



Reconfiguración Determinística de Sistemas Eléctricos de Distribución radiales basada en *Bloques Lineales*

Néstor Cáceres A. [1], Enrique Chaparro V. [2] [3], Benjamín Barán C. [1]

^[1] Facultad Politécnica de la Universidad Nacional de Asunción – FPUNA
Campus Universitarios – San Lorenzo.

^[2] Itaipu Binacional
Central Hidroeléctrica – Hernandarias – Alto Paraná.
cver@itaipu.gov.py

^[3] Facultad Politécnica – Universidad Nacional del Este – FPUNE
Campus de la Universidad Nacional del Este – Alto Paraná.

PARAGUAY

RESUMEN

La distribución de energía eléctrica a los centros de consumo, en nuestro país, se realiza a través de una topología radial, dado que facilita la coordinación de los dispositivos de protección. La condición de *radialidad* supone que cada nodo de carga es energizado mediante una, y solo una, línea de distribución. Además, la *topología radial* facilita la transferencia de potencia, ya sea por causa de tareas de mantenimiento planificadas, o a través de maniobras pos-falta de tipo manual o telecomandadas, hacia otros alimentadores, mediante la abertura y cierre de interruptores, mudando la configuración topológica del sistema. Este proceso de mudanza de topología mediante la alteración del estado de interruptores, conservando la radialidad del sistema, se denomina *reconfiguración*. Esta alteración se debe realizar atendiendo a objetivos tales como: Energizar todos los nodos, mantener los perfiles de tensión dentro de límites aceptables, reducir las pérdidas activas, entre otros.

La *configuración óptima*, es aquella combinación de interruptores abiertos y cerrados que optimiza uno o más objetivos, citados anteriormente. Para garantizar la obtención de la *configuración óptima global* es necesaria la evaluación exhaustiva de todas las combinaciones posibles, de interruptores abiertos y cerrados. Esta forma de tratar el problema se conoce como *Búsqueda Exhaustiva*, y su implementación computacional es muy simple. Sin embargo, su utilización es inviable para sistemas de distribución reales, de mediano y gran porte, dado el enorme esfuerzo computacional requerido. En el presente trabajo se propone una metodología de reconfiguración, basada en el concepto de *Bloques Lineales*, para encontrar esa configuración óptima de sistemas de medio porte en un tiempo de computación viable. Un *Bloque Lineal* está conformado por un conjunto llaves que están sobre un trecho de línea sin bifurcaciones. Este concepto adquiere relevancia cuando se lo considera en conjunto con la necesaria *radialidad* del sistema, pues la búsqueda ya no se realiza sobre todas las combinaciones posibles, sino sólo sobre todas las combinaciones “potencialmente radiales”. Los resultados experimentales confirman plenamente la validez de la propuesta, obteniéndose reducciones de hasta 99% en el tiempo computacional requerido.

PALABRAS CLAVES

Sistema de Distribución radial, Reconfiguración, Búsqueda Exhaustiva, Configuración Óptima Global, Bloques Lineales.



1. INTRODUCCIÓN

La función de un Sistema de Distribución Eléctrica es hacer llegar la energía eléctrica desde las subestaciones hasta los consumidores finales mediante Alimentadores. En este caso, cada alimentador de una subestación corresponde a una línea principal que alimenta varios centros de consumo, ya sea residenciales, comerciales o industriales, o denominados genéricamente como puntos, o nodos, de carga. Los alimentadores, casi con exclusividad, se diseñan siguiendo una *topología radial*, lo que facilita la selectividad de los sistemas de protección [1]. Esto significa que todos los nodos de carga deben estar energizados, siendo cada nodo alimentado sólo por una línea de distribución, lo que caracteriza a un sistema de topología radial. Sin embargo, a efectos de afrontar eventuales contingencias, el sistema de distribución cuenta con dispositivos capaces de conectar entre sí tramos desconectados y desconectar tramos que normalmente estarían conectados. A estos dispositivos de interrupción, según sus características específicas, se denominan disyuntores, seccionadores, recursos, etc. A los efectos del presente trabajo nos referiremos a ellos con el nombre genérico de *llaves*.

