

Edición especial 25 años del doctorado en ingeniería

Automatización inteligente mediante reconectadores en redes de distribución

Intelligent automation through of reclosers in distribution networks

Cómo citar: Solarte-Rivera, J.C., Gómez-Luna, E. Automatización inteligente mediante reconectadores en redes de distribución. Ingeniería y Competitividad. 25(4) ,e- 20813167. 10.25100/iyc.v25iSuplemento.13167

J. C Solarte-Rivera y E. Gómez-Luna

Universidad del Valle, Grupo de Investigación GRALTA, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, juan.solarte.rivera@correounivalle.edu.co, eduardo.gomez@correounivalle.edu.co



Resumen

La programación de un sistema automático inteligente fue aplicado en una red de distribución para la subestación Guachicona en Yumbo Valle, la cual consistió en trazar operaciones automáticas inteligentes utilizando reconectadores para mantener el servicio continuo de energía a los circuitos de la subestación. Para lograr el objetivo, inicialmente se identificaron los equipos presentes en el sistema de distribución tales como: transformadores, interruptores, reconectadores, sistemas de comunicación y control, esto con el fin de proponer algoritmos específicos para implementar un sistema automático de transferencia inteligente de carga mediante los reconectadores. Para la implementación del sistema automático de la subestación Guachicona se utiliza el software Smart Grid Automation (SGA) integrado en los reconectadores que hacen parte del sistema eléctrico bajo estudio, el cual puede realizar órdenes dependiendo de las características del sistema y comunicarse entre sí de manera descentralizada, lo que permite con la implementación realizada, que el sistema se comporte como una Red Eléctrica Inteligente.

Palabras clave: Reconector, Transferencia de Carga, Red Inteligente, Automatización Inteligente, Redes de Distribución.

Abstract

The programming of an intelligent automatic system was applied in a distribution network for the Guachicona substation in Yumbo Valle, which consisted in tracing intelligent automatic operations using reclosers to maintain continuous power service to the substation circuits, to achieve the objective, initially the equipment present in the distribution system were identified, such as: transformers, switches, reclosers, communication and control systems, this in order to propose specific algorithms to implement an automatic system of intelligent load transfer through the reclosers. For the implementation of the automatic system of the Guachicona substation, the Smart Grid Automation (SGA) software integrated in the reclosers that are part of the electrical system under study is used, which can perform orders depending on the characteristics of the system and communicate with each other in a decentralized manner, which allows with the implementation made that the system behaves as a Smart Grid.

Keywords: Recloser, Load Transfer, Smart Grid, Intelligent Automation, Distribution Networks.



Introducción

La calidad del servicio de un sistema eléctrico puede cuantificarse a través de diversos parámetros como lo son la continuidad del servicio, las oscilaciones en la magnitud de tensión, el contenido armónico de las formas de onda de voltaje y de corriente, y las variaciones de frecuencia [1].

Alguna contingencia de los parámetros anteriormente nombrados puede ser causada principalmente por fenómenos externos que perturban las condiciones estacionarias del sistema, las cuales pueden afectar drásticamente el bienestar de los usuarios finales y dependiendo de su magnitud, puede ser la causante de algún evento de falla que implique la interrupción del servicio de energía [2].

En consecuencia, algunos países han optado por integrar equipos con mayores tecnologías en sus redes eléctricas para lograr ser más eficiente, confiable, rentable, competitivo y ambientalmente sostenible. Muchos de estos cambios son impulsados por el concepto de "red inteligente" la cual reúne soluciones tecnológicas para la modernización de las infraestructuras, el control, la automatización y la incorporación creciente de las tecnologías de la información y comunicación [3] [4] [5] [6].

Por esta razón, en los últimos años se han integrado equipos reconectores en los sistemas de distribución con el fin de minimizar el tiempo de duración de las fallas y mejorar los índices de confiabilidad [7] debido a que estos funcionan como dispositivos de protección y control gracias a la relativa facilidad en la coordinación con otros reconectores y/o elementos de protección, y a las características radiales que presentan estos sistemas [8] [9] [10]. Adicionalmente, estos equipos permiten transformar las redes de distribución en Sistemas Autónomos e Inteligentes gracias a las capacidades y tecnologías inherentes de los reconectores. Una de sus posibles aplicaciones son los Sistemas de Restauración Automática o Transferencias de Carga, las cuales tienen como objetivo aislar la falla para reconfigurar la red y restaurar el suministro de energía de una manera flexible e inteligente basada en el monitoreo en tiempo real. Dicho sistema debe priorizar la restauración segura sin violar las restricciones operativas, aislando simultáneamente la parte afectada del sistema [11].

Metodología

Descripción del sistema de potencia y su georeferenciación

El sistema de potencia al cual se le diseñó el esquema de automatización está ubicado entre las subestaciones de Termoyumbo, Mulaló, Guachal y Guachicona al nivel de 34.5 kV, en la ciudad de Yumbo Valle. El diagrama unifilar de este sistema de potencia se presenta en la figura 1.

