

# Estudio de alternativas de gestión de carga en los sistemas de distribución de la Costa Norte, tomando como modelo la Electrificadora del Atlántico S.A.\*

Ana María Jaller Caballero\*\*

---

## Resumen

*El sector eléctrico colombiano se encuentra en una difícil situación desde el punto de vista económico y financiero, lo cual se refleja en la deuda externa, en elevadas pérdidas de potencia y energía, deterioro de la infraestructura de generación debido a la reducida asignación de recursos para el mantenimiento, etc. Esto ha conllevado a que el sector eléctrico emprenda acciones de gestión de carga que, en términos generales, es el conjunto de actividades que llevan a cabo las empresas con el fin de modificar la curva de carga a través de medidas tarifarias, control directo, asesoría a usuarios, etc. Las acciones deben iniciarse con el fin de, entre otros, reducir gastos de capital, mejorar limitaciones de capital, promover despachos económicos, mejorar los factores de carga y la confiabilidad del sistema.*

*Lo anterior se ha deseado aplicar en el sistema eléctrico de la Costa Atlántica, tomando como modelo la Electrificadora del Atlántico S.A. Se ha diseñado un plan en el que se proponen proyectos pilotos de manejo de carga que serán evaluados financiera y económicamente, con los cuales se pueden obtener factores de carga de 0.5 y menores, y la inversión se recuperaría antes de cinco años.*

---

## Introducción

Dos alcances diferentes pueden ser utilizados para cooperar con el crecimiento de la demanda en un sistema de potencia. El primero es expandir el sistema de potencia para lograr los nuevos requerimientos de energía (política del lado de la oferta). El segundo es tratar de influir en el consumo de energía eléctrica para reducir las

inversiones requeridas (política del lado la demanda).

«Gestión de carga eléctrica del lado del usuario» ha sido definida como aquellas actividades orientadas a influir en la forma como el usuario se sirve de la empresa electrificadora, de manera que produzcan los cambios deseados en la curva de carga.

Las consecuencias de gestión de carga eléctrica para la empresa son: una mejor utilización de sus sistema de potencia y, por lo tanto, un aplazamiento de la necesidad de nuevas inversiones. Para el usuario representa la posibilidad de be-

---

\* Resumen de tesis de grado para optar título Magíster Ing. Eléctrica, Uniandes, sept. 93.

\*\* Ingeniero Electricista. Magíster en Ingeniería Eléctrica. Actualmente Jefe del Departamento de Ingeniería Eléctrica y profesora de la cátedra Elementos de sistemas de potencias.

neficiarse de facturaciones reducidas.

Los objetivos típicos de gestión de carga eléctrica incluyen: disminución del pico, relleno de valles, desplazamiento de carga y conservación y crecimiento estratégico.

La planeación de un programa de gestión de carga comprende cuatro pasos:

- Escoger los cambios en la forma de la curva de carga que se va a realizar; estas son las metas estratégicas y los objetivos operacionales.
- Determinar la manera de realizar los cambios en la curva; es decir, seleccionar alternativas de gestión de carga.
- Evaluar costos y otros impactos no energéticos del programa de manejo de carga.
- Planear maneras de implementar el programa.

## 1. Descripción del sistema Electranta

Electranta atiende el departamento del Atlántico con gran parte de la carga localizada en Barranquilla, Soledad y Malambo. Maneja sistemas de 110kv, 34,5kv y 13.8kv. La totalidad de los usuarios se encuentran conectados a baja tensión (99.8%); sin embargo, el consumo de media tensión alcanza el 33% con sólo el 0.2% de los usuarios. En cuanto a la distribución de la demanda por sectores, el residencial es el de mayor consumo y número de usuarios, con el 43% y 93%, respectivamente; le sigue en consumo el industrial, con el 23.6%, y el comercial con el 14.0% (Ref. 1).

La curva típica del sistema Electranta presenta su máxima demanda alrededor de las 19:00 horas, con un factor de carga de 0.726.

