



## Optimización multiobjetivo del balance de fases en circuitos de distribución primaria

### *Multi-Objective Optimization of the Phase-Balancing in Primary Distribution Circuits*

Ignacio – Pérez Abril

Recibido: octubre de 2015

Aprobado: enero 2016

#### RESUMEN/ABSTRACT

El desequilibrio de las corrientes de fase en los circuitos de distribución primaria provoca dos problemas fundamentales: las pérdidas de energía en los alimentadores se incrementan y la presencia de una alta corriente de neutro en operación normal hace difícil la detección de los fallos de tierra por las protecciones correspondientes. El presente trabajo implementa una aplicación del algoritmo genético por ordenamiento no-dominado (NSGA-II) para el problema de balance de fases, la cual determina las mínimas reconexiones necesarias de los ramales bifásicos y monofásicos, así como de los bancos trifásicos de transformadores y los transformadores monofásicos de distribución, para minimizar ambas: las pérdidas de energía y la máxima corriente de neutro del circuito. El comportamiento exitoso de esta aplicación se logra por la nueva definición del conjunto de variables independientes, lo que permite al NSGA-II seleccionar los elementos a reconectar. El ejemplo resuelto muestra las posibilidades de la presente aplicación.

**Palabras clave:** sistemas de distribución, NSGA-II, balance de fases.

*The unbalance of the phase currents in the primary distribution circuits produces two fundamental problems: the energy losses in the primary conductors are increased and the presence of a high neutral current on normal operation make it difficult the detection of earth faults by the neutral over current relays. The present work implements a Non-dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA-II) application for the phase balancing problem, which search for the minimal reconnection needed for the two-phase three-wire and the single-phase two-wire circuit laterals, as well as for the three-phase transformer banks and the single-phase distribution transformers, to minimize both: the energy losses and the maximum neutral current of the circuit. The successful performance of this application is achieved by the new definition of the set of independent variables, which permits the NSGA-II to optimize the selection of the elements to be reconnected. A test example is solved to shows the features of the presented approach.*

**Key words:** distribution systems, NSGA-II, phase balancing.

#### INTRODUCCIÓN

El problema del desbalance en los sistemas de distribución y sus efectos negativos sobre la calidad de la energía es un tema recurrente en la bibliografía [1]. El desequilibrio de las corrientes de fase produce dos problemas fundamentales: las pérdidas de energía en los alimentadores se incrementan y la presencia de una alta corriente de neutro en operación normal hace difícil la detección de los fallos que involucran la tierra por las protecciones correspondientes.

La reconfiguración de las redes de distribución mediante operaciones de los interruptores de enlace entre los circuitos reduce las pérdidas de energía y mejora el balance entre las fases [2-5]. Sin embargo, una técnica de reconfiguración que no depende de la presencia de interruptores de enlace es la conocida como *phase-balancing* o balanceo de los circuitos de distribución, la que consiste en equilibrar la carga mediante la reconexión de los ramales y transformadores de distribución a las fases del circuito primario. Varios tipos de algoritmos meta heurísticos empleados en la solución del balanceo de circuitos de distribución son comparados en [6], entre ellos la simulación del recocido (*sa*), la optimización por enjambre de partículas (*psa*), etc. (se han utilizado las siglas en inglés aquí y en el resto del trabajo).

En la referencia [7], se presenta un método basado en forraje de bacterias (*bf*) que se orienta por un algoritmo de (*psa*) y utiliza técnicas difusas para optimizar una función compuesta por cuatro objetivos: corriente de neutro, costo de la reconexión, caídas de tensión y pérdidas en líneas. Esta misma función objetivo se optimiza en [8] mediante un algoritmo de nelder-mead (*nm*) combinado con el *bf*. Por su parte, la referencia [9], introduce la utilización de gráficos de carga en el problema, el que es resuelto mediante un algoritmo de simulación de la cristalización (SCA) que se basa en la dinámica molecular.

En [10], se presenta una estrategia para balancear el circuito mediante la reconexión de los transformadores que logra una gran reducción de las pérdidas y de la corriente de neutro en circuitos delta de cuatro hilos.

