



TRABAJO TEORICO EXPERIMENTAL

Automatización de la red de 34,5kV en la provincia de Villa Clara

Automation of 34,5 kV network in the province of Villa Clara

Obedi - Álvarez Díaz
Marta E. - Bravo de las Casas
Yoel - Brito Hernández

Recibido: Diciembre del 2011

Aprobado: Mayo del 2012

Resumen/ Abstract

En la actualidad la operación de las redes de 34.5kV de la provincia de Villa Clara se hace muy complejo debido a que los desconectivos existentes son operados manualmente por el personal y los tiempos de operación son extensos. El objetivo de la implementación de la automatización de las redes de 34.5kV en Villa Clara es operar dicha red de la forma más eficiente posible, donde se le suministre la energía eléctrica a los clientes con mínimos costos de operación, alto nivel de confiabilidad, disminución de la frecuencia de interrupciones y también de los tiempos. Se seleccionaron los lazos más importantes de la provincia, los cuales incluyen generación distribuida, realizándoles corridas de flujo de carga usando el software PowerSystem Explorer (PSX), obteniendo los lugares donde se deben colocar los recerradores. Estos se comunicarán entre sí, pudiendo ser configurables para distintas condiciones, además de poder operarlos a distancia.

Palabras clave: automatización, recerradores, redes eléctricas, sistemas eléctricos.

At present the operation of the 34.5kV network of the province of Villa Clara is very complex because the existing disconnected are operated by staff and operating times are long. The objective of the implementation of the automation 34.5 kV networks in Villa Clara is operate as efficiently way as possible, where you supply the electricity to customers with minimal operating costs, high reliability, reduced the frequency of interruptions and the times. There have been selected the most important loops in the province, which include distributed generation, performing load flow runs using the Power System Explorer software(PSX), obtaining the locations should be placed reclosing. They shall communicate with each other and can be configured for different conditions, in addition to being to operate them at a distance.

Key words: automation, reclosers, electrical networks, electric system.

INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica de la provincia Villa Clara procedente del Sistema Electroenergético Nacional (SEN) llega a través de la subestación Santa Clara 220 kV y además se transfiere o se recibe energía a través de Placetos 110 kV conectada a la parte oriental del SEN. A partir de estos puntos de entrada la energía se distribuye hacia 13 subestaciones de 110 kV de las cuales dos son de uso exclusivo y el resto de uso compartido.

Estas subestaciones de 110 kV enlazan todos los municipios de la provincia (756 km con 31 circuitos) y por la posición geográfica de la provincia se transfiere energía a las provincias vecinas de Sancti Spíritus y Cienfuegos y se recibe energía de las redes de las provincias occidentales, orientales y Cienfuegos.

La provincia cuenta con la hidroeléctrica del Hanabanilla de 45 MW además, con 10 centrales azucareros que sincronizan al SEN y con cinco minihidroeléctricas en el municipio montañoso de Manicaragua. La generación distribuida en Villa Clara comienza a introducirse a finales del 2005 en dos variantes fundamentales: grupos aislados o en las denominadas baterías. En la actualidad la operación de los lazos de 34,5kV en la provincia se hace muy engorroso, ya que no hay implementada una automática en los diferentes desconectivos existentes. Los mismos son interruptores en aire que se operan por el personal de líneas y por tanto los tiempos de manipulaciones son muy grandes causando molestias a los clientes. Además, son incapaces de permitir el restablecimiento del suministro de energía a secciones libres de falla en una red que en algún momento fue desconectada debido a una falla en otra sección de la red. Los desconectivos deben ser capaces de restablecer la configuración original de la red de manera automática una vez que se ha retirado la falla para lograr la operación de la red más económica, flexible y fiable. La automatización de las redes de 34,5 kV constituye el primer paso, y también la base, para lograr un sistema automatizado para la toma de decisiones con todos los beneficios que ésta trae consigo los cuales serán tratados en el desarrollo del trabajo.

El presente trabajo hace una propuesta de la automatización del lazo Santa Clara 110 kV – Santa Clara Industrial 110 kV ya que en el mismo se encuentra la zona hospitalaria de la ciudad y algunas industrias de importancia, sector que se ha visto afectado por un número elevado de interrupciones, trayendo esto un gasto de combustible por parte de los grupos de emergencia instalados en dichas instalaciones. También se hace la propuesta del lazo Sagua 110 kV– Calabazar 110 kV que contiene industrias importantes del territorio villaclareño como la Cloro Sosa (electroquímica), la fábrica de Bujías entre otras donde en igual período se registraron un número de averías elevadas. Se utiliza para hacer los estudios el software PSX. En Cuba en los últimos años se han introducido exitosamente los restauradores automáticos Nu-Lec Serie-N38[1] y Serie-U27[2], ambos con posibilidades de comunicación y con la versatilidad ante fallas. Presentan las mismas características de los restauradores tradicionales, más las actualizaciones que se la han incorporado para perfeccionar la automatización, telemando y supervisión mediante software. Utilizando estos equipos de tecnología de avanzada, se reducirán los costos operativos, se incrementarán las ganancias debido a menores cortes de energía, y las inversiones de capital podrán ser diferidas a través de un mejor manejo de las redes existentes. Dan así una solución completa para la automatización de sistemas de distribución.

Conceptos generales

¿Cómo las nuevas tecnologías pueden mejorar una red eléctrica? La respuesta está dada en:

1. Brindando información de los activos instalados en la red a distancia para la toma de decisiones.
2. Optimizando los tiempos de respuesta ante averías.
3. Optimizando los tiempos de fallo de los equipos, ante la posibilidad de ser operados a distancia.
4. Realizando auto-seccionalización de las redes, en forma automática o asistida a distancia.
5. Realizando auto restauración de las redes, en forma automática o asistida a distancia.
6. Realizando tele medición y/o tele comando de los equipos de las subestaciones o puntos de medición y/o transformación.