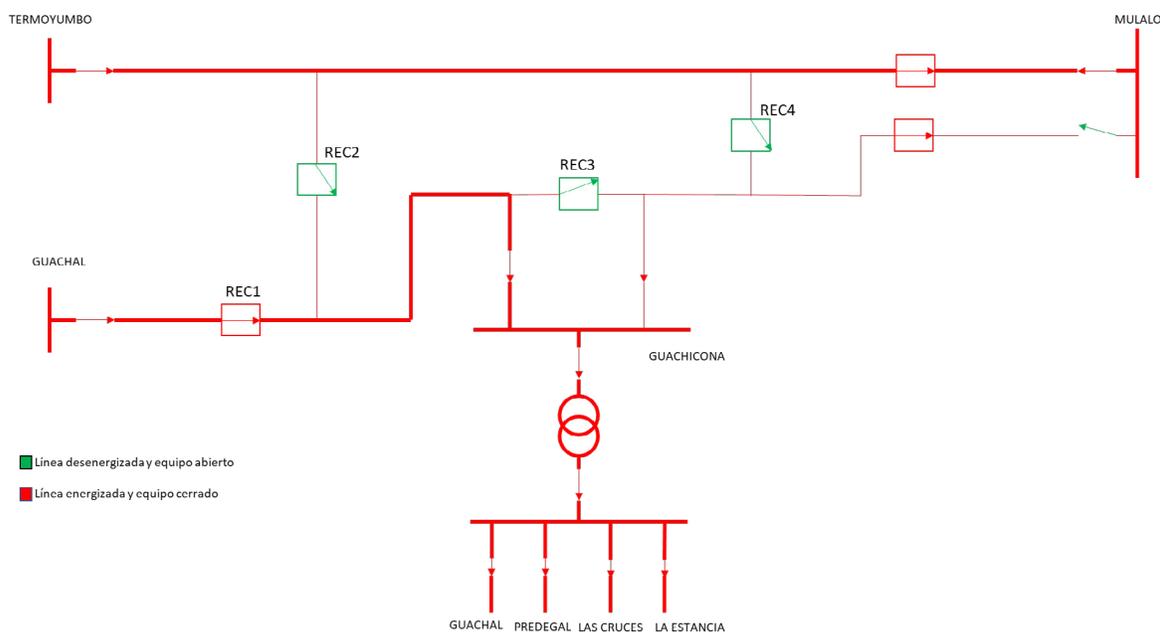


Figura 1. Sistema enmallado objeto de estudio

Entre los canales que unen las subestaciones, el nivel de tensión es de 34.5 kV y se ubican los siguientes elementos que conforman este sistema: interruptores correspondientes a cada subestación, un transformador de potencia reductor de 34.5 kV a 13.2 kV y los reconectores REC1, REC2, REC3 y REC4. Adicionalmente, se mencionan los alimentadores de la subestación Guachicona que están a un nivel de tensión de 13.2 kV y sus respectivos interruptores que tienen una función integrada de subtensión o bajo voltaje (la función de protección ANSI 27, capaz de detectar caídas de voltaje en líneas de transmisión y máquinas eléctricas lo cual es usualmente causado por sobrecargas del sistema eléctrico de potencia o la salida de una o varias unidades de generación [12]).

Dentro de este sistema de potencia se tendrán dos reconectores fronteras (REC2 y REC4), es decir, dispositivos de maniobra normalmente abiertos, que son ubicados entre dos líneas del mismo nivel de tensión y las subestaciones en una misma secuencia de fases [13]. Seguidamente, el REC1, tendrá como función realizar la apertura del canal Guachicona frente a alguna falla sobre la línea, y por último, el REC3 se encontrará siempre abierto en paralelo a la subestación Guachicona, y tendrá como función registrar algunas variables y con base en unos parámetros definidos que emiten una señal para operar los equipos de la subestación [14] [15].

Con el fin de contextualizar un poco más la aplicación, a continuación se presenta en la figura 2 la ubicación georreferenciada de cada equipo reconector que compone el sistema de potencia bajo estudio.

