

## Control de demanda eléctrica aplicando algoritmos genéticos

### *Control of electric demand applying genetic algorithms*

Davel Borges Vasconcellos<sup>1\*</sup> Pedro Puch González<sup>2</sup> Geovanny Frías González<sup>3</sup>

Recibido 1 de diciembre de 2015, aceptado 8 de septiembre de 2016

*Received: December 1, 2015 Accepted: September 8, 2016*

### RESUMEN

El problema del control de la demanda y el consumo de energía en empresas productivas y de servicios constituye una importante oportunidad para la reducción de los gastos asociados al uso de la energía eléctrica.

En el presente trabajo se obtiene un modelo de compensación basado en la técnica de algoritmos genéticos que permite complementar el procedimiento manual de control de demanda, usualmente denominado acomodo de cargas, de forma tal que se obtenga mínimo consumo de energía en el horario pico, con mínima demanda máxima y mínima discontinuidad del gráfico de carga.

El procedimiento resultante fue implementado utilizando las herramientas de programación del MATLAB versión 7.8 (R2010a) de la Global Optimization Toolbox.

La efectividad del método se demuestra por medio de su aplicación a un caso de estudio real en el área de servicios a la producción de la Empresa Cervecería Tímina de Camagüey, Cuba.

Palabras clave: Control de demanda, acomodo de cargas, algoritmos genéticos.

### ABSTRACT

*The problem of demand and energy consumption control in productive and service companies constitutes an important opportunity for the reduction of the expenses associated to the use of the electric power.*

*The presently work offers a compensation model based on the technique of genetics algorithms that allow to supplement the manual procedure of demand control, usually denominated accommodation of loads, in such a way that minimum energy consumption is obtained in the pick schedule, with maximum demand and a minimum discontinuity of the load graph.*

*The resulting procedure was implemented using the tools of programming of the MATLAB version 7.8 (R2010a) of the Global Optimization Toolbox.*

*The effectiveness of the method is demonstrated through its application to a case of real study in the area of services to the production of the Tímina Brewery Company of Camagüey, Cuba.*

*Keywords: Demand control, accommodation of loads, genetics algorithms.*

---

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Eléctrica. Universidad de Camagüey. Circunvalación Norte Km 5½. Camagüey, Cuba.  
E-mail: davel.borges@reduc.edu.cu

<sup>2</sup> Vicerrectorado de Servicios. Universidad de Camagüey. Circunvalación Norte Km 5½. Camagüey, Cuba.  
E-mail: pedro.puch@reduc.edu.cu

<sup>3</sup> Departamento de Mantenimiento. Empresa Cervecería Tímina. Circunvalación Norte Km 4½. Camagüey, Cuba.  
E-mail: mantenimiento@tinima.cu

\* Autor de correspondencia

## INTRODUCCIÓN

La reducción de los costos asociados con el consumo de energía eléctrica y con las inversiones capitales en los equipos eléctricos utilizados en las instalaciones industriales y de servicios, resulta imprescindible en la situación actual de la economía de cualquier país. Esta necesidad se ve potenciada por el impacto medioambiental de las tecnologías energéticas.

Varias son las medidas de mayor oportunidad para el ahorro en sistemas eléctricos de empresas industriales o de servicios. Una de las más atractivas es el control de la demanda máxima y del consumo de energía eléctrica [1].

El control de la demanda máxima y del consumo de energía eléctrica, ya sea por métodos manuales (muchas veces sin realizar inversiones iniciales importantes) o automatizados, permite reducir los costos asociados al consumo por medio de: lograr un menor gasto energético en los horarios donde el valor de la energía es mayor, la reducción de las pérdidas por transformación, la reducción del pago por demanda máxima si la tarifa considera este aspecto, así como la mejora de la operatividad del sistema en general. Un control efectivo posibilita además, determinar políticas óptimas de inversión en el sistema eléctrico, de forma de garantizar mayor seguridad y calidad del suministro [2].

En Cuba, el sector residencial representa aproximadamente el 50% del consumo de energía a nivel de país. Es por esto que los horarios de mayor demanda se registran entre las 17:00 y las 21:00 horas y el sistema de tarifas eléctricas establece para sus principales clientes, mayores costos de la energía consumida en este período, considerado como horario pico [3-4].