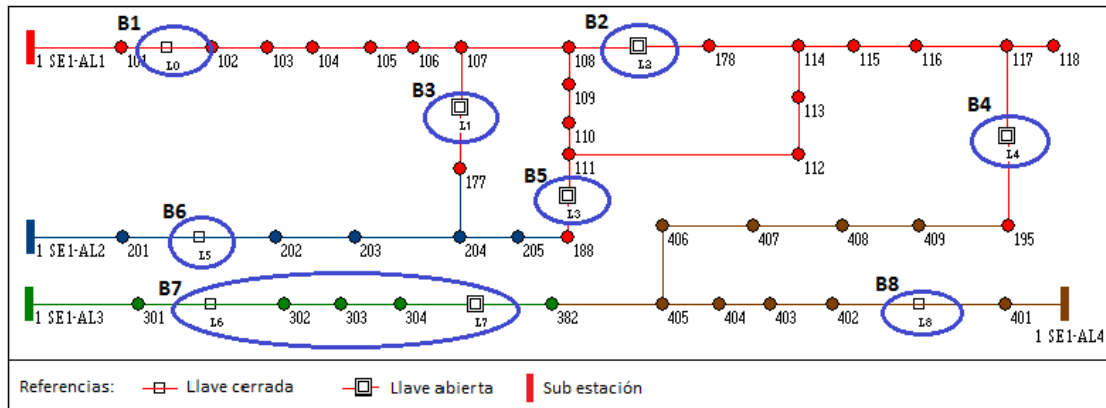
La alteración de la topología en los sistemas de distribución se realiza mediante el cambio de estado (*abierto/cerrado*) de las *llaves*. Este proceso se denomina *Reconfiguración*. La alteración de la topología no puede ser arbitraria, sino que se debe realizar atendiendo a objetivos tales como: garantizar la radialidad del sistema, mantener los perfiles de tensión dentro de límites aceptables, reducir las pérdidas activas, minimizar las maniobras requeridas, entre otros. La *Reconfiguración Óptima* supone identificar a aquella combinación de *llaves* abiertas y cerradas que optimiza uno o más de estos objetivos.

Actualmente, existen varios métodos para afrontar el problema de *Reconfiguración Óptima*, siendo los más utilizados los métodos heurísticos [2][3][4], los cuales requieren poco esfuerzo computacional, aunque no garantizan que el resultado obtenido sea el óptimo teórico, u óptimo global. Tradicionalmente, garantizar la obtención de la configuración óptima global requiere de la evaluación exhaustiva de todas las combinaciones posibles de *llaves* abiertas y cerradas. Esta forma de tratar el problema se conoce como Búsqueda Exhaustiva [5], y su implementación computacional es bastante simple. Sin embargo, la aplicación de Búsqueda Exhaustiva no es viable para sistemas de distribución reales, de mediano y gran porte, debido a que la complejidad de los algoritmos de ese tipo crece exponencialmente con el número de *llaves*, con lo cual, el esfuerzo computacional es tan grande que no se puede obtener el óptimo global, en un tiempo razonable de operación.

Debido al esfuerzo de cómputo requerido, hasta la actualidad sólo se han obtenido óptimos globales para sistemas pequeños de (hasta 30 *llaves*) [6]. Los sistemas abordados son en general versiones reducidas de sistemas reales para propósito académico, puesto que conocer el óptimo teórico resulta de suma utilidad para evaluar el desempeño de los métodos heurísticos y meta-heurísticos. En el presente trabajo, el algoritmo de reconfiguración propuesto, basado en bloques lineales, encuentra todas las configuraciones posibles de un dado sistema de distribución radial de medio porte, en tiempo de computación viable, de forma que dichas topologías encontradas sean las mismas que las que encontraría el método de Búsqueda Exhaustiva. Una vez encontrado el conjunto de configuraciones radiales, la selección de la configuración óptima se torna trivial; pues, se aplica el Flujo de Potencia correspondiente y se escoge aquella solución que presenta valores óptimos para los objetivos considerados.