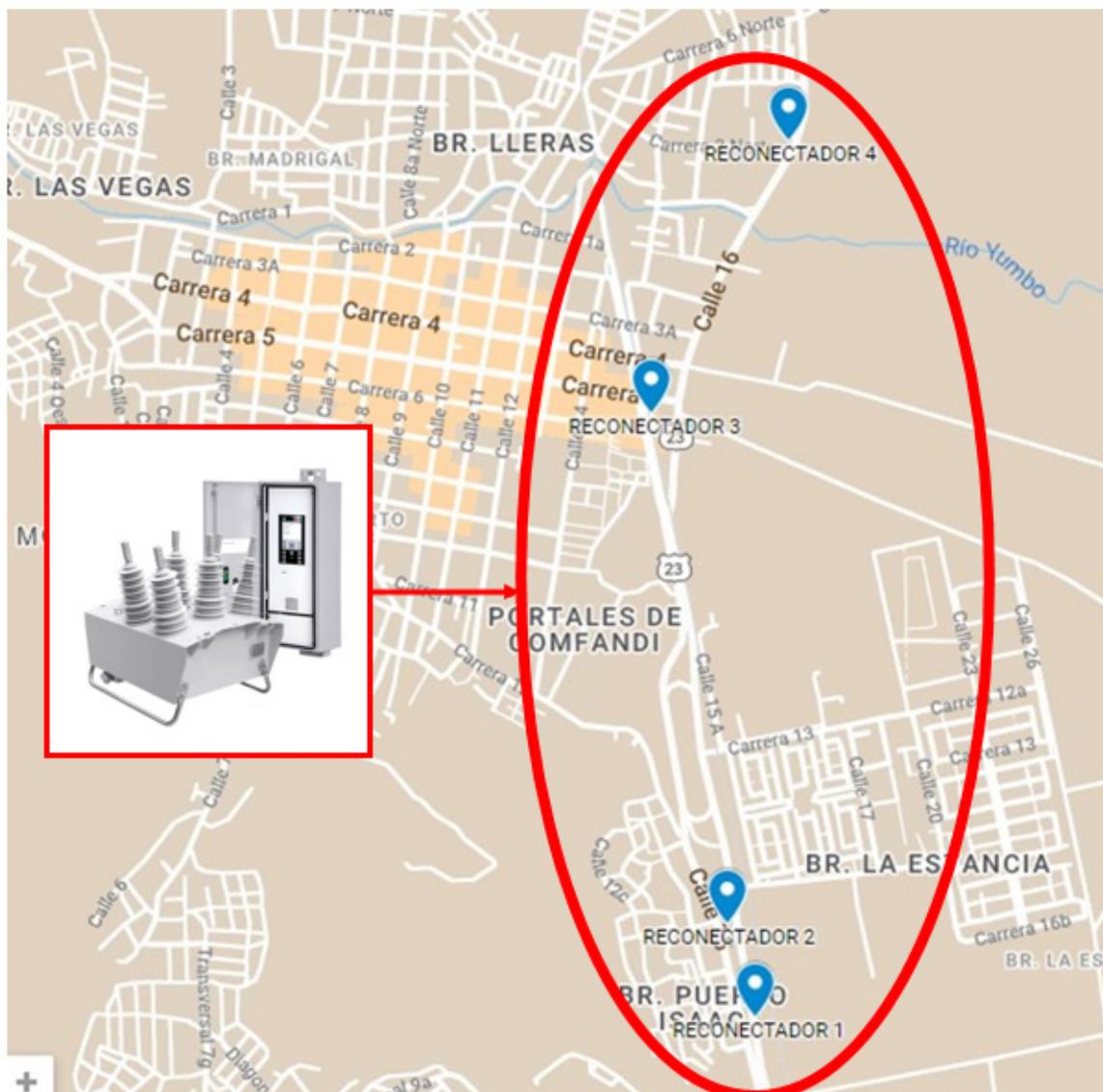


Figura 2. Reconectores del sistema bajo estudio georreferenciados

Adicionalmente, la tabla 1 y 2 muestran la ubicación en coordenadas de cada reconnector y la distancia entre estos, respectivamente.

Tabla 1. Coordenadas de los equipos reconectores

Ubicación en coordenadas (grados)		
	Latitud	Longitud
REC1	3,5670885	-76,4843635
REC2	3,5692673	-76,4850186
REC3	3,5812149	-76,4867678
REC4	3,587611	-76,4835999

Tabla 2. Distancia lineal entre equipos reconectores

Distancia lineal en metros (m)				
	REC1	REC2	REC3	REC4
REC1	0	253	1600	2290
REC2	253	0	1340	2050
REC3	1600	1340	0	794
REC4	2290	2050	794	0

Tecnología y equipos implementados en la aplicación

El equipo utilizado dispone de una gran gama de características y opciones, que le permiten mantener seguro el sistema de potencia donde sea instalado. Adicionalmente, cuenta con dos distintas maneras de realizar procesos automáticos. La primera, es una aplicación del Control and Management Software (CMS) que permite establecer acciones específicas requeridas por el usuario mediante su menú "lógica"; La segunda, es el software SGA, que le permite realizar una gran cantidad de operaciones sobre sí mismo y otros equipos a base de un lenguaje de programación con la norma IEC 61499 [16].

A continuación, se exponen las principales características y especificaciones del equipo reconector encargado de realizar las operaciones automáticas, con el fin de llevar a cabo la transferencia de carga cuando se presente alguna falla que interrumpa la alimentación de la subestación Guachicona.

Interruptor osm

La potencia o equipo de interrupción utilizada para realizar las pruebas del funcionamiento del automatismo fue el OSM38-16-800, el cual es un tanque fabricado en acero inoxidable de grado 304, de acuerdo con la ANSI/IEEE C37.60-2003, el cual es resistente a las fallas producidas por arcos eléctricos y cuenta con un diseño para una vida útil de 30 años. El tanque contiene tres polos, cada uno con su propio interruptor de vacío y varilla de empuje aislada dentro de un revestimiento dieléctrico sólido. Cada polo tiene su propio actuador magnético dentro de una carcasa que encierra el mecanismo. Los tres polos están instalados dentro de un tanque sellado [16].

Control del reconector rc-10

El Cubículo de Control del Reconector está hecho de acero inoxidable grado 304 pintado al polvo que cumple con las características constructivas establecidas en la ANSI / IEEE C37.60, ANSI / IEEE C37.61 y IEC 60694, se compone por los elementos presentados en la figura 3 [16]:

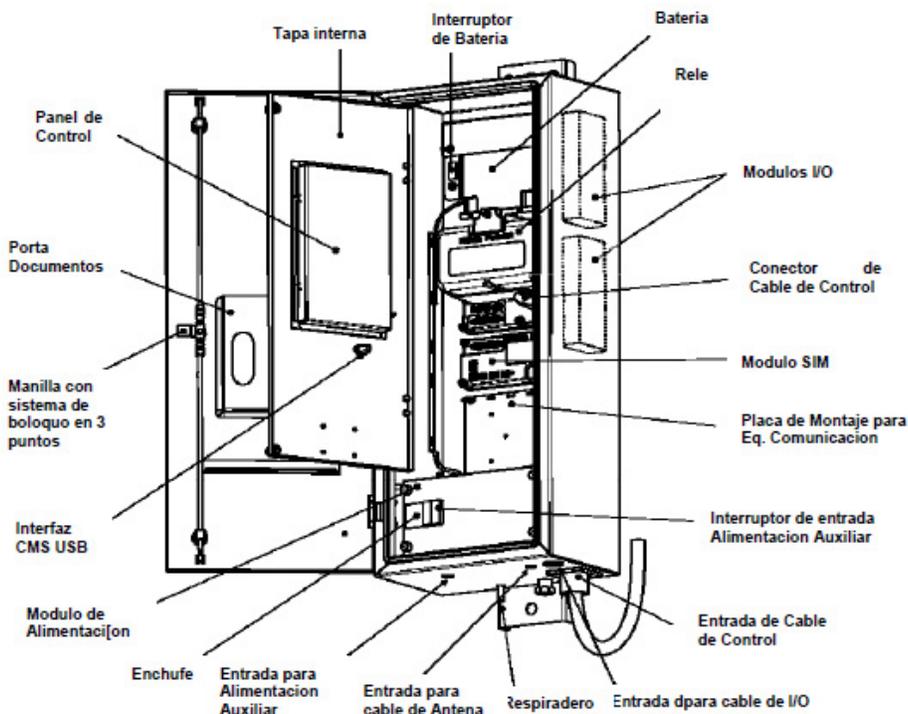


Figura 3. Partes de la caja de control de la tecnología utilizada [16]

Módulos i/o opcionales

Inmerso en la caja de control RC se encuentran uno o dos módulos de entradas y salidas (I/O). Cada módulo I/O tiene ocho entradas opto-acopladas y ocho contactos de salida libre de potencial [16]. En la figura 4 se presenta el esquema electrónico de estos.

