



Comité Nacional Paraguayo  
VII SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO  
25, 26 y 27 DE OCTUBRE DE 2006



Unión de Ingenieros de la ANDE  
VI SEMINARIO TÉCNICO – U.I.A

VII/CE-C4-03

## **Ubicación Óptima de Llaves Telecomandadas del SCADA en un Sistema Eléctrico de Distribución**

**Ing. Marcelino Marciano Bernal Taboada**

**Ing. Cristhian Cristofer Enriquez Moreno**

**Administración Nacional de Electricidad - ANDE**

**Paraguay**

### **RESUMEN**

Este trabajo presenta un método, mediante el cual se puede determinar la cantidad y ubicación óptima de llaves telecomandadas del Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos; en adelante SCADA; sobre los alimentadores primarios de un sistema eléctrico de distribución, de configuración radial con recursos, cuya topología se conoce. Se plantea optimizar los beneficios económicos por la reducción de las pérdidas asociadas a las interrupciones del servicio público de energía eléctrica. Se utiliza el Algoritmo Genético, como método de optimización con una función de adaptación basada en el beneficio económico, la estimación de la confiabilidad del sistema eléctrico de distribución conforme a la historia de los eventos, y los costos relacionados a la implementación del SCADA. Finalmente se aplica el método a los alimentadores primarios de un sistema real, correspondiente a la ANDE y se concluye que el método es aplicable como un criterio válido que brinda un resultado muy cercano al óptimo real, por tanto es el primer paso para obtener una herramienta eficaz para este tipo de problemas.

### **PALABRAS CLAVES**

Sistemas de Distribución, Automatización, SCADA, Algoritmos Genéticos, Confiabilidad.

## 1 INTRODUCCIÓN

Un sistema de distribución de energía eléctrica consiste básicamente en un gran número de fuentes y consumos interconectados entre sí mediante un sistema de alimentadores dispuestos de forma a entregar un servicio de calidad, bajo ciertos márgenes de confiabilidad al mínimo costo posible. Se tienen distintas configuraciones de los alimentadores dependiendo de los requerimientos, siendo los tipos radiales los más utilizados en los centros urbanos; pues son fáciles de modificar mediante la apertura y cierre de interruptores, y simples en sus esquemas de protección.

Mantener abastecido a los consumidores de energía según padrones adecuados de continuidad y mejorar las condiciones de operación, tomando menos riesgos y maniobras seguras, son sin duda una cuestión de suma importancia para cualquier empresa debido a la relevancia que ha adquirido la calidad del suministro eléctrico, exigiendo así que dicho servicio alcance una mejor calidad, como se hace con cualquier otro producto comercial. El consumo y los consumidores serán cada vez más exigentes en esta materia y los encargados de la regulación del sector eléctrico en otros países lo introducen ya con asiduidad en la ley y normativas que establecen [3].

Para cumplir las variadas exigencias y garantizar la competitividad de las empresas se requiere invertir en automatizar funciones en los sistemas de distribución, por medio de hardware y software especializado para mejorar aspectos como restauración del servicio, reducción de pérdidas y monitoreo de armónicos, entre otros. Uno de esos sistemas lo constituyen los denominados Sistemas de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (más conocidos por las siglas inglesas SCADA), presentes hoy día en innumerables instalaciones industriales de cierta complejidad. Las principales funciones de un sistema SCADA consisten en la captura de todos los datos relevantes del sistema supervisado, mediante unidades normalmente remotas, el mantenimiento de una base de datos, la presentación en pantallas gráficas de la información disponibles resaltando posibles alarmas o eventos importantes y facilitar al operador la actuación sobre elementos de control del sistema para modificar su evolución [4].

La ubicación de los elementos de control del SCADA constituye una variable que modifica el desempeño del sistema supervisado y su impacto económico, tanto para la empresa distribuidora de electricidad como para el usuario del sistema; esto hace necesario contar con una herramienta metodológica que ayude a determinar el número y puntos óptimos de localización de los elementos de supervisión y control, basados en las características particulares de cada red de distribución, a fin de obtener el máximo rendimiento de la inversión realizada.

