



Balance de Cargas en Circuitos Secundarios de Distribución

Roberto Luis Ballesteros Horta
Raimundo Cláudio Souza Gomes

RESUMEN / ABSTRACT

El logro de mayor eficiencia en el sistema de generación y distribución de la energía eléctrica se hace cada día más necesario tanto desde el punto de vista económico como ecológico. Una de las temáticas en la que se investiga es la disminución de las pérdidas en la distribución de la energía eléctrica. Existe gran cantidad de trabajos en la distribución primaria, no tanto así en la secundaria. El presente trabajo forma parte de un proyecto en el que se busca el balance de cargas en los circuitos de distribución secundarios, a nivel de casas. Para ello se programan cinco algoritmos de balance de cargas y se comparan sus resultados tomando diferentes criterios como son la media de carga en las fases en el tiempo, la desviación *standard*, cantidad de conmutaciones entre las fases en un periodo de tiempo determinado. Se utilizó el LabVIEW para la implementación de los algoritmos en el que se incluye entre otros aspectos: la visualización de la distribución de las cargas, las cargas de las fases en cada instante, la matriz de conmutación de los circuitos en cada fase y en cada tiempo de ejecución de los algoritmos. La generación de la matriz de conmutación con la menor cantidad posibles de cambios permitirá su implementación en el hardware requerido.

Palabras claves: balance de cargas, circuitos secundarios de distribución, energía eléctrica.

Every day, the achievement of efficiency in the generation and distribution of the energy electric system becomes more necessary from the economic as ecological point of view. One theme of investigation in this field is the losses in the electric power distribution. There are a lot of studies in the primary distribution, but not so much in the secondary distribution. The present work is a part of a project in which we are looking for the load balance in the secondary distribution circuits, especially in houses. For that, five algorithms of load balance were programmed and their results were compared taking different measures like: mean of the load phases on time, standard deviation, quantity of commutations among the phases in a period of time. The LabVIEW was used for the implementation of the algorithms in which is included: visualization of the load distribution, load phases in each instant, commutation matrix of the circuits in each phase in each time of execution of the algorithms, among other aspects. The generation of the commutation matrix with the smallest quantity possible of changes will allow their implementation in the required hardware.

Key words: load balance, secondary distribution circuits, electric energy.

Load Balance in Secondary Distribution Circuits

INTRODUCCION

Existe un gran número de trabajos en la optimización en los circuitos primarios de distribución, debido a la cantidad de circuitos atendidos y al alto consumo de energía, lo que tiene efecto en su aplicación^{1,2,3}. No obstante existen problemas en cuanto al algoritmo a utilizar, las restricciones dadas en los circuitos y a las conmutaciones en el tiempo. Diferentes algoritmos de optimización son utilizados para los sistemas de distribución^{4,5,6}.

Según Wesz⁶ existen diferentes criterios para la evaluación de las redes secundarias:

- a. Caída relativa de tensión;
- b. Desequilibrio en el transformador;
- c. Carga en el transformador;
- d. Pérdidas eléctricas relativas;
- e. Número máximo de cambios de fases.

Como ejemplo de trabajo que tiene en cuenta el criterio de caída de tensión se puede citar a Mantovani⁷. Torres⁸ presenta una metodología para el cálculo de pérdidas eléctricas en redes de distribución.

Las pérdidas totales de energía eléctrica, según Manaus Energía⁹ fueron de 37% en el año 2007, estimándose las pérdidas comerciales en el orden de 27%, lo que puede motivar a desarrollar trabajos para reducir las mismas.

En los circuitos secundarios el consumo de energía es menor y la economía de la misma hace que se cuestione la introducción de equipamiento. No obstante cada día se hace más cara la producción de energía eléctrica y por otra parte la tecnología de medición y procesamiento, se hace más barata. Los intereses por las redes secundarias están aumentando^{10,11,12}.

Entre las problemáticas existentes en el balance de cargas en los circuitos secundarios están:

- Viabilidad económica de su implementación, pues se precisa no sólo introducir contadores digitales, sino también la introducción de dispositivos para la conmutación de los circuitos;
- Realizar la conmutación con la menor cantidad de afectaciones en los clientes, debido a los transientes que puedan surgir;
- Cargas termostáticas al conectar y desconectar.