2. BLOQUE LINEAL

En el presente trabajo se propone el concepto de *Bloque Lineal* el cual se define como un conjunto de una o más *llaves* ubicadas sobre un tramo de línea sin bifurcaciones en un sistema de distribución eléctrico. En la **Figura 1** se observa la representación de un sistema eléctrico de distribución, tomada de la literatura científica. En esta representación, los círculos representan cargas y las elipses indican *Bloques Lineales*. Siendo un *Bloque Lineal* un conjunto, la **Cardinalidad** de un *Bloque Lineal* B, representada por $\text{card}(B)$, es la cantidad de llaves que pertenecen al bloque B. En este ejemplo se puede verificar que $\text{card}(B7)$ es 2, mientras que la cardinalidad de los demás bloques lineales es 1.

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
 25 y 26 de Agosto de 2016

 Figura 1 – Descripción gráfica de *Bloques Lineales* – Sistema 1.

2.1 - Cálculo de la cantidad de combinaciones posibles

Como ya se mencionó, para garantizar la obtención de la configuración óptima global se requiere de la evaluación exhaustiva de todas las combinaciones posibles de *llaves* abiertas y cerradas. En general, si se tiene un conjunto V de variables independientes, y, cada variable V_i tiene K_i valores posibles, por el Principio Multiplicativo, o Regla del Producto [7], la cantidad de combinaciones posibles (NC) se obtiene mediante la siguiente expresión matemática:

$$NC = \prod_{i=1}^{card(V)} K_i \quad (1)$$

En un sistema con N *llaves*, si se considera directamente cada *llave* como una variable con 2 valores posibles, aplicando la ecuación (1), la cantidad de combinaciones generadas por las llaves (representada por NC_2) es:

$$NC_2 = \prod_{i=1}^N 2 = 2^N \quad (2)$$

Para el caso del sistema de la **Figura 1**, se tiene $NC_2 = 2^9 = 512$ combinaciones posibles.

2.2 - Considerando Bloques Lineales

Sea NB la cantidad de *Bloques Lineales* de un sistema. Con base en la ecuación (1), para calcular las posibles combinaciones, considerando los *Bloques Lineales* (simbolizado por NC_{bl}), se utiliza la siguiente ecuación matemática:

$$NC_{bl} = \prod_{i=1}^{NB} K_i \quad (3)$$

Para el caso del sistema de la **Figura 1**, se tiene $NC_{bl} = 2^9 = 512$. Se puede observar que la utilización de los *Bloques Lineales*, sin la restricción de la radialidad del sistema, es equivalente, en cuanto a las combinaciones generadas, a la *Búsqueda Exhaustiva*.

2.3 - Bloques Lineales con restricción de radialidad

Los valores posibles, para un *Bloque Lineal* con más de una *llave*, puede variar si se considera la condición de radialidad. El bloque B7 de la **Figura 1**, que contiene 2 *llaves*, en principio puede tener $2^2 = 4$ combinaciones posibles. Sin embargo, si ambas llaves están abiertas, los nodos entre ambas quedarían sin energía, rompiéndose la condición de radialidad. Como consecuencia, las combinaciones válidas se reducen a 3. En la **Figura 2** se observa la representación de un sistema eléctrico de distribución, tomado de la literatura científica, en el cual se identifican 7 *Bloques Lineales*.

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
25 y 26 de Agosto de 2016

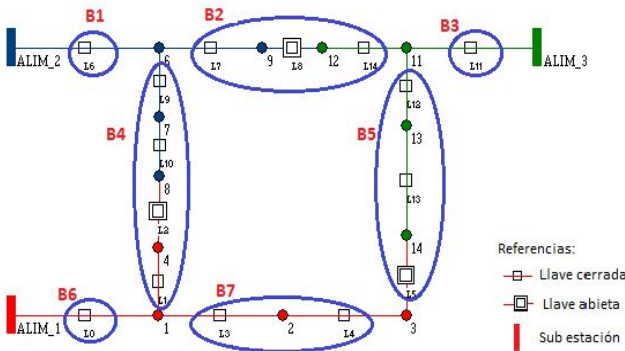


Tabla I – Cantidad de combinaciones.