La reconexión de los ramales monofásicos para lograr el balance de los circuitos de distribución se examina en [11], mediante diversos métodos de optimización como: algoritmo genético (GA), SA, algoritmo voraz, búsqueda exhaustiva, algoritmo de búsqueda hacia atrás y programación dinámica (DP). Una aplicación de un algoritmo híbrido voraz-difuso que persigue la reconexión de los ramales se muestra en [12], mientras que un algoritmo genético especializado basado en un modelo de programación no-lineal entero mixto se propone en [13], con el mismo fin.

En una contribución previa de este autor [14], se presentó una aplicación del algoritmo genético simple (SGA) para balancear las fases que minimiza las pérdidas de energía de los alimentadores mientras la corriente de neutro se reduce a un nivel aceptado mediante una restricción del problema. Este primer enfoque se aplicó con éxito en varios sistemas de distribución. No obstante, para reducir el número de elementos reconectados, se utilizaba un uso cíclico del SGA que incrementaba la complejidad del algoritmo. El presente trabajo, se ha pasado a una formulación multiobjetivo del problema que sustituye el SGA por el algoritmo genético por ordenamiento no-dominado (NSGA – II) [15]. Este método puede seleccionar el mínimo conjunto de elementos a reconectar y sus conexiones óptimas. El rendimiento de esta nueva aplicación es conseguido por la nueva definición del juego de variables independientes, que permite que el NSGA - II optimice la selección de los elementos a ser reconectados. Se resuelve un ejemplo de prueba con todos los datos necesarios para destacar las bondades del enfoque presentado.

### Formulación del problema

Las variables independientes de este problema de optimización son las posibles conexiones al circuito primario de los bancos trifásicos de transformadores, los transformadores monofásicos de distribución y los ramales de dos fases y neutro y de línea y neutro del circuito. Se considera que el circuito de distribución primaria tiene una configuración radial ramificada, que puede contener  $N_{lat}$  ramales bifásicos y(o) monofásicos, así como  $N_{trf}$  bancos de transformadores y(o) transformadores monofásicos. Los terminales primarios 1, 2 y 3 de estos elementos pueden conectarse a las fases A, B, C disponibles en el circuito mediante varias conexiones posibles que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Conexiones posibles a las fases disponibles en el circuito primario*				
Elemento	Fases disponibles en el circuito			
	ABC	AB	BC	CA
Ramal de dos fases y neutro	AB, BC, CA			
Ramal de una fase y neutro	A, B, C	A, B	B, C	C, A
Banco de tres transformadores	ABC, BCA, CAB			
Banco de dos transformadores	AB, BA, BC, CB, CA, AC	AB, BA	BC, CB	CA, AC
Transformador monofásico	A, B, C	A, B	B, C	C, A

\*La posición de cada fase corresponde con los terminales 1, 2 y 3 en cada caso.

### Variables independientes

Para representar las conexiones de ramales y transformadores de distribución, se define el arreglo  $x_{con}$  de  $N_{lat} + N_{trf}$  elementos que está formado por los subvectores  $x_{lat}$  y  $x_{trf}$  (ecuación (1)).

$$x_{con} = [x_{lat} \quad x_{trf}] \quad (1)$$

donde: los elementos de  $x_{con}$  son enteros restringidos a los valores mostrados en la tabla 1.

Desde el punto de vista práctico, se requiere que el número de reconexiones sea limitado a un porcentaje reducido de los ramales y transformadores. Sin embargo, con la definición del vector  $x_{con}$ , todos los  $N_{lat} + N_{trf}$  elementos pueden modificarse en el proceso de optimización, lo cual debe evitarse de alguna manera. Para reducir el número de reconexiones, se utiliza el arreglo adicional  $x_{var}$  formado por  $N_{var}$  enteros acotados entre 1 y la dimensión de arreglo  $x_{con}$ . La función del arreglo  $x_{var}$  es determinar el subconjunto de los elementos del arreglo  $x_{con}$  que pueden variar su valor original. Es decir, solo los elementos de  $x_{con}$  seleccionados en el arreglo  $x_{var}$  pueden variar su conexión original. El número máximo de reconexiones  $N_{var}$  se elige por el usuario.

Añadiendo los elementos de  $x_{var}$ , las variables independientes del problema se representan por el arreglo  $x$  de  $N_{lat} + N_{trf} + N_{var}$  elementos formado por los sub vectores  $x_{con}$  y  $x_{var}$ . Vea ecuación (2):

$$x = [x_{con} \quad x_{var}] \quad (2)$$

### Funciones objetivo

Varios objetivos pueden lograrse mediante la reconexión de los ramales y transformadores de distribución del circuito. Entre estos, se van a considerar tres objetivos principales:

- Mínimas pérdidas de energía.
- Mínima corriente por el neutro.
- Mínimo número de reconexiones.

