

RECONFIGURACION DE ALIMENTADORES PRIMARIOS

ANTONIO BORRERO VEGA
MIGUEL CORRAL SERRANO

ESTEBAN ALBORNOZ VINTIMILLA
PAUL AVILA LASSO

UNIVERSIDAD DE CUENCA
EMPRESA ELECTRICA REGIONAL CENTRO SUR C.A.

RESUMEN

En los actuales momentos, el manejo de la configuración de alimentadores primarios, en estado de operación normal de un sistema de distribución eléctrico, es utilizado para reducir pérdidas y mejorar el perfil de tensión, en cambio en situaciones de emergencia, como sobrecargas o fallas, la reconfiguración se emplea para minimizar las interrupciones a los consumidores.

En el presente trabajo⁽¹⁾ se analiza las diferentes estrategias para reconfiguración de alimentadores, con sus respectivas formulaciones. Con la finalidad de dar aplicación práctica de las ventajas de la reconfiguración, se realizó un programa computacional (RECONF) elaborado en Turbo C++ y Clipper5, para la reconfiguración de alimentadores de la EERCS C.A. (Cuenca-Ecuador). El programa se ajusta a la estructura de base de datos de la Empresa; y, ha sido elaborado tomando las estrategias, métodos y algoritmos analizados a continuación. Los resultados obtenidos son altamente ventajosos.

ABSTRACT

Nowadays, feeder configuration management, for steady state operation of distribution systems, is applied to reduce losses and to improve voltage profiles. Whereas feeder reconfiguration is used in emergency conditions, such as overloads and faults, in order to minimize customer's blackouts.

This paper analyzes different feeder reconfiguration strategies, and its formulation. To find practical application of reconfiguration advantages, a computer program has been developed; taking care of strategies, methods and algorithms presented in this paper. The program is made in Turbo C++ and Clipper5. Application of feeder reconfiguration for EERCS C.A. (Cuenca-Ecuador) has been made, taking its feeder database as primary information. Results prove great advantages of reconfiguration.

1. ANTECEDENTES

En la actualidad los esfuerzos invertidos con la finalidad de optimizar los sistemas de distribución se centran en el control remoto automatizado, los mismos que están dirigidos a la obtención de una configuración óptima de los alimentadores que disminuya las pérdidas. También se busca encontrar los correctos seccionamientos para mejorar el tiempo de restauración de servicio en las secciones del alimentador sin falla y para transferir carga

entre alimentadores. Los métodos y algoritmos computacionales, que determinen la ubicación de la falla y generen automáticamente instrucciones de maniobra, se basan en técnicas de búsqueda de árbol. Estos adelantos en la automatización del sistema de distribución eléctrico, reciben importante atención de la industria a nivel de subestaciones, alimentadores y usuarios.

Los objetivos fundamentales de la automatización en los sistemas de distribución básicamente son:

- Minimizar los requerimientos de recursos económicos.
 - * Diferimiento de inversiones.
 - * Disminución de costos en operación y mantenimiento.
- Cumplir con las normas de continuidad y calidad de servicio.
- Mejorar la operación del servicio.
- Mejorar las decisiones a nivel de planificación y diseño.

La automatización de esta función es compleja, debido a que entre otras razones se tiene:

- Diferentes configuraciones de alimentadores que están sujetos a frecuentes cambios.
- Requerimientos de alta confiabilidad de los sistemas de comunicación para reportar y actualizar las bases de datos del sistema de distribución, para las condiciones de los dispositivos y/o las cargas, y para transmitir operaciones de maniobra entre las estaciones de enlace de los alimentadores.

Debido a estos factores, para un enfoque generalizado de los métodos y algoritmos, es aconsejable que estos operen automáticamente, es decir, que en lo posible sean independientes de estos factores, altamente variables.

La automatización de los alimentadores primarios y la función de seccionamiento⁽²⁾ tiene varias etapas que pueden ser identificados como:

- Ubicación de falla
- Aislamiento de falla
- Restauración del servicio
- Reparación de la zona
- Reconfiguración del alimentador
- Generación de la configuración de la red primaria.

2.1 Generalidades⁽¹⁾

La reconfiguración de alimentadores se la puede definir como una alteración a la estructura topológica de los alimentadores primarios, esta alteración se da por cambios en las condiciones (abierto-cerrado) de los interruptores de seccionamiento y/o enlace. La reconfiguración de alimentadores de un sistema de distribución, por lo tanto, involucra la apertura y cierre de interruptores del sistema de distribución para mejorar las condiciones de operación y servicio de la red primaria, tal que las restricciones operativas especificadas y los objetivos se cumplan. Bajo condiciones operativas normales, los objetivos son evitar sobrecarga en transformadores de las subestaciones, sobrecarga en alimentadores y mejorar el perfil de tensión a lo largo de los alimentadores; mientras simultáneamente se minimizan las pérdidas reales de energía. En condiciones de emergencia, el sistema puede ser ordenado de modo que, un número máximo de consumidores permanezcan con el servicio eléctrico.

Aunque esto ha sido discutido principalmente en el pasado, como una herramienta de control en tiempo real, un programa de reconfiguración de alimentadores puede también ser de gran ayuda en las fases de planeación y diseño de un sistema. No solamente es una ayuda en la planeación de la disposición de circuitos, sino que también podría predecir la configuración deseada del sistema para diferentes casos de contingencia.

Una estrategia efectiva de reconfiguración de alimentadores toma ventaja del mayor grado de diversidad de la carga que existe en algunos sistemas de distribución. Esto es, cada alimentador de distribución tiene una diferente combinación de carga comercial, industrial, y residencial; estas cargas tienden a variar en el tiempo (días, semanas, meses y estaciones). La reconfiguración de alimentadores permite la transferencia de carga desde alimentadores con mucha carga o sobrecargados, a alimentadores con escasa carga. Esto mejorará no solamente las condiciones operativas del sistema, sino también permitirá la utilización plena de las capacidades del sistema, dando como resultado la reducción de gastos de operación.

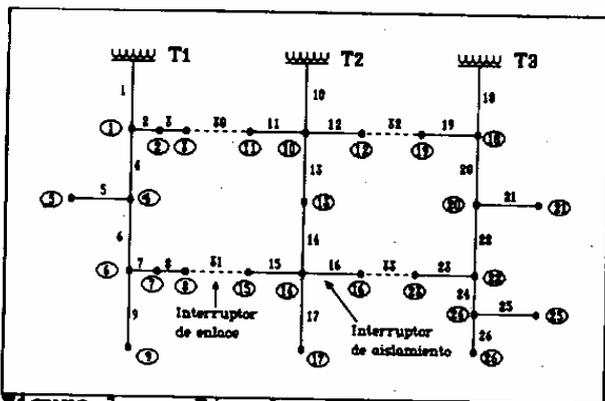


Figura 1. Ejemplo de un sistema de distribución radial.

En la figura 1 se presenta un sistema radial con tres transformadores en el que se puede observar diversos interruptores. Existen interruptores de enlace que están entre diferentes alimentadores y permanecen normalmente abiertos, estos interruptores pueden cerrarse con la finalidad de transferir carga a otro alimentador. También existen interruptores de aislamiento que están normalmente cerrados y que se encuentran situados a lo largo de un alimentador en las diferentes secciones, estos interruptores pueden abrirse con el propósito de aislar fallas o mantener la estructura radial. Maniobrando sobre este conjunto de interruptores se puede realizar una reconfiguración, obteniéndose las ventajas ya mencionadas. Así por ejemplo, cerrando el interruptor de enlace 30 y abriendo un interruptor de aislamiento 11 se puede transferir la carga del nodo 11 del alimentador 2 al alimentador 1.

2.2 Modelación del sistema de distribución para la reconfiguración⁽²⁾

Para la aplicación de las estrategias de reconfiguración se considerará que los sistemas de distribución son radiales por naturaleza, como se indicó en la figura 1.

Las cargas son modeladas con su valor pico, y además se supone que cada sección de línea contiene un interruptor cuya condición puede ser abierta o cerrada. Como se muestra en la figura 1, los interruptores de enlace son normalmente abiertos y están entre dos diferentes alimentadores que pueden cerrarse con el propósito de transferir carga a diferentes alimentadores. Los interruptores de aislamiento son normalmente cerrados y están a lo largo de un alimentador pudiendo ser abiertos con el propósito de aislar fallas o mantener la estructura radial de un sistema de distribución. La estructura y operación del sistema radial puede ser controlado alterando las condiciones abierto-cerrado de estos interruptores.

