



## Algoritmo inteligente para evaluar el impacto de la introducción masiva de cocinas de inducción

*Intelligent algorithm for evaluating the impact of the introduction of mass induction*

Jorge Enrique – Carrión González  
Raúl Nicolás-Carvajal Pérez

**Recibido:** septiembre del 2014

**Aprobado:** marzo de 2015

### Resumen/ Abstract

El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable de Ecuador (MEER) está implementando el plan nacional de cocción eficiente, en el país y en la región Sur. El plan se basa en reemplazar las cocinas que usan gas licuado de petróleo (GLP) por cocinas eléctricas de inducción, estos cambios representan un aumento considerable en la demanda eléctrica del sector residencial. Los estudios de los sistemas eléctricos de distribución realizados permiten evaluar el comportamiento actual de las redes eléctricas y analizar futuros escenarios para poder determinar las mejoras de carácter técnico y organizativo que deben introducirse. Se elaboró un algoritmo genético especializado para evaluar el efecto que representa en los transformadores de distribución la introducción masiva de las cocinas de inducción, con vistas a resolver el problema de un crecimiento brusco de la demanda de energía, minimizando los costos de inversión en nuevos equipos de transformación.

**Palabras clave:** Algoritmos Genéticos, Cocinas de inducción, Operación de Sistemas de distribución, Sistemas de distribución.

*The Ministry of Electricity and Renewable Energy of Ecuador (MEER) is implement in the national plan for efficient cooking in the southern region and the country. The planes based on replacing kitchens using liquefied petroleum gas (LPG) for induction cookers, representing an increase in electricity demanding the residential sector. Studies of electrical distribution systems made it possible to assess the current behavior of electrical networks and analyze future scenarios to determinism provident in technical and organizational measures to be introduced. A genetic algorithm to evaluate the effect on distribution transformer soft he massive introduction of induction cookers, with view to resolving the problem of sharp growth in demand forenergywhile minimizing the costsofinvestment in new equipment was developed.*

**Keywords:** Genetic Algorithms, induction cookers, Distribution System Operators, distribution systems.

### INTRODUCCIÓN

El plan maestro de electrificación 2012 – 2021 del Ecuador, como instrumento básico de la planificación sectorial, incorpora como eje transversal el cambio de la matriz energética del país, para lo cual considera el incremento en la oferta energética eléctrica, focalizado en el impulso y desarrollo de las energías renovables principalmente la hidráulica, la geotérmica y la eólica; el mantenimiento de una apropiada y suficiente reserva de potencia y energía; el desarrollo del potencial del gas natural y del gas asociado para generación termoeléctrica, desplazando el uso del diesel; el manejo de la demanda de energía eléctrica, mediante la implementación de incentivos; y la incorporación del concepto de eficiencia energética en todos los sectores de consumo.

Uno de los principales recursos naturales con que cuenta el país, para efectos de la generación de energía eléctrica, es el hídrico; es así que, conforme consta en el inventario de recursos energéticos del Ecuador con fines de generación eléctrica, el potencial teórico total del país bordea 73.000 MW, de los cuales 21.000 MW se consideran técnica y económicamente viables (2.000 MW en la vertiente del Pacífico y 19.000 MW en la vertiente del Amazonas).

En la actualidad se plantea el cambio de la matriz energética, la cual no solamente implica la fase de producción de la energía sino, fundamentalmente, el cambio en las modalidades de consumo. Con este objetivo el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables de Ecuador (MEER) desarrolla proyectos que, por un lado, se enfocan al uso eficiente de la energía y, por otro, preparan el camino hacia una migración de consumos actualmente vinculados con el petróleo y sus derivados, hacia la electricidad en particular (cocción, calentamiento de agua, transporte).

El uso de gas licuado de petróleo (GLP) para las cocinas en el Ecuador representa un problema económico para el gobierno nacional, debido a que este recurso está subsidiado y, también, por las emisiones de CO<sub>2</sub> que el uso de este combustible provoca. Como solución a este problema el gobierno ha planteado realizar el reemplazo progresivo de cocinas que utilizan GLP por cocinas eléctricas de inducción a partir de los años 2014-2015.