Como ejemplo de cargas termostáticas¹³ en las residencias se tienen: refrigeradores, aire-acondicionados, *freezer*, planchas eléctricas.

Este trabajo está encaminado a realizar estudios de algoritmos de balance de cargas en circuitos secundarios, que sirva de base a la selección del algoritmo que pueda ser utilizado en un sistema de control y supervisión.

ALGORITMOS

Se analizan cinco algoritmos implementados en LabVIEW, con énfasis en dos de ellos por su importancia en los resultados. Estos fueron ejecutados con diferentes datos para la comparación de los mismos, para más detalles se puede consultar a Ballesteros¹⁴.

a) Algoritmo MDJ/RF

El Método de Distribución Jerárquica con Referencia Fija MDJ/RF opera colocando las mayores cargas en la fase de mayor jerarquía, en general, la fase 1 (FA). Esto es realizado hasta que la suma de las cargas en la fase alcance el valor de referencia o próximo a ello. El mismo procedimiento es realizado para las fases subsiguientes, usando los circuitos que no fueron asignados en la fase inicial. La fase de menor jerarquía, recibe los circuitos restantes.

b) Algoritmo MDJ/RM

El Método de Distribución Jerárquica con Referencia Móvil MDJ/RM, también, opera colocando las mayores cargas en la fase de mayor jerarquía. Semejante al procedimiento del algoritmo MDJ/RF, esto es realizado hasta que la suma de las cargas alcance el valor de referencia (o próximo). En el paso subsiguiente es donde ocurre la principal diferencia del MDJ/RM con el MDJ/RF, pues la referencia de equilibrio es recalculada con los valores restantes en vector de carga. Estas serán distribuidas entre las dos fases siguientes teniendo en cuenta la jerarquía, conforme a los procedimientos ya definidos en el algoritmo MDJ/RF.

c) Algoritmo MDP

El Método de Distribución Ponderada MDP opera colocando las tres mayores cargas entre las tres fases, una para cada fase. A continuación se identifica las mayores cargas entre aquellas no seleccionadas para distribuirlas nuevamente entre las tres fases. El proceso es repetido hasta que la suma de las cargas seleccionadas en cada fase, alcance el valor igual o próximo al de referencia. Las cargas residuales son colocadas entre las fases con mayor desvío positivo a la referencia.

d) Algoritmo MDM (Método de distribución múltiplo)

El algoritmo general del MDM es basado en determinar la combinación de cargas más próxima a la media. El algoritmo se inicia en la fase de mayor jerarquía, a continuación se calcula la nueva media para determinar la combinación óptima para a segunda fase. En la tercera fase son colocadas las restantes cargas.

Según la teoría combinatoria la cantidad de posibilidades son:

$$C_p^N = \frac{N!}{p!(N-p)!} \quad (1)$$

Donde

N - número de cargas

P - los elementos que componen los grupos

Los procedimientos básicos del algoritmo MDM son:

1) Inicio

- Efectuar lecturas de las cargas en los circuitos monofásicos para registro del vector L
- Determinar el valor medio (equilibrio).

$$R_{Equil} = \frac{\sum_{i=1}^N L_i}{3} \quad (2)$$

Donde

N - número de cargas

L_i - carga del circuito i

- Cargar con cero los vectores de la matriz de conmutación A (circuitos-fases), así como los vectores de las cargas de las fases FA, FB e FC.
- Hacer el vector de cargas transitorio LA igual al vector de carga inicial L.

2) Analizar los casos extremos, existencia de cargas mayores de la media.

- Una carga mayor de la media
 - Colocar en la fase de mayor jerarquía.
 - Continuar con el algoritmo en la fase siguiente.
- Dos cargas mayores de la media.
 - Colocar una carga en la fase de mayor jerarquía y otra en la fase siguiente en la jerarquía.
 - En la tercera fase son asignadas las restantes cargas.

3) No existencia de casos extremos o existencia de una carga mayor de la media.

- a. Si hay una carga ya colocada, entonces $p =$ Fase de mayor jerarquía + 1, es el número de fase dos, si no $p =$ Fase de mayor jerarquía, es número de fase uno.
- b. Seleccionar la mayor combinación de cargas con la restricción que sea menor o igual de la media:
- c. Colocar las cargas en la fase p
- d. Colocar un 1 en la posición de las cargas en la matriz A
- e. Colocar un -1 el registro de la carga en el vector L, indicar ya seleccionada y diferenciarla de la posible carga 0.
- f. Si el número de la fase es uno, hacer $p=p+1$ e ir al ítem b.
- g. Colocar en la fase de menor jerarquía las cargas restantes.

