

CARACTERIZACIÓN DE LA CARGA ELÉCTRICA EN EL MUNICIPIO DE LA CEJA DEL TAMBO

Juan Fernando Bedoya Gallego^{*†}

Universidad Pontificia Bolivariana
Escuela de Ingenierías, Facultad de Ingeniería Eléctrica
juanferbg@hotmail.com

Resumen: En este artículo se muestran los resultados del trabajo de grado para optar al título de Especialista en Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica, denominado "Caracterización de la carga eléctrica y aplicación de resultados en la selección de transformadores de distribución en el municipio de la Ceja del Tambo". El trabajo de investigación se identifica la forma y magnitud de la curva de carga, con base en la aplicación de una metodología de análisis de los datos de medición de los transformadores de distribución pertenecientes al sistema eléctrico del municipio. Para el trabajo se utilizaron los datos proporcionados por la empresa EPM E.S.P, donde se realizaron las mediciones de los transformadores en períodos de 15 minutos durante los días hábiles y no hábiles de una semana típica, para un total de 672 datos por transformador. El diseño muestral se realiza utilizando la estadística inferencial, la cual permite determinar propiedades de una población estadística, a partir de una pequeña muestra de la misma. Adicionalmente para el análisis de los datos se utiliza el método de verificación de Kendall W, para determinar las concordancias o coeficientes de correlación.

La información obtenida en el estudio servirá al operador de red como apoyo a sus procesos de planeación, diseño, operación y comercialización para la toma de decisiones acertadas con relación a sus proyecciones de demanda, optimización del parque de transformadores y redes, diseño de redes con inversiones recuperables y el desarrollo de planes de mantenimiento y reposición óptimos.

Palabras clave: Caracterización de demanda, curvas de carga, forma de la curva de carga, magnitud de la curva de carga.

Abstract: This article presents the results of the thesis to obtain the title of Specialist Transmission and Distribution of Electric Power, called "Characterization of electric charge and application of results in the selection of distribution transformers in the municipality of La Ceja del Tambo ". The research paper form and magnitude of the load curve, based on the application of a methodology for analysis of measurement data distribution transformers belonging to the municipality electrical system is identified. For work data provided by the company EPM E.S.P, where measurements of transformers in 15-minute periods were conducted during business days and not working in a typical week, for a total of 672 data we were used transformer. The

[†] Autor al que se le dirige la correspondencia:
Tel. (+057) 418 38 26.
E-mail: juanferbg@hotmail.com (Juan Fernando Bedoya Gallego).

sample design is performed using inferential statistics, which allows to determine properties of a statistical population, from a small sample of it. In addition to analyzing the data verification method Kendall W is used to determine matches or correlation coefficients.

The information obtained in the study will serve as the network operator to support its planning, design, operation and marketing for making wise decisions regarding their demand projections, optimization of transformers and networks, network design with recoverable investments and development of maintenance plans and optimal replacement.

Keywords: Characterization of demand, load curves, shape the load curve magnitude of the load curve

1. INTRODUCCIÓN

La carga es la más importante y decisiva variable en la planeación, el diseño y la operación de una red de distribución de energía eléctrica, ya que es el factor determinante para la toma de decisiones técnicas y económicas con relación a la mejor forma de lograr una adecuada expansión de los sistemas de distribución para satisfacer el crecimiento de la demanda, cumpliendo con los estándares de calidad en el servicio y de optimización técnica y económica en la operación de las redes, lo cual se traduce en calidad, disponibilidad y confiabilidad para los usuarios.

El desconocimiento o la imprecisión de la caracterización de la carga eléctrica tiene efectos en la sostenibilidad del sistema de distribución, conllevando a un posible déficit de electricidad, problemas para el suministro eléctrico y grandes pérdidas económicas para los operadores de red, de ahí su preocupación por este tópico, buscando utilizar las mejores técnicas de caracterización de la carga eléctrica que permitan precisar la demanda y realizar un buen pronóstico a corto, mediano y largo plazo.