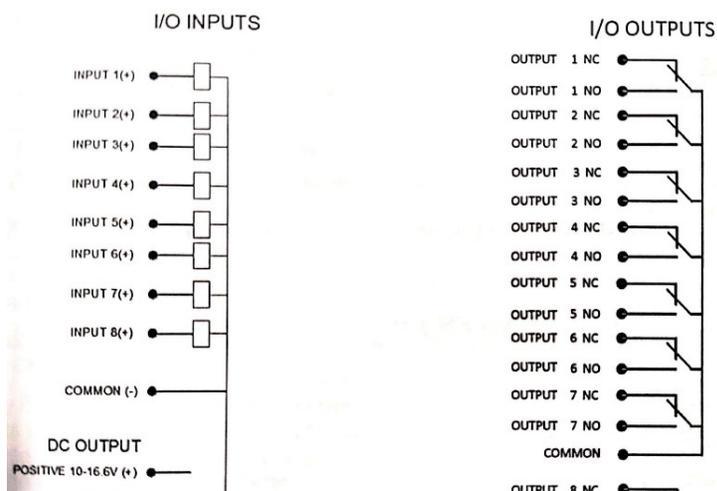


Figura 4. Esquema electrónico de las entradas y salidas [16]

Software sga

Dentro de las funcionalidades del reconector se encuentra el software SGA, el cual es un IDE (Entorno de Desarrollo Integrado) de código abierto basado en la de la norma IEC 61499 para el desarrollo de sistemas de control, la cual consiste en el lenguaje de programación con un alto nivel de abstracción, particularmente gráfica, como se muestra en la figura 5 [17] [18] .

En este entorno se puede programar una aplicación usando bloques de función. Los bloques de función (FB) son funciones normales que se ejecutan cuando reciben un evento (línea entrante roja a la izquierda del FB). Las líneas azules entrantes corresponden a las entradas de los datos (parámetros de la función) y las líneas azules salientes son los parámetros enviados a otros FB. Es posible que esta aplicación no esté destinada a un solo dispositivo, sino a un sistema completo con más equipos. En ese caso, algunos FB deberán ejecutarse en un dispositivo y otros en otros, por lo tanto, se crea un sistema distribuido [17].

Se define a sistema distribuido como el conjunto de elementos que tienen inteligencia y pueden comunicarse entre sí sin problemas, por lo que el sistema actúa como un todo [17].

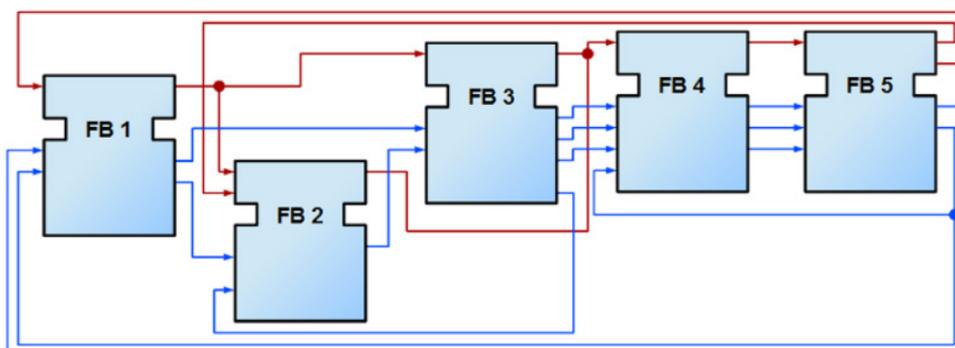


Figura 5. Entorno del lenguaje de programación con norma IEC 61499 [17] [18]

Operación del automatismo

El proyecto de alimentación automática de la subestación Guachicona consiste en realizar la programación de los equipos reconectores seleccionados por la empresa comercializadora de energía (debido a sus diversas características favorables para llevar a este sistema a ser una red más autónoma e inteligente), para realizar la transferencia de carga por un lazo alternativo cuando ocurra una falla que elimine la alimentación a la subestación Guachicona.

Dentro del sistema en cuestión, es primordial garantizar el alcance de las operaciones del automatismo, esto para conocer cómo va a actuar frente a alguna situación y también limitar la infinidad de casos posibles que puedan ocurrir en el sistema.

Principalmente, lo que se quiere llevar a cabo con estas operaciones automáticas es garantizar el rápido y eficiente restablecimiento del servicio de energía a los circuitos de la



subestación Guachicona por medio del cambio de la alimentación principal, proveniente de la subestación Guachal, por una de respaldo, ya sea de la subestación Termoyumbo y/o Mulalo. Es por ello que se deben identificar cuáles son los posibles factores que puedan afectar el suministro de energía. A continuación, se presentan algunas de las perturbaciones que impiden la correcta transmisión de energía eléctrica a la subestación Guachicona:

- Caída de tensión en alguna fase de la línea entre las subestaciones Guachal y Guachicona
- Perdida del suministro de energía que alimenta la subestación Guachal
- Falla en la línea entre la subestación Guachicona y el REC 1
- Falla en la línea entre la subestación Guachal y el REC 1
- Apertura del interruptor de la subestación Guachal que deriva la alimentación a la subestación Guachicona.

