch1> , DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118156117.ch1>
- [9].S. Muhammad Mohsin, *et al.*, “Appliance Scheduling in Smart Homes with Harmony Search Algorithm for Different Operation Time Intervals,” in *2018 32nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA)*, 2018, p. 51–60.[Consultado en septiembre de 2018]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8418048> , DOI: [10.1109/WAINA.2018.00063](https://doi.org/10.1109/WAINA.2018.00063)
- [10].P. Chakraborty, *et al.*, “Sharing Storage in a Smart Grid: A Coalitional Game Approach,” *IEEE Trans. Smart Grid*, 2018,v.10, n.4, p. 4379 - 4390. [Consultado en septiembre de 2018]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8416778> , DOI: [10.1109/TSG.2018.2858206](https://doi.org/10.1109/TSG.2018.2858206)
- [11].M.A. Serna, C.J. Sreenan, and S. Fedor, “A visual programming framework for wireless sensor networks in smart home applications,” in *2015 IEEE Tenth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP)*, 2015, p. 1–6.[Consultado en septiembre de 2018]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7106946> , DOI: [10.1109/ISSNIP.2015.7106946](https://doi.org/10.1109/ISSNIP.2015.7106946)
- [12].F. Aalamifar and L. Lampe, “Cost-efficient QoS-Aware Data Acquisition Point Placement for Advanced Metering Infrastructure,” *IEEE Trans. Commun.* 2018, v.66, n.12, p. 6260 - 6274. [Consultado en septiembre de 2018]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8417902> , DOI: [10.1109/TCOMM.2018.2858263](https://doi.org/10.1109/TCOMM.2018.2858263)
- [13].G. R. Barai, S. Krishnan, and B. Venkatesh, “Smart metering and functionalities of smart meters in smart grid - a review,” in *2015 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC)*, 2015, p. 138–145.[Consultado en septiembre de 2018]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7379940> , DOI: [10.1109/EPEC.2015.7379940](https://doi.org/10.1109/EPEC.2015.7379940)
- [14].A. N. Aniedu, *et al.*, “Smart Energy Meter for Load Control using Mobile Communication Technology,” *Electroscope J.* Jun. 2017, v. 8, n. 8, p. 23–28.[Consultado en septiembre de 2018]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7379940> , DOI: [10.1109/EPEC.2015.7379940](https://doi.org/10.1109/EPEC.2015.7379940)
- [15].R. Morello, *et al.*, “A Smart Power Meter to Monitor Energy Flow in Smart Grids: The Role of Advanced Sensing and IoT in the Electric Grid of the Future,” *IEEE Sens. J.*, Dec. 2017, v. 17, n. 23, p. 7828–7837.[Consultado en septiembre de 2018]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8059770> , DOI: [10.1109/JSEN.2017.2760014](https://doi.org/10.1109/JSEN.2017.2760014)
- [16].E. Spanò, *et al.*, “Last-Meter Smart Grid Embedded in an Internet-of-Things Platform,” *IEEE Trans. Smart Grid*, Jan. 2015, v. 6, n. 1, p. 468–476. [Consultado en septiembre de 2018]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6884855> , DOI: [10.1109/TSG.2014.2342796](https://doi.org/10.1109/TSG.2014.2342796)
- [17]. History and License — Python 3.7.4 documentation.” [Online]. Available: <https://docs.python.org/3/license.html>. [Accessed: 15-Jul-2019].