Se observa en la curva el gran aporte que tiene el sector residencial sobre la curva total del sistema, coincidiendo con el pico de 18:00 a 21:00 horas. Por lo tanto, este es el sector que se tratará con mayor detalle. Debido a que los estratos 1 y 2 del sector residencial tienen el mayor número de usuarios, éstos presentan la mayor demanda del sector. En la curva de carga desagregada del sector residencial se observa el aporte que presentan el aire acondicionado, la iluminación y la refrigeración sobre la curva total. Por lo tanto, es en estos consumos en los que se deben ofrecer alternativas de manejo de carga eléctrica. La cocción de los alimentos, en lo que respecta a los usuarios residenciales, se hace básicamente utilizando estufas de gas, mientras que los usuarios comerciales por lo general tienen pequeñas estufas eléctricas portátiles que utilizan con poca frecuencia.

En el sector comercial se observa el aporte de aires acondicionados, aparatos electromecánicos e iluminación sobre la curva de carga resultante. Para los casos de refrigeración ambiental e iluminación, se proponen igualmente soluciones.

## 2. Medidas remediales

Se efectuaron evaluaciones financieras y económicas de medidas individualmente y a nivel de consumidores, tomando como año base 1993, con un período de cinco años. Por lo tanto, se contó con tarifas de diciembre de 1992, con un crecimiento anual del 26%. Se empleó una tasa de descuento del 12%, un crecimiento anual

de usuarios residenciales del 3.75% y comerciales del 1.89%. Se consideraron las pérdidas en subtransmisión de potencia: 19.52% y en energía de 12.41% (información suministrada por Electranta).

Tomando como parámetros de medida el valor presente neto y la tasa interna de retorno, se evaluaron 11 medidas en el sector residencial y 9 en el sector comercial, principalmente en las áreas de consumo de iluminación, refrigeración ambiental y neveras.

Se realizó el siguiente análisis:

- **Sector residencial:**

En el área de iluminación se logran grandes beneficios con el reemplazo de bombillos incandescentes de 100W por

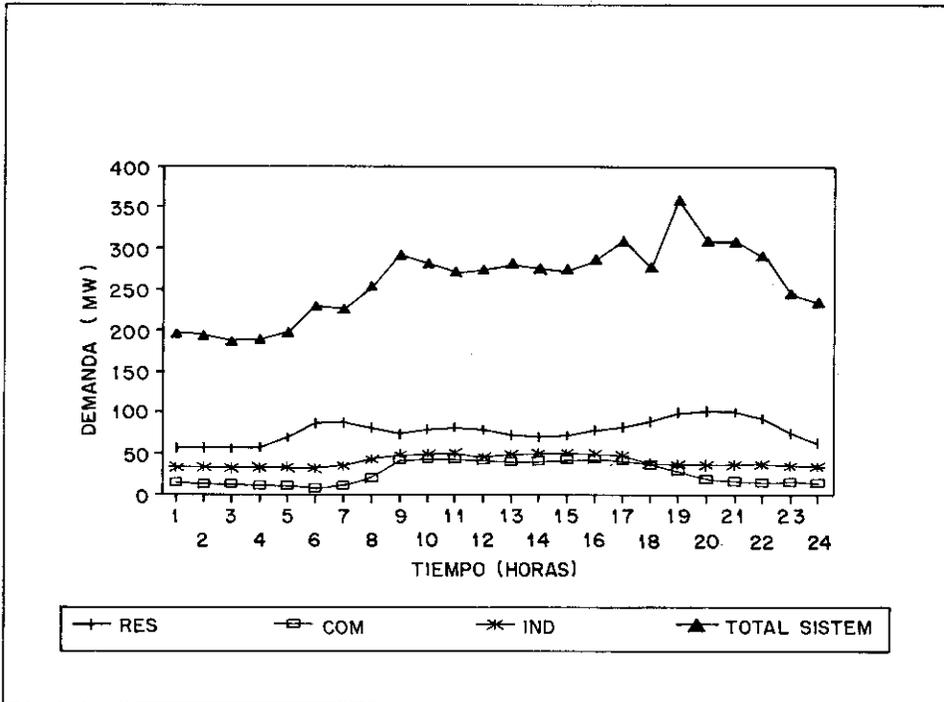
lámparas circulares fluorescentes de rosca de 35W en el horario de 18:00/05:00 horas, así como por bombillos fluorescentes de rosca de 15W en el mismo horario.