## 2 OPERACIÓN DE LAS REDES PRIMARIAS

Típicamente, los sistemas primarios aéreos de distribución se han operado como circuitos radiales, de la subestación hacia fuera. El alimentador principal normalmente está constituido de un circuito trifásico denominado troncal, del cual se derivan los circuitos laterales o ramales, a través de equipos de maniobra o fusibles, para proteger el sistema contra falla en los circuitos laterales.

Las empresas distribuidoras de energía eléctrica utilizan disyuntores automáticos de reconexión del alimentador y reconectores de línea, para minimizar las interrupciones del servicio. Sin embargo, los problemas serios relacionados con la línea principal causarán una paralización de algunos o de todos los tramos del alimentador, hasta que las cuadrillas de reparación de líneas puedan localizar el problema y hacer funcionar manualmente los seccionadores de conexión ubicados en la parte superior de los postes, en forma adecuada para aislar ése problema y transferir tanta carga como sea posible a los alimentadores adyacentes, hasta tanto sea reparado el tramo con avería. Por lo común se encuentran llaves de este tipo tanto en los circuitos principales como en los ramales.

En general, éste procedimiento ha suministrado un nivel aceptable de servicio hasta hace unos años, sin embargo con el aumento de la dependencia de la energía eléctrica de parte los usuarios, los tiempos involucrados en la reposición del servicio se han vuelto inaceptables, obligando a las empresas distribuidoras a realizar inversiones para reducir los tiempos de indisponibilidad.

En países de la región la continuidad del servicio eléctrico está reglamentada, y se aplica una penalización a aquellas distribuidoras que no satisfagan los indicadores de continuidad mínimos [3].

Para minimizar el número de consumidores perjudicados por una paralización del servicio y reducir la duración de ésta, se ha iniciado una tendencia a hacer mayor uso de equipos de protección y seccionamiento automáticos en el sistema primario, estos van desde algún tipo de control por supervisión (telecontrol y telemedición), hasta los sistemas controlados por computadora con lógica integrada (reposición automática), para hacer frente con rapidez a los diversos problemas que puedan surgir.

### **3 AUTOMATIZACIÓN EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN**

Se puede definir a la Automatización en Distribución, como la aplicación de 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 [2], [4].

La noción de tiempo real implica que el sistema de control debe ser capaz de tomar en cuenta interrupciones no planificadas procedentes de elementos del proceso. Las acciones automáticas permiten que menos usuarios permanezcan desconectados, quizás ninguno.

#### **3.1 Filosofía de la Automatización en Distribución**

El desarrollo de la automatización involucra tanto al hardware como al software. En efecto, se hace necesaria la existencia de una completa base de datos del sistema. Esto implica una base de datos estática del sistema, que guarde toda la información topológica de la red y una base de datos en tiempo real que almacene todos los datos dinámicos (cargas, tensiones en algunas barras) [2].

Los sensores y actuadores serían parte importante de este hardware. Los primeros miden las variables importantes de la red para luego almacenar esta información en la base de datos del sistema, mientras los segundos actúan sobre el sistema llevando a efecto las decisiones tomadas por un operador o por un determinado software.

El software mencionado existe en dos niveles. En el primero se procesa toda la información existente en la base de datos del sistema. Perfiles de voltaje, flujos de potencia en cada rama de la red, factor de potencia, serían algunos de los resultados de este proceso. En el segundo nivel otro conjunto de programas se encargaría de tomar las decisiones que demande la red en tiempo real. Esta función puede ser complementada por la acción relativamente rápida de un operador.

De esta manera cuando ocurre una falla que haga actuar un dispositivo de protección ocasionando una interrupción del suministro eléctrico, será posible reconfigurar los alimentadores primarios en forma remota a través de las llaves telecomandadas del SCADA, minimizando de esta manera el tiempo de indisponibilidad del servicio en los tramos sin falla.