Para un cierto valor del vector  $x$  de variables independientes, la conexión de todos los ramales y transformadores del circuito queda establecida. Entonces, para evaluar las pérdidas de energía y la corriente de neutro del circuito, es preciso determinar el modelo matemático de estas funciones con respecto al vector  $x$  de variables independientes.

### Modelo matemático

La determinación de las corrientes en el circuito primario depende fundamentalmente de las corrientes de los bancos trifásicos de transformadores y los transformadores monofásicos, así como de otras cargas trifásicas o bancos de condensadores existentes en el circuito.

Los bancos de tres transformadores tienen conexión Y- $\Delta$  (figura 1). Estos bancos se constituyen por un transformador de alumbrado (TA) al que se conecta la carga monofásica de 240/120 V y dos transformadores de fuerza (TF) iguales que completan el banco para suministrar carga trifásica a 240 V. La carga monofásica de 120/240V (S1 $\phi$ ) se suministra por el TA mientras que la carga trifásica (S3 $\phi$ ) se suministra por los tres transformadores. Se considera que la carga monofásica de 120 V está perfectamente distribuida entre las dos secciones del TA.

Los bancos de dos transformadores tienen conexión Yg- $\Delta$  abierta (se elimina el tercer transformador de la figura 1, y el neutro primario se conecta a tierra). Se emplean para dar servicio trifásico y monofásico combinados donde la carga trifásica es menor que la monofásica. Por otra parte, cuando solo hay carga monofásica, se emplea un transformador monofásico de distribución.

A partir de la figura 1, las tensiones de línea en el secundario están en fase con las tensiones de fase en el primario  $U_{1n}$ ,  $U_{2n}$  and  $U_{3n}$ . De esta forma, y aplicando el principio de superposición, las corrientes por el primario  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  para cada tipo de banco se muestran en la tabla 2.

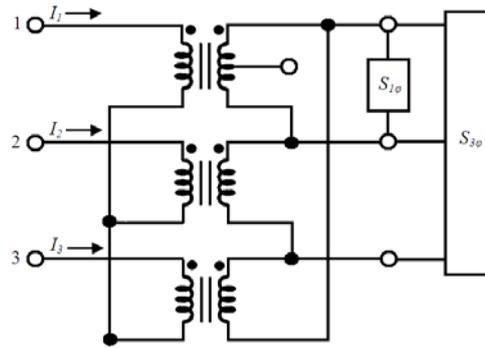


Fig. 1. Banco Y-Δ.

Tabla 2. Corrientes en el primario de los bancos de transformadores*			
Corrientes en el primario	Bancos de tres transformadores	Bancos de dos transformadores	Transformadores monofásicos
$I_1$	$+\frac{2}{3}\left(\frac{S_{1\phi}}{U_{1n}}\right)^* + \frac{1}{3}\left(\frac{S_{3\phi}}{U_{1n}}\right)^*$	$\frac{1}{3}\left(\frac{S_{3\phi}}{U_{1n}} - \frac{S_{3\phi}}{U_{3n}}\right)^* + \left(\frac{S_{1\phi}}{U_{1n}}\right)^*$	$\left(\frac{S_{1\phi}}{U_{1n}}\right)^*$
$I_2$	$-\frac{1}{3}\left(\frac{S_{1\phi}}{U_{1n}}\right)^* + \frac{1}{3}\left(\frac{S_{3\phi}}{U_{2n}}\right)^*$	$\frac{1}{3}\left(\frac{S_{3\phi}}{U_{2n}} - \frac{S_{3\phi}}{U_{3n}}\right)^*$	0
$I_3$	$-\frac{1}{3}\left(\frac{S_{1\phi}}{U_{1n}}\right)^* + \frac{1}{3}\left(\frac{S_{3\phi}}{U_{3n}}\right)^*$	0	0

\*Todas las magnitudes en la tabla y el resto del trabajo son fasores.

Una vez determinadas las corrientes de fase de los bancos trifásicos de transformadores, los transformadores monofásicos de distribución y del resto de las cargas o bancos de condensadores en el circuito, se procede a determinar las corrientes de fase y neutro, así como las pérdidas de potencia en toda la extensión del circuito y para las 24 horas del ciclo diario de carga.