A nivel de refrigeración, el uso de controladores de voltaje y energía en neveras es muy eficiente.

Para la carga de aire acondicionado es recomendable utilizar en el horario de 19:00/05:00 horas temporizadores que desconecten por 15 min/1 hora aires acondicionados tipo ventana de 1.5HP, así como termostatos que operen con 100% de eficiencia.

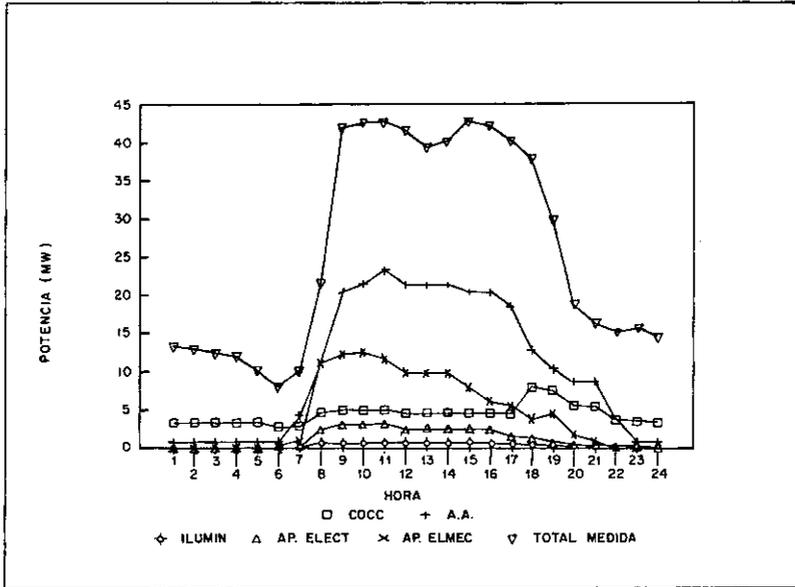
- **Sector comercial:**

De los casos de iluminación analizados, la medida aplicada con mayor éxito

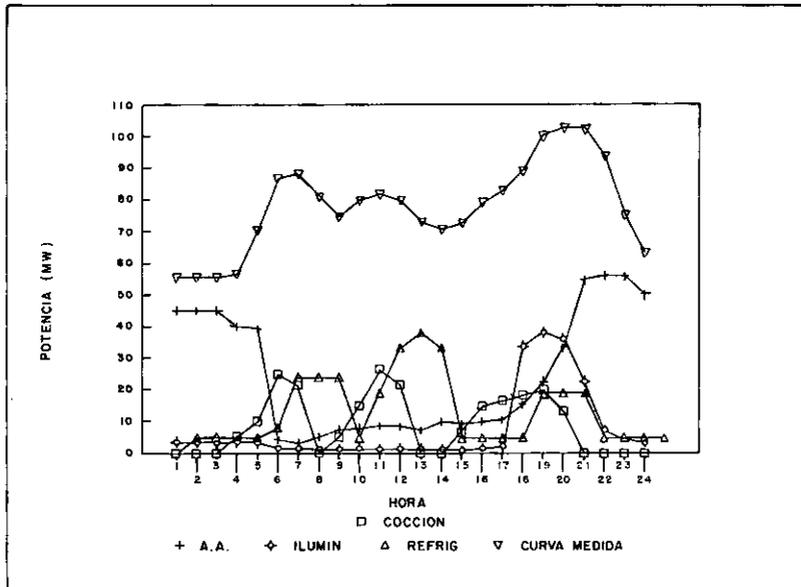


Curvas de demanda por sector, Electranta año 1989

## Sector comercial. Curva de carga por usos, Dic./89



## Consumo sector residencial, Dic./89. Distribución por usos



desde el punto de vista financiero fue la instalación de fotoceldas para controlar el apagado de luminarias fluorescentes ubicadas en corredores o pasillos con buena iluminación natural.