4) Final

Determinar la matriz de cargas de las fases y la suma de los vectores de las fases.

Se aplicó el método al vector de carga de los circuitos:

$$L = [4 \ 7 \ 9 \ 5 \ 3 \ 2 \ 10 \ 12 \ 1]$$

De donde se obtuvo

$$R_{Equil} = 17,666\dots$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

La carga de cada fase:

$$FA = 7 + 10 = 17 \text{ A}$$

$$FB = 4 + 9 + 3 + 2 = 18 \text{ A}$$

$$FC = 5 + 12 + 1 = 18 \text{ A}$$

e) Algoritmo de Redistribución dinámica de cargas (ARDC)

El principio del algoritmo es analizar la distribución de las cargas en el periodo de tiempo anterior y el vector de carga actual, cambiar e intercambiar cargas para lograr que la suma de las cargas de las fases sea la más próxima a la media. A continuación, son presentados los procedimientos básicos que componen el algoritmo ARDC.

1) Inicio

- Efectuar lecturas de las cargas en los circuitos monofásicos para registrar el vector L
- Obtener la matriz de carga en el instante de tiempo anterior (A_{k-1}).
- Determinar el valor medio (equilibrio).
- Determinar la matriz de cargas de las fases, según la matriz de conmutación A anterior y el vector de cargas L

2) Pasar cargas de una fase a otra

- Determinar la carga de cada fase según la conexión anterior de las casas
- Determinar las fases con mínima y máxima carga
- Determinar la diferencia máxima entre las fases. Pasar la carga más próxima a la mitad de la diferencia máxima.
- Repetir los pasos hasta que no existan cargas para pasar de una fase a otra

3) Intercambiar cargas entre dos fases

- Determinar la matriz de carga resultante del paso anterior
- Determinar la fase con mayor suma de cargas y la menor
- Intercambiar cargas según el criterio
- Encontrar la mayor diferencia de las cargas, lo más próximo a la diferencia máxima DifMax
- Si no existe probar con la otra fase.
- Repetir los pasos anteriores hasta no existir intercambios o estos fuesen iguales.

Se aplica el método al sistema de prueba y se obtienen los resultados siguientes:

Matriz inicial

$$A_{k-1} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriz final

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

La carga de cada fase:

$$FA = 3 + 2 + 12 + 1 = 18 \text{ A}$$

$$FB = 4 + 9 + 5 = 18 \text{ A}$$

$$FC = 7 + 10 = 17 \text{ A}$$

IMPLEMENTACIÓN DINÁMICA DE LOS ALGORITMOS

Para probar los diferentes algoritmos se utilizó LabVIEW 8.5, fue desarrollado el vi *Visualizar Algoritmos Din.vi*, (ver figura 1).



Figura 1. Panel frontal del programa para a ejecución dinámica de los algoritmos

En la implementación de los algoritmos existen dos opciones antes de ejecutarlos:

- 1) Utilizar filtraje de primer orden (exponencial)

$$L_k = L_{k-1} + a(L - L_{k-1}) \quad (3)$$

Donde: L_k vector de carga filtrado

L_{k-1} vector de carga filtrado anterior

L vector de carga leído.

- 2) Utilizar criterio de diferencia entre las cargas de las fases.

Aplicar el algoritmo si

$$(CF_{Max} - CF_{Min}) < Dif_{Max}$$

Donde: CF_{Max} carga de fase máxima

CF_{Min} carga de fase mínima

Dif_{Max} diferencia máxima permisible entre las fases

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se presentan resultados de los algoritmos para diferentes cargas de entradas y opciones de ejecución.

- Cargas aleatorias

Para cada casa se generan valores aleatorios entre un mínimo y un máximo (*Aleatorio en faixa.vi*)

Cantidad de casas: 10

Cantidad de valores: 100

Valor máximo: 30 kW

Valor mínimo: 2 kW

Los resultados de la ejecución de los algoritmos para las cargas sin filtraje y sin considerar diferencias, se muestran en las tablas 1 y 2.