Para tomar las decisiones sobre el uso eficiente y seguro de la red de distribución se requiere *medir*: para saber el grado de utilización de los elementos de la red y *conocer*: para obtener en todo momento el estado de dichos elementos. De manera tal que se pueda predecir lo que podrá ocurrir luego de tomar la decisión sobre cada uno de los activos de la red. No es posible contar con toda la información actualizada, si no se dispone de un sistema de tele-supervisión y/o tele-control. Existen redes tan extensas que impiden la intervención humana en cada decisión, y para ello existen automatismos que se implementan en sectores no críticos de la red donde se usa inteligencia local, a fin de optimizar el manejo y la operación de la misma. Esta es la función que cumplen los sistemas de automatización en distribución. Se entiende por *automatización la aplicación de las técnicas y recursos necesarios para que el sistema de distribución en conjunto pueda ser operado y controlado remotamente, coordinando el uso de sus distintos elementos en tiempo real. En otras palabras es una combinación de sistemas automatizados que le permite a una empresa de energía planear, coordinar, operar y controlar algunos o todos los componentes de su sistema eléctrico, en tiempo real o fuera de línea* [3]. Este concepto cubre un conjunto completo de funciones desde protección a SCADA y la información relacionada con la aplicación de la tecnología de la información [4]. Unido a la habilidad de automatización local, control remoto de dispositivos, y la decisión central hacen que el sistema de distribución sea flexible, con un costo efectivo de la arquitectura de operación.

La automatización de los sistemas eléctricos le permite a las empresas de energía, coordinar, operar y controlar algunos o todos los componentes de su sistema, sin intervención humana. De esta manera, se logran múltiples beneficios entre los que se destacan: acciones mucho más rápidas (a veces casi instantáneas), mayor confiabilidad, mejores condiciones de operación y reducción significativa de costos operativos. Además, reduce el riesgo operativo, cuando es aplicada en forma sistemática y controlada dentro de la red de cada sistema [5]. La infraestructura de los elementos que componen un Sistema Automático de Distribución (SAD) puede ser costosa, pero tiene la ventaja de permitir generalmente una inversión por etapas, que representa desde el comienzo una alta relación beneficio/costo. Esta es la razón por la cual en la mayoría de los países desarrollados y algunos de los que están en vía de desarrollo han implementado en muchos casos de manera parcial al menos estos sistemas.

Hoy la automatización en el ámbito eléctrico, específicamente en el área de distribución, es una solución real (no teórica) tangible y probable para cualquier estructura de empresa eléctrica (distribuidora, cooperativa o usuario privado), siendo la piedra angular para el aumento de la eficiencia y capacidad de respuesta del funcionamiento de su red eléctrica. La automatización de la distribución como mejora de la eficacia y la rentabilidad, es aplicable a todos los sectores involucrados de este mercado independientemente de su envergadura. Por lo general, la implementación de un sistema de automatización se enfoca desde el punto de vista de su gasto y no desde el enfoque inversión versus beneficio.

¿Qué se puede automatizar en nuestras redes? Mucho se ha hablado y se habla sobre la automatización de las redes de distribución, se puede mencionar que poco es lo que se ha hecho en Cuba y en los países de la región, frente a otras áreas del mercado tales como generación y transmisión, donde la automatización ha penetrado más fuertemente, a niveles tales que es posible decir que hoy en día sería casi imposible concebir una planta de generación o una subestación de transmisión sin automatismo o telecontrol. Los avances en la tecnología digital en las últimas décadas han hecho posible la materialización de la automatización en las redes eléctricas. El bajo costo del equipamiento digital ha puesto en manos de los ingenieros eléctricos nuevas herramientas para lograr la automatización en la transmisión y distribución de la energía eléctrica, siendo un concepto realizable y factible con todos los beneficios asociados a las empresas suministradoras y a los clientes. Desde el punto de vista de los costos operativos [6], a medida que las organizaciones piensan en ser más "livianas", la automatización de redes permanece a la vanguardia como un "activador" para lograr los objetivos de aligeramiento, principalmente en el recorte de los costos en términos de aumento de la eficiencia, nivel superior de agilidad, calidad de servicio mejorada y reducción del riesgo. El término "automatización", tiene un extenso significado y aplicaciones adicionales que se incrementan día a día. Constituye un sistema de comunicaciones en el nivel de distribución que puede controlar la carga del usuario y puede reducir la generación a través del sistema de control de carga. Además, puede significar no operar de forma manual la subestación de distribución, la cual puede ser controlada por un microprocesador localizado en la subestación misma, el cual puede continuamente: monitorear el sistema, tomar decisiones, emitir comandos y reportar cualquier cambio en el estado del Centro de Despacho de la Distribución, almacenarlos para su posterior uso, o desecharlos, dependiendo de la necesidad de dichos datos.

Existe una amplia oferta de diferentes fabricantes, pero la elección de cada uno de ellos dependerá de la evaluación de cada opción, analizando el que guarde la mejor relación costo beneficio. No siempre el más barato es el más económico. Esto debe entenderse evaluando en base a diversos aspectos, tales como: prestación, durabilidad, confiabilidad, etc. El objetivo esencial al automatizar las redes de distribución es el de enfocar la inversión hacia los puntos de la red más conflictivos o de mayores fallos, de manera tal de poder controlar, supervisar y operar en consecuencia en forma automática en principio y asistido por un operador en segunda instancia. Resulta posible enumerar una serie de beneficios tangibles e intangibles; directos e indirectos; mensurables y no tan mensurables, que van a dejar en claro que la automatización produce un beneficio a mediano y largo plazo. En realidad, el beneficio siempre tiende a ser medido en valores monetarios, puesto que de ese modo se pueden tomar decisiones más fácilmente, es más sencilla la justificación, obviamente, el objetivo es maximizar el beneficio monetario de la empresa [6-7].

Entre los impactos de la automatización en la eficiencia de las empresas eléctricas se pueden mencionar [3]: interfaces intuitivas para el usuario, procesamiento de datos, estrategias de control definidas por el usuario, localización de datos en tiempo real, obtención de información de situaciones y problemas, obtención de datos históricos para informes, pantallas fáciles de usar y entender, conectividad e inteligencia y flexibilidad para enfrentar necesidades actuales y futuras. Las fallas en los circuitos de distribución tienen un costo elevado no solo para los consumidores sino también para las empresas y se manifiestan en aspectos tales como [Seminario Internacional sobre Automatización de Redes de Distribución de Energía Eléctrica y Centros de Control. São Paulo, Brasil, septiembre 2002. Leal Santana, Alfredo E. "Automatización de redes, subestaciones y soporte de comunicaciones Ciudad de La Habana, Cuba]: costo de mantenimiento, reducción de la facturación, multas, costo social e imagen de la empresa eléctrica.