Cardinalidad	NC ₂	NC _{blr}	Diferencia
1	2	2	0
2	4	3	1
3	8	4	2
4	16	5	11
5	32	6	26
6	64	7	57

Figura 2 – Descripción gráfica de *Bloques Lineales* – Sistema 2

Si observamos los bloques B2 y B5, ambos con 3 llaves, podemos ver que si se abren simultáneamente dos llaves, necesariamente habrá un tramo con nodos desenergizados. Lo mismo ocurre con el bloque B4, con 4 llaves. En general, para cualquier *Bloque Lineal*, para no romper con la condición de radialidad, sólo son válidas las combinaciones de estados de las llaves que cumplan una de las siguientes condiciones: a) sólo una de las llaves está abierta, o b) todas las llaves están cerradas. En consecuencia, la cantidad de combinaciones, considerando la condición de radialidad (simbolizado por NC_{blr}), se calcula a través de la siguiente expresión matemática:

$$NC_{blr} = \prod_{i=1}^{NB} \text{card}(B_i) + 1 \quad (4)$$

En la **Tabla I**, se muestran las combinaciones posibles para los *Bloques Lineales*, en función de su cardinalidad.

Se puede observar que cuanto mayor es la cardinalidad de los *Bloques Lineales*, que componen un sistema, mayor es la reducción de las combinaciones que deben evaluarse. Esta reducción es la que aporta el potencial para reducir el tiempo necesario para obtener la configuración global óptima. No obstante, cabe observar que el potencial de reducción está limitado por la topología propia de cada sistema, más específicamente de la cardinalidad de sus *Bloques Lineales*.

3. ALGORITMOS IMPLEMENTADOS PARA RECONFIGURACIÓN ÓPTIMA

3.1 - Representación

A fin de facilitar la gestión de estados de las llaves del sistema, cada llave se asocia a una variable binaria, y estas variables se agrupan según un arreglo ordenado. El valor “0” indica una llave abierta, mientras que el valor “1” indica una llave cerrada. En la **Figura 3** se muestra esquematizada esta asociación.

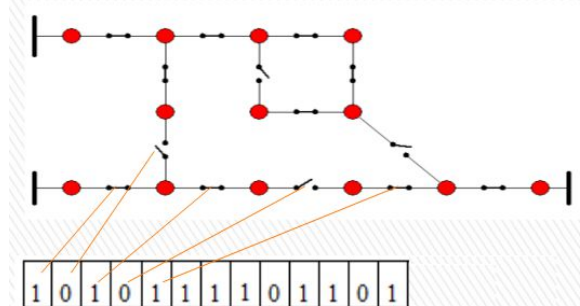


Figura 3 – Asociación de las *Llaves* con variables binarias.

3.2 - Búsqueda Exhaustiva

La *Búsqueda Exhaustiva* se basa en generar sistemáticamente todas las combinaciones posibles de los estados de las llaves.

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
25 y 26 de Agosto de 2016

En la Figura 4, en la columna izquierda, se muestra el esquema del algoritmo tradicional de la *Búsqueda Exhaustiva*, el cual consiste en tantos ciclos anidados como *llaves* tenga el sistema. En la columna derecha se muestra las secuencias de “0” y “1” que genera el algoritmo. La determinación de la radialidad de cada configuración se hace mediante un algoritmo propuesto por los autores en un trabajo anterior [8].

Algoritmo	Configuraciones Generadas
	000000
REPETIR CON $L_1 = 0$ HASTA $L_1 = 1$	000001
REPETIR CON $L_2 = 0$ HASTA $L_2 = 1$	000010
....	000011
REPETIR CON $L_N = 0$ HASTA $L_N = 1$	000100
SI la combinación es radial	000101
Almacenar_combinación	000111
FIN-SI	001000
FIN-REPETIR	001001
....	001010
FIN-REPETIR	001011
FIN-REPETIR
	111101
	111111

Figura 4 – Algoritmo de Búsqueda Exhaustiva.

3.3 - Búsqueda con Bloques Lineales con restricción de radialidad

El algoritmo propuesto en el presente trabajo se basa en las observaciones de la sección 2.3, y se muestra en la Figura 5, junto con la secuencia de valores generados. Para cada *Bloque Lineal*, la primera combinación consiste en todas las *llaves* cerradas. Las demás combinaciones se consiguen abriendo alternativamente una por una las *llaves* del bloque, eliminándose así las configuraciones que no se necesitan verificar.