En este mismo sentido, se conocen las posibles anomalías que afecten la normalidad del servicio de energía en la subestación Guachicona. Por ende, para integrar estos escenarios en variables que pueda leer el reconector, se establece que el resultado de las perturbaciones mencionadas anteriormente, se resumen a dos posibles casos, que se nombraran como:

- Subtensión en el reconector 1
- Falla por sobre corriente entre Guachicona y REC 1

En la figura 6 y 7 se presentan gráficamente estos dos escenarios y su respectiva secuencia de operaciones para dar nuevamente abastecimiento al servicio de energía a los usuarios de sus respectivos circuitos. Es importante aclarar que la secuencia de operaciones será representada con los números en orden de menor a mayor, simbolizando el orden en la cual los dispositivos de protección se maniobran al lado opuesto de su posición actual, es decir, si el equipo está cerrado y tiene el numero dos (2), será el segundo en actuar realizando la orden de apertura. Por ejemplo, para el primer escenario (Subtensión en el reconector 1) el reconector REC 1 registrará un nivel de baja tensión determinado por el usuario, lo cual provocará que se abra el equipo de maniobra, seguidamente, desde la subestación Guachicona, los interruptores de los circuitos se abrirán también por su lectura de baja tensión. En consecuencia, el reconector REC 2 se cerrará para energizar la subestación Guachicona por medio de la alimentación de Termoyumbo y/o Mulalo y finalmente, el REC 3 enviará unas señales a los interruptores de los circuitos para que realicen la maniobra de cierre por medio de los módulos I/O.

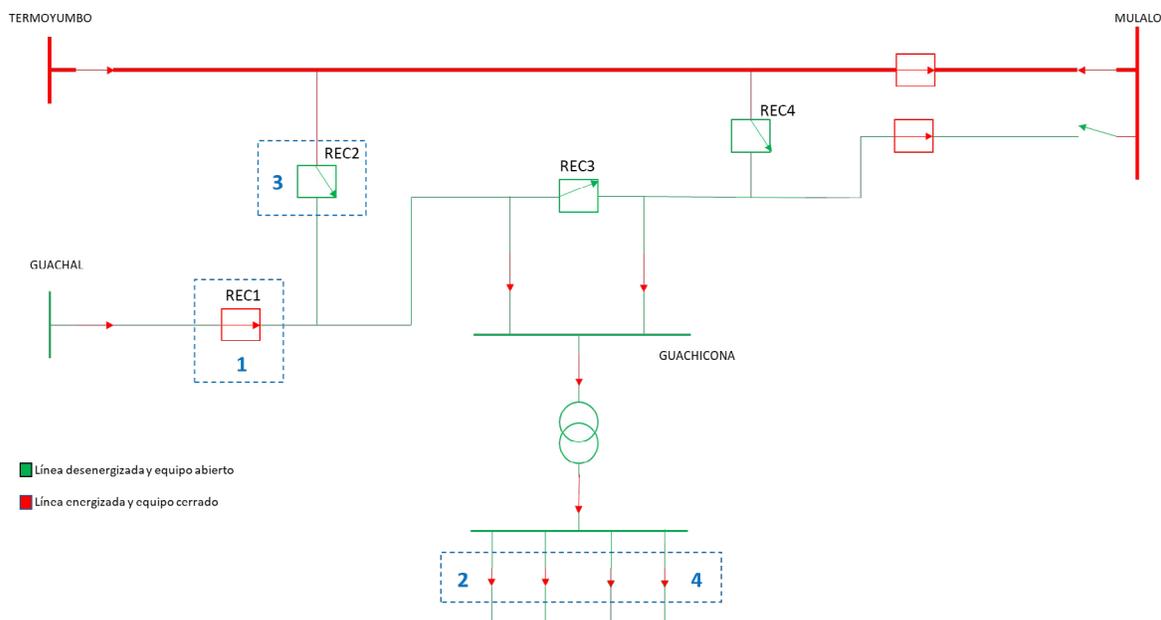


Figura 6. Subtensión en el reconector 1

Nota: 1) Abre REC1. 2) Abren interruptores de los circuitos de la subestación Guachicona por la función de Subtensión. 3) Cierra REC2. 4) Cierran interruptores de los circuitos de la subestación Guachicona