La estadística mundial indica que el costo del kWh no distribuido es elevado y el costo del mantenimiento se debe principalmente al tiempo de localización de la falla, personal de mantenimiento, equipos de mantenimiento, piezas de repuesto y tiempo del mantenimiento mismo. Debido a esto la automatización de los sistemas es prácticamente indispensable y ha producido excelentes resultados en las empresas de energía que la han implementado. En la actualidad se est n haciendo importantes esfuerzos en hardware y software y en sistemas de comunicación para automatizar los sistemas eléctricos a gran escala. En todo proyecto eléctrico, los elementos que intervienen en la administración, medición y control de las redes, no son precisamente los más costosos, pero sin embargo son los que cobran mayor importancia. Los elementos que conforman el sistema de automatización son los componentes más complejos y menos costosos dentro del contexto de un proyecto eléctrico que incluye desde equipos de maniobra hasta equipos de medición, control y administración. Entre las tecnologías modernas que brindan facilidades y beneficios para la realización de proyectos de automatización de distribución, se encuentran el "SMART GRID" (Red inteligente) [8-9], los sistemas de desconexión automática de generación y la demanda [10], los sistemas "GIS" (Sistema de Información Geográfico), sistemas SCADA, varios tipos de equipos de maniobra como seccionadores, restauradores, etc., para el manejo y operación de la apertura y cierre de los alimentadores y de las subestaciones, con comunicación directa a los administradores del sistema y por último las formas de lograr la comunicación [5-6]. Las funciones de automatización se pueden clasificar según el elemento sobre el que actúan, agrupándola en tres niveles: subestación, alimentador y cliente. Otra clasificación las agrupa de atendiendo a tres capacidades de gestión del sistema: control, supervisión y protección [3]. Cuando se va a automatizar un sistema, normalmente solo una porción del mismo se debe seleccionar, puesto que existen secciones del mismo que no requieren de esta herramienta, tales como los tramos que atienden cargas pequeñas y remotas o de poca importancia.

Metodología para automatizar un sistema de distribución

De acuerdo a la experiencia de empresas con sistemas automatizados, se recomienda iniciar un proceso de este tipo mediante la selección de un prototipo, el cual permita recoger experiencias importantes antes de acometer una automatización global para un sistema de distribución. En este caso la muestra se selecciona de manera que sea representativa y especialmente que tenga cargas importantes tales como las de escenarios deportivos, hospitales, estaciones de policía, universidades, industrias, y centros comerciales. De esta manera, no solamente se toma un sector que realmente identifique un buen conglomerado de clientes, sino que se pueden evidenciar de primera mano las ventajas de un sistema automatizado.

La metodología puede tener las siguientes etapas (*Seminario Internacional sobre automatización de redes de distribución de energía eléctrica y centros de control .São Paulo. Brasil. Septiembre 2002. Moreno Ruiz, J.J. "Metodología multi-etapa para la automatización de redes de distribución"*):

- Análisis de la topología existente para determinar una mejor condición de operación de la red que con lleve pérdidas mínimas en su operación sin violar los niveles de tensión exigidos por la empresa de energía correspondiente.
- Selección de las fronteras más apropiadas de manera que al menos haya una entre cada par de alimentadores. En cada frontera debe ubicarse un interruptor o un dispositivo de corte de seccionamiento.
- Ubicación de dispositivos de corte de seccionamiento entre los puntos de frontera y las subestaciones, que permitan mantener la condición radial de los sistemas de distribución. Al menos debe haber un dispositivo de corte entre la frontera y la subestación pero en sistemas grandes el número puede llegar a ser mayor, típicamente del orden de 10.
- Implementación de módems en los interruptores de manera tal que ellos puedan ser comandados remotamente por un operador desde un centro de control.
- Implementación del sistema SCADA para adelantar labores de mapeo, control de eventos y registro estadístico de las condiciones de operación.
- Implementación de la operación automatizada mediante la instalación un paquete de software, con el fin de lograr el máximo beneficio de la red.

La operación de los dispositivos automáticos podrá ser controlada de forma manual y remota desde el Despacho de Distribución permitiendo una mayor facilidad en la operación del sistema. No obstante ante una falla en una sección determinada de un alimentador los dispositivos deberán operar en perfecta coordinación con el relé de reenganche de la subestación y con los fusibles u otros dispositivos de protección de los ramales que existan dentro de esa sección del circuito. Cuando se integre todo el sistema, un dispositivo inteligente ubicado en la subestación será el encargado del control de la operación automática, lo que posibilitará el cierre del alimentador con la falla ya aislada evitando el desgaste del

interruptor en la subestación y eliminando posibles averías en cables, conexiones e interruptores al circular por ellos durante menos tiempo y menor cantidad de veces la corriente de falla. Teniendo en cuenta las condiciones de las redes eléctricas en Cuba se realizó el trabajo usando recerradores Nu-Lec, que en la actualidad es un dispositivo muy utilizado. Los mismos poseen todas las características para este desempeño. La utilización de los restauradores automáticos provee significantes ahorros para las redes ya que crean un alto grado de protección al sistema brindando así un menor tiempo sin servicio. Los restauradores modernos disponen de software automatizado con lo cual se mejora la confiabilidad de las redes eléctricas [7].

Automatización de circuito cerrado (LOOP ATOMATION)

El "LoopAutomation" es un Esquema Automático de Distribución (DSA) el cual va a reconfigurar una red de manera automática para regresar el suministro de energía a secciones libres de falla que fueron desconectadas debido a una falla en otra sección de la red. También puede restablecer las condiciones iniciales de la red de manera automática cuando se haya reparado la sección con falla y se haya normalizado la energía. Un esquema de automatismo "LoopAutomation" consiste en un número de restauradores automáticos que han sido programados para reaccionar debido a una pérdida de suministro de alimentación y/o cambio en el flujo de la energía. La manera en que cada restaurador reacciona para cambiar las condiciones de la red se determina por su designación previa. Puede haber tres tipos de restaurador en un esquema de automatismo y el tipo asignado para cada restaurador se determina por su localización en la red.

Los tipos de restauradores son [11]:

- Restaurador alimentador: Este restaurador se ubica cerca de la subestación y se encuentra normalmente cerrado.
- Restaurador de enlace: Se ubica al final de dos circuitos o muy cercano a este punto y se encuentra normalmente abierto.
- Restaurador intermedio: Se puede posicionar en cualquier lugar a lo largo del circuito entre el restaurador alimentador y el restaurador de enlace.