Algoritmo	Configuraciones generadas
REPETIR CON $I_1 = 0$ HASTA $I_1 = \text{card}(\text{bloque1})$	11 111 11
Cerrar todas las llaves del bloque1	11 111 01
SI $I_1 > 0$	11 111 10
Abrir la llave del bloque1 en la posición I_1	11 011 11
FIN-SI	11 011 01
REPETIR CON $I_2 = 0$ HASTA $I_2 = \text{card}(\text{bloque2})$	11 011 10
Cerrar todas las llaves del bloque2	11 101 11
SI $I_2 > 0$	11 101 01
Abrir la llave del bloque2 en la posición I_1	11 101 11
FIN-SI	11 110 11
....	11 110 01
REPETIR CON $I_n = 0$ HASTA $I_n = \text{card}(\text{bloqueN})$	11 110 10
Cerrar todas las llaves del bloqueN	01 111 11
SI $I_1 > 0$	01 111 01
Abrir la llave del bloqueN en la posición I_n	01 111 10
FIN-SI	01 011 11
SI la combinación es radial	01 011 01
Almacenar_combinación	01 011 10
FIN-SI	01 101 11
FIN-REPETIR	01 101 01
....	01 101 10
FIN-REPETIR
FIN-REPETIR	10 110 10

Figura 5 – Algoritmo basado en *Bloques Lineales* con restricción de radialidad.

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
25 y 26 de Agosto de 2016

Una vez encontradas y almacenadas las combinaciones radiales del sistema, la determinación de la configuración óptima es trivial. En la **Figura 6** se aprecia el algoritmo correspondiente.

```

Mejor-Combinación = Primera-combinación-almacenada
Aplicar_flujo_de_potencia( Mejor-Combinación )
REPETIR para todas las combinaciones almacenadas
    nueva-combinación = Siguiete-combinación-almacenada
    Aplicar_flujo_de_potencia( nueva-combinación )
    SI Nueva-combinación ES MEJOR que Mejor-Combinación
        Mejor-Combinación = Nueva-Combinación
    FIN-SI
FIN-REPETIR
    
```

Figura 6 – Algoritmo para determinar la *Configuración Óptima*

4. SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE PRUEBA

Para probar el comportamiento del algoritmo propuesto, se eligieron tres sistemas, extraídos de la literatura, que se describen a continuación.

- **Sistema 1.** Este sistema, extraído del trabajo de Baran y Wu [9], está constituido por 4 alimentadores de distribución. Cuenta con un total de 9 llaves, 4 de ellas normalmente cerradas y las 5 restantes normalmente abiertas. El esquema gráfico de este sistema puede verse en la **Figura 1**.
- **Sistema 2.** Este sistema, extraído de la publicación de Su y Lee [10], está conformado por 3 alimentadores. Cuenta con un total de 15 llaves, 12 de las cuales son del tipo normalmente cerrada. El esquema gráfico de este sistema puede verse en la **Figura 2**
- **Sistema 3.** Este sistema, extraído del trabajo de Goswani y Basu [11], está conformado por un único alimentador, se compone de 32 nodos de carga y 36 llaves, 32 de las cuales están normalmente cerradas. El esquema gráfico de este sistema se muestra en la **Figura 7**.

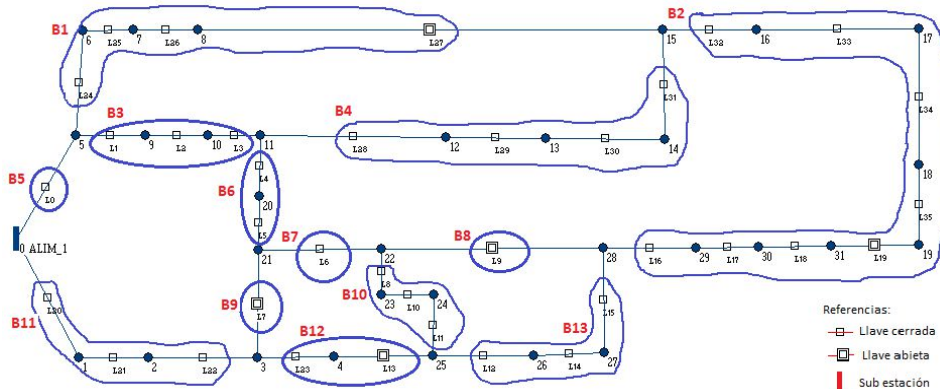


Figura 7 – Sistema de Distribución – Sistema 3.