En el área de aire acondicionado, los mejores resultados que se obtuvieron fueron: termostatos en aires acondicionados tipo ventana de 1.5HP; temporizadores que desconecten aires acondicionados tipo ventana de 1.5HP por 15 min/1 hora; y reemplazo de aire acondicionado central eléctrico por uno de gas de 1 Ton. de refrigeración. Todos los métodos anteriores se analizaron en el horario de 08:00/18:00 horas.

## Sector residencial

### Caso 1

*Programa:* Iluminación

*Título:* Reemplazo de bombillos incandescentes de 100W por lámparas circulares fluorescentes de rosca de 35W.

*Horario:* 18:00/05:00 horas.

### Caso 2

*Programa:* Iluminación

*Título:* Reemplazo de bombillos incandescentes de 100W por bombillos fluorescentes de rosca de 15W.

*Horario:* 18:00/05:00 horas.

### Caso 3

*Programa:* Iluminación

*Título:* Reemplazo de bombillos incandescentes 75W por bombillos fluorescentes 18W, Philips SL18 (Import.).

*Horario:* 18:00/05:00 horas.

### Caso 4

*Programa:* Cocción

*Título:* Reemplazo de estufas eléctricas por estufas de gas.

*Horario:* 06:00/08:00 00:00/13:00 16:00/20:00.

### Caso 5

*Programa:* Refrigeración

*Título:* Utilización de controladores de voltaje y energía en neveras.

*Horario:* 00:00/24:00 horas.

### Caso 6

*Programa:* Aire acondicionado

*Título:* Utilización de temporizadores que desconecten el aire acondicionado por 15 min. en una hora, para aires acondicionados tipo ventana de 1.5 HP.

*Horario:* 19:00%+/05:00 horas

### Caso 7

*Programa:* Aire acondicionado

*Título:* Utilización de termostatos en aires acondicionados tipo ventana de 1.5HP = 1.12kw (100% eficiencia).

*Horario:* 19:00/05:00 horas.

### Caso 8

*Programa:* Aire acondicionado

*Título:* Utilización de termostatos en aires acondicionados tipo ventana de 1.5HP = 1.12kw (75% eficiencia).

*Horario:* 19:00/05:00 horas.

### Caso 9

*Programa:* Aire acondicionado

*Título:* Utilización de termostatos en aires acondicionados tipo ventana de 1.5HP = 1.12kw (50% eficiencia).

*Horario:* 19:00/05:00 horas.

#### **Caso 10**

*Programa:* Aire acondicionado

*Título:* Utilización de termostatos en aires acondicionados tipo ventana de 1.5HP = 1.12kw (25% eficiencia).

*Horario:* 19:00/05:00 horas.

#### **Caso 11**

*Programa:* Aire acondicionado

*Título:* Aplicación de una cerámica térmica (Ceramiccoat) sobre techos y paredes casa

*Horario:* 19:00/05:00 horas.

### **Sector comercial**

#### **Caso 1**

*Programa:* Iluminación

*Título:* Reemplazo de bombillos incandescentes de 100W por lámparas circulares fluorescentes de rosca de 35W.

*Horario:* 08:00/20:00 horas.

#### **Caso 2**

*Programa:* Iluminación

*Título:* Reemplazo de bombillos incandescentes de 100W por bombillos fluorescentes de rosca de 15W.

*Horario:* 08:00/20:00 horas.

#### **Caso 3**

*Programa:* Iluminación

*Título:* Reemplazo de bombillos incandescentes de 75W por bombillos fluorescentes de 18W, Philips SL18 (Import.).

*Horario:* 08:00/20:00 horas.

#### **Caso 4**

*Programa:* Iluminación

*Título:* Instalación de fotoceldas para controlar apagado de iluminación fluorescente en corredores con buena luz

*Horario:* 11:00/15:00 horas.

#### **Caso 5**

*Programa:* Aire acondicionado

*Título:* Utilización de termostatos en aires acondicionados tipo ventana de 1.5HP

*Horario:* 08:00/18:00 horas.