### **4 ALGORITMOS GENÉTICOS**

Los algoritmos genéticos como mecanismo de búsqueda de óptimos han tenido en las últimas décadas un importante desarrollo. Su funcionamiento se inspira el modelo darwiniano de la supervivencia de los más adaptados y su terminología es regida por la biología evolutiva.

La idea general de un algoritmo genético consiste en la construcción de una población inicial de soluciones, seguida de un proceso iterativo que comprende las fases de selección (determinación de las soluciones que se reproducirán), reproducción (creación de nuevas soluciones a partir de la recombinación y/o mutación de las seleccionadas) y reemplazo (determinación de las soluciones que serán eliminadas para dejar sitio a las anteriormente creadas) [7]. Este esquema se repite hasta que se alcance alguna condición de parada.

De esta manera, los algoritmos genéticos operan sobre una población compuesta de posibles soluciones al problema. Cada elemento de la población se denomina *cromosoma*. Un cromosoma es el representante, dentro del algoritmo genético, de una posible solución al problema. La forma en que los cromosomas representan a la solución se denomina codificación genética [5], [7].

## 5 METODOLOGÍA PROPUESTA

### 5.1 Representación Topológica

Para realizar la evaluación de la confiabilidad de los alimentadores del sistema de distribución primario, se modelará la red a través de grafos [6], [8], donde cada nodo del grafo representa un tramo del alimentador, unidos por los equipos de maniobra y/o protección representados por las aristas, de manera a representar el flujo de energía a través de los diferentes tramos. Cada una de las aristas es una posible ubicación de una llave telecomandada. Queda claro que los consumidores conectados a un mismo tramo sufrirán idénticas consecuencias ante las diversas contingencias que tendrán lugar en la red. Esto significa que hay una correlación perfecta entre tramo (de alimentador) y consumidor.

La representación topológica es un documento gráfico, que también puede ser descrito a través de una matriz de adyacencia, cuyo elemento es ingresado con un 1 (uno), si existe una arista que vaya del nodo  $i$  (fila de la matriz) al nodo  $j$  (columna de la matriz) [6].

Un procedimiento del algebra de matrices puede generar otra matriz que brinda los datos de conectividad entre los diferentes nodos del grafo, esta matriz es denominada la matriz caminos del grafo en estudio [6]. En la figura 1, se muestra el esquema de una red de distribución y su representación correspondiente.

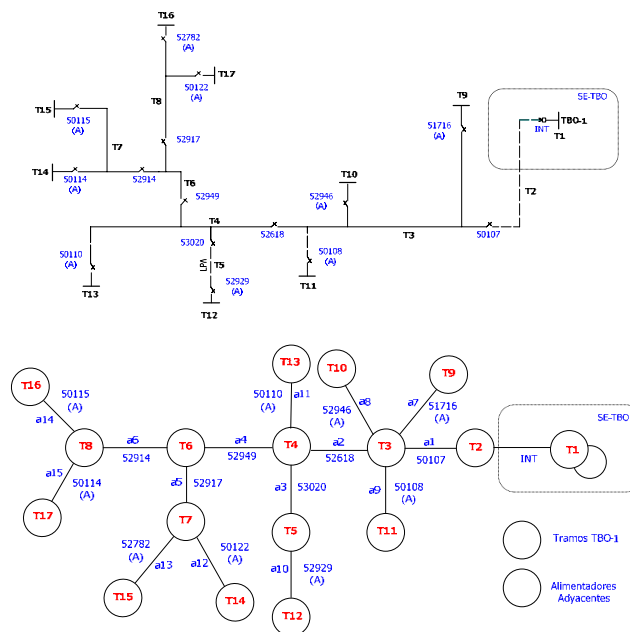


Figura 1: Representación topológica

### 5.2 Caracterización de Elementos

Los tramos de alimentadores y los elementos de protección considerados, se caracterizan por los siguientes indicadores [1], [9]:

**Tasa de falla ( $\lambda$ ):** Para un tramo o equipo de protección, la tasa de falla indica las veces que, en promedio, dicho elemento se ve sometido a alguna condición que implica la operación de algún dispositivo de protección. Incluye fallas por cortocircuitos, sobrecargas, descargas atmosféricas, falla de aislamiento, accidentes, entre otros. Generalmente se considera como unidad de tiempo el periodo de 1 (un) año, ya que la disponibilidad de energía eléctrica normalmente es alta. El inverso de la tasa de falla se conoce como tiempo medio entre fallas.