5. EXPERIMENTOS

Para la realización de los experimentos se implementó el algoritmo propuesto en la forma de una *Clase* [12], en el *Lenguaje de Programación C++*, con las estructuras de datos y métodos apropiados para generar todas las combinaciones de llaves aplicando el criterio de *Bloques Lineales* con restricción de radialidad. Se desarrolló un algoritmo para registrar la duración del proceso de búsqueda y el mismo fue aplicado a los tres sistemas eléctricos de estudio, arriba citados.

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
25 y 26 de Agosto de 2016

A fin de comparar los tiempos de ejecución del método propuesto con los tiempos del método tradicional, se desarrolló el algoritmo de Búsqueda Exhaustiva. Este algoritmo fue ejecutado para los tres sistemas. En los sistemas 1 y 2, se midió directamente la duración del proceso de búsqueda exhaustiva, mientras que para el sistema 3, el tiempo de duración fue estimado con base a un promedio de la duración de 100 millones de evaluaciones individuales. Para las pruebas se utilizó un computador portátil, con procesador 2.00 GHz y 8 GB de memoria.

6. RESULTADOS NUMÉRICOS

Se pudo observar que en los sistemas 1 y 2, la cantidad de combinaciones radiales obtenidas con ambos algoritmos fue la misma. Esta comparación no se realizó con el sistema 3, pues para la ejecución completa del algoritmo tradicional se requeriría más de 3 días, según la estimación realizada sobre el promedio de 100 millones de combinaciones. En la **Tabla II** se resumen los valores experimentales obtenidos.

En la **Tabla II**, en la columna 3 (Radiales), se puede observar la cantidad de configuraciones radiales encontradas por el algoritmo propuesto, basado en *Bloques Lineales*. A su vez, en la columna 6 (Algoritmo Propuesto) se indica la significativa reducción en tiempo computacional, con respecto al algoritmo de Búsqueda Exhaustiva. Resulta evidente que la reducción en el tiempo de ejecución, en términos porcentuales, aumenta a medida que aumenta la complejidad del sistema, la cual está asociada con la cantidad de llaves. Igualmente, se realizó, para cada sistema, y en forma independiente, la optimización según los siguientes criterios:

- minimización de las pérdidas activas; y
- minimización del desvío máximo de tensión.

Tabla II – Resultados numéricos obtenidos.

Sistema	Cantidad		Tiempo			Reducción
	Llaves	Radiales	Flujo de Carga (segundos)	Algoritmo Tradicional (segundos)	Algoritmo Propuesto (segundos)	
Sistema 1	9	34	0,031	0,031	0,015	51,613 %
Sistema 2	15	190	0,062	0,078	0,016	79,487 %
Sistema 3	36	50.751	43,415	278.728,259	36,645	99,987 %

En las **Tabla III**, **Tabla IV** y **Tabla V** se muestran los resultados de la optimización para los sistemas 1, 2 y 3, respectivamente. Se incluyen también los valores originales de manera a verificar la efectividad de la optimización.

Tabla III – Valores eléctricos optimizados – Sistema 1

Criterio	Pérdidas Activas (MW)	Desvío Máx. Voltaje (kV)
Valores originales	140,87	1,22
Min. Pérdidas Activas	140,87	–
Min. Desvío Max. Voltaje	–	1,22
Mejora Porcentual (%)	0,00	0,00

En el sistema 1 se puede observar que el valor óptimo es prácticamente igual al valor original (ya optimizado previamente). La razón es que dicho sistema es de pequeño porte, posee solo 9 interruptores y 512 combinaciones posibles. Por lo tanto, es un valor óptimo ya conocido en la literatura científica. Por otra parte, en los 2 sistemas de mayor porte se puede observar una mejora significativa en los valores eléctricos en todos los criterios de optimización probados. Las mejoras más sustanciales (30%, en promedio) se dan en el Sistema 3. Este resultado no resulta extraño considerando que en la literatura de referencia, la determinación del máximo teórico sólo se ha intentado con sistemas de hasta 30 *llaves*.