Para analizar la entrada masiva de las cocinas de inducción en las redes de distribución y poder analizar en particular los transformadores de distribución, se realizó un proyecto que consistió en desarrollar un software de uso específico con el objetivo de evaluar el efecto de las cocinas de inducción en el comportamiento de las redes de la ciudad de Loja, en particular en los transformadores de distribución, destinado al análisis técnico económico. En el desarrollo del proyecto se utilizó inteligencia artificial (algoritmos genéticos) para obtener el mejor resultado de un conjunto de posibles soluciones.

Los resultados de los estudios realizados a 18 circuitos de la ciudad de Loja en el año 2011 [1], se presentan en la tabla 1, en la que puede observarse que los mismos reflejan una situación de cargabilidad favorable de los transformadores de distribución y los alimentadores primarios.

<b>CIRCUITO</b>	<b>Demanda Máxima (kVA)</b>	<b>Capacidad Instalada (kVA)</b>	<b>FcapAprox</b>
Cajanuma	1164	4 480,5	0,46
Pío Jaramillo	2342	4158	
Yaguarcuna	2339	6 846,5	
Celi Román	1993	5020	
IV Centenario	1961	2 787,5	
Villonaco	642	543	
Chontacruz	2110	4 089,5	
Consacola	1746	4 801	
Hospital	2070	7 200	
Carigán	365	1 668	
Chuquiribamba	524	396	
Motupe	2091	6 133,5	
Parque Industrial	1033	2 204	
Norte	1948	6 487,5	
Centro	2179	2 780	
Sur	1851	4 997	
Calvario	948	2 858,5	
Juan de Salinas	1694	3 672	

El factor de capacidad medio aproximado, de los 2641 transformadores brindando servicio, fue del 46% de la capacidad instalada, lo que permite asimilar el crecimiento vegetativo de la carga actual en los próximos 10 años.

En estos momentos se desarrolla un plan nacional para realizar cambios en la matriz energética a partir de la entrada de importantes centrales hidroeléctricas. Los proyectos a ejecutar en los próximos años elevarán la capacidad de generación en alrededor de 10 000 MW permitiendo pasar masivamente la tecnología que utiliza actualmente otras fuentes de energía primaria, a tecnologías que utilicen la energía eléctrica. Uno de estos cambios de tecnología es la relacionada con la cocción de alimentos, que en la actualidad se produce mayormente utilizando gas licuado de petróleo (GLP), por la introducción masiva de las cocinas de inducción.

El Ministerio de electricidad de energía renovable de Ecuador (MEER), realizó un estudio con el objetivo de conocer la potencia y energía necesaria al sustituir la cocción utilizando GLP por cocción de inducción.

El Consejo Nacional de Electricidad (CONELC) reporta que el sistema eléctrico ecuatoriano en el 2012 tuvo una máxima demanda aproximada de 3000 MW; y de ellos alrededor del 32,60% corresponde a la demanda residencial.

El MEER informa que de un total de 3 747072 abonados residenciales, la demanda máxima residencial promedio es inferior a 0,5 kW en las condiciones actuales.

En este documento del MEER también aparece el factor de utilización de los transformadores de distribución o factor de capacidad (Fcap), que es del 41% en general en el país y en particular, en la región servida por la Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A. (EERSSA).

## DEMANDA DE LAS COCINAS DE INDUCCIÓN

El MEER planteó el procedimiento para determinar el impacto de la incorporación de las cocinas de inducción en el sistema eléctrico, orientando que se asuma:

**Pnominal de las cocinas:** 3 kW

**Factor de demanda:** 0.8 (2.4 kW)

**Factor de coincidencia:** A determinar de acuerdo al número de usuarios de cada transformador; en su defecto tomar el promedio de usuarios por transformador.

*Ejemplo:*

4 000 usuarios,  $D_{max}$  diversificada 433 kW, factor de coincidencia (Fc) 0,18 (tomado de la tabla 2).