Para la hora  $h$ , la corriente  $J_{k,i,h}$  en la fase  $i$  de la sección  $k$  del circuito se calcula como la suma de las corrientes primarias  $I_{n,i,h}$  del conjunto  $C_k$  de todas las cargas suministradas por esta sección del circuito.

$$J_{k,i,h}(x) = \sum_{n \in C_k} I_{n,i,h}(x) \quad (3)$$

La corriente de neutro  $J_{N_{k,h}}$  es la suma de las corrientes de las  $M_k$  fases en la sección trifásica.

$$J_{N_{k,h}}(x) = \sum_{i=1}^{M_k} J_{k,i,h}(x) \quad (4)$$

Las pérdidas de potencia activa en la sección  $k$  se calculan mediante:

$$\Delta P_{k,h}(x) = R_k \sum_{i=1}^{M_k} |J_{k,i,h}(x)|^2 + R_{N_k} |J_{N_{k,h}}(x)|^2 \quad (5)$$

donde:  $R_k$  y  $R_{N_k}$  son las resistencias de los conductores de fase y neutro.

El primer objetivo a minimizar son las pérdidas de energía en todas las  $N$  secciones del circuito para el ciclo de carga de 24 h, esto es:

$$\Delta E(x) = \sum_{k=1}^N \sum_{h=1}^{24} \Delta P_{k,h}(x) \quad (6)$$

El segundo objetivo a minimizar es el módulo de la máxima corriente de neutro en el día  $J_{N_{MAX}}$  en la primera sección del circuito, o sea:

$$J_{N_{MAX}}(x) = \max_h \left\{ J_{N_{1,h}}(x) \right\} \quad (7)$$

Finalmente, el tercer objetivo es minimizar el número  $N_R(x)$  de elementos reconectados.

De esta forma, el problema de optimización multiobjetivo puede ser formulado como:

$$\min \begin{cases} f_1(x) = \Delta E(x) \\ f_2(x) = J_{N_{MAX}}(x) \\ f_3(x) = N_R(x) \end{cases} \quad (8)$$

donde los elementos del vector  $x$ , son enteros acotados por los vectores  $x_{min}$  y  $x_{max}$ , formados por los límites inferiores y superiores de las variables independientes, o sea, las cotas para las posibles conexiones de ramales y bancos de transformadores (tabla 1).

### Método de optimización

El NSGA-II es un método de optimización multiobjetivo que permite optimizar simultáneamente las tres funciones deseadas. Una implementación de este método con codificación del cromosoma en números reales,<sup>1</sup> se ha empleado para resolver el problema presentado. Sin embargo, se ha realizado una modificación de los operadores genéticos: cruzamiento y mutación para considerar el carácter discreto de las variables.

Como cualquier algoritmo genético, en cada nueva población del NSGA-II se mejoran los componentes del cromosoma y eventualmente converge a cierto conjunto de soluciones conocido como frontera de Pareto. Dado que solo los elementos de  $x_{lat}$  y  $x_{trf}$  indicados por el sub vector  $x_{var}$  pueden variar su valor original, el número efectivo de variables se reduce drásticamente lo que explica el comportamiento exitoso del procedimiento presentado.

Como es común para todos los algoritmos genéticos, solo se necesita programar una función para evaluar los objetivos, dado el vector  $x$  de variables independientes.

### Ejemplo demostrativo

Como ejemplo demostrativo se utiliza una parte de un circuito real de 4,16 kV que tiene cuatro ramales de dos fases y neutro, cuatro ramales de una fase y neutro ( $N_{lat} = 8$ ), un banco de tres transformadores, 10 bancos de dos transformadores y 17 transformadores monofásicos ( $N_{trf} = 28$ ). La topología del circuito se muestra en la figura 2, mientras que los restantes datos se ofrecen en las tablas del Apéndice.

Los resultados para este ejemplo con sus conexiones originales  $x_{con}^0$  (caso base) muestran una elevada corriente de neutro de 127,7 A, y un total de 388,9 kWh/día de pérdidas de energía en los conductores primarios.

Se realizaron tres corridas del NSGA-II para observar la habilidad del algoritmo para determinar la frontera de Pareto del problema (figura 3). Como puede verse, las tres fronteras de Pareto están muy próximas entre sí, lo que habla a favor de la calidad de las soluciones obtenidas.