El municipio de La Ceja del Tambo, hace parte del Valle de San Nicolás del Oriente Antioqueño, zona con el desarrollo más destacado de la subregión y con la principal concentración de población por su proximidad con Medellín y el Valle de Aburrá. Su actividad principal es la floricultura, sin embargo gracias al crecimiento y proyección de este municipio en los últimos 20 años se ha constituido en un sitio favorito para el asentamiento de importantes empresas comerciales, industriales y de servicios, con lo cual también se han generado migraciones de gran magnitud desde el campo y municipios vecinos hacia su zona urbana, provocando un crecimiento significativo de la población. Asimismo en la actualidad el municipio se destaca como un centro de veraneo y turismo.

Considerando lo anterior, el presente trabajo pretende realizar una caracterización de la carga eléctrica para el municipio de La Ceja del Tambo ubicado en la región del oriente Antioqueño, con el fin de obtener la curva de demanda diversificada, facilitando al operador de red dar cumplimiento a la regulación vigente, mejorar los resultados de la proyección

de demanda, optimizar el parque de transformadores, realizar diseños óptimos de redes y transformadores con inversiones recuperable, establecer planes de mantenimiento y reposición oportuna de equipos, disminuir la incertidumbre en la evolución de la demanda y ampliar el portafolio de servicios con soluciones ajustadas a las nuevas tendencias y hábitos de consumo de los usuarios.

1.1 Antecedentes y estado del arte

A nivel mundial se encuentra diversidad en los estudios de modelado y predicción de la demanda de energía eléctrica, los mismos que son realizados utilizando métodos como la regresión multivariada, la cointegración, las funciones de transferencia, y los modelos ARIMA (Franco, Velásquez y Olaya, 2008). Muchos de estos estudios se realizan a partir de la capacidad instalada en los equipos, coincidencia de los consumidores conectados en un mismo nodo y utilización de algoritmos genéticos, datos de un alimentador principal, participación de las diferentes

tarifas conectadas al mismo y consumidores de energía registrados por usuario (Suárez, 2012).

En el caso colombiano los organismos reguladores y los operadores de red desarrollan estudios relacionados con el comportamiento de la demanda de energía eléctrica, como parte de su responsabilidad en la planeación del sector, utilizando modelos econométricos, autorregresivos integrados de promedios móviles ARIMA y pronóstico condicional. No obstante estos modelos no se encuentran disponibles a los usuarios, lo cual dificulta la construcción de escenarios particulares de proyección, además de contar con escasos estudios de tipo académico y científico.

En la tabla 1 se relacionan los estudios a nivel nacional e internacional revisados en el desarrollo del presente trabajo de investigación, los cuales se consideraron por su relación cercana con el tema abordado.

Tabla 1. Antecedentes investigativos

Autores	Título	Tipo de publicación	Año
Carlos Romero González Patricio Díaz Omar Núñez Paul Martínez	Caracterización de la curva de carga eléctrica en el sector Sur Oriente del Ecuador	Artículo	2001
Leonardo Casas Alberto Ramírez Alberto Limonte	Características de las cargas del sector residencial en Cuba	Artículo	2007
Carlos Jaime Franco Cardona Juan David Velásquez Henao Yris Olaya Morales	Caracterización de la demanda mensual de electricidad en Colombia usando un modelo de componentes no observables	Artículo	2008
Luisa Fernanda Guzmán Gómez	Diseño e implementación de una técnica para la construcción de las curvas de demanda máxima diversificada para empresas del sector eléctrico Colombiano	Trabajo de grado	2010
Gabriel Jaime Suárez Londoño	Proceso metodológico para la caracterización de la carga eléctrica residencial	Tesis de grado	2012
Johana Andrea Sanabria Domínguez	Demanda diaria de energía en Colombia 2000-2013: una aplicación de P-SPLINES	Trabajo de grado	2013