Tabla 1: Parámetros de comparación entre los algoritmos para datos aleatorios

MediaDif*	MDJ/RF	MDJ/RM	MDP	MDM	ARDC
FA	1,72	1,72	1,13	0,11	0,91
FB	1,91	1,41	1,11	0,89	0,89
FC	3,64	2,79	1,13	0,98	0,87

* Media de la diferencia con R_{eq}

σ	MDJ/RF	MDJ/RM	MDP	MDM	ARDC
FA	1,68	1,68	0,86	0,11	0,85
FB	1,98	1,41	0,96	0,97	0,76
FC	2,62	2,26	0,90	1,00	0,67

σ Desviación standard con R_{eq}

	MDJ/RF	MDJ/RM	MDP	MDM	ARDC
Cambios	655	642	639	648	484
T ejecución	0,097	0,103	0,146	0,420	0,243
Memoria	20	20	20	93	29

Cambios: Cantidad de cambios; T ejecución:

Tiempo medio en la ejecución (mseg), Memoria (Kb)

En relación con las diferencias de las cargas de las fases, la media y sus desviaciones *standard*, se observa que el algoritmo mejor es el MDM, seguido de ARDC y el MDP en ese orden.

En cuanto a las cantidades de cambios en las fases, el algoritmo ARDC es el mejor, siendo similares en los otros algoritmos.

Por el tiempo de ejecución los algoritmos, MDJ/RF, MDJ/RM y MDP son los más rápidos, pues son los más simples. De estos el MDP tiene el mejor desempeño. El de mayor tiempo de ejecución es el MDM por tener mayor complejidad en sus cálculos, apoyados en combinaciones de las cargas.

Y por la memoria ocupada, prácticamente los tres primeros algoritmos tienen la misma necesidad. El algoritmo ARDC con buen desempeño ocupa un poco más de espacio en memoria.

Tabla 2: Comparación de los algoritmos en relación con los resultados generales de las fases

Media de las Fases	MDJ/ RF	MDJ/ RM	MDP	MDM	ARDC
FA	50,48	50,48	52,00	52,09	52,03
FB	50,29	51,14	52,08	51,33	52,28
FC	55,84	54,99	55,52	53,18	52,23

	MDJ/ RF	MDJ/ RM	MDP	MDM	ARDC
σ de las fases	3,15	2,43	0,28	0,93	0,1

Al comparar las cargas de las fases, se observa que el algoritmo ARDC posee la mejor distribución de las medias de las fases. Poseen buenas distribución MDP y MDM.

Excepto el algoritmo ARDC, en los demás algoritmos los resultados de las fases dependen de la fase inicial dada como la más prioritaria. Esto se debe tener en cuenta para la implementación de los algoritmos, para cambiar la fase prioritaria sistemáticamente.

Para ejemplificar los análisis anteriores se muestran en las figuras 2 hasta la 6, los gráficos de los resultados del balance de las cargas para cada fase en cada instante de tiempo. Además son mostradas las diferencias de cada fase con respecto a la media en cada instante de tiempo.

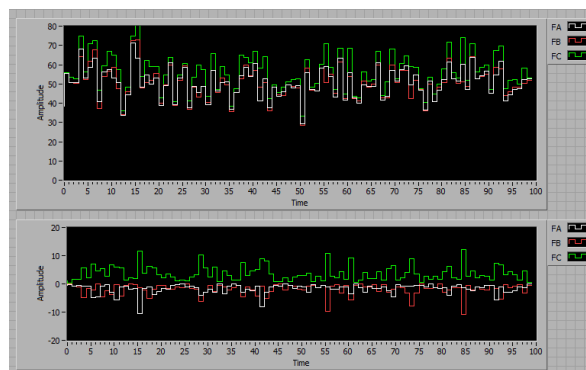


Figura 2. Resultados de las cargas de cada fase y sus diferencias en relación con la media, según el algoritmo MDJ/RF