En todas las corridas se realizaron 100 generaciones sobre una población de 200 individuos para obtener

<sup>1</sup> SESHADRI, A. "NSGA-II source code". [en línea]. [Citado: 20-09-2012]. Disponible en web: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/10429-nsga-ii-a-multi-objective-optimization-algorithm/content/NSGA-II/>.

soluciones con un número máximo de cinco reconexiones ( $N_{va} = 5$ ). La tabla 2, presenta un resumen de las mejores ocho soluciones obtenidas y del caso base (primera fila).

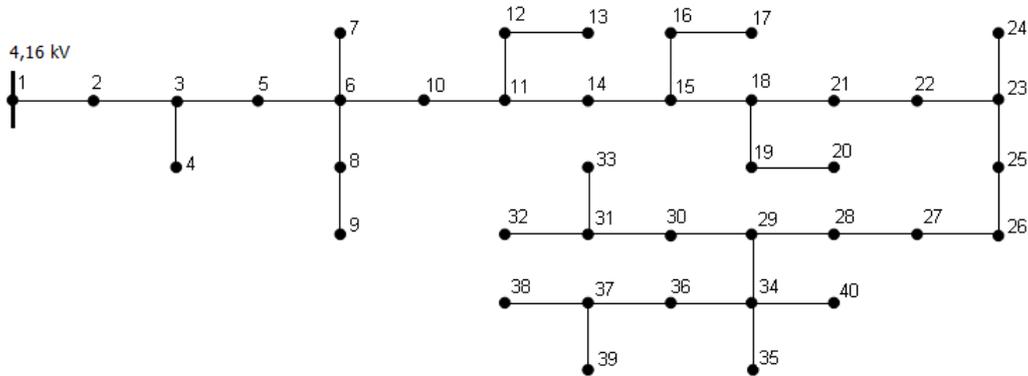


Fig. 2. Topología del circuito.

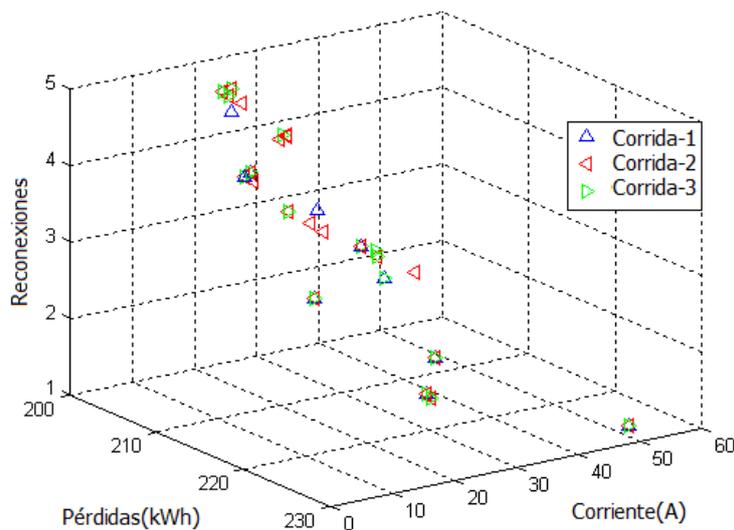


Fig. 3. Fronteras de Pareto.

Examinando estas soluciones se observa que algunos de los ramales y bancos de transformadores se seleccionan repetidamente para reconectar en varias de las soluciones. Todas las soluciones producen un gran ahorro de energía y reducción de la corriente de neutro. Finalmente, la figura 4, muestra la comparación entre las corrientes de fase y neutro en el caso base y después de aplicar la solución de mínima corriente de neutro (sexta solución de la tabla 2).