El acomodo de cargas eléctricas constituye un procedimiento manual de control de demanda que se puede modelar mediante un problema de optimización con espacio de búsqueda discreto, donde las cargas no determinantes en el proceso productivo o de servicio son programadas para su funcionamiento en el tiempo, buscando reducir la demanda en horario pico, así como lograr un gráfico de cargas de potencia activa horaria con la menor discontinuidad. Los métodos tradicionales para este tipo de problemas no aseguran una solución

efectiva ya que en la mayoría de los casos se basan en criterios empíricos.

Sin embargo, este procedimiento puede resultar más efectivo aplicando Algoritmos Genéticos (AG) a la toma de decisiones sobre en que momento operar las cargas no determinantes del proceso, basado en restricciones de funcionamiento de los receptores si fuese necesario.

Por tanto, el objetivo de la investigación fue implementar un procedimiento de acomodo de cargas con el uso de la técnica de algoritmos genéticos.

## ANÁLISIS TEÓRICO

### Gráficos de carga y factor de llenado

La carga eléctrica caracteriza el consumo de energía eléctrica de receptores independientes, grupos de receptores e instalación en general. En condiciones de explotación, puede variar de forma arbitraria en el tiempo, teniendo en cuenta las exigencias del flujo de producción o servicios (nivel de actividad).

Los gráficos de carga se pueden confeccionar a receptores individuales o grupos de receptores, incluso a la instalación en general.

En la solución de la mayor parte de las problemáticas de la explotación de los sistemas eléctricos son indispensables los gráficos de carga. Su empleo exige de la medición durante al menos un ciclo de actividad característico.

Un ciclo de actividad característico en una instalación puede definirse en dependencia del tipo de sector consumidor [5]:

- Para entidades productivas (industrias) no es más que el tiempo que transcurre desde la entrada de la materia prima al proceso, hasta la salida de la producción más tardía, en condiciones normales de operación, es decir, a normal capacidad productiva y en la época del año y días de la semana donde tradicionalmente exista mayor demanda y consumo de energía eléctrica. En ocasiones las entidades productivas constantemente procesan su materia prima en las diferentes etapas de elaboración de la producción. En este caso, el ciclo puede ser reducido tomando en consideración este aspecto.

- Para entidades de servicios (comerciales o terciarias) resulta el tiempo de duración total de los servicios prestados a normal disponibilidad y en la época del año y días de la semana donde tradicionalmente exista mayor demanda y consumo de energía eléctrica. En este caso, casi siempre resulta suficiente la unidad de día laboral (24 horas) de la entidad.

Actualmente el método más sugerente de obtención de los gráficos de carga resulta a partir del uso de instrumentos analizadores de redes, que posibilitan monitorear el comportamiento de las variables que caracterizan el consumo, tanto de forma permanente (*on line*) como eventual (*off line*).

El factor de llenado del gráfico de carga se determina mediante la relación existente entre la carga media y la carga máxima durante el período considerado de tiempo. [6] En términos de potencia activa matemáticamente se puede definir por la ecuación (1).

$$K_{lla} = \frac{P_m}{P_{max}} \quad (1)$$

Donde:

$P_m$ : Potencia activa media.

$P_{max}$ : Potencia activa máxima.

Para grupos de receptores, este coeficiente resulta un indicador de la discontinuidad del gráfico de cargas ya que en la medida que sea mayor (más cercano a la unidad) el régimen grupal de operación de los receptores expresa un funcionamiento más continuo a ese nivel, lo que no es siempre, significa que cada uno funcione continuamente, pero puede ser utilizado para indicar un acomodo de régimen de operación.

### Procedimientos de control de la demanda

El control de la demanda máxima y del consumo de energía eléctrica, consiste en la administración y el control de las cargas eléctricas para reducir cargos por demanda máxima de potencia y por consumo de energía, durante ciertos períodos de acuerdo con la tarifa eléctrica que se aplica.