#### **Caso 6**

*Programa:* Aire acondicionado

*Título:* Utilización de temporizadores que desconecten aires acondicionados por 15 min. en una hora, para aires acondicionados tipo ventana de 1.5HP

*Horario:* 08:00/18:00 horas.

#### **Caso 7**

*Programa:* Aire acondicionado

*Título:* Utilización de pinturas reflectivas que disminuyan temperatura, en local

*Horario:* 08:00/18:00 horas.

#### **Caso 8**

*Programa:* Aire acondicionado

*Título:* Aplicación de cerámica térmica (cermicoat) sobre techos y paredes de local

*Horario:* 08:00/18:00 horas.

#### **Caso 9**

*Programa:* Aire acondicionado

*Título:* Reemplazo de aire acondicionado central eléctrico por uno de gas de 1 Ton. de refrigeración

*Horario:* 08:00/18:00 horas.

## Análisis de curvas resultantes después de aplicar medidas

### Sector residencial

Las curvas muestran los resultados para 1998, ya que para ese tiempo la medida habrá sido aplicada en el 100% de los usuarios; por lo tanto, se puede apreciar en gran medida su influencia en la curva de carga.

## Análisis de curvas resultantes después de aplicar medidas

### Sector comercial

Las curvas muestran los resultados para 1996, ya que para ese tiempo la medida habrá sido aplicada en el 100% de los usuarios; por lo tanto, se puede apreciar en gran medida su influencia en la curva de carga.

### Resultados de medidas

| Caso N° | N° Usu.Medida 1988 | KW ahorrado por usuario | MW ahorrados totales | F.C. inicial | F.C. final |
|---------|--------------------|-------------------------|----------------------|--------------|------------|
| 1       | 52139              | 0.078                   | 4.07                 | 0.19         | 0.17       |
| 2       | 34760              | 0.102                   | 3.55                 | 0.19         | 0.17       |
| 3       | 34760              | 0.068                   | 2.36                 | 0.19         | 0.18       |
| 4       | 88057              | 0.290                   | 25.54                | 0.34         | 0.12       |
| 5       | 23173              | 0.103                   | 2.39                 | 0.35         | 0.32       |
| 6       | 57933              | 1.339                   | 77.57                | 0.44         | 0.16       |
| 7       | 1                  | 0.535                   | 0.535                | 0.44         | 0.42       |
| 8       | 1                  | 0.402                   | 0.402                | —            | —          |
| 9       | 1                  | 0.268                   | 0.268                | —            | —          |
| 10      | 1                  | 0.134                   | 0.134                | —            | —          |
| 11      | 52139              | 1.339                   | 69.81                | 0.44         | 0.18       |

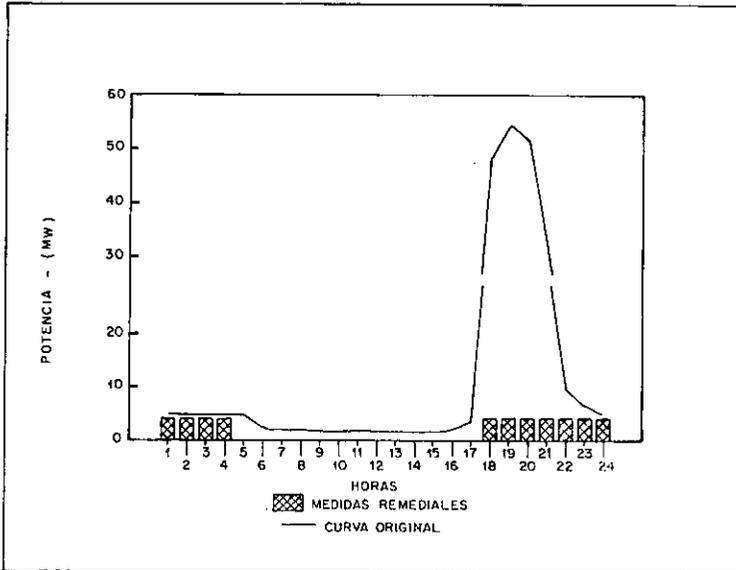
Las curvas que se mostrarán a continuación son dos por cada caso: la primera muestra la curva original y la aplicación de las medidas en cierto horario; la segunda compara las dos curvas, la inicial y la resultante. Estas gráficas son muy ilustrativas, ya que permiten observar el efecto que tienen las medidas sobre la curva de carga del sistema. Cada caso es evaluado independientemente. Se grafican para dos casos: uno, iluminación, y otro, aire acondicionado.