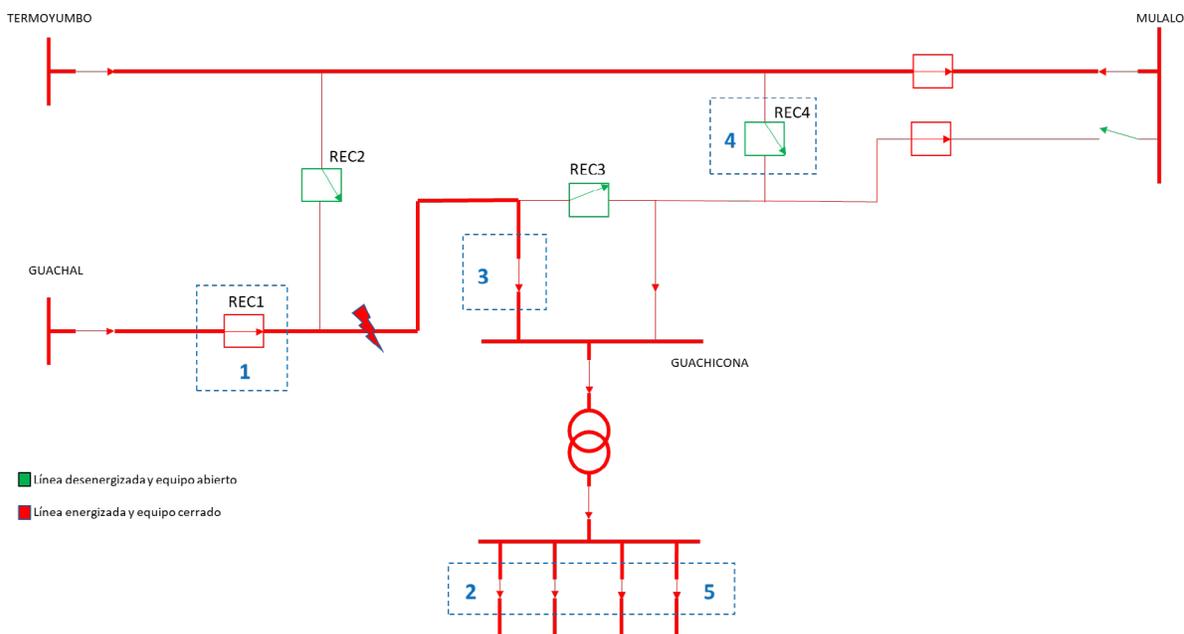


Figura 7. Falla por sobre corriente entre Guachicona y REC 1

Nota: 1) Abre REC1. 2) Abren interruptores de los circuitos de la subestación Guachicona por la función de Subtensión. 3) Abre interruptor Guachicona-Guachal de la subestación Guachicona. 4) Cierra REC4. 5) Cierran interruptores de los circuitos de la subestación Guachicona



Como se puede observar, se presentaron las dos variables que visualizará el REC1, que, en resumen, son el resultado de las perturbaciones seleccionadas anteriormente. De acuerdo con esto, se propusieron soluciones realizando operaciones con los reconectores, los cuales serán las acciones que realizará el automatismo.

Programación en sga para el sistema automático

Cómo se ha expuesto anteriormente, la herramienta que se usó para implementar el sistema automático de transferencia de carga es el software SGA, la cual nos permite programar mandos automáticos por medio de bloques de función (FB). A continuación, se presenta en la tabla 3 los FB utilizados para esta aplicación.

Tabla 3. Descripción de los FB utilizados

Bloque de Función (FB)	Descripción / Funcionalidad
E_DELAY	Retrasar la propagación de un evento
F_GT	Proporciona funcionalidad "mayor que"
F_AND	Proporciona una salida en estado activo si sus entradas tienen un estado binario igual a 1
E_SWITCH	Proporciona la condición "si" para la propagación de eventos
FB_NOJA_UnsignedRead	Lee entero sin firmar de la base de datos
FB_NOJA_ReadF32	Lee entero flotante de 32 bits de la base de datos
FB_NOJA_UnsignedWrite	Escribe un entero sin firmar en la base de datos

Inicialmente, para entendimiento del lenguaje de programación mostrado en la figura 7, cada reconector es representado por un color dentro del software SGA. Para esta aplicación, los reconectores 1, 2, 3 y 4 son representados por el color **azul**, **verde**, **rosado** y **celeste**, respectivamente.

Para ambos escenarios es importante definir las variables que lee el reconector para permitirle procesar qué operaciones va a realizar. Para el escenario de subtesión, se definió en conjunto con la empresa comercializadora de energía, que para tensión que se encuentre por debajo del 90% de su valor nominal, el automatismo debe actuar. Para el escenario de falla por sobrecorriente entre Guachicono y REC 1, se utilizó la variable del software "apertura por sobrecorriente", es decir, el reconector recibe una señal cuando fue abierto por alguna sobrecorriente. Es importante aclarar que el registro de señales se tomó con los FB "FB_NOJA_ReadF32" (para las tensiones Vab y Vbc) y "FB_NOJA_UnsignedRead" (para la señal de apertura por sobrecorriente).

Seguidamente, para que el software reconozca por debajo de qué nivel de tensión debe operar, se usó los FB "F_GT" y "F_AND". El primero fue usado para comparar la lectura de tensión V_{ab} y V_{bc} con respecto al 90% de la tensión nominal (31.05 kV) y el segundo, para verificar que al menos en una de estas dos lecturas existe una caída de tensión por debajo de la establecida. De esta manera, el sistema envía una señal al E_SWITCH que implica accionar los comandos de operación del funcionamiento del sistema bajo condición de subtensión (figura 6), para esto, son usados los FB "FB_NOJA_UnsignedWrite" que implican una orden al respectivo reconector, que en este caso es cierre, apertura o alguna señal física por parte del módulo I/O. Por otro lado, en caso de tener las tensiones normalizadas o en el rango adecuado, el sistema seguirá censando hasta que ocurra algún escenario.

Adicionalmente, para realizar las operaciones del escenario "sobre corriente entre Guachicona y REC 1", se agregó un E_SWITCH que recibe la señal del FB "FB_NOJA_UnsignedRead" anteriormente mencionado, que lee si el reconector fue abierto por una sobrecorriente. De esta manera el E_SWITCH envía una señal que implica realizar las operaciones del funcionamiento del sistema bajo condición de sobre corriente entre Guachicona y REC 1 (figura 7). Para esto, son usados los FB "FB_NOJA_UnsignedWrite" que implican una orden al respectivo reconector, que en este caso es cierre, apertura o alguna señal física por parte del módulo I/O.

Recopilando todo lo mencionado, se presenta en la figura 8 un diagrama de bloque para resumir el proceso de funcionamiento anteriormente mencionado y en la figura 9 el código de programación realizado en SGA, con el fin de que se realicen las operaciones mencionadas en la sección 2.3.