Cada tipo de restaurador opera de manera independiente de acuerdo a su propio conjunto de reglas. Este tipo de esquema de automatismo "LoopAutomation", no requiere de comunicaciones entre restauradores, por lo tanto, no se requiere de equipo adicional. El "LoopAutomation" es un software característico.

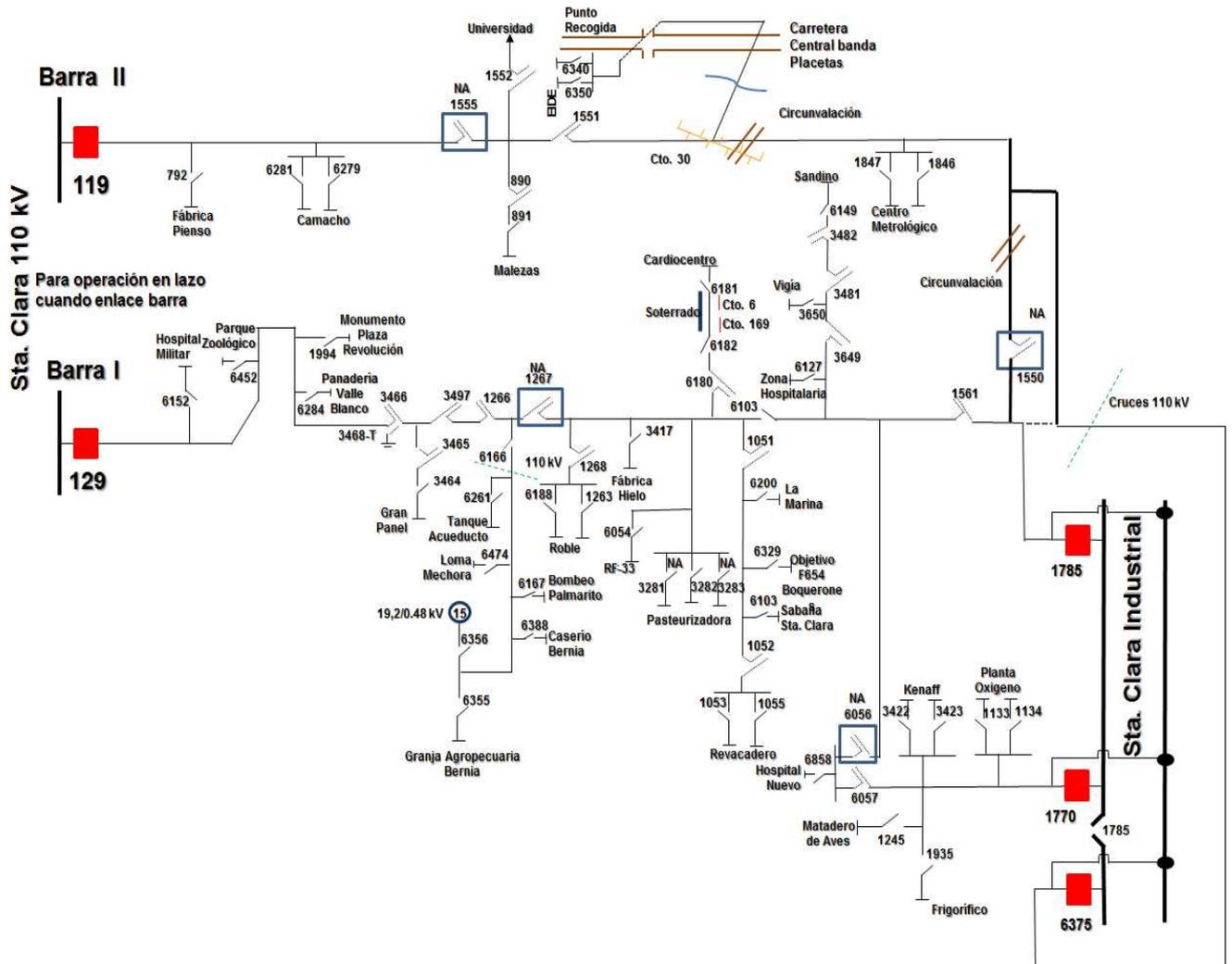
AUTOMATIZACIÓN DEL LAZO DEL 129 SC 110 KV – 1785 Y 1770 SC INDUSTRIAL 110 KV

Este lazo comprende un área y objetivos importantes en los alimentadores de la ciudad de Santa Clara como el 119 y 129 de la Subestación de Santa Clara 110 kV que incluyen importantes clientes estatales como son el Hospital Militar, Mausoleo Plaza de la Revolución, Tanque Acueducto y Bombeo Palmarito, así como las zonas residenciales de la ciudad Camacho y Roble. Los alimentadores 1785 y 1770 de la subestación Santa Clara Industrial 110kV contienen la zona hospitalaria de la ciudad: Hospital Arnaldo Milián, Viejo, Infantil, Materno, Cardiocentro entre otras, receptores industriales como el Frigorífico, Planta de Oxígeno y Pasteurizadora además, los residenciales de la Vigía y Sandino. En la figura 1, se muestra el monolineal del lazo. Las interrupciones ocurridas en los alimentadores en los últimos tiempos han sido altas, 139 en el año 2010 y hasta el mes de mayo del 2011, 44 entre fallas y operaciones, trayendo esto grandes gastos a la economía del país al poner dichas instituciones la marcha de sus grupos de emergencia cuyo combustible es el diesel con un alto valor en el mercado de adquisición.

ESQUEMA PROPUESTO DE AUTOMATIZACIÓN

Se propuso un esquema como el mostrado en la figura 2, con ocho restauradores, pudiéndose implementar la automática en tres etapas:

- Instalar restauradores en las actuales desconectivos 6166 y 1051 para aislar averías en estos dos ramales que son los más largos del lazo y que poseen un alto índice de fallos.
- Instalar restauradores en los actuales interruptores en aire 6056 y 6057 que permita transferir al Hospital Nuevo de forma automática.
- Instalar restauradores en la sección Hospital Militar – Plaza de la Revolución, sustituir los actuales desconectivos 3466, 1267, 6163 por restauradores.



Ante una falla al estar el “LoopAutomation” habilitado se iniciará la siguiente secuencia de eventos después de que la secuencia de autorrecierre haya finalizado y el restaurador alimentador se encuentre en bloqueo:

- El restaurador intermedio cambiar  de manera automática su grupo de protección para anticipar el cambio de flujo de energía.
- El restaurador de enlace detectar  la pérdida de tensión de uno de sus lados y cerrar  automáticamente.
- El restaurador intermedio abrirá debido a que se encuentra con la falla en la sección y se irá de manera inmediata a “bloqueo” sin hacer autorrecierre.