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
 25 y 26 de Agosto de 2016

Tabla IV – Valores eléctricos optimizados – Sistema 2

Criterio	Pérdidas Activas (MW)	Desvío Máx. Voltaje (kV)
Valores originales	376,82	0,65
Min. Pérdidas Activas	356,16	–
Min. Desvío Max. Voltaje	–	0,55
Mejora Porcentual (%)	5,48 15,55	

Tabla V – Valores eléctricos optimizados – Sistema 3

Criterio	Pérdidas Activas (MW)	Desvío Máx. Voltaje (kV)
Valores originales	360,39	1,87
Min. Pérdidas Activas	238,26	–
Min. Desvío Max. Voltaje	–	1,23
Mejora Porcentual (%)	33,89	33,92

7. CONCLUSIONES

El método propuesto demuestra ser equivalente al método de búsqueda exhaustiva para encontrar el conjunto de combinaciones radiales de un sistema, siempre que la cantidad de *llaves* no sea excesiva (según estimaciones de los autores, los tiempos de ejecución son viables para sistemas con menos de 70 *llaves*). Por otra parte, la reducción del tiempo de ejecución es notoria en los 3 sistemas en estudio, observándose que esta reducción se vuelve dramática en el sistema más complejo. Una ventaja adicional del método propuesto es que una vez hallado el conjunto de combinaciones radiales, éste puede ser reutilizado volviendo trivial la obtención de la configuración óptima para distintos criterios de optimización o distintas condiciones de carga.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Stevenson, William D. "Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia". McGraw-Hill. Naucalpan, Mexico. 1985. ISBN: 968-6046-98-4.
- [2] Borges, C. L. T.; Manzoni, A.; Viveros, E., C.; Falcão, D., M.; Henriques, H., O. (2002) "Uma Ferramenta Computacional Amigável para Reconfiguração Automática de Redes de Distribuição Baseada em Algoritmos Genéticos". XV SENDI. 2002.
- [3] Nara, K.; Shiose, A.; Kitagawa, M.; Ishihara, T. "Implementation of Genetic Algorithm for the Distribution Systems Loss Minimum Re-Configuration". *IEEE*. 1992.
- [4] Oliveira, E. et al. "New algorithm for reconfiguration and operating procedures in electric distribution systems". Department of Electrical Engineering, Federal University at Juiz de Fora (UFJF), Juiz de Fora, MG, Brazil. 2013
- [5] Wilf, H. "Algorithms and Complexity". University of Pennsylvania Philadelphia, PA 19104-6395. Internet Edition, Summer, 1994.
- [6] Schmidt, H et al. "Fast Reconfiguration of Distribution Systems Considering Loss Minimization". *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 20, No. 3, August 2005
- [7] Grimaldi, Ralph P. "Matemáticas discreta y combinatoria" Addison-Wesley Iberoamericana, ISBN 968 444 324 2, Naulcalpan de Juárez, México 1998.
- [8] Cáceres, N; Chaparro, E.; Barán, B. "Operador de corrección de radialidad en reconfiguración de sistemas de distribución eléctrica utilizando algoritmos genéticos". ARANDUCON. Asunción. Paraguay. 2012.
- [9] Baran, M.; Wu, F. (1989) "Network Reconfiguration in Distribution Systems for Loss Reduction and Load Balancing". *IEEE Transaction on Power Delivery*. 1989.
- [10] Su, C.; Lee, C. "Network Reconfiguration of Distribution Systems Using Improved Mixed-Integer Hybrid Differential Evolution" *IEEE Transaction on Power Delivery*. 2003.
- [11] Goswami, S.; Basu S. "A new algorithm for the reconfiguration of distribution feeders for loss minimization" *IEEE Transaction on Power Delivery*. 1992.
- [12] Joyanes A., L. "Programación Orientada a Objetos". McGraw-Hill, Madrid – España, 1998. ISBN 84-481-2015-9.