2.3 Conformación del árbol de búsqueda⁽³⁾

Cuando se plantea la posibilidad de escribir un programa que actúe de acuerdo con reglas determinadas, éste debe diseñarse como un problema al que ha de encontrarse solución, y no una solución cualquiera, sino la solución óptima. Así, propuesta la reconfiguración de alimentadores como problema, pueden utilizarse para su resolución las técnicas de "inteligencia artificial", una de ellas es la búsqueda.

De esta manera, la determinación de una solución al problema de reconfiguración de alimentadores involucra la búsqueda a través de un árbol o grafo de posibles configuraciones. Considerando al sistema de la figura 1 y el correspondiente árbol de búsqueda de la figura 2; si el transformador 2 está experimentando una sobrecarga, entonces para eliminar el problema, la cantidad de sobrecarga en el transformador 2 tiene que ser transferida a los transformadores 1 y/o 3 sin crear una sobrecarga en estos transformadores.

Originalmente, se considerará la transferencia de una carga del transformador 2 a otro transformador. Por ejemplo, la carga en el

todo 11 puede ser transferida al transformador 1 cerrando el interruptor 30 y abriendo el interruptor 11, originándose una rama del árbol de búsqueda; igualmente, la carga en el nodo 12 puede ser transferida al transformador 3 cerrando el interruptor 32 y abriendo el interruptor 12, creándose otra rama del árbol. Las cargas en los nodos 16 y 15 también pueden ser transferidas de igual manera. Si los resultados de ejecutar estas transferencias de carga son examinados, entonces se obtiene el árbol de la figura 2.

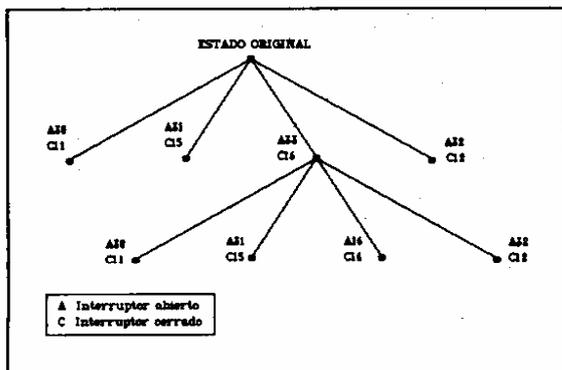


Figura 2. Árbol de búsqueda para eliminación de sobrecarga, para el sistema de la figura 1

Un nuevo árbol es creado, cuando se desea transferir más de una carga para eliminar la condición de sobrecarga; por ejemplo, se supone que cerrando el interruptor 33 y abriendo el interruptor 16 no se retira la sobrecarga del transformador 2, pero no se crea una sobrecarga en el transformador 3; con el sistema en este estado, el efecto de ejecutar transferencias adicionales de carga pueden ser examinadas. De esta manera, un nuevo árbol es construido en cada nodo del árbol fuente, con un número de ramas igual a la cantidad de interruptores abiertos conectados al alimentador del transformador que experimenta el problema. El objetivo final es buscar el árbol para una configuración que elimine las sobrecargas y las restricciones del sistema. Si existe más de una solución, entonces el conjunto de maniobras que distribuyera las cargas del transformador más proporcionalmente respecto a sus capacidades nominales, será seleccionado.

La estrategia anterior, denominada exhaustiva, que analiza todas las posibilidades de configuración, es eficiente para árboles que no son demasiado grandes. Sin embargo, cuando una búsqueda de árbol se hace mayor, puede ser considerable el tiempo y energía utilizados buscando la solución óptima o explorando el árbol después que la solución óptima, o casi óptima, ha sido encontrada. La cantidad de acciones de maniobra que pueden ser consideradas para aliviar una violación en un sistema de distribución eléctrico pueden llegar a ser bastante grandes. También, si la estrategia es utilizada para implementarse en un entorno de tiempo-real, entonces se vuelve muy importante considerar el tiempo que se requiere para buscar la solución.

Para garantizar una solución óptima se debe utilizar una búsqueda exhaustiva de árbol y evaluar todos los nodos del árbol. Por otra parte, utilizando la heurística durante la búsqueda, es posible reducir la cantidad de trayectorias que tienen que ser exploradas. Idealmente, una estrategia de búsqueda que guiaría directamente al objetivo óptimo sería preferible, pero probablemente no factible. Sin embargo, si el tiempo y el esfuerzo utilizados para encontrar rápidamente una solución casi óptima son importantes, entonces es preferible ese método antes que obtener cada vez la solución óptima. Una de las herramientas básicas de la "inteligencia artificial" y de optimización es la utilización de métodos heurísticos, esto es, aplicación de reglas basadas en la experiencia práctica para la solución de problemas. Cada problema llevará a la aplicación de un determinado tipo de heurística, dependiendo de sus características.

En la formulación del problema de reconfiguración de alimentadores, para reducción de pérdidas y transferencia de cargas, se tiene que considerar restricciones de carga y restricciones de operación. La función objetivo en el problema de reconfiguración de alimentadores abarca dos aspectos. El primero concierne a la reducción de pérdidas y el segundo relacionado con el balance de carga.

3. ESTRATEGIAS DE RECONFIGURACION DE ALIMENTADORES

3.1 Descripción del método heurístico de búsqueda de árbol⁽⁵⁾

El objetivo principal de la estrategia denominada "búsqueda heurística de árbol" es desarrollar una técnica de búsqueda de árbol que disminuya el espacio de búsqueda y llegue a una solución casi óptima o a la solución óptima. Para lograr esto se debe añadir "inteligencia" en la búsqueda de la mejor configuración. A través del uso de la heurística, el método es capaz de determinar si se está considerando una rama del árbol que probablemente nos conduzca a un "callejón sin salida", sin encontrar una solución, o si se está considerando una rama que probablemente nos conduzca a una verdadera solución.

En las estrategias presentadas se elige como punto de partida la configuración operativa actual, desde la cual se examina las acciones de maniobra. Esta consideración se la realiza por dos razones. Primero, es razonable suponer que la configuración operativa deba estar cerca de la configuración de diseño o cerca de algunas otras configuraciones, para las cuales tensión y cargas están normalmente dentro de los límites. Por lo tanto, un número mínimo de maniobras serían necesarias para lograr una configuración aceptable. Segundo, esta estrategia no busca la solución óptima, pero recomienda en su lugar la configuración más aceptable que está cerca de la configuración operativa actual.

Las siguientes reglas, basadas en la experiencia, son empleadas para controlar la propagación a través de un árbol de búsqueda.

Regla Heurística 1: Transferir la carga a transformadores que están con carga relativamente baja en comparación a otros transformadores.

Regla Heurística 2: Evitar transferir carga a alimentadores o transformadores en los que una violación ha sido recientemente resuelta.

Regla Heurística 3: Considerar la caída de tensión desde los transformadores de la subestación a ambos extremos de una sección abierta, para transferir carga. Si la carga sería transferida desde el lado con la caída de tensión más baja, al lado con la caída de tensión más alta, entonces las pérdidas aumentarán; así mismo, si la carga se transfiere en la otra dirección, entonces las pérdidas disminuirán.

Regla Heurística 4: Pasar la cargabilidad de los transformadores a un segundo plano, en casos de severas violaciones a las restricciones de los alimentadores.

Regla Heurística 5: Considerar el pronóstico de la información durante el proceso de reconfiguración. De esta manera, la ejecución de las acciones de maniobra innecesarias pueden ser evitadas previniendo violaciones futuras que puedan darse.

Regla Heurística 6: Intentar cambiar la carga a los transformadores cuyo carga real sea menor que las estimadas. Esto distribuirá las cargas en el transformador en proporción a sus capacidades nominales.

Es posible realizar intentos adicionales para que la estrategia de reconfiguración sea más efectiva, esto es, incorporando ciertos criterios para reconfiguraciones. Estas opciones adicionales son las siguientes:

- 1) Hacer una distinción entre las violaciones o restricciones a corto plazo y a largo plazo. Probablemente será irreal reconfigurar un sistema para una ligera sobrecarga que se da solamente por algunos minutos. En algunas situaciones puede ser necesario cargar al sistema de distribución cerca o sobre sus capacidades. Esto puede suceder durante periodos con carga pesada.
- 2) Se requiere que las cargas del transformador de la subestación estén distribuidas en relación a sus capacidades nominales de la manera más proporcional como sea posible. Esto es para lograr un "balance" entre los transformadores del sistema respecto a las cargas de los transformadores. Los transformadores de mayores rangos deberían llevar mayores cantidades de carga que los transformadores cuyas capacidades nominales son menores.
- 3) Se requiere que la cantidad de acciones de maniobras sean minimizadas. El sistema de distribución debe funcionar más efectivamente en todos los aspectos, si la configuración de operación está lo más cerca posible de la configuración de diseño. Un gran número de acciones de maniobra pueden ser perniciosas en las siguientes áreas: Uso físico en los interruptores, mal funcionamiento en el esquema de protección, atenuación de las señales de comunicación y propagación de armónicos en el sistema.