Para el pico se valora el 60%  $D_{max}/cocina = 260$  W/cocina. En específico se consideran los valores que se presentan en la tabla 3. En un estudio realizado en la Escuela Politécnica Nacional de Quito- Ecuador se determinó de forma experimental para cocinas con una capacidad instalada de 4.8 kW, que la demanda máxima media de cada cocina es 1.81 kW. Se estudiaron los dos escenarios que se presentan en la tabla 4.

Número de Usuarios	Demanda (kW)	Factor de Coincidencia (%)
1	2.4	100
2	1.4	58.3
3	1.10	45.8
4	0.95	39.6
5	0.86	35.8
6	0.8	33.3
7	0.77	32.1
8	0.75	30.4
9	0.71	29.6
10	0.69	28.8
100	0.52	21.3
2 000	0.45	18.8
4 000	0.43	18

Cap. Tranf. (kVA)	No. Usuarios	Fcoincidencia	DMDv
150	100	0,21	510 W/cocina
25	20	0,25	600 W/cocina
5	1	1	2400 W/cocina

FACTOR DE SIMULTANEIDAD						
Horario	6--8	11--13	18--20	Demanda kW/cocina		
	Desayuno	Almuerzo	Merienda	Desayuno	Almuerzo	Merienda
Escenario Pesimista	69,90%	77,70%	88,20%	1,26	1,40	1,59
Escenario Optimista	48,90%	54,40%	61,70%	88,00%	98,00%	1,12%

Tomando el escenario pesimista la demanda máxima a las 18:00h de un usuario promedio que actualmente no supera 0.5 kW se eleva aproximadamente a 2 kW. El porcentaje de usuarios que utilizarán cocinas de inducción es heterogéneo y habrá transformadores de una capacidad que se sobrecarguen y que deberán ser sustituidos por otros de mayor capacidad, pero el transformador que se tiene queda libre para ser utilizado en otro lugar donde la demanda sea menor. Para dar respuesta a la problemática expuesta se desarrolló, en la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Nacional de Loja, un algoritmo inteligente con vistas a evaluar el impacto de la introducción masiva de las cocinas de inducción en el factor de cargabilidad de los circuitos de Loja y proponer una redistribución zonal de transformadores de distribución, minimizando los costos de inversión en nuevos equipos.

## DESARROLLO

### AUMENTO DE LA DEMANDA DE LOS TRANSFORMADORES DE UN CIRCUITO

Cada circuito de distribución de la ciudad de Loja alimenta cerca de 200 transformadores como promedio, la mayoría residencial, aunque hay algunos, como el circuito Motupe, que alimentan aproximadamente 277.

El cálculo de la demanda con medición de la curva de carga en la subestación de distribución (S/E), aplicando el método de Ardvinson para definir demanda (de cálculo) de cada transformador, es válido puesto que la demanda máxima actual de cada usuario es apenas del 25 % de la demanda máxima que tendrá cuando posea una cocina de inducción[1,2].

Lo anterior permite realizar un pronóstico de demanda en cada nodo del circuito de distribución primaria para diferentes escenarios, definiendo el escenario en el que cada transformador quedará sobrecargado. El procedimiento del pronóstico que se desarrolló [3,4] considera un factor de carga del transformador actual que puede ser elegido por el especialista que realiza el estudio de acuerdo a un rango de valores que el sistema brinda para el tipo de carga que representa cada transformador, estos valores son los que se presentan en la tabla 5.

**¡Error! Vínculo no válido.**

Estos factores de carga están asociados a una curva característica en por unidad para cocinas de inducción que propone el MEER y que contiene el sistema de cálculo como catálogo, pero es modificable por el usuario al permitirle agregar nuevas curvas de catálogo. Por otra parte, si el usuario conoce la demanda máxima histórica del circuito puede fijarla utilizando un menú para cargas históricas, con el fin de obtener de esa base de datos la tasa de crecimiento vegetativo; pero si el usuario no cuenta con estos datos puede ajustarse al valor que el sistema contempla por defecto.