Los cargos por demanda máxima representan un componente apreciable de la factura eléctrica. Dependiendo de la tarifa, del factor de carga, del

tipo de planta o instalación, etc., los cargos directos por este concepto pueden representar del 20% al 40% de la factura del servicio eléctrico [1].

La demanda máxima puede ser controlada manualmente o con ayuda de dispositivos automáticos. Con ambos existen ventajas y desventajas; y cada uno tiene diferentes niveles de complejidad y costos asociados. Mientras que todas las plantas pueden practicar un control de demanda manual, solo las plantas medianas y grandes pueden encontrar atractiva la instalación de controles automáticos, tanto económica como operacionalmente.

El control manual de la demanda máxima puede dividirse en:

1. Programación de cargas (acomodo de carga).
2. Monitoreo de la variación de la demanda máxima.

El método de control manual de la demanda máxima más sencillo y a la vez efectivo (también llamado acomodo de cargas), es hacer un itinerario o programación de la operación de las diferentes cargas, especialmente las de más peso en la demanda. En algunos casos, esto puede consistir en prohibir la operación de ciertas cargas durante un tiempo especificado. En otros casos, la programación puede definir tiempos de operación para ciertos talleres, departamentos, líneas de producción o receptores. En muchas plantas es fácil hacer esto, aunque puede involucrar cambios simples pero permanentes en la costumbre de operación, que ocasionen dificultades.

En la realización de un acomodo de cargas se persiguen los objetivos siguientes:

- Desplazar el funcionamiento de los receptores del horario pico.
- Disminuir la máxima demanda eléctrica.
- Limitar el funcionamiento de los receptores al estrictamente necesario.
- Detectar y eliminar fuentes de consumo innecesarias.

El acomodo de cargas establece las modificaciones en las normas funcionales de operación en el proceso de la entidad en estudio, de forma tal que las demandas de energía originadas durante cada día por los diferentes regímenes de trabajo puedan

llegar a reducirse y/o ser trasladadas fuera de las horas críticas como son los casos del horario pico y de máxima demanda.

Los procedimientos de acomodo de cargas pueden variar en dependencia de las particularidades de las empresas que lo apliquen, así como los medios disponibles. No obstante, los pasos esenciales para el mismo se pueden enumerar:

1. Obtención de los datos esenciales de los receptores eléctricos (levantamiento de receptores), que comienza con la revisión y enumeración de todos los consumidores eléctricos que intervienen de alguna forma en los procesos que se realizan en la entidad. Es necesario en este análisis y estudio tomar en cuenta todo el proceso y como datos fundamentales la capacidad de carga conectada, tensión y factor de demanda así como factor de potencia, eficiencia de las máquinas, tiempos de operación y todos aquellos aspectos complementarios fundamentales que se estimen imprescindibles.
2. Obtención de la demanda compuesta de servicio, que consiste en una tabla organizativa que posibilita conocer los períodos de funcionamientos de los receptores durante un ciclo de actividad característico, para determinar los que influyen en el horario pico y de mayor demanda. La suma total de la demanda estimada por horarios permite elaborar el gráfico de carga original. En la Tabla 1 se muestra la estructura de la demanda compuesta de servicio.

Tabla 1. Estructura de la demanda compuesta de servicio.

Receptor/ Área	Datos eléctricos				Demanda horaria estimada (kW)			
	P	U	I	cosφ	0	1	...	23

3. Obtención del gráfico de cargas original mediante instrumentos de medición, lo que resulta importante para verificar la demanda compuesta de servicio y ajustar las posibles desviaciones de las magnitudes estimadas.
4. Identificación los tipos de cargas, que pueden ser:

- Las de base, constituidas por aquellos receptores con actividad continua o cuya operación aun cuando no sea continua no pueda ser desplazada de horario sin afectar la calidad de las producciones o servicios de la empresa.
  - Las auxiliares, constituidas por aquellos receptores cuya operación puede ser desplazada en el tiempo (con o sin restricciones de horario) sin afectar la calidad de las producciones o servicios de la empresa. Este conjunto de receptores serán los posibles a acomodar en el gráfico de carga base. En este caso, se pueden no considerar aquellos cuya demanda sea despreciable en el análisis o cuyo funcionamiento en el tiempo no afecte los objetivos del procedimiento.
5. Realización del acomodo de cargas, que consiste en establecer el itinerario de funcionamiento de los receptores auxiliares, de forma tal que se obtenga mínimo consumo de energía en el horario pico, con mínima demanda máxima y mínima discontinuidad del gráfico de carga.
  6. Elaboración del informe de resultados, que constituye el plan de regulación y control de la demanda de la entidad, que establece las medidas itinerarias de funcionamiento de los receptores auxiliares. Dicho plan es solicitado como requisito en la información básica general de los procesos de supervisión energética desarrollados por la Oficina Nacional de Uso Racional de la Energía (ONURE) de la República de Cuba.

**Los algoritmos genéticos en la solución de problemas de optimización**

Los AG son parte de la computación evolutiva. Es un área creciente de la inteligencia artificial que está basada en la evolución natural biológica y pueden adaptarse a la resolución de múltiples problemas.

Están basados en la teoría de la evolución de Darwin y son apropiados para resolver problemas donde el dominio de la solución pueda resultar demasiado extenso y/o discreto [7].

Surgen como método para la solución de complejos problemas de búsqueda y optimización, producto del análisis de los sistemas adaptativos en la naturaleza, y como resultado de abstraer la esencia de su funcionamiento. El término algoritmo genético se usa

por el hecho de que estos simulan los procesos de la evolución darwiniana por medio del uso de operadores genéticos (selección, mutación, cruzamiento, etc.) que operan sobre una población de individuos que “evoluciona” de una generación a otra. Estos algoritmos son un ejemplo de método que explota la búsqueda aleatoria “guiada” que ha ganado popularidad en los últimos años debido a la posibilidad de aplicarlos en una gran gama de campos [8].

En el caso de la ingeniería eléctrica, se han utilizado con éxito en la solución de problemas como: el balance de fases en circuitos de distribución primaria, [9] el planeamiento de redes de distribución, [10] la reconfiguración de sistemas de distribución, [11] la ubicación de dispositivos FACTS [12], así como la compensación de potencia reactiva en los sistemas de distribución primaria [13-14] y de forma simultánea al problema de la reconfiguración [15].

La aplicación más común de los algoritmos genéticos ha sido la solución de problemas de optimización, en donde han mostrado ser muy eficientes y confiables. No todos los problemas pudieran ser apropiados para la técnica, y se recomienda en general tomar en cuenta las siguientes características:

- Su espacio de búsqueda (sus posibles soluciones) debe estar delimitado dentro de un cierto rango.
- Debe poderse definir una función de aptitud que nos indique qué tan buena o mala es una cierta respuesta.
- Las soluciones deben codificarse de una forma que resulte relativamente fácil de implementar en la computadora.

La solución de un problema de optimización, mediante un algoritmo genético requiere de tres planteamientos básicos iniciales:

1. La codificación genética de las variables de decisión en el espacio de búsqueda, que se determina por un cromosoma de la cantidad de genes necesarios para representar la solución. Estos genes son expresados por códigos de diferente naturaleza, siendo la codificación binaria una de las más utilizadas por su simplicidad. Esta codificación define el tipo de población y en la mayoría de los casos está asociado al tipo de problema de optimización que se pretende resolver.

2. El establecimiento de la función a optimizar o función de adaptación (*fitness*), que posibilitará la evaluación de las soluciones generadas en el espacio de búsqueda.
3. La limitación del espacio de búsqueda, lo que se puede lograr a partir de la propia codificación de la solución, la incorporación de restricciones operacionales (si el algoritmo lo permite) y la elaboración de funciones de penalización, quienes se incorporan a la propia función de adaptación.

El correcto dimensionamiento de estos tres aspectos constituye la clave del éxito para el futuro desempeño del algoritmo.

Otro aspecto importante es la definición de una serie de parámetros que determinan el funcionamiento del algoritmo, siendo los principales:

- El tamaño y algoritmo de creación de las poblaciones.
- Los operadores genéticos de selección, cruzamiento y mutación.
- Los operadores de reemplazo de la población.
- Los criterios de parada o terminación.