3.2 Descripción del método de restauración para casos de emergencia⁽⁶⁾

Este método propone la transferencia de las cargas desenergizadas por etapas hacia otros alimentadores, como consecuencia del aislamiento de una falla en una determinada sección. Primero, todas las cargas desenergizadas son transferidas desde el alimentador en el cual ocurrió la falla al alimentador adyacente, dicho alimentador es llamado alimentador de apoyo principal. Entonces, si es necesario, un apoyo multi-etapas es implementado: esto es, en una primera etapa, las cargas son transferidas desde el alimentador de apoyo principal a los alimentadores denominados de "apoyo de la primera etapa" y en una segunda etapa la carga es transferida de los alimentadores de apoyo de la primera etapa a otros alimentadores. También se considera reducir o desconectar cierta cantidad de carga del área desenergizada cuando no es posible transferir la totalidad de la carga a otros alimentadores, sin causar violaciones de las restricciones del sistema. Finalmente se busca la posibilidad de restaurar las cargas que no fueron transferidas, considerando nuevas alternativas de transferencia.

Una vez que se ha determinado la secuencia de transferencia de las cargas, deberá informarse de la operación actual de los interruptores, tomando cuidado de no reiterar en violaciones.

Las características del método son:

Únicamente se realizan las transferencias de carga que son efectivas para reducir las violaciones de las restricciones del sistema, por lo tanto, se evitan las operaciones innecesarias en los interruptores.

- Se puede incluir en el algoritmo la prioridad del alimentador de apoyo.
- Se obtiene una solución rápida y disponible especialmente cuando la carga desenergizada es lo suficientemente pequeña para restaurar el servicio, sin crear violaciones a las restricciones del sistema.

3.3 Reconfiguración de alimentadores para reducción de pérdidas⁽⁷⁾

El problema está en determinar qué interruptores de enlace y seccionamiento deberían ser cerrados o abiertos, respectivamente, para lograr una máxima reducción de pérdidas. Los cambios que se den en las pérdidas, pueden ser fácilmente calculados utilizando los resultados de dos estudios de un programa de flujos de potencia, simulando la configuración del sistema antes y después de la reconfiguración.

Sin embargo, aún para sistemas de distribución de dimensiones moderadas, el número de opciones de maniobra de los interruptores es tan grande que conduce a muchos estudios de flujos de potencia para todas las opciones posibles, llegando a ser extremadamente ineficiente desde el punto de vista computacional; consecuentemente no es de uso práctico como herramienta de control de tiempo-real.

Con el fin de evitar tanto los problemas de carácter computacional así como el tiempo empleado para analizar el gran número de flujos de potencia necesarios, un método de solución eficiente debería proporcionar las siguientes dos características:

- Capacidad para estimar con mínimo esfuerzo computacional, el cambio en las pérdidas de potencia como resultado de reconfigurar los alimentadores.
- Considerar los criterios que pueden ser empleados con el objetivo de eliminar opciones de maniobra no deseables, para aliviar el dimensionamiento del problema.

Con la finalidad de alcanzar los objetivos antes expuestos, la fórmula que se ha desarrollado estima los cambios de las pérdidas, requiriendo pequeña información adicional a la obtenida en el estudio del flujo de potencia, antes de proceder a la reconfiguración (caso base). Además la fórmula sugiere un mecanismo de filtro para eliminar las opciones de maniobra no deseables, las mismas que no producirán reducción de las pérdidas de potencia.

El primer objetivo de deducir la expresión para la reducción de pérdidas, a partir de una transferencia de carga, es para determinar:

- Si una opción de maniobra específica dará como resultado un incremento o decremento en las pérdidas.
- Entre las opciones de maniobras elegidas, cual opción daría la mayor reducción en las pérdidas.

La fórmula para evaluar la cantidad de variación de pérdidas de potencia del sistema, como consecuencia de transferir carga del alimentador A hacia el alimentador B es la siguiente:

$$\Delta P = \operatorname{Re} \left(2 \left(\sum_{i \in D} I_i \right) (E_m - E_n)^* \right) + R_{\text{camino}} \left| \sum_{i \in D} I_i \right|^2$$

Donde:

- ΔP Variación de las pérdidas de potencia en el sistema.
- D Conjunto de barras que fueron desconectadas del alimentador II y conectadas al alimentador I.
- m Barra de enlace del alimentador I, a la cual las cargas del alimentador II fueron conectadas.
- n Barra de enlace del alimentador II, que será conectada a la barra m .
- I_i Corriente de la barra i (número complejo).
- R_{camino} Resistencia serie del camino que conecta a las dos barras de las subestaciones de los alimentadores I y II.
- E_m Componente de $E = R_{\text{barras}} I_{\text{barras}}$ correspondiente a la barra m . Donde R_{barras} es la matriz de la resistencia de barras del alimentador I después que la carga ha sido transferida.

E_n Similar a E_m pero definida para la barra n del alimentador II.

barra = nodo.

* Complejo conjugado.

Re{ } Parte real.

| | Magnitud de los vectores.

4. DESCRIPCIÓN DE LOS ALGORITMOS DE RECONFIGURACIÓN Y DEL PROGRAMA COMPUTACIONAL⁽³⁾

El Turbo C++ constituye una magnífica herramienta para organizar y extraer la información seleccionada y permite, al mismo tiempo, manipular y actualizar todo tipo de información con rapidez y efectividad. El Turbo C++ aporta, por un lado las enormes posibilidades de un lenguaje de alto nivel, y en segundo término es un compilador que traduce las instrucciones a lenguaje de máquina, proporcionando una gran velocidad, seguridad y capacidad en la ejecución de los programas. El lenguaje C es sencillo, compacto y veloz por lo que resulta de gran utilidad para este tipo de problemas, tratando de dar la solución óptima en el menor tiempo con un alto rendimiento.

El Clipper 5.01, como lenguaje de gestión de base de datos, en cambio presenta la facilidad de crear menús y reportes así como el uso de sofisticadas y eficientes pantallas; además existe la ventaja de que toda la información existente en la EERCS CA está estructurada para ser manejada bajo Clipper^(2,3).

Es preciso señalar que Clipper está escrito en C, esta situación da la posibilidad de interconexión entre ambos lenguajes; con lo que, en el programa RECONF, se aprovecha los beneficios de los dos lenguajes.

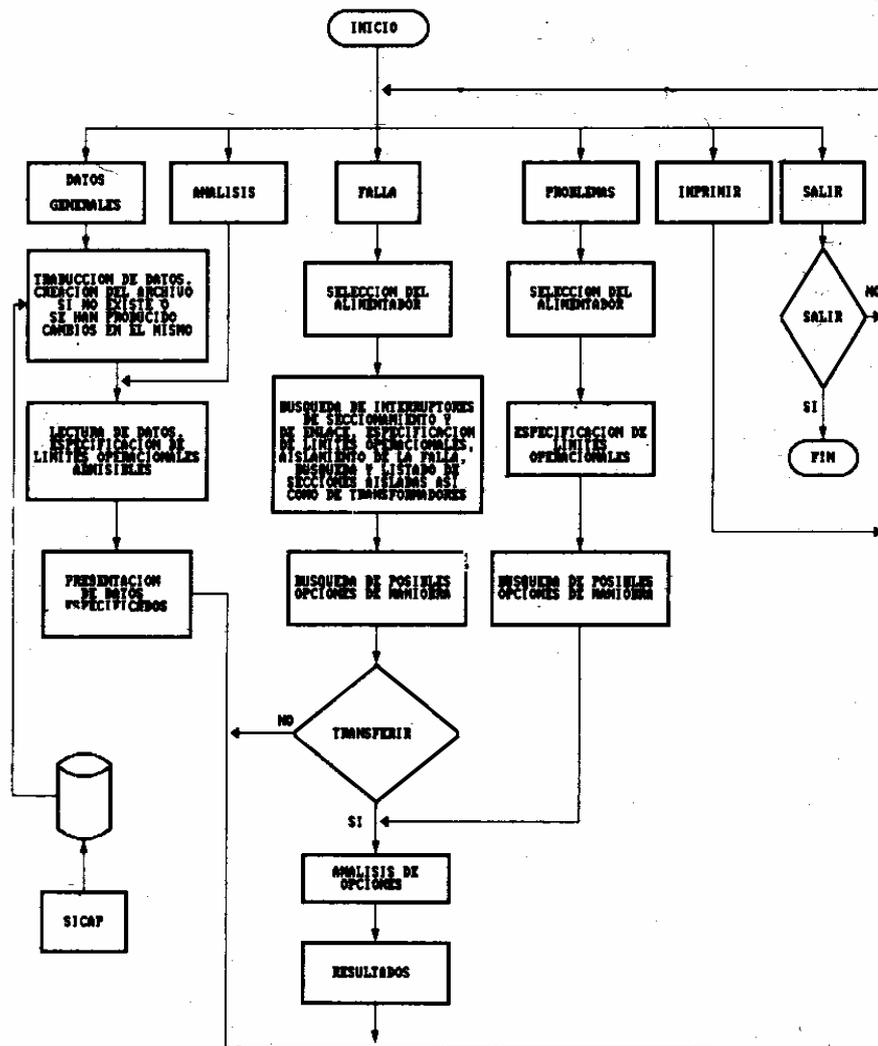
El programa para reconfiguración de alimentadores primarios (RECONF), indicado en el diagrama de flujos siguiente, básicamente consta de dos algoritmos principales:

- Transferencia de carga para situaciones de falla.
- Reconfiguración para aliviar problemas de sobrecarga térmica y bajos voltajes.

El problema de decisión enfrentado implica determinar el estado (abierto o cerrado) de los interruptores y disyuntores de los alimentadores. Para resolver se utilizará una búsqueda heurística en un árbol de decisión binaria. Por búsqueda heurística se entenderá un método de búsqueda general formado por un dominio de conocimientos específicos que guiarán la búsqueda. Este método de búsqueda permite atravesar el espacio de los posibles estados del sistema, donde el dominio de conocimientos específicos es esencial para limitar el tamaño del árbol de decisión.

La forma de determinar si es que el interruptor k está abierto o cerrado se realiza por medio de variables de decisión binarias (x_k):

$$x_k = \begin{cases} 1 & \text{Si el interruptor } k \text{ está cerrado} \\ 0 & \text{Si el interruptor } k \text{ está abierto} \end{cases}$$



Como existen 2^º posibles combinaciones de posiciones de los interruptores en el sistema, siendo m el número de interruptores, cada una con un vector de decisiones:

$$\underline{x} = (x_1, x_2, \dots, x_m)$$

Donde x_i puede ser 0 o 1.

Por lo tanto, es conveniente disminuir el espacio de búsqueda, para lo cual es necesario considerar un conjunto de conocimientos prácticos (aplicar heurística) de manera que el tiempo y esfuerzo empleados sean menores, adicionalmente se recurre a las técnicas de búsqueda empleadas en inteligencia artificial. Entre las diversas técnicas y estrategias utilizadas la que presta mayores beneficios, para el caso particular del problema de reconfiguración de alimentadores, es la técnica de búsqueda primero en profundidad. Para que resulte realmente eficaz la aplicación de los conceptos anteriormente citados, es importante definir adecuadamente el problema.

4.1 Algoritmo para transferencia de carga en situaciones de fallas.

Cuando ocurre una avería en un alimentador, es necesario localizar la sección con falla en el menor tiempo posible, y a continuación, determinar las operaciones de maniobra requeridas para aislar la zona defectuosa; la sección con falla será aislada abriendo los interruptores a cada lado. Luego se decidirá las operaciones de maniobra requeridas para restaurar el servicio a las zonas sin daño en la red. Las secciones que están luego de la sección con falla, en lo posible, deberán ser energizadas utilizando transferencia de carga entre alimentadores primarios.

Antes de presentar el algoritmo básico, es importante conocer un conjunto de nuevos conceptos que se utilizarán durante su desarrollo.

- **Interruptor de aislamiento** es un interruptor de seccionamiento que servirá para aislar la falla.

- **Zona total aislada** es el conjunto de todas las secciones del alimentador que han sido aisladas debido a la apertura del interruptor de aislamiento.
- **Zona aislada para transferencia** es el conjunto de todas las secciones del alimentador que se encuentran sin problemas pero que fueron separadas por efecto de la falla y que pueden ser aisladas de la avería mediante un interruptor de seccionamiento. Es un subconjunto de la zona total aislada.
- **Carga total que puede ser transferida** es el valor de carga de la zona aislada para transferencia.
- **Carga real transferida** es el valor de carga que es transferida.
- **Carga no transferida** diferencia entre la carga total que puede ser transferida y la carga real transferida.
- **Alimentador de Apoyo** es un alimentador candidato para que reciba carga y que está relacionado con el alimentador con falla mediante un interruptor de enlace.
- **Interruptor de enlace solución** es un interruptor de enlace que está conectado directamente con la zona aislada para transferencia.
- **Interruptor de seccionamiento solución** es un interruptor de seccionamiento que pertenece a la zona aislada para transferencia.
- **Lista de soluciones** es una lista de posibles soluciones que están en espera de ser escogidas para ser analizadas por el algoritmo.
- **Solución factible** es la mejor solución factible obtenida hasta ese momento de la búsqueda.
- **Carga transferida** valor de carga que se transfiere luego de cerrar un interruptor de enlace.

En breve síntesis el algoritmo para transferencia de carga en situaciones de falla realiza lo siguiente:

a) Ingreso de datos

- a.1) Datos del alimentador y sección con falla.
- a.2) Restricciones de cargabilidad del alimentador y caída de tensión admisible.

b) Aislamiento de la falla

- b.1) Busca en el alimentador interruptores de seccionamiento; el proceso de búsqueda parte de la sección con falla, hacia arriba del alimentador, y el primer interruptor de seccionamiento que encuentre (Interruptor de aislamiento) debe abrirse para aislar la falla.
- b.2) Determina las secciones y transformadores que quedan sin servicio. Mediante una búsqueda en profundidad en el alimentador se establece todos los transformadores y secciones aisladas.

c) Posibilidades de transferencia

- c.1) Busca en el alimentador todos los interruptores de enlace y determina los alimentadores que servirán para recibir carga (alimentadores de apoyo)
- c.2) Determina los interruptores de enlace del conjunto determinado en el paso c.1), que tienen conexión con la zona aislada para transferencia, estos interruptores de enlace (interruptores de enlace solución) son los únicos que servirán para transferir carga.
- c.3) Busca en la zona aislada para transferencia todos los interruptores de seccionamiento (interruptores de seccionamiento solución).
- c.4) Mediante una búsqueda en profundidad de la zona aislada para transferencia y partiendo de los interruptores de enlace solución, determinados en el paso c.2), se establece el conjunto de posibles soluciones (Lista de soluciones), cada posible solución está formada por un par de maniobras: cerrar un interruptor de enlace solución y abrir un interruptor de seccionamiento solución.

d) Análisis de las soluciones

- d.1) Inicializa la solución; carga real transferida igual a cero, además, determina la carga total que puede ser transferida.
- d.2) Considera cada posibilidad de la Lista de soluciones. Analiza esta transferencia al alimentador de apoyo relacionado con el interruptor de enlace solución. Cada posible solución involucra el cierre de un interruptor de enlace solución y la apertura de un interruptor de seccionamiento solución. Actualiza los KVA totales de la carga real transferida en el alimentador de apoyo.
- d.3) SI debido a esta acción de maniobra, se transfiere carga y no se ha creado en el alimentador de apoyo sobrecarga y si la máxima caída de tensión es menor o igual a la permitida, **ENTONCES** esta es una solución candidata y se actualiza el valor de carga real transferida.
- d.4) SI como consecuencia de esta acción, se transfiere carga, pero se crea un problema de sobrecarga térmica en el alimentador de apoyo o si la máxima caída de tensión es mayor a la permitida, **ENTONCES** se descarta esta opción de maniobra.
- d.5) SI debido a esta acción, el valor actual de carga real transferida es mayor al valor anterior, **ENTONCES** esta solución es una **Solución factible** (la mejor hasta el momento analizada).
- d.6) SI existen aún posibles soluciones por analizar, en la Lista de soluciones, **ENTONCES** ir al paso d.2), de otro modo continuar.

e) Análisis de maniobras adicionales

- e.1) SI la carga real transferida es menor al valor de la carga total que puede ser transferida, **ENTONCES** busca la posibilidad de transferir las cargas que aún

no han sido transferidas, recurriendo a los otros interruptores de enlace solución y determina el valor de la carga no transferida.