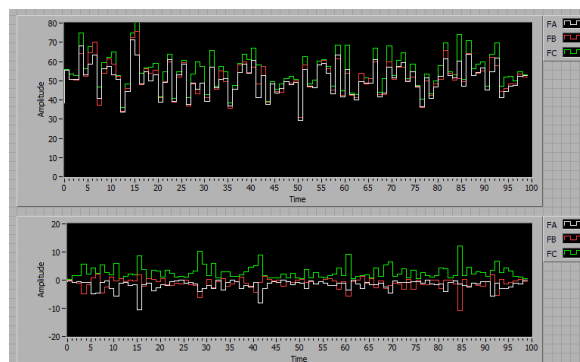


Figura 3. Resultados de las cargas de cada fase y sus diferencias en relación con la media, según el algoritmo MDJ/RM

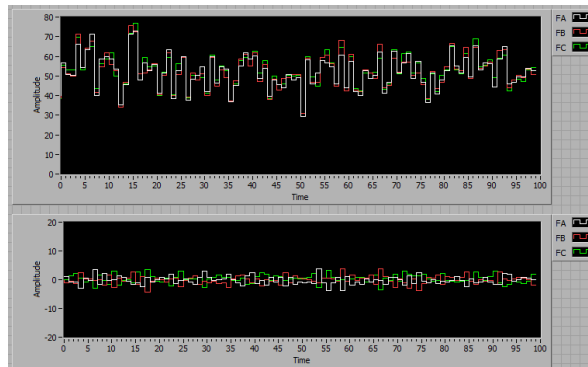


Figura 4. Resultados de las cargas de cada fase y sus diferencias en relación con la media, según el algoritmo MDP

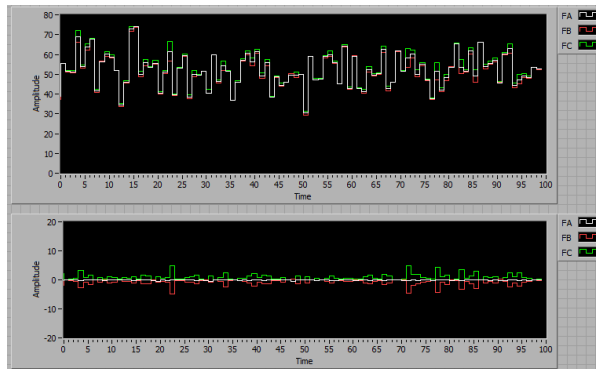


Figura 5. Resultados de las cargas de cada fase y sus diferencias en relación con la media, según el algoritmo MDM

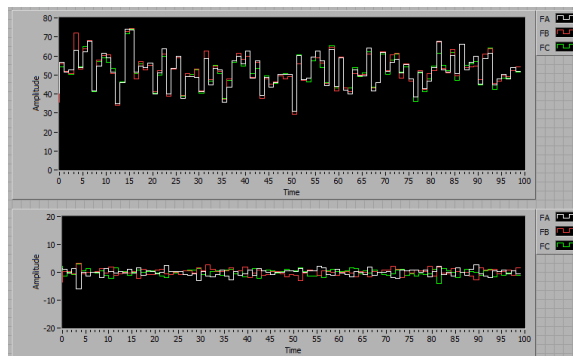


Figura 6. Resultados de las cargas de cada fase y sus diferencias en relación con la media, según el algoritmo ARDC

- Valores de cargas de casas

Para analizar los algoritmos con cargas en casas según el equipamiento existentes se utilizó un simulador¹⁵. Se supusieron cargas para 10 casas, así como el consumo relativo por cada hora del día (ver la figura 7)

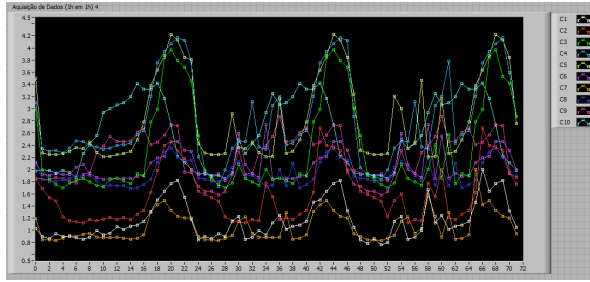


Figura 7. Cargas de 10 casas en 72 horas

Los resultados de la ejecución de los algoritmos sin considerar filtraje ni diferencias, se muestran en las tablas 3 y 4.

Los resultados con las cargas de las casas son similares a los aleatorios, excepto en la cantidad de cambios que es apreciablemente menor en el ARDC que en los otros dos mejores desempeños MDP y MDM.