### **Implementación del problema de acomodo de cargas utilizando AG**

Utilizando las herramientas de programación del MATLAB versión 7.8 (R2010a) de la Global Optimization Toolbox se programó una aplicación para desarrollar el paso 5 descrito en el procedimiento de acomodo de cargas presentado en el trabajo.

#### **Planteamiento del problema:**

1. A partir de un gráfico de potencia activa horaria de base de un ciclo de actividad característico de una entidad, desplazar en el tiempo la operación de los receptores eléctricos auxiliares, de forma tal que se obtenga mínimo consumo de energía en el horario pico, con mínima demanda máxima y mínima discontinuidad del gráfico de carga a nivel global.

#### **Construcción del modelo matemático:**

1. Codificación genética de las variables de decisión:  
La codificación de las variables de decisión  $x_{ij}$  se realiza a partir de un cromosoma, cuya cadena de genes representa el tiempo (en fracción

horaria) de funcionamiento de cada receptor a acomodar  $i$  en el horario  $j$  (para 20 horas descontando el horario pico). Por lo tanto, la longitud del cromosoma ( $nvars$ ) que representa el número de variables será expresada por la ecuación (2).

$$nvars = 20 \cdot n \quad (2)$$

Donde:

$n$ : Número de receptores a acomodar.

De esta forma las variables de decisión quedarán representadas por:

$[x]$ : Matriz cuyos elementos representan el tiempo (en fracción horaria) de funcionamiento de cada receptor  $i$  en el horario  $j$ , según la expresión (3).

$$[x] = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} \end{bmatrix} \quad (3)$$

2. Establecimiento de la función a optimizar o función de adaptación.

La función de adaptación se representa como el factor de llenado de potencia activa, el que es un indicador de la discontinuidad del gráfico de carga resultante, expresado en el vector columna  $[P]$ :

El gráfico de carga resultante quedará definido por la expresión (4).

$$[P] = [x]^T \cdot [P_{carga}] + [P_{base}] \quad (4)$$

Siendo:

$[P_{carga}]$ : Vector columna de potencia activa de los receptores  $i$ .

$[P_{base}]$ : Vector columna de potencia activa de base horaria  $j$ .

3. Limitación del espacio de búsqueda.

A partir de la propia codificación se elimina la posibilidad de ubicar receptores en el horario

pico. Es por eso que solo se tienen en cuenta 20 estados de carga (de las 22 a las 17 horas).

Como restricciones operacionales se añaden las siguientes:

- El tiempo horario expresado en las variables de decisión debe estar acotado entre 0 y 1 hora de funcionamiento para todos los receptores, según la expresión (5).

$$0 \leq x_{ij} \leq 1 \quad (5)$$

- El tiempo expresado en las variables de decisión debe estar en correspondencia con el tiempo de funcionamiento total necesario de cada receptor, de acuerdo con la expresión (6).

$$[x] \cdot [1] = [t_{carga}] \quad (6)$$

Siendo:

$[1]$ : Vector columna unitario de longitud igual a la cantidad de horas (20).

$[t_{carga}]$ : Vector columna formado por los elementos del tiempo de operación límite de cada receptor  $i$ .

- El tiempo de funcionamiento de los receptores en cada horario  $j$  no debe ocasionar que se exceda la potencia activa de la disponible, según el gráfico de carga base, expresado en la desigualdad (7).

$$[x]^T \cdot [P_{carga}] \leq [P_{disp}] \quad (7)$$

Donde:

$[P_{disp}]$ : Vector columna de la potencia disponible horaria, que se determina a partir de la diferencia entre la potencia activa máxima ( $P_{max}$ ) y real del gráfico de carga de potencia base, tal y como se representa en la ecuación (8).

$$[P_{disp}] = ([1] \cdot P_{max}) - [P_{base}] \quad (8)$$

Esta restricción se puede eliminar en el caso de que la potencia disponible suma por horario sea

inferior a la potencia total de los receptores a ubicar. En caso contrario, se recomienda a los efectos de reducir el espacio de búsqueda del algoritmo y el tiempo de optimización.