- e.2) Con los interruptores de enlace solución encontrados en el literal e.1), determina los nuevos alimentadores de apoyo y crea una nueva Lista de soluciones.
- e.3) Inicializa la solución adicional; carga real transferida igual a cero.
- e.4) Considera cada posibilidad de la nueva Lista de soluciones. Analiza esta transferencia al nuevo alimentador de apoyo relacionado con el nuevo interruptor de enlace solución. Actualiza los KVA totales de la carga real transferida en el nuevo alimentador de apoyo.
- e.5) SI debido a esta nueva acción, se transfiriere carga y no se ha creado en el alimentador de apoyo sobrecarga y si la máxima caída de tensión es menor o igual a la permitida y si los alimentadores conservan la radiabilidad, **ENTONCES** esta es una solución que se suma a la encontrada en el paso d), se actualiza el valor de nueva carga real transferida.
- e.6) SI como consecuencia de esta acción, se transfiriere carga, pero se crea un problema de sobrecarga térmica en el alimentador de apoyo o si la máxima caída de tensión es mayor a la permitida o si la configuración de los alimentadores no es radial, **ENTONCES** se descarta esta opción de maniobra.
- e.7) SI debido a esta acción, el valor actual de la nueva carga real transferida es mayor al valor anterior, **ENTONCES** esta solución es una Solución factible, que se sumaría a la del paso d).
- e.8) SI existen aún posibles soluciones por analizar en la nueva Lista de soluciones, **ENTONCES** ir al paso e.4) de otro modo continuar.

f) Resultados

- f.1) Determina la carga real transferida (carga real transferida determinada en el paso d) más la carga real transferida determinada en el paso e)).
- f.2) Presenta los siguientes resultados: interruptor para aislar la zona con problemas, carga total aislada, máxima carga que puede ser transferida, maniobras para transferencia de carga, alimentadores de apoyo, que reciben carga, carga real transferida y carga no transferida.

4.2 Reconfiguración para aliviar problemas de sobrecarga térmica y bajos voltajes.

Luego de haber determinado que un alimentador tiene problemas de sobrecarga térmica (cargabilidad de los conductores del alimentador expresada en porcentajes mayor al 100 %) o problemas de bajas tensiones (caída de tensión acumulada mayor a la permitida), se recomienda como una de las soluciones la reconfiguración de los alimentadores. Este método tiene la característica de que no existe una única solución, por lo que es necesario determinar mediante algún criterio,

la solución óptima. La regla que se utilizará en este caso será aquella que distribuya la carga entre los alimentadores de la mejor forma, es decir que el Índice de Balance de Carga (IBC) sea el mínimo.

$$IBC = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n (\bar{y} - y_i)^2 \right)^{1/2}$$

Donde:

- n : número de alimentadores primarios del área de estudio.
- y_i : carga normalizada del alimentador i (carga real dividida para la carga límite).
- \bar{y} : es el promedio de las cargas normalizadas y_i .

Toda reconfiguración involucra la transferencia de carga, por lo que se debe tener especial cuidado de no crear nuevas violaciones a las restricciones en los alimentadores que reciban carga.

Es importante señalar que el algoritmo que se utiliza para solucionar estos dos tipos de problemas es el mismo, por lo que en su descripción, las secciones con problemas de sobrecarga o bajos voltajes serán referidas como secciones con problemas.

A continuación se describe el algoritmo que realiza la reconfiguración:

a) Ingreso de datos de :

- a.1) Diagnóstico del alimentador.
- a.2) Secciones con problemas.
- a.3) Restricciones de cargabilidad del alimentador y caída de tensión admisible.

b) Posibilidades de reconfiguración

- b.1) Busca en el alimentador con problemas todos los interruptores de enlace y establece los alimentadores relacionados con los mismos (alimentadores de apoyo).
- b.2) Busca en el alimentador todos los interruptores de seccionamiento.
- b.3) Determina el conjunto de posibles soluciones (Lista de soluciones) mediante una búsqueda en profundidad en el alimentador.
- b.4) Determina el IBC para cada posibilidad de la Lista de soluciones.

c) Análisis de las soluciones

- c.1) Inicializa la solución. Carga transferida igual a cero.
- c.2) Considera las posibilidades de la Lista de soluciones. Analiza cada transferencia al alimentador de apoyo relacionada con el interruptor de enlace correspondiente. Actualiza los KVA totales de la carga transferida en el alimentador de apoyo.

- c.3) SI como consecuencia de esta acción de maniobra, se transfiere carga y no se ha creado sobrecarga en el alimentador de apoyo y si la máxima caída de tensión es menor o igual a la permitida, **ENTONCES** esta es una solución candidata y se actualiza el valor de carga transferida.
- c.4) SI debido a esta acción, se transfiere carga, pero se crea un problema de sobrecarga térmica en el alimentador de apoyo o si la máxima caída de tensión es mayor a la permitida, **ENTONCES** se descarta esta opción de maniobra.
- c.5) SI debido a esta acción, disminuyen o se eliminan los problemas y si IBC es menor al anterior, **ENTONCES** esta solución es una **Solución factible** (la mejor analizada hasta el momento).
- c.6) SI existen aún posibles soluciones por analizar en la *Lista de soluciones*, **ENTONCES** ir al paso d.2, de otro modo continuar.

d) Análisis de maniobras adicionales

- d.1) SI aún no se eliminan los problemas, **ENTONCES** busca la posibilidad de nuevas transferencias de carga, acudiendo a los otros interruptores de enlace.
- d.2) Con los interruptores de enlace encontrados en el paso d.1) determina los nuevos alimentadores de apoyo y crea una nueva *Lista de soluciones*.
- d.3) Inicializa la solución adicional; carga transferida igual a cero.
- d.4) Determina el IBC para cada posibilidad de la nueva *Lista de soluciones*.
- d.5) Considera cada posibilidad de la nueva *Lista de soluciones*. Analiza esta transferencia al nuevo alimentador de apoyo relacionado con el nuevo interruptor de enlace. Actualiza los KVA totales de la carga transferida en el nuevo alimentador de apoyo.
- d.6) SI debido a esta nueva acción, se transfiere carga y no se ha creado en el alimentador de apoyo sobrecarga y si la máxima caída de tensión es menor o igual a la permitida y si los alimentadores conservan la radiabilidad, **ENTONCES** esta es una solución que se suma a la encontrada en el literal d), se actualiza el valor de nueva carga transferida.
- d.7) SI como consecuencia de esta acción, se transfiere carga, pero se crea un problema de sobrecarga térmica en el alimentador de apoyo o si la máxima caída de tensión es mayor a la permitida o si la configuración de los alimentadores no es radial, **ENTONCES** se descarta esta opción de maniobra.
- d.8) SI debido a esta acción, disminuyen o se eliminan los problemas y si IBC es menor al anterior, **ENTONCES** esta solución es una **Solución factible**, la misma que se sumaría a la encontrada en el literal c).
- d.9) SI existen aún posibles soluciones por analizar en la nueva *Lista de soluciones*, **ENTONCES** ir al paso d.5) de otro modo continuar.

e) Resultados

- e.1) Determina la carga transferida (carga transferida determinada en el literal c) más la carga transferida determinada en el paso d).
- e.2) Encuentra el nuevo Índice de Balance de Carga (IBC).
- e.3) Presenta los siguientes resultados: Carga transferida. Índices de Balance de Carga de antes y después de la reconfiguración, maniobras para la reconfiguración, alimentadores de apoyo que reciben carga, presentación de los nuevos valores del alimentador que tenía problemas y de los alimentadores que reciben carga.

5. APLICACION DE LA RECONFIGURACION A LOS ALIMENTADORES PRIMARIOS DE LA EERCS C.A.

La aplicación de los métodos descritos en este artículo se ha realizado en la práctica para varios alimentadores primarios de la EERCS C.A. Ya que este trabajo ha sido realizado conjuntamente entre la Universidad de Cuenca y la EERCS C.A. pretende integrarse a las diferentes aplicaciones computacionales realizadas para los sistemas de distribución, toma como información básica las bases de datos y resultados del SICAP^{12,13} (Sistema Computarizado para Análisis de Alimentadores Primarios de la EERCS C.A.). Las bases de datos de Alimentadores Primarios contienen toda la información de nodos, secciones, seccionamientos, transformadores y todos sus parámetros eléctricos, de los 2731 Km (a Dic/92) de red primaria de la EERCS C.A. El SICAP genera como resultados; entre otros, los flujos y caídas de tensión en cada sección y nodo de los alimentadores primarios, estos sirven luego como datos para el programa RECONF.