De la tabla 4 se observan resultados similares comparativamente con los valores aleatorios, coincidiendo que los mejores resultados son los del ARDC.

Tabla 3: Parámetros de comparación entre los algoritmos para cargas tomadas según los equipos instalados.

MediaDif	MDJ/RF	MDJ/RM	MDP	MDM	ARDC
FA	0,547	0.547	0.236	0.021	0,084
FB	0,213	0.189	0.197	0.086	0,082
FC	0,760	0.498	0.286	0.097	0,089

$\sigma_{con R_{eq}}$	MDJ/RF	MDJ/RM	MDP	MDM	ARDC
FA	0,368	0.366	0.153	0.046	0,094
FB	0,182	0.149	0.140	0.086	0,067
FC	0,413	0.273	0.211	0.092	0,090

	MDJ/RF	MDJ/RM	MDP	MDM	ARDC
Cambios	223	210	342	485	255

Tabla 4. Comparación de los algoritmos en relación con los resultados generales de las fases

Media de las Fases	MDH/RF	MDH/RM	MDP	MDM	ARDC
FA	6,33	6,33	6,85	6,86	6,88
FB	6,67	6,93	6,78	6,81	6,89
FC	7,64	7,38	7,02	6,98	6,87

	MDH/RF	MDH/RM	MDP	MDM	ARDC
σ de las fases	0,68	0,52	0,13	0,09	0,01

Para ejemplificar los análisis anteriores, se muestran los gráficos de los resultados para los algoritmos MDM y ARDC (figuras 8 y 9)

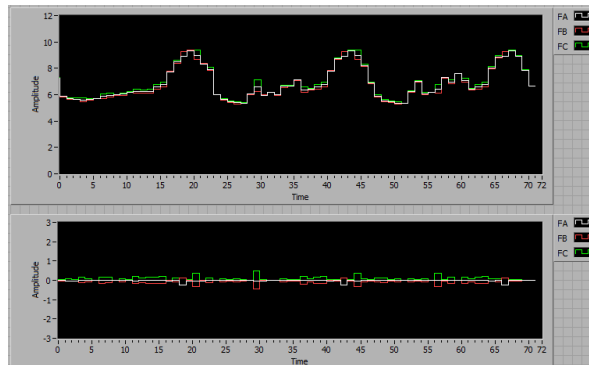


Figura 8. Resultados de las cargas de cada fase y sus diferencias en relación con la media, según el algoritmo MDM

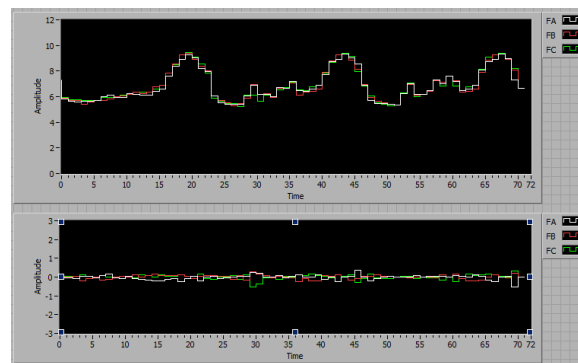


Figura 9. Resultados de las cargas de cada fase y sus diferencias en relación con la media, según el algoritmo ARDC

- Ejemplos de filtraje en las cargas

Ejemplos de ejecuciones de los algoritmos para diferentes constantes de filtraje se muestran en las tablas 5 y 6.

Tabla 5. Parámetros de comparación entre los algoritmos para datos aleatorios y constante de filtraje exponencial de 0,5

MediaDif	MDH/ RF	MDH/ RM	MDP	MDM	ARDC
FA	3,47	3,47	1,46	0,12	0,47
FB	1,36	1,23	2,00	0,58	0,42
FC	4,83	4,03	2,71	0,67	0,43

σ con R_{eq}	MDH/ RF	MDH/ RM	MDP	MDM	ARDC
FA	3,37	3,37	1,06	0,15	0,42
FB	1,06	1,00	1,37	0,53	0,39
FC	3,68	4,54	1,09	0,55	0,37

	MDH/ RF	MDH/ RM	MDP	MDM	ARDC
Cambios	335	339	504	432	326

Los resultados con mayor filtraje (constante 0,1) muestran diferencias más marcadas, por ejemplo se tiene en la cantidad de cambios. Se observa que el algoritmo ARDC tiene mejor desempeño en la cantidad de cambios.