El usuario debe incorporar las cargas en cada nodo en el menú cargas históricas. El pronóstico de carga se realiza en 7 horarios del día, cada año se proyecta del año anterior y se incorpora la demanda horaria de las nuevas cargas (en su mayoría cocinas de inducción), que el procedimiento va a buscar a una base de datos de nuevas cargas (BDNC) que fue incorporada a la base de datos del circuito (BD) una vez que el usuario estudió un escenario e incorporó una cantidad de cocinas a cada nodo en un año futuro dado. El procedimiento de pronóstico mezcla la curva de demanda horaria de cada nodo en el *año i*, e incorpora las cocinas (nuevas cargas) obteniendo la demanda horario pronosticado, como se muestra en la figura 1.

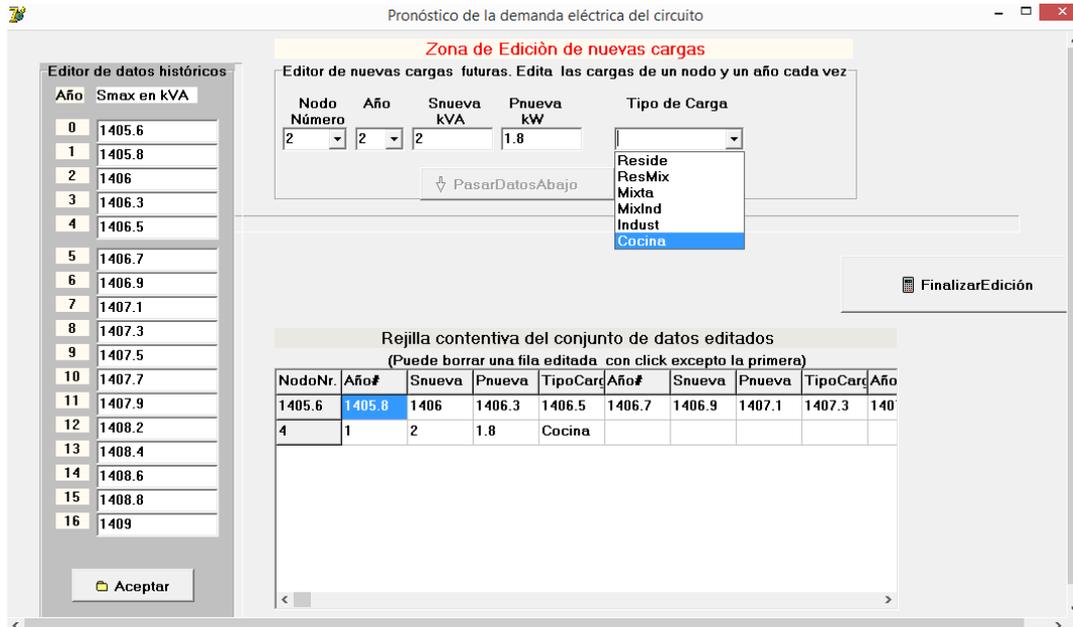


Fig 1. Zona de edición de nuevas cargas del software EDIS.

### SITUACIÓN DE CADA TRANSFORMADOR

El procedimiento que evalúa el estado de los transformadores cuenta con una curva que fija el nivel de sobrecarga admisible de cada transformador en función de la temperatura ambiente, la duración del horario de demanda máxima y el porcentaje de carga efectiva a que fue sometido el equipo durante las 12 horas anteriores a la demanda máxima[5]. El procedimiento, de acuerdo a la curva de carga pronosticada para cada año, evalúa la demanda efectiva, el porcentaje de demanda busca el nivel de sobrecarga admisible para ese equipo y clasifica el transformador como:

- Subcargado en los primeros 10 años.
- Sobrecargado y el año en que alcanza la sobrecarga.
- Capacidad del transformador adecuada.
- Capacidad no económica en los próximos 10 años.