A continuación se presenta un ejemplo aplicado a un alimentador mixto, aéreo subterráneo de 6.3 KV, del centro de la Ciudad de Cuenca.

5.1 Aplicación práctica para situaciones de falla.

El alimentador en estudio es el 0101 (S/E # 1, alimentador # 1 a 6.3 KV), el que tiene las siguientes características:

| | |
|--------------------------------------|--------|
| Sección Inicial..... | 500 |
| Sección Final..... | 565 |
| Número de secciones..... | 63 |
| Tensión Nominal [KV]..... | 6.3 |
| Tensión Estimada [KV]..... | 6.1 |
| Demanda Máxima [KW]..... | 1710 |
| Potencia Acumulada [KVA]..... | 3641 |
| Factor de Potencia..... | 0.9 |
| Factor de Utilización..... | 0.48 |
| Energía KWH/mes..... | 715673 |
| Máxima caída de Tensión [%]..... | 3.8 |
| Máxima carga térmica [%]..... | 87.2 |
| Interruptores de seccionamiento..... | 21 |
| Interruptores de enlace..... | 3 |

Los valores que se indican fueron obtenidos para el día 15 de enero de 1992 a las 19h30. En la figura 3 se indica la configuración del alimentador 0101. Este alimentador tiene como alimentadores de apoyo el 0104 y el 0304.

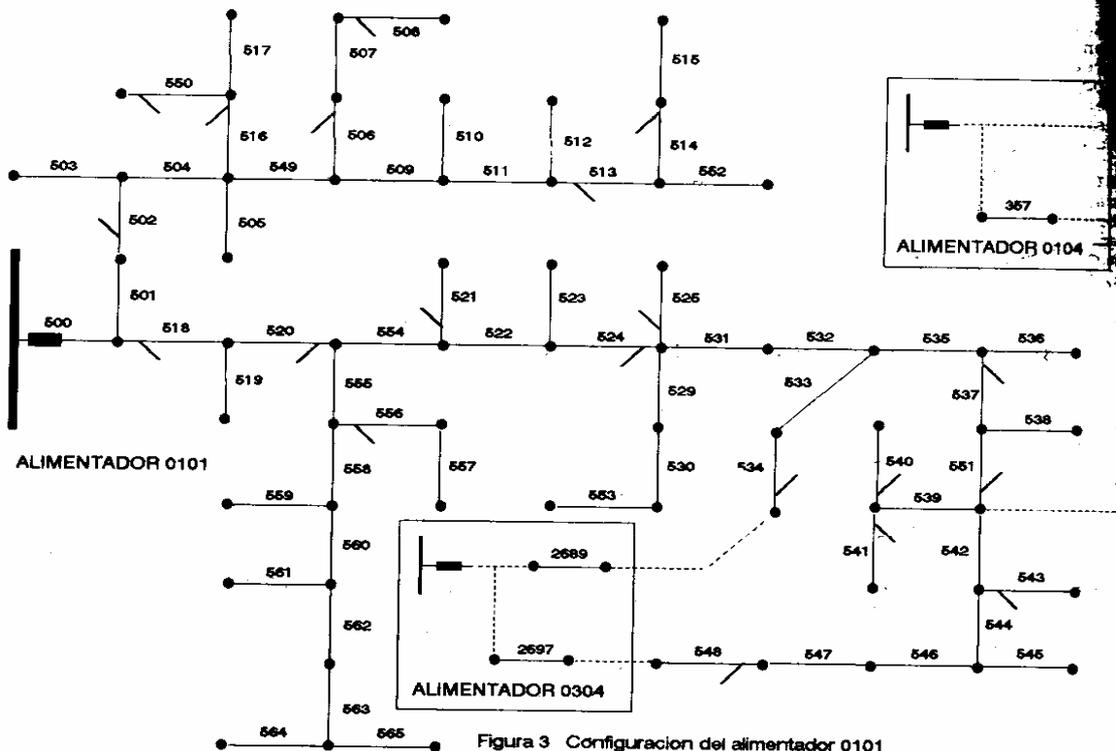


Figura 3 Configuración del alimentador 0101

Los datos que se indican en las tablas resumidas 1, 2 y 3, denotan la información que es procesada por el SICAP y a la cual se recurre para la aplicación de reconfiguración.

Se asume que existe una falla en la sección 522, cuyo código de ubicación geográfica, en los planos de la EERCS CA, es UE12 (Plano Urbano, coordenada E-12). Se consideraran las restricciones de 5% como máxima caída de tensión y de 100% la cargabilidad térmica tolerable.

Tabla 1. Datos del Alimentador 0101

| Modo | Potencia Acumulada [KVA] | Corriente [A] | Capacidad conducción [%] | DV por sección [KV] | Tensión [KV] | Potencia Activa [KW] | Potencia Reactiva [KVAR] |
|------|--------------------------|---------------|--------------------------|---------------------|--------------|----------------------|--------------------------|
| 500 | 3641.0 | 179.57 | 87.2 | 0.000 | 6.100 | 1709.5 | 828.1 |
| 501 | 1580.0 | 77.83 | 74.2 | 0.041 | 6.059 | 741.9 | 359.3 |
| 502 | 1430.0 | 70.54 | 67.2 | 0.023 | 6.036 | 671.5 | 325.2 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 564 | 100.0 | 5.94 | 3.5 | 0.001 | 5.948 | 47.2 | 22.7 |
| 565 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.000 | 5.949 | 0.0 | 0.0 |

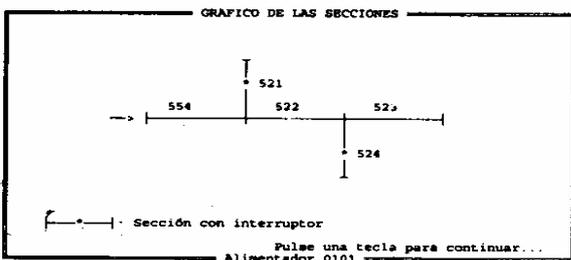
Tabla 2. Datos del Alimentador 0104

| Modo | Potencia Acumulada [KVA] | Corriente [A] | Capacidad conducción [%] | DV por sección [KV] | Tensión [KV] | Potencia Activa [KW] | Potencia Reactiva [KVAR] |
|------|--------------------------|---------------|--------------------------|---------------------|--------------|----------------------|--------------------------|
| 359 | 2435.0 | 97.05 | 82.4 | 0.013 | 5.850 | 908.7 | 439.5 |
| 360 | 200.0 | 8.77 | 8.0 | 0.000 | 5.850 | 82.1 | 38.7 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 595 | 2485.0 | 99.05 | 36.7 | 0.000 | 5.863 | 927.4 | 448.5 |

Tabla 3. Datos del Alimentador 0304

| Modo | Potencia Acumulada [KVA] | Corriente [A] | Capacidad conducción [%] | DV por sección [KV] | Tensión [KV] | Potencia Activa [KW] | Potencia Reactiva [KVAR] |
|------|--------------------------|---------------|--------------------------|---------------------|--------------|----------------------|--------------------------|
| 2656 | 75.0 | 2.76 | 1.2 | 0.000 | 6.144 | 24.7 | 16.6 |
| 2653 | 2292.5 | 77.68 | 28.8 | 0.005 | 6.139 | 755.3 | 361.3 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2702 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.000 | 5.945 | 0.0 | 0.0 |

EMPRESA ELECTRICAS REGIONAL CENTRO SUR C.A.
 F1: Ayuda Datos Análisis Fallas Problemas Imprimir Salir



Moverse con las flechas y pulsar ENTER para seleccionar la opción.
 EERCS CA | Reconfiguración de Alimentadores | EA & PA | 06/20/93

Figura 4. Pantalla que indica la sección con falla (522) y las secciones adyacentes con sus seccionamientos.