Tabla 6. Parámetros de comparación entre los algoritmos para datos aleatorios y constante de filtraje exponencial de 0,1

Média de la diferencia con R_{eq}	MD H/R F	MD H/R M	MDP	MDM	ARDC
FA	1,50	1,50	1,96	0,31	1,57
FB	2,73	2,67	3,77	2,35	3,26
FC	4,22	4,13	5,62	2,65	1,72

σ con R_{eq}	MDH /RF	MDH /RM	MDP	MDM	ARDC
FA	2,80	2,80	0,73	0,37	1,07
FB	1,37	1,32	1,19	1,36	2,51
FC	3,19	3,18	1,76	1,50	1,73

	MDH /RF	MDH /RM	MD P	MDM	ARDC
Cambios	335	339	504	432	326

- Ejemplos con criterios de diferencias en las fases

Ejemplos de ejecución de los algoritmos para diferentes criterios en las diferencias de las fases se muestran en las tablas 7 y 8.

Tabla 7. Parámetros de comparación entre los algoritmos para datos aleatorios y criterio de diferencias de 10 kW entre las fases

MediaDif	MDH /RF	MDH /RM	MD P	MDM	ARDC
FA	1,80	1,80	1,19	0,24	0,97
FB	2,03	1,53	1,21	1,00	0,98
FC	3,69	2,84	1,20	1,04	0,89

σ Con R_{eq}	MDH /RF	MDH /RM	MD P	MDM	ARDC
FA	1,68	1,68	0,98	0,63	1,00
FB	2,01	1,69	1,00	1,07	1,28
FC	2,59	2,25	0,96	1,08	1,09
	MDH /RF	MDH /RM	MD P	MDM	ARDC
Cambios	634	620	600	614	489

Tabla 8. Parámetros de comparación entre los algoritmos para datos aleatorios y criterio de diferencias de 20 kW entre las fases

MediaDif	MDH /RF	MDH /RM	MD P	MDM	ARDC
FA	2,38	2,33	2,22	1,64	2,26
FB	2,44	1,75	2,20	2,35	2,11
FC	3,95	3,07	1,80	1,97	2,22

σ con R_{eq}	MDH /RF	MDH /RM	MD P	MDM	ARDC
FA	2,38	2,34	2,63	2,77	2,89
FB	2,32	1,91	2,77	3,19	2,94
FC	2,88	2,43	1,85	2,47	2,80

	MDH /RF	MDH /RM	MD P	MDM	ARDC
Cambios	537	551	507	458	378

Los resultados comparativos con diferencia de 10 y 20 son similares, pero con menor cantidad de cambios. Los resultados generales son peores debido a que son permitidas diferencias grandes entre las fases. Se observa que el algoritmo ARDC tiene menor cantidad de cambios y mejor distribución de los resultados entre las fases.

CONCLUSIONES

Debido a las variaciones instantáneas de las cargas en una casa es preciso incorporar filtraje en el tiempo, como ejemplos, exponencial o promedio, en los últimos valores.

Los algoritmos MDH/RF e MDH/RM son simples y fáciles de implementar, pueden ser utilizados si no hay muchas exigencias en los resultados. El algoritmo MDP es una mejora de los anteriores y tiene un buen desempeño, con exigencias similares de memoria y tiempos.

El algoritmo MDM es el más complejo y posee los mejores resultados relacionados con la distribución de las cargas.

Por otra parte el algoritmo ARDC, basado en la matriz de cargas anterior posee los mejores resultados en cantidad de cambios y buen desempeño en los resultados de las fases.

Para su aplicación en sistemas de microprocesadores los algoritmos MDP e ARDC muestran buenos resultados, baja utilización de memoria y buenos tiempos de ejecución.

Para trabajos futuros en recomendable entre otras líneas: incorporar los históricos de las casas, restricciones en los cambios de las fases según los dispositivos instalados para ello, aplicar inteligencia artificial en la toma de decisiones para la implementación práctica de los cambios de las fases, cálculos del efecto económico.