Inicialmente el especialista debe realizar los siguientes pasos:

- a) Desarrollo del menú cargar históricos, fijando para cada nodo del circuito las cocinas de inducción o nuevas cargas que estima se van a incorporar.
- b) Escoger el menú pronóstico de cargas.
- c) Desarrollo del menú estado de los transformadores

A continuación el sistema de cálculo incorpora en el mismo fichero de datos del circuito, para cada nodo:

- Demandas, factores de carga actual y tipo de carga asignada (tanto para los nodos que fueron leídos como los que fueron calculados por el método de Ardvinson).
- La demanda máxima y la demanda efectiva para el año 10, de pronóstico.
- El estado del transformador y, si procede, el año en que comenzará a estar sobrecargado.
- Las nuevas cargas que se proyectan con el tipo de carga, año de incorporación y demandas que se incorporan al nodo.

Esta información queda incorporada automáticamente al fichero del circuito.

Se supone que el usuario realice el estudio del estado de los transformadores en varios escenarios dada la incertidumbre respecto al porcentaje de usuarios que pasará a la cocción con cocinas de inducción en los próximos años.

### REDISTRIBUCIÓN DE TRANSFORMADORES

Se desarrolló un Algoritmo Genético Clásico (AG) para realizar el proceso de optimización de transformadores[6,7]. El proceso previo a la formación de la población inicial realiza los siguientes procedimientos.

- a) A elección del usuario abre los circuitos que deben participar en la redistribución incorporada con datos relativos al circuito a que pertenece y nodo del circuito, parte de ubicación y capacidad del transformador, demanda actual, demanda efectiva, demanda máxima, estado del transformador y año de sobrecarga si procede. Aquí se encuentran todos los transformadores de la zona. Este procedimiento llama a otro procedimiento de pronóstico de carga de ese circuito y pasa la información a variables de cálculo, la demanda y factor de carga en los próximos 10 años.
- b) Considerando que en la redistribución solo deben participar los transformadores “sobrecargados”, “subcargados” o que su capacidad sea “no económica”, y con el fin de colaborar con el AG, toma solo los que se encuentran en esta categoría y los reordena según su nivel de demanda. Este procedimiento ayuda a que el proceso aleatorio que desarrolla el AG trabaje con las mayores capacidades primero y las vaya utilizando en los nodos de mayor demanda, evitando que a un nodo de pequeña demanda le sea asignado un transformador de gran demanda en el proceso de selección aleatoria.
- c) Los transformadores que participan en la redistribución son situados todos en un almacén virtual por capacidades y cantidades disponibles de cada capacidad.
- d) Le asigna a un número de referencia continuo (1,2,3.....20).

## PASOS

### PASO 1.

#### Población inicial

El AG utiliza una codificación numérica de acuerdo a la referencia que tiene cada capacidad en el almacén virtual. La matriz de los cromosomas tendrá tres columnas por nodo; una para cada fase; así, si el nodo  $i$  tiene un transformador de 10 kVA con número de referencia 3 en la fase B, la matriz tendrá tres columnas:

$$\begin{array}{ll}
 j = 3(i-1)+1 & a_{ij} = 0 \text{ Fase A} \\
 j = 3(i-1)+2 & a_{ij} = 3 \text{ Fase B} \\
 j = 3(i-1)+3 & a_{ij} = 0
 \end{array}$$

De acuerdo a la demanda de cada nodo pronosticado ST ( $i,t$ );  $t= 1, \dots, 10$  y el nivel de sobrecarga admisible en ese nodo, el procedimiento de asignación de capacidad decide la capacidad mínima en el nodo  $i$  para que la asignación sea factible.

$$K_{min}(i) \quad \text{Por su número de referencia} \quad \longrightarrow$$

Entonces decide aleatoriamente una capacidad entre:

$$K_{min}(i) \leq K_{aleatoria} \leq K_{max}$$

Con  $K$  aleatoria puede ocurrir:

- a) Si  $K$  aleatoria existe en el almacén; se asigna y se da de baja en existencia.
- b) Si  $K$  aleatoria no existe en el almacén, se asignará la capacidad mínima existente en almacén y esta se asigna al nodo.
- c) Si no existen las capacidades  $K$  aleatorias ni  $K$  mínima en almacén, entonces se decide comprar un transformador de capacidad  $K_{min}(i)$  sabiendo que el transformador más económico tiene capacidad o la siguiente y así se contribuye a mejorar la composición genética de la población inicial.