**Tiempo de Reposición ( $r$ ):** Es el tiempo promedio que dura una falla de suministro; expresado en horas, el tiempo total de interrupción de un tramo depende de la clase de protección asociada y del tipo de trabajo que se debe realizar para restablecer el servicio eléctrico (maniobras de transferencia, reparaciones, recambios, limpieza).

Estos parámetros dependen en gran medida de las particularidades de cada sistema eléctrico.

### 5.3 Codificación Genética

La codificación genética es una etapa crucial dentro del Algoritmo Genético, ya que determina la forma en que se va a almacenar la información. En este caso se utilizó una codificación binaria y su estructura se detalla a continuación.

Representando al alimentador de distribución primario mediante un grafo; cada posible topología del alimentador de distribución puede representarse como una variable o vector de decisión X:

$$X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_\mu); \quad x_i \in \{0,1\}; \quad (1)$$

donde  $\mu$  es la cantidad de puntos de maniobra en el alimentador y cada componente  $x_i$  representa la localización de una llave, manual o telecomandada según sea su valor 0 ó 1, respectivamente.

Cada cromosoma dentro de una población constituye una variable de decisión, representando una posible solución para la topología del alimentador de distribución, la longitud del cromosoma corresponde al número total de llaves de maniobra que posee el alimentador, la ubicación de cada gen dentro del cromosoma (locus) identifica a una posición, y su valor o alelo nos indica si en esa posición estará o no una llave telecomandada.

### 5.4 Clasificación de Estados

Para determinar la frecuencia y duración de fallas en los distintos tramos, es necesario analizar el comportamiento de la red ante las diversas contingencias a que puede verse sometido cada uno de sus componentes. Se construye una matriz donde las columnas presentan el estado del elemento ante una falla, en el elemento indicado por la fila.

En función de la protección asociada, así como de sus alternativas de alimentación, cada tramo del alimentador tendrá un comportamiento que puede definirse de la siguiente manera:

**Normal (N):** el estado del tramo de alimentador  $j$  se define como normal, cuando su operación no se ve afectada por la falla en el elemento  $i$ .

**Restituible (R):** el estado del tramo  $j$  se define como restituible, cuando su servicio puede volver a la normalidad, antes de reparar el elemento  $i$  fallado, aislando  $i$  mediante algún elemento de maniobra, utilizándose un Tiempo de Restitución.

**Transferible (T):** el tramo  $j$  será transferible, cuando exista alguna maniobra para reenergizarlo, antes de reparar el tramo  $i$  en falla, transfiriéndola al alimentador adyacente, con el cual transcurre un Tiempo de Transferencia.

**Automatizado (A):** el tramo  $j$  será automatizado, cuando se puede reenergizar el tramo mediante el telemando de llaves ubicadas en el sistema de distribución, antes de reparar el tramo  $i$  con falla, el tiempo de reposición es prácticamente cero.

**Irrestituible (I):** son tramos irrestituibles aquellos que sufren la falla y todos los que no pueden ser transferidos a otra fuente de alimentación mediante maniobras, sino hasta luego de transcurrido el Tiempo de Reparación de la falla.

De esta manera se puede considerar cuatro tiempos de reposición distintos, según el tramo sea clasificado en uno de estos estados.

Sobre la cuantificación de cada uno de los tiempos mencionados, existe mayor dominio por parte de las empresas de distribución, puesto que el registro de los mismos constituye una práctica normal.