REFERENCIAS

1. **APARECIDO E.:** Redução de Perdas Técnicas através de Reconfigurações de Redes de Distribuição de Energia Elétrica sob Demandas Variáveis. *Teses doutorado*, Universidade Estadual de Campinas, 2005.
2. **CAIXETA E.:** Restauração de Redes de Distribuição de Energia Elétrica Usando algoritmo de Busca Tabu Reativa, *Teses Mestrado*, UNESP, 2005
3. **MAGALHÃES A.:** Multi-Chaveamento para Restauração de Serviço e Balanceamento de Carga em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica, *Teses Mestrado*, UEC, 2007
4. **NASCIMENTO M.:** Reconfiguração de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica utilizando algoritmos de Busca Tabu, *Teses mestrado*, 2005, UEC
5. **SILVA, L. G. W., PEREIRA, R. A. F., MANTOVANI, J.R.S.:** “Alocação e Realocação de Chaves para Restauração de Redes de Distribuição utilizando Algoritmo de Busca Tabu Dedicado”, CBA 2004 – XV Congresso Brasileiro de Automática, 2004, Gramado – RS.
6. **WESZ L.:** Desenvolvimento de uma metodologia integrada para alocação otimizada de dispositivos de controle e proteção em sistemas de distribuição de energia elétrica. *Teses doutorado*, UNESP 2005
7. **MANTOVANI J., CASARI F., ROMERO R.:** Reconfiguração de sistemas de distribuição radiais utilizando o critério de queda de tensão, 2005, UNESP
8. **TORRES M.:** Desenvolvimento de metodologia para cálculo de perdas elétricas em redes de distribuição de baixa tensão. *Teses Mestrado*, Universidade Salvador, 2002
9. **MANAUS ENERGIA.:** Relatório da Administração Exercício 2007. Manaus: 2008.
10. **HENRIQUE C., MARCOS A., MANTOVANI J.:** Planejamento e Projeto de Circuitos Secundários de Distribuição de Energia Elétrica Utilizando Algoritmo Busca Tabu, 2005, UNESP
11. **KNOLSEISEN A.:** Metodologias para Melhoria do Perfil de Tensão em Sistemas de Distribuição, *Teses Doutorado*, UFSC Universidade Federal de Santa Catarina, 2005
12. **MORAIS A., BARBI I.:** Redistribuidor de Potência Aplicado a Transformadores e Distribuição e Energia Elétrica Universidade Federal de Santa Catarina
13. **MOREIRA L.:** Métodos de Previsão do Comportamento da Carga na Recomposição de Sistemas de Energia Elétrica, *doutorado Engenharia Elétrica*, Universidade Estadual de Campinas, 2005
14. **BALLESTEROS R., SOUZA R.:** Balanceamento de cargas de Trafos em Circuitos Secundários de Distribuição, *Relatório de Pesquisa*, Universidade do Estado do Amazonas, 2009
15. **CAMPOS A.:** Simulador de Energia Elétrica, Universidade do Estado do Amazonas, 2007

AUTORES

Roberto Luis Ballesteros Horta, ingeniero y máster en Automática, Doctor en Ciencias Pedagógicas, labora como profesor, desde 1975, en el departamento de Automática y Sistemas Computacionales de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV), Cuba. Investiga en la Aplicación de la Computación en Tiempo real, así como en Sistemas Supervisorios SCADA y sus aplicaciones. Posee experiencia en la ejecución y participación de proyectos, entre los que se encuentran: sistemas de supervisión en centrales de generación eléctrica, automatización en la industria mecánica

e-mail: rball@uclv.edu.cu

Roberto Luis Ballesteros Horta, Raimundo Cláudio Souza Gomes

Raimundo Cláudio Souza Gomes, graduado en ingeniería Eléctrica del Instituto de Tecnología de Amazonas - UTAM (1991) y máster, en la misma área, en la Universidad Federal de Campina Grande en Paraíba - UFCG/UFPB (2002). Actualmente, desempeña actividades como docente y encuestador en la Escuela Superior de Tecnología de la Universidad del Estado del Amazonas EST/UEA, desde el 2001, Brasil. Integra el Grupo de Investigaciones de Sistemas Empotrados del departamento de ingeniería eléctrica de la universidad, es uno de los colaboradores en la creación e implantación del referido grupo. Posee experiencia en la coordinación y ejecución de proyectos vinculados a la industria.

e-mail: rsgomes@uea.edu.br