### PASO 2

De acuerdo a la decisión tomada para el nodo se llama al procedimiento *fitness* que calcula los costos para 10 años de la capacidad que se dividió incorporándolo a los costos generales de esa población que resulta de la repetición de proceso  $Nind$  veces. Estos serán los aspirantes a padres de la siguiente generación. De esta forma se asegura que desde la población inicial haya cierto nivel de ajuste entre las capacidades asignadas y la demanda de los nodos en el período de análisis.

Esto queda plasmado en una matriz  $C(i10, j)$  con  $Nind$  filas y  $3i$  columnas, las siguientes generaciones donde  $i$  es la cantidad de nodos de la zona desarrollan los pasos del AG.

### PASO 3 NUEVA POBLACIÓN

- **Crossover o recombinación**

Lo realiza al azar por la regla de la ruleta dando prioridad en la porción de la ruleta asignada a cada individuo a los de menor *Fitness*(Gastos). Cada pareja escogida tendrá dos hijos y el usuario escoge la cantidad de hijos de la población.

- **Mutación**

Se tomó una tasa alta (10%) de los hijos y se adoptó el método de selección aleatoria de la capacidad, mutando aquellos cuya capacidad en la mutación resulte factible.

- **Formación de la nueva población**

Se forma por el conjunto de los padres (sobrevivientes en la población anterior) y los hijos de esta generación.

- **Elitismo**

Selecciona el 30 % de los padres actuales para que formen parte de la siguiente población, lo hace de acuerdo a su *fitness*(menos costos de transformación).

Calcula el *fitness* (costos de transformación) de los hijos actuales y los padres de la siguiente generación, completa el 70% restante entre los mejores hijos de la actual generación por su *fitness*.

- **Líder de esta generación**

Será el de mejor *Fitness* entre todos los padres e hijos de la generación actual.

### DESICIÓN FINAL DE REUBICACIÓN

Cada generación tiene cientos de variantes (hijos) y de ella se escoge el líder (Leader), con él se pasa al siguiente procedimiento [8-10]:

- Los nodos que el AG designe con el mismo transformador actual no son redistribuibles.
- Los nodos que requieren de un transformador que el AG decidió comprar, donan al almacén el transformador actual caracterizado por su capacidad y número de poste desde donde se podrá trasladar.
- Los nodos restantes necesitan de una capacidad que debe haber en almacén diferente a la que tiene actualmente.
- Con las donaciones anteriores se crea un almacén en el que aparecen las capacidades a redistribuir y cada transformador tiene el número de poste donde se encuentra actualmente.
- Para cada nodo que requiere la asignación de los transformadores del almacén, se escoge de entre los que están almacenados uno de la capacidad que él requiere, al que corresponde al número de poste más cercano al poste de ese nodo por el supuesto que la numeración de poste por zona tiene cierto nivel de continuidad.

### RESULTADOS

Los resultados de la aplicación del AG a dos circuitos de la ciudad de Loja: el circuito Villonaco y el circuito Parque Industrial se muestran en la figura 2.

Note la lógica de la redistribución. El nodo 44 tendrá en el escenario estudiado una demanda de 33,32 kVA requiriendo un transformador de 37.5 kVA que existe en la zona y no hay que comprarlo, pero ese nodo libera el actual transformador de 75 kVA para que pueda ser reutilizado en otro nodo donde se requiera, pero esa capacidad no hay que comprarla. El nodo 76 libera una capacidad de 25 kVA que es trasladado al nodo 96 que tiene uno de 37,5 kVA y requiere 25 kVA en la nueva situación, para el nodo 76 se requiere comprar un transformador de menor capacidad, al no existir esta capacidad en la zona en estudio.