Mediante la propia codificación del problema o empleando funciones de penalización se pueden añadir otras restricciones relacionadas con la limitación de la operación de cierto receptor  $i$  en el horario  $j$ .

### **Planteamiento del problema de optimización:**

Dados:

$[P_{base}]$ : Vector columna de potencia activa de base horaria.

$[P_{carga}]$ : Vector columna de potencia activa de los receptores  $i$ .

$[t_{carga}]$ : Vector columna del tiempo total de funcionamiento de los receptores  $i$ .

Se desea minimizar el inverso del coeficiente de llenado, expresado según (9).

$$\min \left\{ \frac{1}{K_{lla}} \right\} \quad (9)$$

Sujeto a las restricciones expresadas por medio de las ecuaciones (5) a la (8).

Como salidas se obtiene el itinerario de funcionamiento de los receptores acomodados para lograr una menor demanda y un gráfico de carga con menor discontinuidad, lo que se puede evaluar a partir de la mejora del factor de llenado respecto al gráfico de carga original.

### **Programación del procedimiento de solución:**

Con ayuda del MATLAB, versión 7.8 (R2010a), se programó el modelo de compensación, utilizando las estructuras de programación de Global Optimization Toolbox: Genetic Algorithm and Direct Search.

En la codificación del algoritmo se implementaron los bloques siguientes:

- example (m-file): Programa principal del algoritmo.
- objfunc (f-file): Implementación de la función objetivo (de adaptación) del algoritmo.

- datos (f-file): Datos del programa.
- preprocess (f-file): Estructuración de los datos del programa.

Los parámetros del algoritmo fueron ajustados mediante corridas sucesivas de prueba y error, evaluando la convergencia, el número de evaluaciones de la función de adaptación y el tiempo de ejecución.

### **Caso de estudio**

El procedimiento elaborado para el acomodo de cargas eléctricas aplicando AG con ayuda del MATLAB fue implementado en el área de servicios a la producción de la empresa Cervecería Tínima de Camagüey.

En la Figura 1 se muestra el gráfico de cargas original del conjunto de los receptores del área para un día (24 horas) de actividad característica.

Por su parte, en la Figura 2 aparece el gráfico de cargas base, obtenido a partir de extraer los receptores auxiliares que pueden variar su funcionamiento horario (posibles a acomodar).

En la Tabla 2 se presentan los receptores a acomodar, especificando la potencia activa y el tiempo de operación límite.

Para la corrida del algoritmo se ajustó un tamaño de población igual a 100 individuos, con un criterio de parada por 50 generaciones excedidas.

Una vez realizada la corrida del programa para esta aplicación se pudo obtener el gráfico de potencia resultante a partir de la potencia base y los receptores acomodados en el tiempo, lo que aparece en la Figura 3.

Como se puede calcular, el coeficiente de llenado del gráfico original es de 0,71 en tanto el coeficiente de llenado del gráfico resultante es de 0,87, lo cual significa que se ha mejorado la discontinuidad del gráfico de cargas. Además se reduce la demanda y el consumo de energía en el horario pico de acuerdo con el propósito planteado.

Para el caso mostrado no se empleó la restricción de potencia disponible expresada en la ecuación (7) ya que la potencia total de los receptores a acomodar

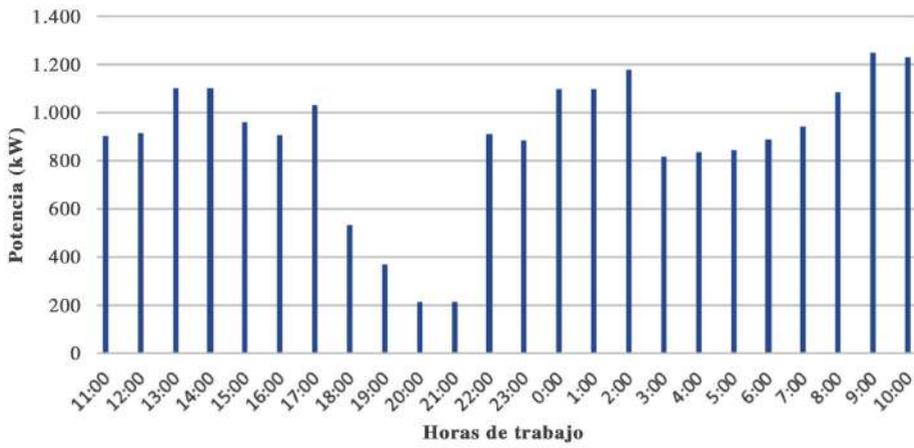


Figura 1. Gráfico de cargas original.