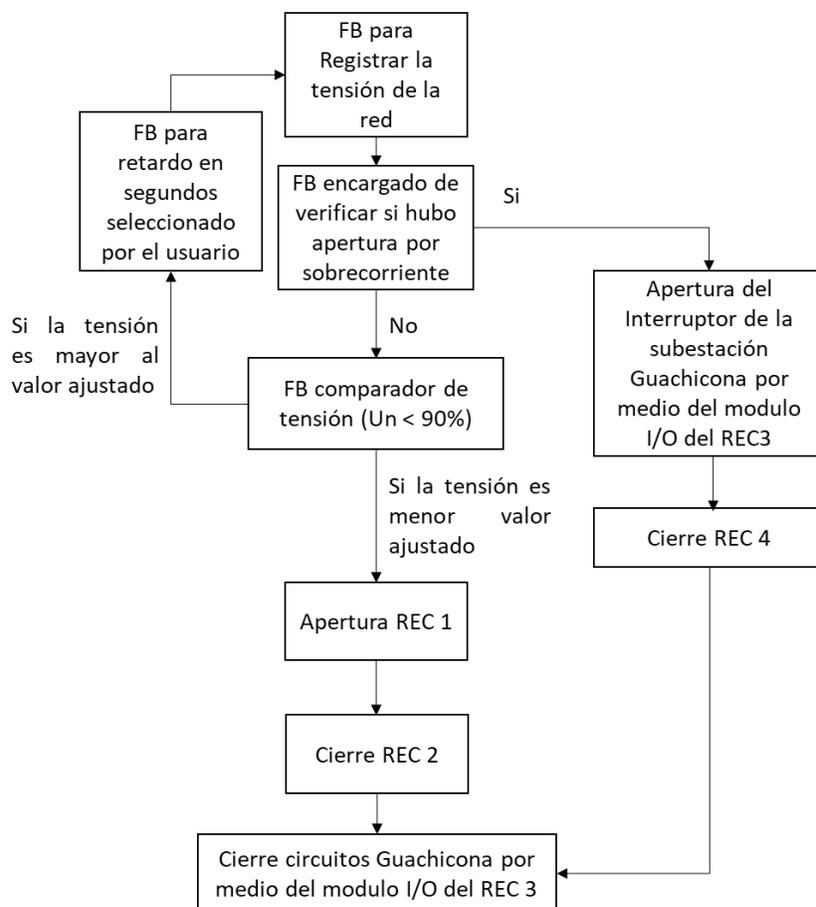


Figura 8. Resumen de la programación para la transferencia de carga automática

Resultados

En esta investigación se planteó una solución basada en algoritmos funcionales que pueden ser implementados en los reconectores del esquema de alimentación de la subestación Guachicona, siguiendo la metodología propuesta en este documento, resumida en el diagrama de bloques presentado en la figura 9.

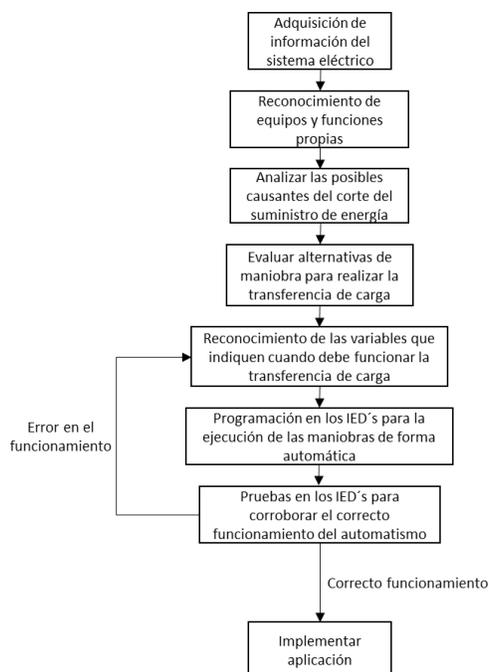


Figura 9. Metodología aplicada para la automatización de la red

Además, se realizaron pruebas en el laboratorio señalado en la figura 11, para corroborar el correcto funcionamiento de la transferencia de carga bajo los dos escenarios anteriormente propuestos y con esto, confirmar que la herramienta SGA integrada en los reconectores puede ser aplicada para una gran cantidad de soluciones, principalmente para dificultades y/o mejoras en sistemas de distribución de energía eléctrica. Adicionalmente, esta propuesta implementa la herramienta tecnológica del equipo reconector, demostrando que es factible su integración a futuras redes inteligentes.



Figura 10. Laboratorio para pruebas del automatismo

La transferencia de carga automática implementada con reconectores, basada en los algoritmos de bloques de función encargados de ejecutar las operaciones, fue la fase



inicial para proponer un modelo más complejo para la red del comercializador de energía; modelo que incluyó más factores a saber, entre ellos, fallas en la comunicación de los dispositivos, bajos niveles de tensión en la alimentación de los reconectores 2 y 4, mal funcionamiento en la operación de los reconectores, fallas en la coordinación de protecciones, entre otras perturbaciones que afectan la correcta operación del automatismo. Es por esta razón, que el proyecto escaló a un nivel de complejidad más alto, involucrando más cantidad de bloques de función y estrategias de optimización de recursos para tener una red con mayor autonomía y capacidad de restablecer la alimentación del sistema bajo diferentes alternativas.