Tabla 2. Resumen de las soluciones

No.	Objetivos			Ramales reconectados			Bancos reconectados		
	$f_1$ (kWh)	$f_2$ (A)	$f_3$	nodos del ramal	de sd e	a	Nodo	Desde	a
0	388,9	127,7	0						
1	226,9	52,5	1	34-36-37-38-39	C	B			
2	228,1	18,9	2	34-36-37-38-39	C	B	30	BA	CB
3	221,0	29,5	2	34-36-37-38-39 6-7	C B	B C			
4	219,4	12,3	3	34-36-37-38-39 6-7	C B	B C	2	CB	AB

Tabla 2. (continuación)									
5	213,1	30,2	3	34-36-37-38-39 6-7 31-33	C B C	B C A			
6	219,2	10,7	4	34-36-37-38-39 6-7	C B	B C	2 4	CB A	AB B
7	210,4	21,6	4	34-36-37-38-39 18-19-20	C AB	B CA	30 40	BA CB	CA AC
8	212,3	19,2	5	34-36-37-38-39 31-33	C C	B A	12 30 32	A BA BCA	C CB ABC

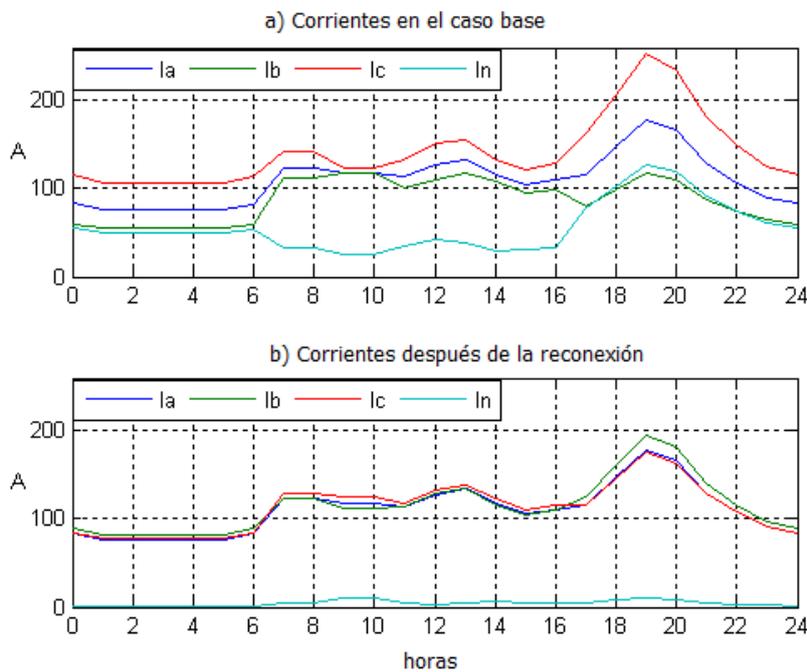


Fig. 4. Variación diaria de las corrientes.

## CONCLUSIONES

Además de utilizar un método moderno de optimización multiobjetivo, uno de los elementos claves de esta metodología es la inclusión del arreglo xvar para asegurar la obtención de un reducido número de reconexiones. Esta característica ha mejorado notablemente el comportamiento del programa de optimización.

Por otra parte, el uso del método NSGA-II permite obtener un variado conjunto de soluciones (con diferentes elementos a reconectar) que presentan reducciones significativas de pérdidas de energía y corriente de neutro. Por lo tanto, el ingeniero puede escoger la solución más apropiada según su criterio.