La red ha sido reconfigurada, quedando aislada la falla en la sección dada y la sección sin falla, tiene de nuevo energía debido al cierre del restaurador de enlace.

El “Loop Automation” puede restablecer de manera automática las condiciones originales de la red cuando haya sido eliminada la condición de falla en la sección dada. Este proceso de auto-restablecimiento se inicia después de haber quitado la falla en la sección y cerrar ya sea el restaurador intermedio o el alimentador. Esto iniciará la siguiente secuencia:

- El punto que aún permanece abierto, cerrar  de manera automática (ya sea el restaurador intermedio o el alimentador).
- El restaurador de enlace abrirá para regresar a su configuración normal.

Si la red no permite utilizar este automatismo en un lazo cerrado (anillo) entonces no se debe de utilizar esta opción de auto-restablecimiento. Se analizaron las condiciones de operación de los diferentes lazos de emergencia propuestos por el despacho territorial de carga para cada una de las subestaciones aquí expuestas, se estudiaron las condiciones de tensiones y la cargabilidad de las líneas, comprobando así la operatividad de los mismos en condiciones de máxima carga, en algunos de los casos sin presencia de sistema trabajando en islas o con apoyo de la generación distribuida.

RESULTADOS DE LOS RESTAURADORES PROPUESTOS

Se analizaron los resultados de las simulaciones utilizando el software PSX a la red con los restauradores Nu-Lecen los lazos propuestos. Se realizaron aperturas y cierres en los diferentes puntos propuestos a colocar los restauradores, comprobando así si estos son capaces de mantener la continuidad del servicio a los clientes ante cualquier tipo de fallas en la red. Se analizaron las condiciones de operación en el Hospital Nuevo al operar los restauradores ubicados en los desconectivos 6056 y 6057, ajustados a 1 s por cuestiones gráficas para mayor apreciación, en la realidad estos equipos tienen grandes posibilidades de ajustes. Todo lo anterior se puede implementar según convenga formando equipos que se comuniquen entre sí o independientes que actúen según las condiciones para las cuales se configuren.

La figura 3, muestra el comportamiento de la tensión en el Hospital Nuevo por 34.5 kV al producirse la apertura del 6057 NC que proviene del alimentador 1770 y cerrar el 6056 NA del 1785. Se puede observar que la tensión se mantiene con muy buenas condiciones con solamente una variación de 0.19kV, manteniéndose por encima del mínimo permitido.



Fig. 3. Variación de la tensión.

La figura 4, muestra el comportamiento de las corrientes por las líneas de los alimentadores del 6056 NA y 6057 NC al ocurrir el cambio de los mismos.

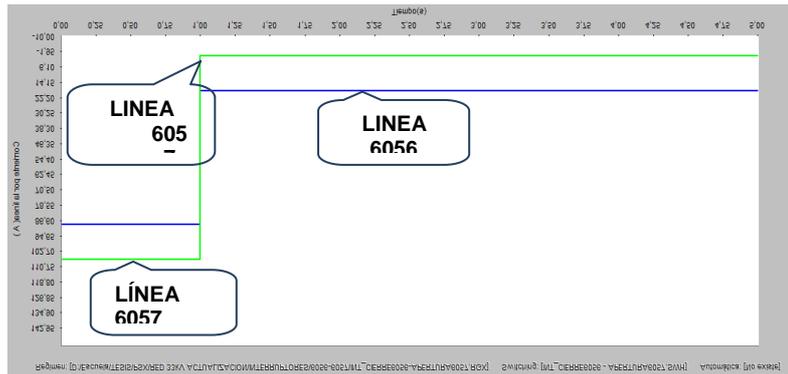


Fig. 4. Corriente por las líneas.

La línea que proviene del alimentador del 1785 al cerrar el interruptor del 6056 NA inmediatamente asume la carga y la del 6057 NC al abrir pasa a estado cero. La línea del desconectivo 6057 NC al producirse la apertura la transferencia por ella es cero y la del 6056 NC asume la carga. Las transferencias de potencia en las líneas se muestran en la figura 5.

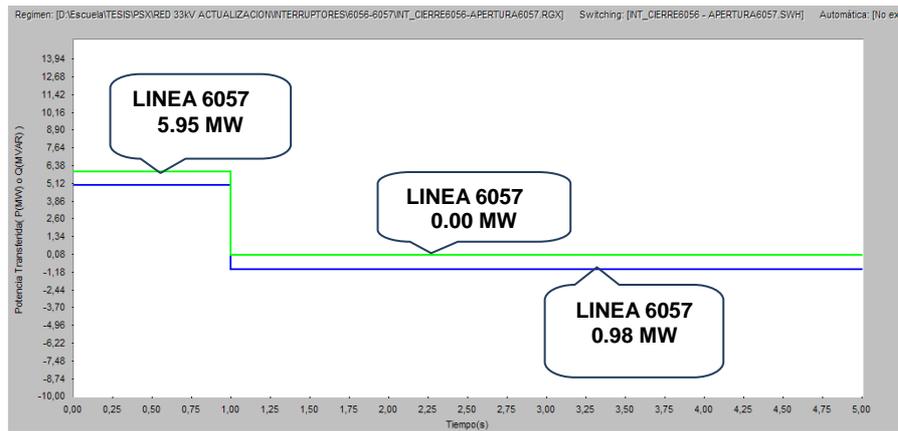


Fig. 5. Potencia por las líneas.

Las oscilaciones de la frecuencia durante la operación de los restauradores ubicados se muestran en la figura 6. Importante parámetro a tener en cuenta durante la apertura y cierre de los interruptores ya que una gran variación de la misma puede ocasionar daños irreparables a las máquinas instaladas, así como las reactancias de las líneas y todos los equipos eléctricos que se encuentran en el mismo. En este caso la frecuencia se mantiene entre los máximos y mínimos establecidos solamente con una pequeña variación en el momento de la operación del restaurador y después se estabiliza.