### 5.5 Función de Adaptación

Conocidos los elementos que conforman el sistema eléctrico de distribución y el mecanismo para la evaluación de sus estados, se formula el desarrollo de un modelo de diseño, con el cual se busca resolver el problema de ubicación óptima de llaves telecomandadas en los alimentadores de un sistema de distribución de topología conocida. Para tal efecto, es necesario analizar el beneficio neto del proyecto en el horizonte de planificación y traerlo a la actualidad, pues será ésta la función de evaluación.

El problema de localización de llaves telecomandadas consiste en determinar la ubicación y número de llaves que van a ser instalados en el alimentador de distribución, obteniendo el menor tiempo de

indisponibilidad del servicio eléctrico con el menor número de equipos telecomandados. Desde el punto de vista de la empresa distribuidora de energía, la evaluación del proyecto de implementación de un sistema SCADA, estaría compuesto de los siguientes flujos,

- Costos: a) Inversión de adquisición e instalación de las llaves, y  
b) Costos de operación y mantenimiento.
- Beneficios: a) Reducción de las pérdidas por la energía no suministrada, debido a los cortes de suministro, y  
b) Reducción de los costos de operación de las cuadrillas de mantenimiento, asociado a la reducción del tiempo de localización de la avería.

La función de adaptación es básicamente la suma actualizada de los valores antes mencionados. En este sentido es una suma de flujos de caja positivos y negativos, según sea un beneficio o un costo; por un lado, el costo del sistema telecomando es proporcional a la cantidad de llaves telecomandadas a ser instaladas, mientras que la reducción de pérdida de la energía no suministrada disminuye al aumentar del número de llaves telecomandadas, además varía según las ubicaciones de estas llaves.

Para garantizar la no negatividad sobre todos los valores del vector de decisión, se utiliza una transformación de la función y se obtiene:

$$BNA = C_{\max} + \sum_{i=1}^N \frac{B_{ENS} + B_{mto} - C_{mto} \times |X|}{(1+t)^i} - C_{TL} \times |X| + \frac{P_{via}}{(1+t)^N} \quad (2)$$

donde:

- $BNA$  Beneficio Neto Actualizado.
- $B_{ENS}$  Reducción anual de pérdidas por la energía no suministrada,
- $B_{mto}$  Reducción del costo de operación, en guaraníes.
- $C_{mto}$  Costo unitario de mantenimiento, en guaraníes.
- $|X|$  Cantidad de llaves telecomandadas en el alimentador.
- $C_{TL}$  Costo total de una llave telecomandada,  $Gs$ .
- $P_{via}$  Precio de venta al final de la vida económica,  $Gs$ .
- $t$  Tasa de descuento exigida al proyecto.
- $N$  Número de años para la evaluación del proyecto.
- $C_{\max}$  Constante con el valor del costo máximo de los equipos telecomandados y de la energía no suministrada.

Esta es la función de evaluación utilizada en el algoritmo genético para la obtención de **fitness** de cada **cromosoma**.

## 5.6 Aplicación del Algoritmo

Para ilustrar el funcionamiento del algoritmo propuesto se describe paso a paso el procedimiento para una iteración.

Primeramente representamos el alimentador mediante un grafo.

### **Paso 1: Creación de la población inicial**

Es creada en forma aleatoria una población de secuencias de bit o cromosomas, que según la codificación adoptada corresponde a los puntos de maniobra del alimentador en donde es factible colocar una llave telecomandada.

### **Paso 2: Decodificación**

Se toma un cromosoma a la vez y se decodifica su contenido, de manera a obtener la energía anual indisponible del alimentador, y la cantidad de llaves telecomandadas contenidas en el cromosoma. Para ello primeramente, utilizando los datos contenidos en el cromosoma y la matriz de adyacencia del grafo, se determina la matriz de estado para el cromosoma. Con los parámetros de confiabilidad y la matriz de estado se calcula el tiempo anual de indisponibilidad de cada tramo del alimentador. Para

completar la decodificación se calcula la energía anual no suministrada del alimentador para el cromosoma evaluado.

Con una simple suma de los genes cuyo valor sea 1, se obtiene el número de llaves telecomandadas para la configuración determinada por el cromosoma en evaluación.