## REFERENCIAS

- [1] TAVAKOLI BINA, M.; KASHEFI KAVIANI, A. "Three-Phase Unbalance of Distribution Systems: Complementary Analysis and Experimental Case Study". *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*. 2011. Vol. 33. No. 4. pp. 817-826. ISSN: 0142-0615. DOI: [10.1016/j.ijepes.2011.10.015](https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2011.10.015).
- [2] MAZZA, A., *et al.* Comparison of Multi-Objective Optimization Approaches for Distribution System Reconfiguration. En: PowerTech (POWERTECH). EEE, Grenoble 16-20, June, 2013. pp. 1-6. DOI: [10.1109/PTC.2013.6652482](https://doi.org/10.1109/PTC.2013.6652482)
- [3] SAFFAR, A., *et al.* "A New Fuzzy Optimal Reconfiguration of Distribution Systems for Loss Reduction and Load Balancing Using ant Colony Search-Based Algorithm". *Applied Soft Computing*. 2011. Vol. 11. No. 5. pp. 4021-4028.
- [4] MIRHOSEINI, S. H., *et al.* "Multi-objective Reconfiguration of Distribution Network Using a Heuristic Modified Ant Colony Optimization Algorithm". *Modeling and Simulation in Electrical and Electronics Engineering*. 2015. Vol. 1. No. 1. pp. 23-33. Disponible en web: [http://msee.journals.semnan.ac.ir/pdf\\_239\\_2fbf2f462b47c908f8792166ee56e481.html](http://msee.journals.semnan.ac.ir/pdf_239_2fbf2f462b47c908f8792166ee56e481.html).
- [5] MIRHOSEINI, S. H., *et al.* "A New Improved Adaptive Imperialist Competitive Algorithm to Solve the Reconfiguration Problem of Distribution Systems for Loss Reduction and Voltage Profile Improvement". *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2014. Vol. 55. pp. 128-143. ISSN: 0142-0615. Disponible en web: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142061513003694>. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijepes.2013.08.028>.
- [6] SCHWEICKARDT, G. A., *et al.* "A Comparison of Metaheuristics Algorithms for Combinatorial Optimization Problems. Application to Phase Balancing in Electric Distribution Systems.". *Latin American Applied Research*. 2011. Vol. 41. No. 2. pp. 113-120. ISSN: 1851-8796.
- [7] HOOSHMAND, R. A.; SOLTANI, S. "Fuzzy Optimal Phase Balancing of Radial and Meshed Distribution Networks Using BF-PSO Algorithm". *Power Systems, IEEE Transactions*. 2012. Vol. 27. No. 1. pp. 47-57. ISSN: 0885-8950.
- [8] HOOSHMAND, R.; SOLTANI, S. H. "Simultaneous Optimization of Phase Balancing and Reconfiguration in Distribution Networks Using BF-NM Algorithm". *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2012. Vol. 41. No. 1. pp. 76-86. ISSN: 0142-0615.
- [9] PENG, C., *et al.* An Optimal Phase Swapping Strategy for Long-term Three-phase Balancing Using a Novel Simulated Crystallizing Algorithm. En: Proceedings of the CSEE. Vol. 22. No. 023 2014. ISBN: 0258-8013.
- [10] GUPTA, N., *et al.* A Novel Strategy for Phase Balancing in Three-Phase Four-Wire Distribution Systems. In: *Power and Energy Society General Meeting, IEEE*, 2011
- [11] WANG, K., *et al.* "Phase Balancing Algorithms". *Electric Power Systems Research*. 2013. Vol. 96. pp. 218-224. ISSN: 0142-0615.
- [12] SATHISKUMAR, M.; THIRUVENKADAM, S. "Phase Balancing of Unbalanced Distribution Network through Hybrid Greedy-Fuzzy Algorithm". *International Journal of Computer Applications*. 2011. Vol. 34. No. 6. ISSN: 0975 - 8887.
- [13] GRANADA ECHEVERRI, M., *et al.* "Optimal Phase Balancing Planning for Loss Reduction in Distribution Systems Using a Specialized Genetic Algorithm". *Ingeniería y Ciencia*. 2012. Vol. 8. No. 15. pp. 121-140. ISSN: 1794-9165.
- [14] PÉREZ ABRIL, I. "Genetic Algorithm for the Load Balance on Primary Distribution Circuits". *IEEE Latin America Transactions*. 2010. Vol. 8. No. 5. ISSN: 1548-0992.
- [15] DEB, K., *et al.* "A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II". *IEEE Trans. on Evolutionary Computation*. 2002. Vol. 6. No. 2. pp. 182-197. ISSN: 1089-778X.

## AUTOR

**Ignacio Pérez Abril**

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Director del Centro de Estudios Electroenergéticos CEE. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Cuba.  
e-mail: iperez@uclv.edu.cu