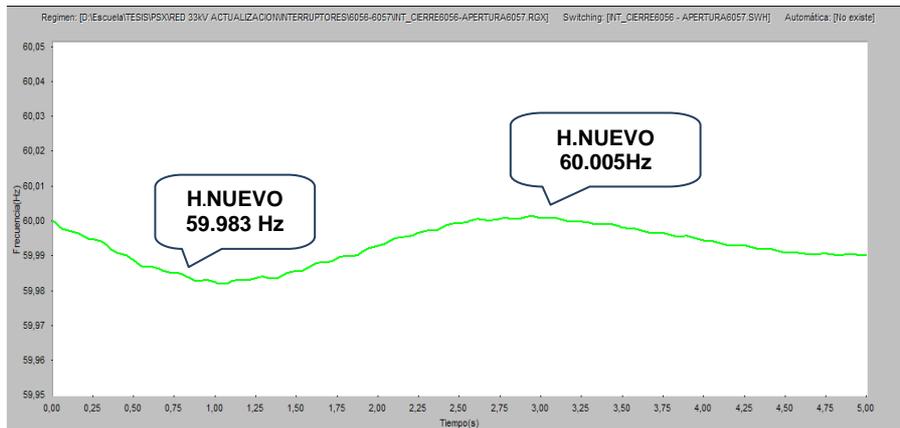


Fig. 6. Oscilaciones de la frecuencia.

Los demás restauradores ubicados en el lazo fueron analizados teniendo resultados satisfactorios.

AUTOMATIZACIÓN DEL LAZO 1225 – 1215 – 1205 SAGUA 110 KV

En este lazo se encuentran los alimentadores 1205 – 1215 – 1225 de la Subestacion de Sagua 110 kV, teniendo entre ellos una variedad de receptores estatales como son la Cloro Sosa, las fábricas de Calderas, Bujias, Hielo, Electroquímica, Fundicion 9 de Abril, importantes industrias de la provincia, además de los centros de salud en el municipio y todas las zonas residenciales del municipio cabecera municipal, Villa Alegre (Sagua 13kV), Isabela, Siticecito, Sitio Grande entre otras localidades y centros estatales. En la figura 7, se muestra el monolineal del lazo. Las interrupciones registradas en el año 2010 suman un total de 146 entre operaciones y averías y hasta el mes de mayo del 2011 se habían registrado 46, afectando la economía de la empresa eléctrica debido los kW no suministrados. El perjuicio no es solamente la energía que se deja de suministrar y facturar, sino también están las penalidades que en muchos de los casos supera al monto por la energía no suministradas.

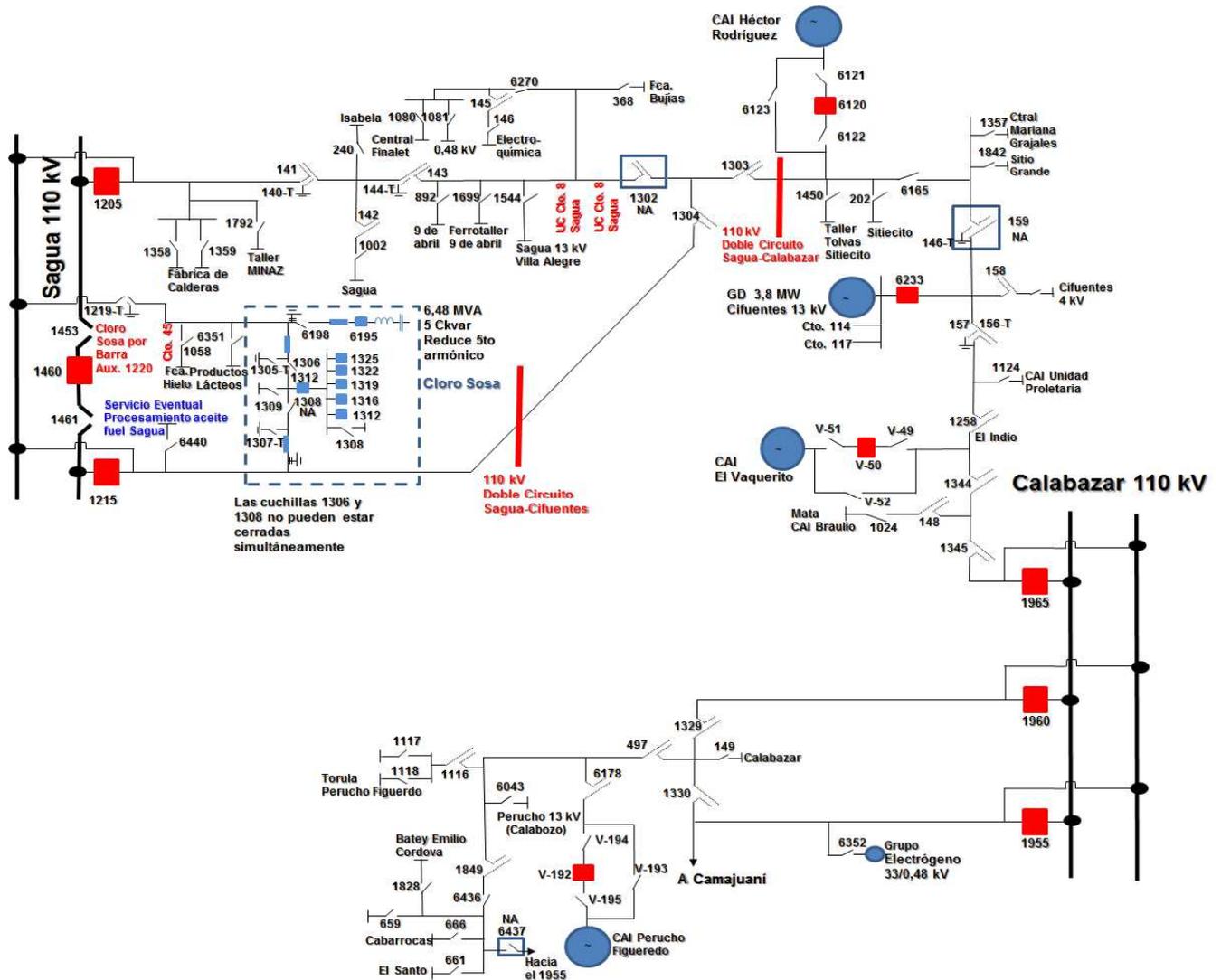


FIG. 7. MONOLINEAL DEL LAZO 1225 – 1215 – 1205 SAGUA 110 KV.