El programa RECONF presenta los siguientes resultados: para aislar esta falla abrir el interruptor de seccionamiento de la sección 520 cuya ubicación es UE11, las secciones sin servicio luego de aislar la falla son:

20 521 522 523 524 525 529 530 531
 22 533 534 535 536 537 538 539 540
 21 542 543 544 545 546 547 548 551
 23 554 555 556 557 558 559 540 561
 22 563 564 565

Los códigos de los transformadores que quedan en servicio son:

376E 2360P 0066E 1031E 2528P 3739P
 030E 1010E 0875P 0034E 0063E 4468E
 2179P 1512P 0031E 2440P 0032E 0238E
 3937P 2975P 2976P 0515E 0085E 4883P
 0044E

El alimentador tiene tres interruptores de enlace:

Tabla 4. Interruptores de enlace del alimentador 0101.

| Interruptor | Ubicación | Alimentador de apoyo |
|-------------|-----------|----------------------|
| 2689 | UF12 | 0304 |
| 2697 | UF12 | 0304 |
| 357 | UF12 | 0104 |

Las posibilidades de transferencia de carga son:

Tabla 5. Posibles opciones de maniobra.

| Opción | Maniobras en los interruptores | |
|--------|--------------------------------|------------------|
| | Cerrar | Abrir |
| 1 | 2689 -> alim 0304 | 534 -> alim 0101 |
| 2 | 2689 -> alim 0304 | 524 -> alim 0101 |
| 3 | 2697 -> alim 0304 | 548 -> alim 0101 |
| 4 | 2697 -> alim 0304 | 551 -> alim 0101 |
| 5 | 2697 -> alim 0304 | 537 -> alim 0101 |
| 6 | 2697 -> alim 0304 | 524 -> alim 0101 |
| 7 | 357 -> alim 0104 | 551 -> alim 0101 |
| 8 | 357 -> alim 0104 | 537 -> alim 0101 |
| 9 | 357 -> alim 0104 | 524 -> alim 0101 |

La carga total aislada es 932.4 KW + j 451.7 KVAR, y la máxima carga que puede ser transferida es 662.4 KW + j 321.0 KVAR.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el programa para cada opción:

Tabla 6. Resumen de resultados para cada opción.

| Opción | Máxima caída de tensión % | Máxima cargabilidad % | Solución factible |
|--------|---------------------------|-----------------------|-------------------|
| 1 * | ---- | ---- | no |
| 2 | 10.06 | 68.6 | no |
| 3 * | ---- | ---- | no |
| 4 | 6.20 | 42.8 | no |
| 5 | 6.60 | 45.4 | no |
| 6 | 9.40 | 63.9 | no |
| 7 | 3.10 | 61.8 | si |
| 8 | 3.50 | 64.0 | si |
| 9 | 4.50 | 79.4 | si |

(*) Esta opción no analiza el programa, pues, como consecuencia de la maniobra no se transfiere carga.

La mejor solución es transferir carga al alimentador 0104; abriendo el interruptor de seccionamiento 524 en el alimentador 0101, y cerrando en el alimentador 0104 el interruptor de enlace 357. Como se transfiere toda la carga aislada para transferencia, el análisis termina.

Utilizando la reconfiguración para esta falla se logra restablecer el servicio a una zona considerable. Si no se realiza las maniobras recomendadas por el programa RECONF, la carga que queda sin servicio es de 932.4 KW + j 451.7 KVAR, y efectuando la maniobra aconsejada se restablece 1662.4 KW + j 321.0 KVAR, quedando definitivamente sin servicio 270 KW + j 130.7 KVAR, que representa solo un 28.9% de la carga que hubiera permanecido aislada si no se empleaba la reconfiguración.

Para otro ejemplo, en el mismo alimentador, con similares circunstancias del anteriormente analizado, y alterando solamente el valor máximo admisible de caída de tensión a un 4%, se tiene que la mejor solución es la opción 8, en donde se restablece 288,6 KW + j 140.0 KVAR al alimentador 0104; abriendo en el alimentador 0101 el interruptor de seccionamiento 537, y cerrando en el alimentador 0104 el interruptor de enlace 357. Como no se transfiere toda la carga aislada, se analiza maniobras adicionales, que tratarán de transferir los 373,8 KW + j 181.0 KVAR restantes, las mismas que pueden ser.

Tabla 7. Posibles opciones de maniobra adicionales.

| Maniobras adicionales en los interruptores | | |
|--|-------------------|------------------|
| Opción | Cerrar | Abrir |
| 8.1 | 2689 -> alim 0304 | 534 -> alim 0101 |
| 8.2 | 2689 -> alim 0304 | 524 -> alim 0101 |

Los resultados obtenidos en el programa para cada maniobra adicional son los siguientes:

Tabla 8. Resumen de resultados de las maniobras adicionales.

| Opción | Máxima caída de tensión % | Máxima cargabilidad % | Solución factible |
|--------|---------------------------|-----------------------|-------------------|
| 8.1 * | ---- | ---- | no |
| 8.2 | 4.50 | 79.4 | no |

Como se puede observar, existen violaciones a las restricciones técnicas impuestas (caída de tensión > al 4%), las cuales no permiten transferir carga. Al no ser posible transferir más carga, la mejor solución es transferir carga solo al alimentador 0104; abriendo en el alimentador 0101 el interruptor de seccionamiento 537, y cerrando en el alimentador 0104 el interruptor de enlace 357. Realizando esta maniobra se restablece 288.6 KW + j 140.0 KVAR, quedando sin servicio 373.8 KW + j 181.0 KVAR, que representa un 40.08 % de la carga que hubiera permanecido aislada.

5.2 Aplicación práctica para sobrecargas térmicas o bajas tensiones.

Para la aplicación de esta opción se considera el mismo alimentador anteriormente analizado. Como el algoritmo diseñado tanto para solucionar los problemas de sobrecarga térmica o de tensión básicamente es el mismo, se considera, para ilustrar su aplicación, problemas de bajas tensiones en las secciones del alimentador 0101.

Se asume, para que exista un problema de bajas tensiones, una caída máxima de tensión de 3.7%, tanto para el alimentador con problemas como para los de apoyo.

El programa RECONF, en esta opción, inicialmente lista las secciones con problemas (secciones con caída de tensión > al 3.7 %):

538 539 540 541 544 545 546 547 548

A continuación determina los interruptores de enlace del alimentador 0101, ver tabla 4; luego encuentra todas las opciones de maniobra, las mismas que se presentan a continuación:

Tabla 9. Posibles opciones de maniobra.

| opción | Maniobras en los interruptores | |
|--------|--------------------------------|------------------|
| | Cerrar | Abrir |
| 1 | 2689 -> alim 0304 | 534 -> alim 0101 |
| 2 | 2689 -> alim 0304 | 524 -> alim 0101 |
| 3 | 2689 -> alim 0304 | 520 -> alim 0101 |
| 4 | 2689 -> alim 0304 | 518 -> alim 0101 |
| 5 | 2689 -> alim 0304 | 500 -> alim 0101 |
| 6 | 2697 -> alim 0304 | 548 -> alim 0101 |
| 7 | 2697 -> alim 0304 | 551 -> alim 0101 |
| 8 | 2697 -> alim 0304 | 537 -> alim 0101 |
| 9 | 2697 -> alim 0304 | 524 -> alim 0101 |
| 10 | 2697 -> alim 0304 | 520 -> alim 0101 |
| 11 | 2697 -> alim 0304 | 518 -> alim 0101 |
| 12 | 2697 -> alim 0304 | 500 -> alim 0101 |
| 13 | 357 -> alim 0104 | 551 -> alim 0101 |
| 14 | 357 -> alim 0104 | 537 -> alim 0101 |
| 15 | 357 -> alim 0104 | 524 -> alim 0101 |
| 16 | 357 -> alim 0104 | 520 -> alim 0101 |
| 17 | 357 -> alim 0104 | 518 -> alim 0101 |
| 18 | 357 -> alim 0104 | 500 -> alim 0101 |

Posteriormente determina todas las opciones de maniobra posibles, que son los que se indican en la tabla 10.

Tabla 10. Resumen de resultados de soluciones factibles.

| Alimentador 0104 | | | |
|------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Opción | Max. caída de tensión [%] | Máxima cargabilidad [%] | Carga transferida [KVA] |
| 13 | 2.90 | 61.6 | 235+j104.4 |
| 14 | 3.00 | 63.5 | 288.6+j140 |
| Alimentador 0101 | | | |
| Opción | Máxima caída de tensión [%] | Máxima cargabilidad [%] | |
| 13 | 2.50 | 78.3 | |
| 14 | 3.00 | 75.3 | |

El índice de balance de carga (IBC), antes de la reconfiguración es: 0.1253, realizada la opción 13 el IBC es: 0.0644, mientras que para la opción 14 el IBC es: 0.0324. De las dos soluciones encontradas se selecciona como la mejor solución, la que tiene el menor IBC.