Figura 2. Gráfico de cargas base.

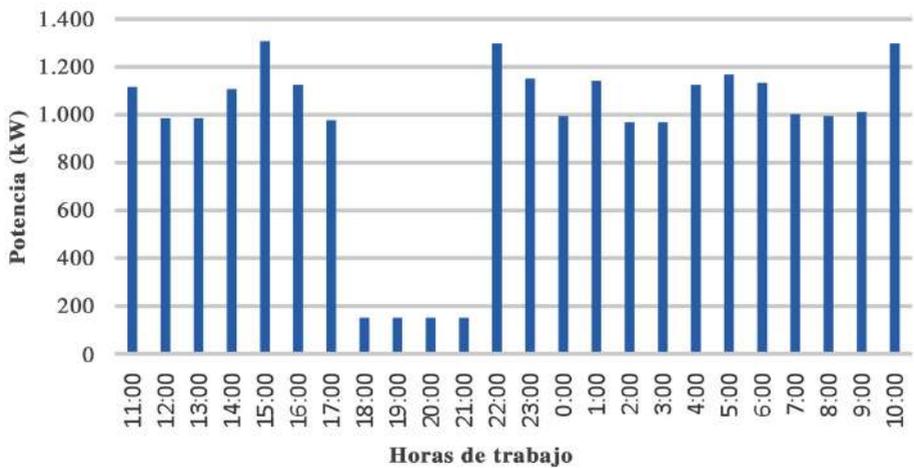


Figura 3. Gráfico de cargas resultante.

Tabla 2. Receptores a acomodar.

Nº	Receptores a acomodar	P(kW)	t(h)
1	Bombas de Glicol (Mosto)	50	6
2	Extractor de aire	2,2	4
3	Extractor de aire	2,2	4
4	Extractor de aire	2,2	4
5	Extractor de aire	2,2	4
6	Extractor de aire	2,2	4
7	Bomba de CO2	5,8	12
8	Compresor de NH3 de -10°C # 3	168	10
9	Compresor de NH3 de -10°C # 4	168	5
10	Bomba enfriamiento	3,85	10
11	Ventilador 1	3,08	10
12	Ventilador 2	3,08	10
13	Ventilador 3	3,08	10
14	Ventilador 4	3,08	10
15	Bomba enfriamiento	3,85	5
16	Ventilador 1	3,08	5
17	Ventilador 2	3,08	5
18	Ventilador 3	3,08	5
19	Ventilador 4	3,08	5
20	Bombas dosificadores de alúmina	0,44	12
21	Removedor del tanque Alúmina #1	0,85	6
22	Bombas Hidroneumático TRIAL# 2	22	15
23	Bombas Hidroneumático TRIAL# 3	22	6
24	Bombas a tanque elevado # 1	15	12
25	Bombas a tanque elevado # 2	15	4
26	Bombas de agua cruda al reactor	18	12
27	Removedor para dosificar cal # 1	1	12
28	Bombas dosificadoras de cal # 1	1,1	12
29	Ventilador centrífugo del reactor	2,9	12
30	Compresor soplador	3,36	12
31	Bombas de agua tratada # 1	15	6

superaba la disponibilidad en el gráfico de potencia base. Por esa razón, la potencia máxima del gráfico de cargas resultante se sobrepasa en 57 kW respecto al original. Sin embargo, el tipo de tarifa eléctrica empleada por la empresa (M1-D) solo considera la demanda máxima en el horario pico, que en este caso se reduce en 379 kW (de 536 kW a 157 kW). Esto representa un ahorro anual de 27.288,00 pesos.

Como resultado se obtiene además el tiempo de operación de los receptores acomodados para cada estado de carga.

Con esta información fue posible establecer el plan de regulación y control de la demanda eléctrica en la entidad.