Las curvas tienen igual comportamiento a las del sector residencial, por lo tanto se grafican.

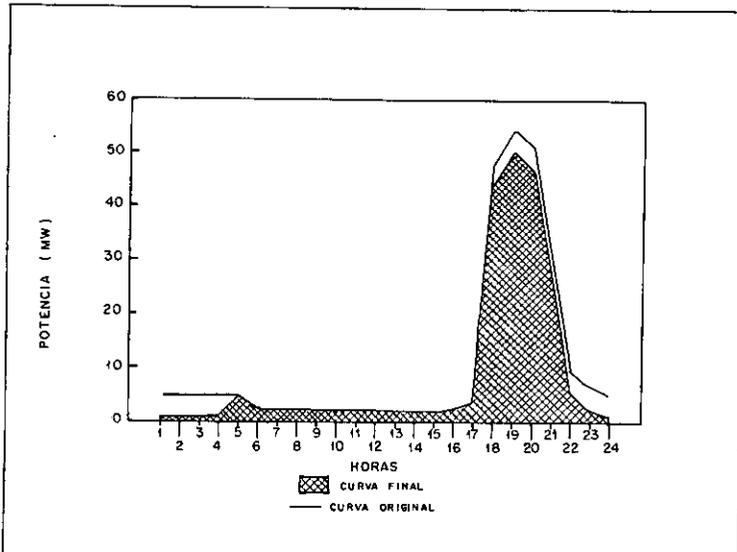
### 3. Propuestas tarifarias

Una de las principales medidas remediales para el manejo de la carga eléctrica del sistema Elctra es la aplicación de tarifas diferenciales para el consumo del usuario residencial, ya que a éste sólo se le cobra por la energía sin tener en cuenta su horario de consumo, mientras que al sec-

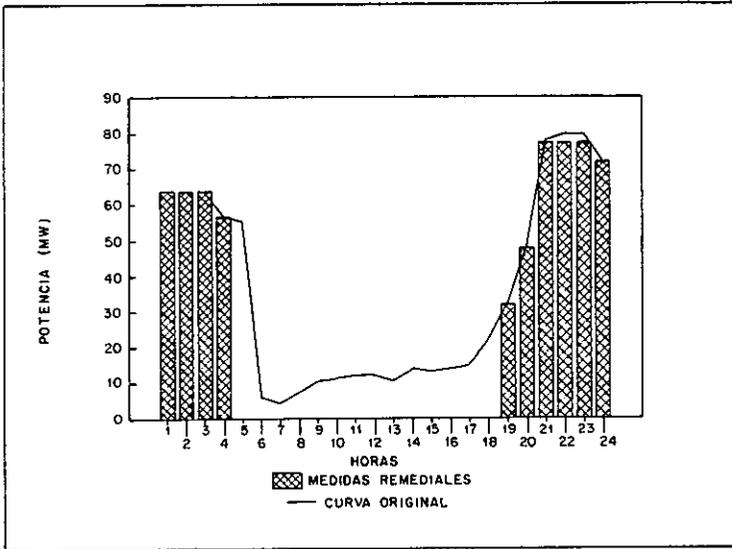
### Sector residencial, iluminación. Medidas remediales, caso N° 1