ESQUEMA PROPUESTO DE AUTOMATIZACIÓN DEL LAZO 1225 – 1215 – 1205 SAGUA 110 KV

Una variante de automatización para el lazo es con ocho restauradores, figura 8, donde la automática se puede ejecutar en tres etapas:

- Sustituir los actuales desconectivos 1306 y 1308 por restauradores que permitan transferir a CloroSosa en forma automática.
- Sustituir los actuales desconectivos 141, 143 y 1302 por restauradores.
- Sustituir los actuales desconectivos 1303, 159 y 1344 por restauradores.

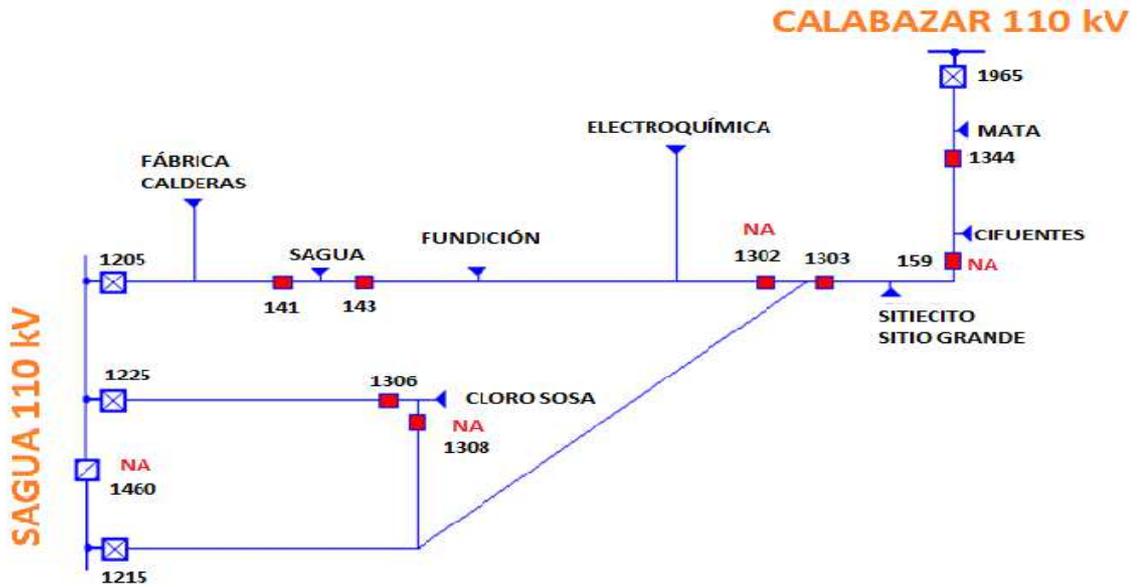


Fig.8. Esquema propuesto de automatización del lazo.

Se analizaron cómo se comportan las condiciones en la Cloro Sosa al operar los restauradores ubicados en los desconectivos 1306 y 1308 ajustados a 1 s. Lo demás restauradores también fueron analizados los cuales arrojaron resultados satisfactorios. La figura 9, muestra la variación de la tensión al actuar los interruptores 1306 y 1308 aunque no se mantiene el mismo que en su condición normal de operación aún está en el rango permisible. En este caso la tensión experimenta una variación de 2.21 kV, por encima del mínimo permitido ya que la Cloro Sosa pasa a un alimentador con mayor carga.

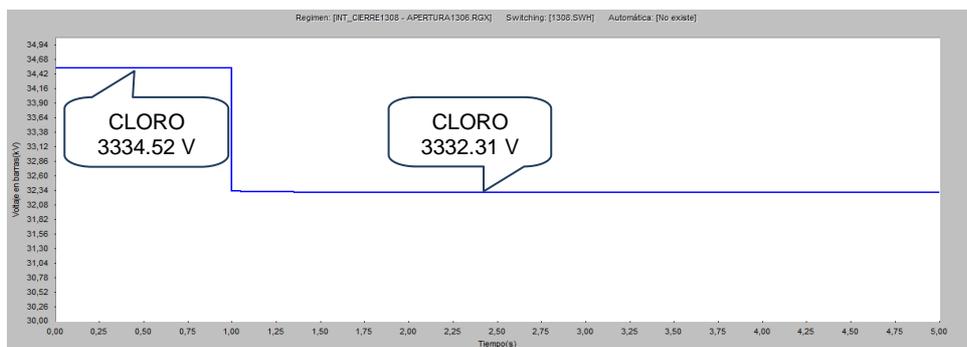


Fig. 9. Tensiones.

El comportamiento de las transferencias de potencia por las líneas involucradas en las aperturas y cierres producidos por los restauradores se muestra en la figura 10. La línea que proviene del alimentador del 1205 al cerrar el interruptor del 1308 NA inmediatamente asume la carga y la del 1306 NC al abrir pasa a estado cero.

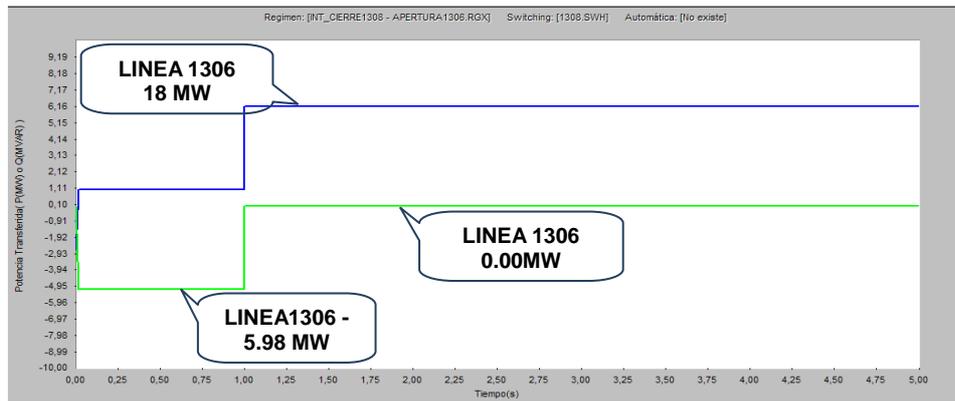


Fig. 10. Potencia por las líneas.

Al producirse el cambio de alimentador de la Cloro Sosa, la línea del 1308 aumenta su transferencia de potencia. La figura 11, muestra las oscilaciones de la frecuencia del sistema durante la operación de los restauradores, parámetro a tener en cuenta sobre todo en las industrias donde existe gran cantidad de motores eléctricos así como todos los equipos eléctricos, pues pueden experimentar grandes daños con una gran variación de la frecuencia. Se puede observar la oscilación de la frecuencia al ocurrir la operación de los restauradores, con una disminución de solamente 0.02Hz estabilizándose al transcurrir varios segundos.