**Paso 3: Cálculo de la Función Objetivo (Fitness)**

Luego de la decodificación del contenido del cromosoma se calcula el valor de la función evaluación, que determinará el grado de adaptación del cromosoma a las condiciones impuestas. Con la ecuación 2 se calcula el valor de función de adaptación. Este es el grado de adaptación que se le asigna al cromosoma evaluado.

Llevando a cabo el mismo procedimiento para el resto de los cromosomas que forman la población, se concluye el cálculo del valor de la función adaptación.

**Paso 4: Escalada**

Con el fin de evitar una convergencia muy acelerada y perder información importante contenida en los cromosomas menos adaptados de la población; se efectúa, previo a la reproducción, un proceso de escalamiento lineal, de ésta manera se aumenta la probabilidad de selección de aquellos cromosomas con un bajo fitness, para que no sean eliminados en las primeras generaciones.

**Paso 5: Realizar los cálculos estadísticos**

Luego de obtener el fitness de todos los cromosomas de la población, se hallan el máximo, el mínimo, el promedio y la suma de los fitness, para utilizarlos posteriormente en el proceso de reproducción.

**Paso 6: Almacenamiento**

Aquellos datos relevantes de la población son almacenados en una estructura de datos denominada resumen, que brinda información de la evolución de los individuos de generación en generación.

**Paso 7: Reproducción**

Con los datos estadísticos de la población actual, se genera una nueva población del mismo tamaño aplicando los operadores genéticos de selección, cruce (multipunto) y mutación.

**Paso 8: Volver a evaluar**

Tras obtener la nueva población se repite el proceso de evaluación para los cromosomas de la nueva generación. Estos pasos se efectúan para cada iteración del algoritmo, hasta que se alcance el criterio de parada.

**6 PRUEBA DEL MÉTODO**

Los alimentadores elegidos para aplicar la metodología propuesta lo constituye el sistema formado por la subestación Tres Bocas propiedad de la empresa ANDE con sus ocho alimentadores primarios.

Los datos de uno de los alimentadores, que se utilizó en esta prueba se muestran en la Tabla I.

Tabla I. Datos TBO 1

Alim	Tramo		Longitud (Km)	Tasa Falla (Veces/año)	Potencia (KV <sub>a</sub> )	FU	FC	K <sub>p</sub>	FP
TBO 1	SE	T1	0	0,000	0	0,82	0,43	0,97	0,8
	Int	T2	0,15	0,153	0	0,82	0,43	0,97	0,8
	50107	T3	2	2,041	2361	0,82	0,43	0,97	0,8
	52618	T4	1,2	1,225	3489	0,82	0,43	0,97	0,8
	52949	T5	1,6	1,633	0	0,82	0,43	0,97	0,8
	52914	T6	3,1	3,164	1302	0,82	0,43	0,97	0,8
	52917	T7	2,3	2,348	63	0,82	0,43	0,97	0,8
	53020	T8	0,1	0,102	1715	0,82	0,43	0,97	0,8

Los resultados que se obtuvieron luego de aplicar el algoritmo a todos los alimentadores de la subestación Tres Bocas se resumen en la Tabla II.

Tabla II. Resultados de la Aplicación

Resultados de la Aplicación			
Alimentador	Cantidad de Llaves	Ubicación	Fitness
TBO-1	1	52949	2.111
TBO-2	3	51654, 52471, 50014	2.194
TBO-3	0	-	2.076
TBO-4	4	53012, 51625, 52473, 52719	2.467
TBO-6	4	50046, 52833, 52800, 51095	2.462
TBO-7	2	52919, 50110	2.090
TBO-8	3	20121, 50096, 50014	2.164
TBO-9	0	-	2.076

De manera a comprobar el resultado obtenido, y ante la falta en la literatura de métodos similares con los cuales comparar los resultados, se comparó el resultado obtenido con el VNA de una Muestra Aleatoria Simple (MAS). Dicha comparación es la que aparece en la figura 2.