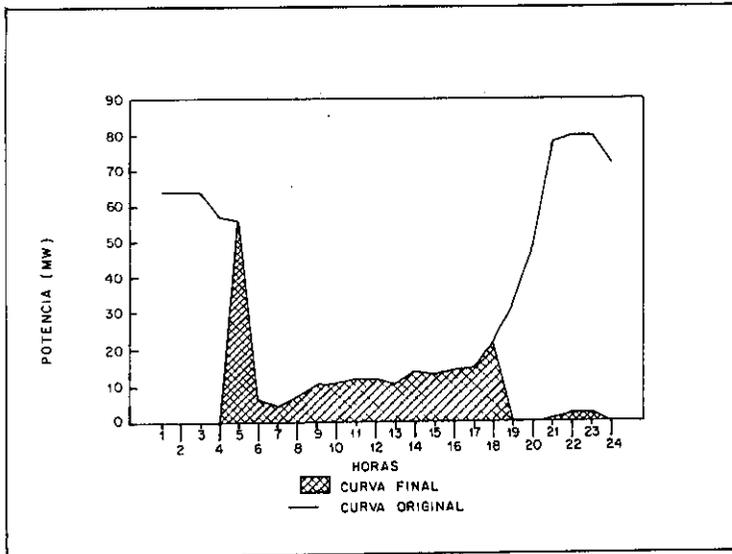
### Sector residencial, iluminación. Medidas remediales, caso N° 1



**Sector residencial, aire acondicionado. Medidas remediales, caso N° 6**



**Sector residencial, aire acondicionado. Medidas remediales, caso N° 6**



## Resultados de medidas

| Caso N° | N° Usu. Medida 1996 | KW ahorrado por usuario | MW ahorrados totales | F.C. inicial | F.C. final |
|---------|---------------------|-------------------------|----------------------|--------------|------------|
| 1       | 10382               | 0.078                   | 0.81                 | 0.55         | 0.55       |
| 2       | 11420               | 0.102                   | 1.17                 | 0.55         | 0.56       |
| 3       | 7267                | 0.068                   | 0.49                 | 0.55         | 0.55       |
| 4       | 7267                | 1.195                   |                      |              |            |
| 5       | 5191                | 0.535                   | 2.78                 | 0.46         | 0.46       |
| 6       | 83.05               | 1.339                   | 11.12                | 0.46         | 0.48       |
| 7       | 12458               | 0.134                   | 1.67                 | 0.46         | 0.46       |
| 8       | 7267                | 0.535                   | 3.89                 | 0.46         | 0.46       |
| 9       | 7267                | 4.231                   | 30.75                | 0.46         | 0.18       |

tor comercial se le cobra tarifa binomia.

Al analizar las curvas de carga típicas diarias para cada uno de los estratos del sector residencial, se observan diferentes alternativas para disminuir los picos, rellenar valles y, por ende, mejorar los valores de factores de carga.

Se proponen dos alternativas viables: aplicar tarifa binomia en la que se cobre energía las 24 horas y el pico presentado en las horas pico, así como aplicar tarifa doble en la que se cobre energía en el pico y fuera de éste. Dependiendo del tipo de estrato, existen distintos horarios de aplicación de tarifas.

Otra alternativa posible en otras ciudades es la utilización de contadores de prepago, con los cuales el usuario se concientiza de su consumo y empieza a conocer las causas que originan su pico de potencia. La aplicación de esta medida requiere de programas alternos especiales.

Se simuló valores de tarifas doble y binomia, y se obtuvo beneficios económi-

cos para todos los estratos. Teniendo en cuenta la forma de la curva de carga de cada estrato, se observaron mayores beneficios con la aplicación de la tarifa binomia para los estratos 1, 2 y 4, y con la tarifa doble para los estratos 3, 5 y 6.

#### 4. Conclusiones y recomendaciones

La realización de este trabajo ha servido para entender el comportamiento de la curva de carga del sistema Electranta y desagregarla para conocer en detalle los tipos de consumo que más la afectan. Se ha comprobado que la aplicación de la gestión de carga trae beneficios para el usuario y para la empresa.

Se han obtenido los objetivos trazados y los alcances propuestos, ya que se realizó una evaluación técnica, financiera y económica de las diferentes alternativas de Gestión de Carga Eléctrica en el sistema de Electranta, se proyectaron las curvas resultantes al considerar las diferentes alternativas, se modelaron estructuras tarifarias y se propusieron mecanismos para poner en marcha el programa.