6. CONCLUSIONES

La reconfiguración de alimentadores primarios orienta a la obtención de la configuración óptima, que dé las menores pérdidas y mejore el perfil de voltaje; así como ayuda a lograr las correctas operaciones de maniobra para mejorar el tiempo de restauración del servicio en las secciones del alimentador sin falla. El enfoque conceptual utilizado permite

EMPRESA ELECTRICA REGIONAL CENTRO SUR C.A.

F1: Ayuda Datos Análisis Fallas Problemas Imprimir Salir

TRANSFERENCIA DE CARGA

Para Aislar la falla de la sección : 522
 Abrir el interruptor de seccionamiento : 520
 Carga total aislada : 932.4 KW + j481.7 KVAR
 Máxima carga que puede ser transferida: 662.4 KW + j321.6 KVAR

| SOLUCION PARA TRANSFERIR CARGA | |
|--------------------------------|--------------------|
| Abrir Interruptor | Cerrar interruptor |
| 524 | 357 |

La carga se transfiere al alimentador : 0104
 Carga real transferida : 662.4 KW + j321.6 KVAR
 Pulse una tecla para continuar...
 Alimentador 0101

Moverse con las flechas y pulsar ENTER para seleccionar la opción.
 ESC: CA] Reconfiguración de Alimentadores | SA y PA | 06/20/93

Figura 5. Pantalla que indica transferencia de carga solución, para falla en la sección 522

al ingeniero eléctrico definir rápidamente las decisiones de maniobras más apropiadas en situaciones de contingencia que se presente en los alimentadores. En consecuencia, para su estudio y análisis es indispensable contar con datos actualizados y concordantes de cada uno de los alimentadores y del sistema en general.

En cuanto a la automatización de los sistemas de distribución, la reconfiguración es una de las herramientas básicas, ya que, luego de su análisis, se recomendará la configuración óptima que debe tener la red de alimentadores. Esta automatización implica que el control debe estar coordinado adecuadamente, para lograr actuaciones lógicas en tiempo real. La implementación de esta técnica incrementa la calidad y la confiabilidad del servicio, mejorando el comportamiento de la red en estado de operación normal o en casos de contingencia.

La transferencia de carga de los alimentadores que presenten problemas de sobrecarga o bajos voltajes a otros alimentadores no solamente mejora las condiciones operativas del sistema, sino también permite la utilización plena de las capacidades del sistema, dando como resultado la reducción de gastos de operación.

El estudio de las posibilidades de transferencia de carga, permite el diferimiento de inversiones, postergando las construcciones de nuevos alimentadores, subestaciones o ampliaciones de los mismos. A este nivel, a través de los modelos informáticos, es posible analizar el comportamiento de los alimentadores, luego de cada transferencia de carga hasta encontrar la mejor solución.

Además de los beneficios anteriormente citados, un estudio de reconfiguración puede utilizarse para determinar si los puntos de seccionamiento y enlace son los suficientes y si se encuentran adecuadamente ubicados.

7. RECOMENDACIONES

Los trabajos de planificación, construcción, operación y mantenimiento de un sistema de distribución y de un sistema eléctrico en general, deben ser integrales y continuos, puesto que los beneficios que se obtienen de un trabajo bien ejecutado aisladamente, se pierde cuando se trabaja por separado.

Se recomienda un mantenimiento periódico de los puntos de enlace entre alimentadores, para asegurar una posible transferencia de carga cuando las condiciones lo requieran.

Debe realizarse un estudio técnico-económico sobre la localización de puntos de seccionamiento y de enlace adecuados en alimentadores primarios, para facilitar y mejorar los índices de transferencia de carga en situaciones de contingencia que se den en el sistema.

Debido a que el lenguaje C permite organizar, seleccionar, manipular y actualizar grandes cantidades de información con rapidez y efectividad, se recomienda su utilización para resolver problemas de sistemas eléctricos, especialmente aquellos cuya solución requiera aplicar técnicas de búsqueda.

Es necesario, dependiendo del estudio a realizarse, que se tengan presentes los tipos de restricciones a considerarse para cada contingencia que se presente.

En cada transferencia de carga a efectuarse debe revizarse la calibración de los diferentes equipos de protección involucrados, para que la transferencia tenga éxito. De tal manera que será necesario llevar a cabo un estudio de coordinación de protecciones tendiente a garantizar transferencias de carga entre alimentadores.

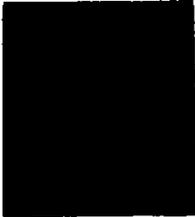
Para una eficiente utilización de la reconfiguración como apoyo a la operación de los sistemas de distribución, se recomienda su integración a las actividades que desempeña el centro de supervisión y control de la E.E.R.C.S. C.A.

REFERENCIAS

- [1] E. Albornoz, P. Avila, "Reconfiguración de Alimentadores Primarios de la EERCS C.A.", Tesis en Ingeniería Eléctrica, Universidad de Cuenca, Mayo 1993.
- [2] P. Erazo, "La computación y la Ingeniería de Distribución", IX Seminario de Distribución de Energía Eléctrica, ECUACIER, Loja, Diciembre 1990.
- [3] P. Erazo, "Manual del Sistema Computarizado para Análisis de Alimentadores Primarios (SICAP)", E.E.R.C.S. C.A., Cuenca-Ecuador 1989.
- [4] C.H. Castro, J.B. Brunch, T.M. Topka, "Generalized Algorithms for Distribution Feeder Deployment and Sectionalizing", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-99, No. 2, March/April 1980, pp. 549-557.
- [5] T. Taylor, D. Lubkeman, "Implementation of Heuristic Search Strategies for Distribution Feeder Reconfiguration", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 5, No. 1, January 1990, pp. 239-246.
- [6] K. Aoki, K. Nara, M. Itoh, T. Satch, H. Kuwabara, "A New Algorithm for Service Restoration in Distribution Systems", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 4, No. 3, July 1989, pp. 1832-1839.

- [7] S. Civanlar, J.J. Grainger, H. Yin, S.S.H. Lee, "Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 3, No. 3, July 1988, pp. 1217-1223.

BIOGRAFIAS

 ANTONIO J. BORRERO VEGA. Nació en Cuenca en 1956. Se graduó de Ingeniero Eléctrico en la Universidad de Cuenca, en 1981, y de "Master of Science in Electrical and Computer Engineering" en Ohio University, Athens, EE.UU., en 1984. Se especializó en "Operación y Control de Sistemas Eléctricos" en Suecia, 1985; y en "Sistemas de Información" en Puerto Rico, 1988. Es profesor principal a tiempo parcial en la Universidad de Cuenca, en el área de Potencia, Control y Microprocesadores. Ha trabajado desde 1984 en la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C. A., en las áreas de Subtransmisión, Planificación e Informática, actualmente se desempeña como Jefe de la Unidad de Sistemas de Información. Es miembro del CIEELA y del IEEE.

 MIGUEL G. CORRAL SERRANO. Nació en Cuenca en 1955. Se graduó de Ingeniero Eléctrico en la Universidad de Cuenca, en 1979, y de "Master of Science in Electrical Engineering" en North Carolina State University, EE.UU., en 1985. Se especializó en "Base de Datos" en Bélgica, 1986 y en "Explotación de la Energía Hidráulica" en Suecia, 1989. Es profesor principal a tiempo parcial en la Universidad de Cuenca, en el área de Matemáticas y Control. Ha trabajado desde 1979 en la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C. A., en las áreas de Distribución y Planificación, actualmente se desempeña como Jefe del Área de Planificación. Es miembro del CIEELA.

 ESTEBAN ALBORNOZ VINTIMILLA. Nació en Cuenca en 1967. Se graduó de Ingeniero Eléctrico en la Universidad de Cuenca, en 1993. Es profesor en el Instituto Técnico Superior Salesiano, en el área de Matemáticas, desde octubre de 1988 hasta la fecha. Es profesor en el Instituto de Tecnología Industrial de la Universidad de Cuenca, en el área de Electromecánica, desde octubre de 1992 hasta la fecha. Desde marzo de 1993 colabora en la Compañía ELECTELCO en el diseño y construcción de redes eléctricas y telefónicas.

 PAUL R. AVILA LASSO. Nació en Cuenca en 1966. Se graduó de Ingeniero Eléctrico en la Universidad de Cuenca, en 1993.