En resumen, integrar esta aplicación deja consigo en los sistemas de potencia, mayor confiabilidad y eficiencia en el transporte del servicio de energía eléctrica, adicionalmente, permite disminuir los niveles de estrés y de carga laboral al personal encargado de monitorear el estado de las redes, debido a que pueden ocupar su atención a una parte más pequeña y específica del sistema de potencia. Sin embargo, no se ha dado la suficiente relevancia a esta aplicación, ya que, a pesar de que las empresas comercializadoras de energía tengan a su disposición esquemas de redes óptimos y dispositivos inteligentes que permitan emplear estas estrategias de optimización, no es común encontrar dentro de su sistema de potencia redes que posean estos sistemas automáticos de transferencia. Lo anterior puede presentarse por diferentes razones: a nivel operativo, al mantener la lógica de estos sistemas para que se conserve operando de forma óptima y al gestionar los diferentes procesos y procedimientos que implica el deshabilitar operaciones automáticas o de recursos, debido a los largos tiempos y costos para capacitar al personal, para que conozcan y comprendan el funcionamiento de estos procesos automáticos.

Conclusiones

Este tipo de implementaciones evita las desconexiones repentinas y frecuentes de energía, mejorando así el indicador de calidad del servicio y, por lo tanto, manteniéndose dentro de los parámetros de regulación establecidas en la norma [7]. En consecuencia, el presente documento propone un esquema que permite maniobrar de forma automática los equipos existentes en el sistema de potencia, para respaldar la alimentación principal.

Para futuras aplicaciones de estas acciones automáticas utilizando el software SGA, se recomienda la optimización de los recursos (lectura secuencial de bloques de función) para mejorar el rendimiento en el procesamiento del equipo, con el fin de garantizar el correcto funcionamiento del proceso, ya que su implementación permite mejorar la confiabilidad y eficiencia en las redes, lo cual es fundamental debido a los futuros proyectos eléctricos, que involucran redes inteligentes, microrredes, generación distribuida, entre otras integraciones a la red, que generan una mayor complejidad en el control y monitoreo del sistema. Es por ello que es fundamental garantizar la implementación de un óptimo código de programación, utilizando diferentes alternativas, como las funciones nativas del reconector, con el fin de dar solución al problema sin sobrepasar el procesamiento del equipo.



Agradecimientos

Los autores agradecen grupo de investigación de alta tensión GRALTA por los discusiones y recomendaciones realizadas al presente estudio.

Referencias

- [1] M. A. Ríos Giraldo, 2016. [Online]. Available: <https://repositorio.utp.edu.co/items/4158532a-2985-416d-8c9f-af9f9657df4c>. [Accessed 7 Enero 2023].
- [2] O. D. Montoya Giraldo, 2014. [Online]. Available: <https://repositorio.utp.edu.co/items/921a64cb-c606-45bc-88e9-dbf64f052a2>. [Accessed 7 Enero 2023].
- [3] A. Leonardi, K. Mathioudakis, A. Wiesmaier and F. Zeiger, "Towards the Smart Grid: Substation Automation Architecture and Technologies," Hindawi, vol. 2014, p. 13, Agosto 2014.
- [4] E. Mohamed, "The Smart Grid—State-of-the-art and Future Trends," Taylor & Francis, vol. 42, pp. 239-250, febrero 2014.
- [5] R. Franco Manrique, E. Gómez Luna and C. A. Ramos Sánchez, "Smart grid analysis and management in Colombia towards ETAP Real Time solution," Revista Chilena de Ingeniería, vol. 26, no. 4, Diciembre 2018.
- [6] R. Franco Manrique, E. Gomez Luna and C. Ramos Sanchez, "Smart grid analysis and management in colombia towards ETAP real time solution," SciELO, vol. 26, no. 599-611, 2018.
- [7] "IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices," Ieeexplore, pp. 1-43, 2012.
- [8] J. M. Gers, Aplicación de protecciones eléctricas, U. d. Valle, Ed., 1994.
- [9] P. M. Anderson, C. Henville, R. Rifaat, B. Jhonson and S. Meliopoulos, Power System Protection, New Jersey: Institute of Electrical and Electronic Engineers, 2022.
- [10] Y. Hassan Moustafa, A. Y. Abou Ghazala and A. Nabil H, "A Coordinated Recloser-Fusesaver Method for Reliability Enhancement of Distribution Networks," IEEE XPLORE, Agosto 2020.
- [11] L. Hengxuan, S. Haishun, W. Jinyu, C. Shijie and H. Haibo , "A Fully Decentralized Multi-Agent System for Intelligent Restoration of Power Distribution Network Incorporating Distributed Generations [Application Notes]," IEEE Computational Intelligence Magazine, vol. 7, no. 4, pp. 66-76, Noviembre 2012.
- [12] SIEMENS AG, [Online]. Available: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109743486/siprotec-4-7um62-protecci%C3%B3n-multifuncional-de-m%C3%A1quinas?dti=0&lc=es-ES>. [Accessed 15 febrero 2023].
- [13] J. M. Ruiz Proaño, 2017. [Online]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/6888>. [Accessed 7 Enero 2023].
- [14] V. Y. Lyubchenko, A. F. Iskhakov and D. A. Pavlyuchenko, "Reclosers Optimal Allocation for Improving the Distribution Network Reliability," IEEE Xplore, Junio 2021.



- [15] A. Suboor, F. Rais Khan, M. D. Tahmid Hussain and A. Alam, "Optimal Placement of Reclosers in Radial Distribution Systems," IEEE Xplore, Noviembre 2022.
- [16] N. P. S. P. Ltd, 2011. [Online]. Available: <https://docplayer.es/198100400-Noja-manual-del-usuario-noja-power-switchgear-reconectador-automatico-osm-15kv-kv-kv-300-con-control-rc10.html> [Accessed 7 Enero 2023].
- [17] 4DIAC-Consortium, 2021. [Online]. Available: <https://www.eclipse.org/4diac/index.php> . [Accessed 7 Enero 2023].
- [18] M. v. d. Linde, "Using IEC61499 to achieve smart grid automation through interconnected distribution reclosers," IEEE Xplore, Noviembre 2016.