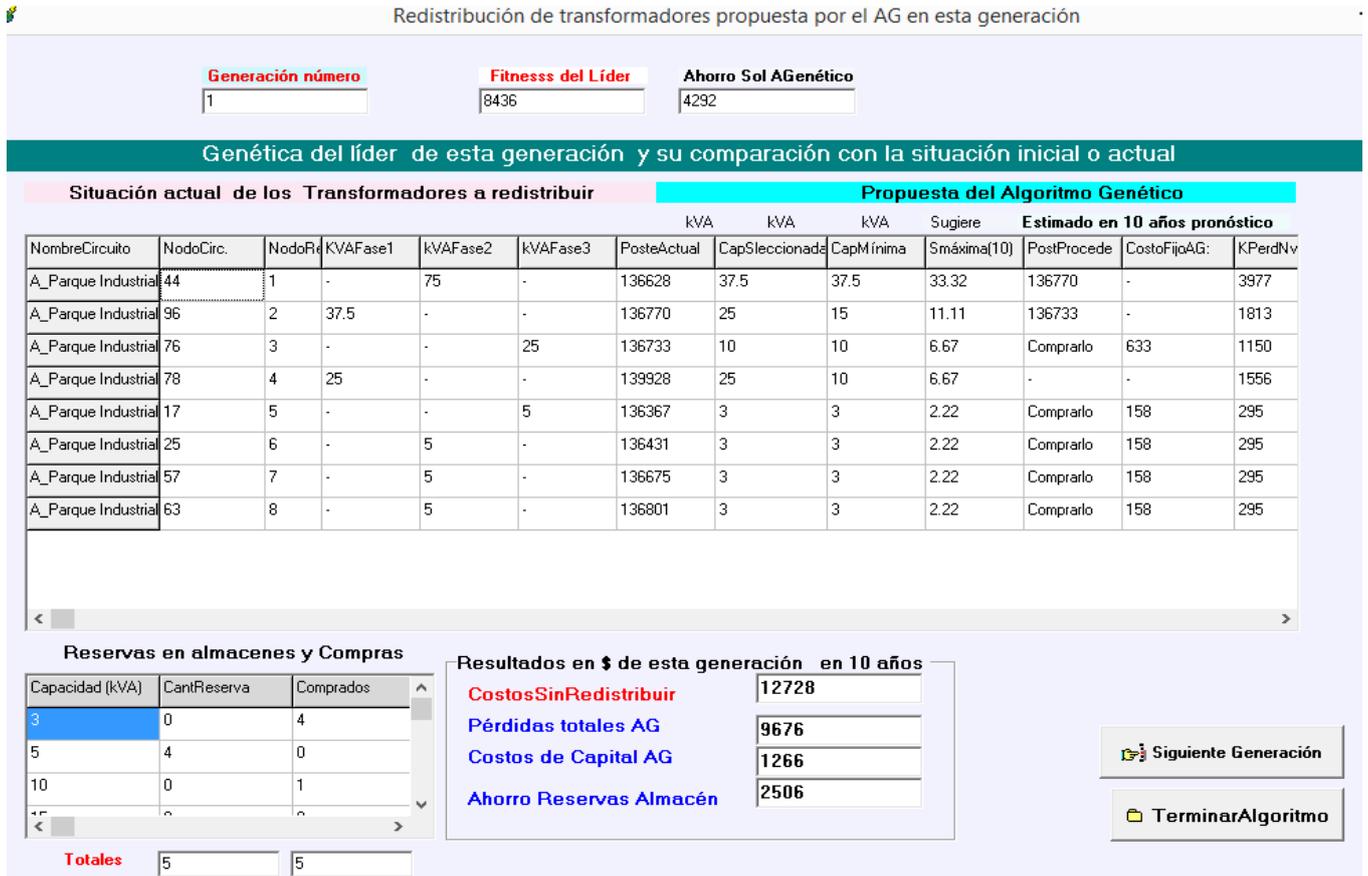


Fig 2. Resultado de la redistribución de transformadores aplicando AG

## CONCLUSIONES

El algoritmo desarrollado demostró el efecto multiplicador de la demanda que introduce en el sistema de distribución de la ciudad y la necesidad de redistribuir los equipos con un desplazamiento de los transformadores que actualmente tienen más capacidad hacia otros lugares de menor demanda, minimizando los costos de inversión en nuevos equipos.