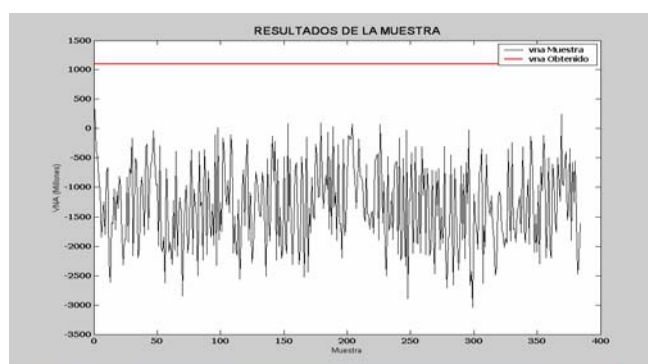


Figura 2: Resultados de la Muestra.

## 7 CONCLUSIÓN

Durante la elaboración de éste trabajo se desarrolló un método basado en fundamentos de ingeniería, para resolver el problema de dimensionar y ubicar las llaves telecomandadas del SCADA, en los alimentadores primarios de un sistema eléctrico de distribución.

La aplicación del método a un sistema real, produjo resultados satisfactorios para los alimentadores individualmente. Se emplearon estos resultados como criterio de ubicación de las llaves telecomandadas en el sistema en su conjunto. Es importante notar que debido a la influencia sobre la función objetivo de los dispositivos de maniobra de frontera (comunes a dos alimentadores), la combinación de los resultados óptimos de cada alimentador no representa el resultado óptimo del sistema, sin embargo esta combinación puede ser tomada como un criterio válido para ubicar las llaves telecomandadas del SCADA, ya que es una muy buena aproximación dentro del extenso espacio de posibles soluciones según se puede observar en las pruebas realizadas. Por ello, sin pretender ser la única solución a los problemas planteados, se considera este trabajo como el primer paso para obtener una herramienta eficaz para este tipo de problemas.

Las posibilidades de futuros desarrollos referentes al tema abordado pueden resultar de interés para otros investigadores, por lo que nos atrevemos a recomendar pasos posteriores en el desarrollo de la investigación como: levantar la simplificación de despreciar la sobrecarga aplicando un flujo de carga



radial en el análisis de contingencia y aplicar los algoritmos genéticos de nueva generación en la resolución del mismo problema para efectuar una comparación.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Antonio Gómez Expósito (2002), *Análisis y Operación de Sistemas de Energía Eléctrica*, Mc. Graw – Hill / Interamericana de España, Madrid, España.
- [2] Alonso Carlos, Rivas Ricardo (2004); *Automatización en Sistemas Eléctricos de Distribución de la ANDE*, ETyC, San Lorenzo, Paraguay.
- [3] ANEEL (2000), *Disposições relativas á Continuidade da Distribuição de Energia Eléctrica ás Unidades Consumidoras (Resolução Nº 24, de 27 de Janeiro de 2000*, Rio de Janeiro, Brasil.
- [4] Donald G. Fink / H. Wayne Beaty (1996), *Manual de Ingeniería Eléctrica Tomo I al IV*, Mc. Graw – Hill / Interamericana de México, Distrito Federal, México.
- [5] David E. Goldberg (1989), *Genetic Algorithms in Search, Optimization e Machine Learning*, Addison – Wesley, E.U.A.
- [6] Grassmann Winfried Karl, Tremblay Jean Paul (1996), *Matemática discreta y lógica*, Prentice Hall, Madrid.
- [7] Pedro Larrañaga, Iñaki Inza (2004), *Introducción a los Algoritmos Genéticos*, Universidad del País Vasco, España.
- [8] Sérgio Fronterotta (2001), *Curso de Planejamento de Sistemas de Distribuição*, San Paulo, Brasil.
- [9] Wendai Wang, James M. Loman, Robert G. Arno, Pantelis Vassiliou, Edward R. Furlong, and Doug Ogden (2004), *Reliability Block Diagram Simulation Techniques Applied to the IEEE Std. 493 Standard Network*, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 40, Nº.3, May/June 2004, E.U.A.