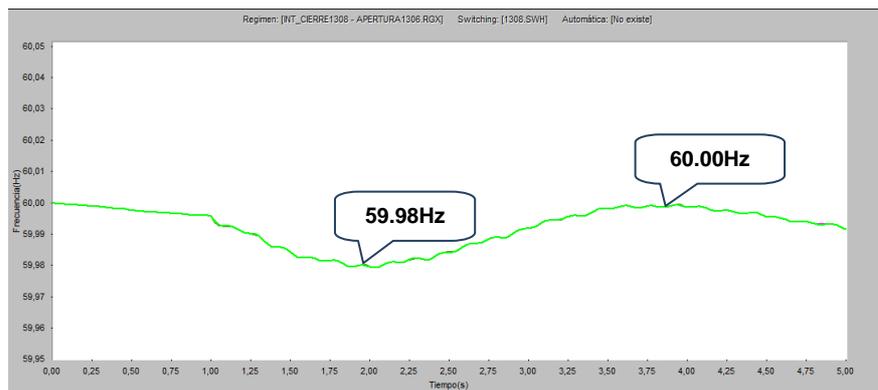


Fig.11. Oscilación de frecuencia.

CONCLUSIONES

1. La automatización de la 34,5kV en la provincia traerá consigo una mejor operatividad del Sistema Electroenergético de Villa Clara.
2. El proceso de automatización de los lazos hará que el TIU (Tiempo de Interrupción al Usuario) se reduzca a valores que pueden estar dentro de los estándares internacionales.
3. La automatización debe ir aparejada con una reconfiguración de los circuitos, se logran valores de pérdidas en líneas bajos.
4. Los restauradores pueden ser configurados y manejados desde el sistema de control, sin la necesidad que los técnicos deban visitar cada uno para cambiar la configuración de los parámetros. Esto permite una reducción en el personal y una mejor integridad del sistema.

REFERENCIAS

- [1] *Nu-Lec Industries*, "N-Series Automatic Circuit Recloser". Technical Manual. Version 28. (2006), p. 1-176. [consulta: 12 de octubre del 2009], Disponible en: http://www2.schneider-electric.com/sites/corporate/en/products-services/electrical-distribution/products-offer/filepath=/templatedata/OfferPresentation/3_Range_Datasheet/data/en/shared/electrical_distribution/n_series.xml#.

- [2] *Nu-Lec Industries*, "U-Series Automatic Circuit Recloser". Technical Manual. Version 28. (2005).p. 1-7. [consulta: 12 de octubre del 2009], Disponible en: <http://www.engineering.schneider-electric.dk/Attachments/ed/instal/advc%20u-series%20installation.pdf>.
- [3] VILCAHUAMÁN SANABRIA, Raúl César, "Análisis interactivo gráfico de sistemas eléctricos de distribución primaria". Tesis para optar por el grado de Máster en Ingeniería. Pontificia Universidad Católica de Chile. (1993). p. 1-148. [consulta: 12 de enero del 2011], Disponible en: <http://web.ing.puc.cl/~power/paperspdf/vilcahuaman.pdf>
- [4] MÜFIT, Altin, "Fault Detection and Service Restoration in Medium Voltage Distribution System". Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Electrical and Electronics Engineering. Supervisor: Prof. Dr. Nevzat ÖzyayMiddle East Technical University 2009. 57p.
- [5] GERS, Juan M.; ARAGÓN, Luis E., "Guías para la Implementación de Sistemas de Distribución Automatizados". Consejo Colombiano de Seguridad. (2010), 84p. Certificado. No. 637-1. [consulta: 12 de enero del 2011], Disponible en: http://www.gers.com.co/pdf/implementacion_DSA-SP_gers.pdf
- [6] CAMPANA, Pablo E. F., "Automatización de distribución. Una mejora en la eficiencia del Servicio y en la Rentabilidad de la Inversión". (2010). p. 1-16. [consulta: 12 de abril del 2009], Disponible en: <http://www.autotrol.com.ar>.
- [7] AREVA. Cap 25, "*Distribution System Automation*" *Network Protection & Automation Guide*. Printed by Cayfosa, Barcelona, Spain, 2005. p. 443-453, ISBN 2-9518589-0-6.
- [8] POTENZONI, E., ALONSO, J.; L. RODRÍGUEZ, E., "*Aplicación de un Dispositivo de Desconexión Automática Adaptivo en un Sistema de Suministro de Energía Eléctrica Aislado*". Presentado en el "XIII Encuentro Regional Iberoamericano de CIGRE," Comité de Estudio B5 Protecciones de Sistemas y Automatización de Subestaciones (2009): p. 1-8.
- [9] *EyS*, "*Las Redes Eléctricas Inteligentes. El Aporte de las TIC*". *Energía y Sociedad*. (2011). n. 39, p.1-27. [consulta: 25 de enero 2012], Disponible en: <http://www.energiaysociedad.es>.
- [10] COMABELLA, José; BLANCO, Santiago, "Proyecto CENIT ENERGOS". Presentado en la conferencia Redes Eléctricas Inteligentes (Smart Grid), 14 de junio de 2010, Auditorio Unidad Editorial Madrid. p. 1-40. [consulta: 14 de enero 2011], Disponible en: http://www.fundaciongasnaturalfenosa.org/SiteCollectionDocuments/Actividades/Seminarios/Madrid%2020100526/2_Santiago%20Blanco.pdf.
- [11] *Transmission & Distribution World, Primedia Publication*. (en línea) "Loop Automation Restores Supply Quickly from an Alternate Source, Saving Time and Money", [consulta: 22 de junio del 2011], Disponible en: <http://www.tdworld.com>.

AUTORES

Obedi Álvarez Díaz

Especialista Eléctrico, Empresa Eléctrica Villa Clara, Cuba.
e-mail: obeleonaste@elecvccl.une.cu.

Marta E. Bravo de las Casas

Dra. en Ciencias Técnicas. Profesora Titular, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Central de Las Villas, Cuba.
e-mail: mbravo@uclv.edu.cu

Yoel Brito Hernández

Ingeniero Eléctrico, Ministerio de las Fuerzas Armadas. Las Villas, Cuba.