## Referencias

1. GUSTAFSON, M.W. J.S. Baylory Gary Epstein. *Direct Water Heater Load Control-Estimation program affectiveness using an engineering model*. IEEE 92 WM 130-5 PWRs.
2. BALDICK, Ross. R. KAYE, John y F. Felix Wu. *Electricity Tariffs under imperfect knowledge of participant benefits*. IEEE 92 WM 116-4 PWRs.
3. ALVAREZ, C. R.P. Malhame y A. Gabaldón. *A class of models for load management application and evaluation revisited*. IEEE 92 WM 131-3 PWRs.
4. TALUKDAR, Sarorsh y Calrk W. Gellings. *Load management*. IEEE PC02063, 1987.
5. *Programa de cooperación energética Eurcolerg entre la comisión de las comunidades europeas y la república de Colombia; Subproyecto Gestión de Carga Eléctrica*. Agrupación Lahmeyer Int. - Decon - Nifes - Consultoría Colombiana - Consultores unidos. Santafé de Bogotá, mayo de 1992.
6. DURÁN, EDGAR, Tomás de la Calle y Néstor Cardona. *Caracterización de la carga del sistema eléctrico colombiano. Caso piloto en Empresas Públicas de Medellín*.
7. LATORRES, Diego Armando. *Análisis y Evaluación de Gestsión de la carga Eléctrica*. Tesis de pregrado, Universidad de los Andes, Bogotá, 1991.
8. *Tariffs for the Supply of Electricity*. Eastern Electricity. Abril, 1991.
9. *Electricity Prices for the home*. Eastern Electricity. Abril, 1991.
10. *Your guide for business and enterprise tariffs*. Eastern Electricity. Abril, 1991.
11. BAUMAN, Klaus. *Experiencia en Europa - Políticas de las Empresas Eléctricas*.
12. GÓMEZ, Luz María, Alberto Corchuelo y Fernando Mejía Candelo. *Hacia el uso racional de la electricidad - sector residencial*. Empresa Municipal de Cali, 1991.
13. *Curso Gestión de Carga Eléctrica*. VIII Jornadas Nacionales de Energía Eléctrica. Bogotá, 1991.
14. OSMOND, Robert. *Gestión de Carga Eléctrica*. Experiencia en Europa.
15. *Caracterización de la curva de carga, sistema Corelca*. Corelca.
16. *Estudio de eficiencia energética en los sectores residencial, comercial y oficial*. World Bank, Energy Sector Management Assitance Program y Comisión Nacional de Energía (Colombia). Bogotá, junio, 1992.
17. *The potencial impact of demand side management on future electricity demand*. Electra No. 138. Octubre, 1991.
18. *Manuales técnicos y de instrucción para conservación de energía: 7. Acondicionamiento de locales*. Ministerio de Industria y Energía. Secretaría General de la energía y recursos minerales. Agustín de Foxa, 29. Madrid 16. 1993.
19. ANDREW, D. ALTHOUSE, Carl; H. Turnquist, Alfred F. Bracciano. *Modern refrigeration and Air Conditioning*. South Holland, Illinois. The Goodheart - Wilcox Company, Inc Publishers, 1979.
20. A.K. David, Y.Z. Li. *Effect of intertemporal factors on the real time pricing of electricity*. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 8, No. 1. February, 1993.
21. SHIRMOHAMMADI, D. A. Crough, A. Catelli. *Short-term economic energy management in a competitive utility enviroment*. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 8, No. 1. February, 1993.
22. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. Junta Nacional de Tarifas de Servicios Públicos. *Boletín mensual de tarifas de energía, acueducto, teléfonos, aseo y gas*. Julio de 1992.
23. GONZÁLEZ, Luz María. *Estudio de eficiencia energética sectores residencial, oficial y comercial - Análisis de costos y tarifas de algunos energéticos en Colombia*. Noviembre 28 de 1991.
24. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. Junta Nacional de Tarifas de Servicios Públicos. *Normas de la Junta Nacional de Tarifas de Servicios Públicos*.
25. Gaceta DNP. *Resoluciones de la Junta Nacional de Tarifas de Servicios Públicos - No. 57*. Bogotá, marzo de 1987.