## CONCLUSIONES

El procedimiento de control de demanda propuesto para el acomodo de cargas eléctricas en entidades empresariales ha demostrado ser una herramienta eficaz en el propósito planteado.

Es posible de implementar empleando las herramientas computacionales del MATLAB, versión 7.8 (R2010a), utilizando las estructuras de programación de Global Optimization Toolbox: Genetic Algorithm and Direct Search.

En el caso de estudio planteado se demuestra que los receptores eléctricos son acomodados en el gráfico de potencia base teniendo en cuenta una planificación itineraria de funcionamiento que no excede la máxima demanda original en el horario pico y garantiza una menor discontinuidad del gráfico de cargas resultante, evaluado a partir de un mayor coeficiente de llenado.

Por lo anterior se considera que la aplicación realizada resulta adecuada para su empleo durante los procedimientos de acomodo de cargas.

## REFERENCIAS

- [1] P. Viego, M. de Armas, I. Pérez, A. Padrón y L. Casas. "Temas Especiales de Sistemas Eléctricos Industriales". Material no editado. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente, pp. 133. Universidad de Cienfuegos. Cuba. 2006.
- [2] O.M. Alamos. "Gestión de la demanda orientada a la optimización de activos: aproximación vía algoritmos genéticos". Tesis para optar al grado de Magíster. Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile. 2008.
- [3] Ministerio de Finanzas y Precios. "Resolución 28/2011. Sistema de tarifas eléctricas para el sector no residencial", p. 18. Cuba. 19 de enero de 2011.
- [4] Ministerio de Finanzas y Precios. "Resolución 277/2014. Consideraciones sobre las tarifas para determinados servicios", pp. 19. Cuba. 2014.
- [5] L.R. Cabote. "Metodología para el rediseño de sistemas de suministro eléctrico, a partir de un uso más racional de la energía". Tesis para optar al grado de magíster. Universidad de Camagüey. Cuba. 2011.

- [6] Comité Electrotécnico Cubano. Código Electrotécnico Cubano. Parte I: Baja Tensión. NC 800-1:2011. Primera Edición. Cuba. 2011.
- [7] “Algoritmos genéticos”. Fecha de consulta: 10 de diciembre de 2012. URL: <http://html.rincondelvago.com/algoritmos-geneticos.html/>
- [8] “Algoritmos genéticos”. Fecha de consulta: 15 de diciembre de 2012. URL: <http://eddyalfaro.galeon.com/geneticos.html/>
- [9] I. Pérez. “Algoritmo genético para el balance de carga en circuitos de distribución primaria”. Revista IEEE América Latina. Vol. 8 N° 5. 2010.
- [10] R.N. Carvajal. “Un algoritmo genético y su aplicación”. Revista Ingeniería Energética. Vol. 32 N° 1, pp. 77-85. 2011. ISSN: 1815 - 5901.
- [11] E.M. Carreño. “Efficient codifications solve distribution network reconfiguration for loss reduction problem”. IEEE Transactions on Power System. Vol. 32 N° 4, pp. 1542-1551. 2008. ISSN: 0885-8950.
- [12] Y. Zhang and J.V. Milanovic. “Optimal placement of FACTS devices for voltage sag mitigation base dons genetic algorithms”. 12<sup>th</sup> International Conference on Harmonics and Quality of Power. Cascais, Portugal. 2006.
- [13] I.C. Da Silva. “A heurist constructive algorithm for capacitor placement on distribution system”. IEEE Transaction on Power System. Vol. 23 N° 4, pp. 1619-1626. 2008. ISSN: 0885-8950.
- [14] Y. Concepción. “Compensación de potencia reactiva en circuitos de distribución primaria, aplicando algoritmos genéticos”. Tesis de maestría. Director: Davel Borges Vasconcellos. Universidad de Camagüey. Cuba. 2015.
- [15] H. Díaz. “Reconfiguración y ubicación de condensadores en sistemas de distribución: metodología de solución simultánea usando algoritmos genéticos”. Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería. Vol. 18 N° 1, pp. 144-153. ISSN: 0718-3305. 2010.