## REFERENCIAS

- [1]. RAMIREZ CASTAÑO, Samuel, "Redes de Distribución de Energía". Universidad Nacional de Colombia Tercera Edición, Manizales 2004, ISBN 958-9322-86-7.
- [2]. EROSKI. *Consumer Eroski. Placas Vitrocerámicas y de Inducción*. Editores Eroski, No. 108, p. 43-47, ISSN: 1138-3895.
- [3]. TURAN, Gönen; et al. *Electric Power Transmission System Engineering: Analysis and Design*. Editorial A Wiley-Interscience Publication, 719 p.1988, ISBN: 0471859931
- [4]. RAMÓN, M.; Rosas, Mujal. *Tecnología eléctrica*. Upc Edicions Upc. Univ. Politèc. de Catalunya, 1 de julio de 2009, 456 p. vol.47, ISBN-10: 8483017164, ISBN-13: 9788483017166.
- [5]. BORDAS T, Roberto. et al., *Aplicación de Algoritmos Genéticos en Sistemas de Distribución, Desarrollo y ciencia aplicada*. Dirección General de Educación Superior Tecnológica (DGEST), 2011, p. 224-231, ISBN 978-607-7912-09-5.
- [6]. CASTRO, Miguel: *Hacia una Matriz Energética Diversificada en Ecuador*, Producido y publicado por Centro Ecuatoriano de Derecho Ambiental, CEDA, noviembre 2011, ISBN 978-9942-9998-5-6.[Consultado octubre del 2013], Disponible en: [http://www.amazonia-andina.org/sites/default/files/matriz\\_energetica\\_ecuador.pdf](http://www.amazonia-andina.org/sites/default/files/matriz_energetica_ecuador.pdf)

- [7]. ACOSTA URREGO, Camilo Andrés; *et al.* "Reubicación óptima de transformadores de distribución para reducción de pérdidas técnicas". Universidad Tecnológica de Pereira Scientia et Technica. Año XVII, no. 51, p. 28-34 de 2012., ISSN 0122-1701.[consultado en octubre del 2013] Disponible en:  
a. <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/7151/4627>
- [8]. NÚÑEZ, Pedro L. *et al.* ,"Metodología para reubicación de transformadores de distribución considerando el sistema de protección". Universidad Tecnológica de Pereira, *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 2012, vol. 2, no. 20, ISSN 1692-7257.
- [9]. QUINTERO SALAZAR, Johnn Alejandro; *et al.*, "Reubicación del parque de transformadores de los sistemas de distribución de Bogotá D.C. mediante algoritmos genéticos". *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 2012, vol. 20 no. 2, p. 170-184, ISSN 0718-3305.
- [10]. CARVAJAL PÉREZ, Raúl Nicolas. "Un algoritmo genético especializado en planeamiento de redes de Distribución, Parte I". *Ingeniería Energética*, , vol. 32, no. 1, p. 72-76, 2011. ISSN 1815-5901

## AUTORES

### **Jorge Enrique Carrión González**

Ingeniero Electromecánico, Máster en Ingeniería Eléctrica. Profesor de la Universidad Nacional de Loja-Ecuador.

e-mail: [jorgecarriong@yahoo.com/](mailto:jorgecarriong@yahoo.com)

[jorge.carrion.g@unl.edu.ec](mailto:jorge.carrion.g@unl.edu.ec)

### **Raúl Nicolás Carvajal Pérez**

Ingeniero electricista, Profesor Titular, Doctor en Ciencias Técnicas, Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas, CIPEL, Facultad de Eléctrica, Cujae, La Habana, Cuba.

e-mail: [rncp@electrica.cujae.edu.cu](mailto:rncp@electrica.cujae.edu.cu)