## APÉNDICE

Tabla A. 1. Datos del circuito													
Nodos		Sección del circuito				Carga en el nodo N <sub>2</sub> **							
N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	Fases	R	Rn	Long	Tipo Banco	Conexión		S <sub>1φ</sub>		S <sub>3φ</sub>		Gráfico*
			Ω/km	Ω/km			m	TA	TF	kW	kvar	kW	
0	1	ABC	0,21	0,91	130	2T	C	B	40,1	19,4	4,5	3,4	1
1	2	ABC	0,21	0,91	160				0,0	0,0	0,0	0,0	
2	3	ABC	0,21	0,91	50	1T	A		44,5	14,6	0,0	0,0	1
2	5	ABC	0,21	0,91	30	1T	A		53,4	17,6	0,0	0,0	1
5	6	ABC	0,21	0,91	70				0,0	0,0	0,0	0,0	
6	7	B	0,21	0,91	190	1T	B		106,8	35,1	0,0	0,0	2
6	8	AB	0,21	0,91	40	1T	B		32,9	10,8	0,0	0,0	1
8	9	AB	0,21	0,91	80	1T	B		62,3	20,5	0,0	0,0	1
6	10	ABC	0,21	0,91	190	2T	C	B	48,1	15,8	5,3	1,8	1
10	11	ABC	0,21	0,91	40				0,0	0,0	0,0	0,0	
11	12	ABC	0,21	0,91	45	1T	A		32,9	10,8	0,0	0,0	1
12	13	ABC	0,21	0,91	165				0,0	0,0	0,0	0,0	
11	14	ABC	0,21	0,91	80	1T	C		75,7	24,9	0,0	0,0	1
14	15	ABC	0,21	0,91	110				0,0	0,0	0,0	0,0	
15	16	BC	0,21	0,91	30	1T	B		53,4	17,6	0,0	0,0	1
16	17	BC	0,21	0,91	90	2T	C	B	37,8	17,2	6,7	5,6	1
15	18	ABC	0,21	0,91	70				0,0	0,0	0,0	0,0	
18	19	AB	0,21	0,91	50	1T	A		80,1	26,3	0,0	0,0	1
19	20	AB	0,21	0,91	80	2T	A	B	2,8	1,7	1,2	1,3	1
18	21	ABC	0,21	0,91	40	2T	A	B	72,1	34,9	8,0	6,1	2
21	22	ABC	0,21	0,91	100	1T	C		44,5	14,6	0,0	0,0	1
22	23	ABC	0,21	0,91	40				0,0	0,0	0,0	0,0	
23	24	CA	0,91	0,91	40	2T	C	A	37,4	19,2	16,0	8,2	1
23	25	ABC	0,91	0,91	60	1T	C		53,5	17,6	0,0	0,0	1
25	26	ABC	0,91	0,91	80	2T	B	A	43,6	22,3	18,7	9,6	1
26	27	ABC	0,91	0,91	90				0,0	0,0	0,0	0,0	
27	28	ABC	0,91	0,91	110	2T	A	C	43,6	21,1	18,7	10,8	1
28	29	ABC	0,91	0,91	10				0,0	0,0	0,0	0,0	
29	30	ABC	0,91	0,91	20	2T	B	A	40,9	13,5	3,6	3,5	2
30	31	ABC	0,91	0,91	110				0,0	0,0	0,0	0,0	
31	32	ABC	0,91	0,91	50	3T	B	C, A	26,7	12,9	17,8	9,9	1
31	33	C	0,91	0,91	60	1T	C		35,6	11,7	0,0	0,0	1
29	34	ABC	0,91	0,91	60				0,0	0,0	0,0	0,0	
34	35	C	0,91	0,91	60	1T	C		35,6	11,7	0,0	0,0	1
34	36	C	0,91	0,91	60	1T	C		35,6	11,7	0,0	0,0	1
36	37	C	0,91	0,91	25	1T	C		35,6	11,7	0,0	0,0	1
37	38	C	0,91	0,91	70	1T	C		35,6	11,7	0,0	0,0	1
37	39	C	0,91	0,91	20	1T	C		44,5	24,0	0,0	0,0	1
34	40	ABC	0,91	0,91	50	2T	C	B	65,5	31,7	5,7	4,8	1

\* Gráfico se refiere a los gráficos de carga mostrados en la tabla A.2

\*\*Las cargas son los kW y kvar a la hora pico

<b>Tabla A.2. Gráficos de carga (% de la carga pico)</b>											
Horas		Tipo1		Tipo2		Horas		Tipo1		Tipo2	
h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	P	Q	P	Q	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	P	Q	P	Q
0	1	30	80	20	20	12	13	57	80	80	80
1	2	30	80	20	20	13	14	45	80	80	80
2	3	30	80	20	20	14	15	39	80	70	70
3	4	30	80	20	20	15	16	43	80	70	70
4	5	30	80	20	20	16	17	60	80	20	20
5	6	35	80	20	20	17	18	80	85	20	20
6	7	50	80	80	80	18	19	100	90	20	20
7	8	50	80	80	80	19	20	90	100	20	20
8	9	40	80	100	100	20	21	65	100	20	20
9	10	40	80	100	100	21	22	50	95	20	20
10	11	45	80	70	70	22	23	40	85	20	20
11	12	55	80	70	70	23	24	35	83	20	20