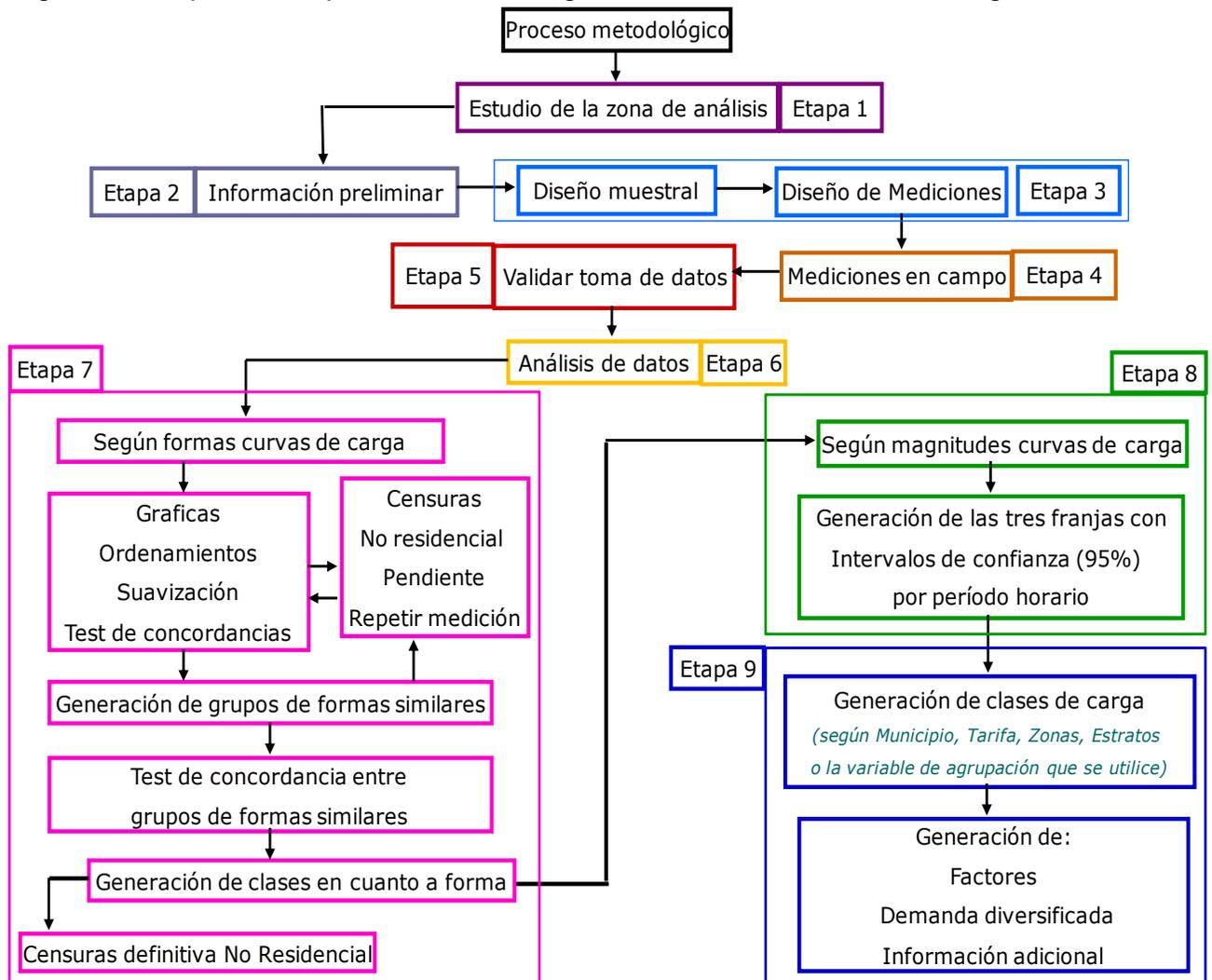
2. MATERIAL Y METODOS

El desarrollo del presente trabajo de campo de la investigación se guio por la metodología utilizada en la caracterización de la carga residencial aplicada en el Valle de Aburrá, la misma que fue conocida a través del seminario de Planeación de Sistemas de Distribución de la Especialización en Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica. En este sentido, el proceso se seguirá en nuevas etapas como se muestra en la figura 1.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estudio realizado en el presente trabajo de grado permitió obtener información específica para el municipio de la Ceja del Tambo respecto a la representación gráfica de la variación de la carga en períodos de 15 minutos (día hábil y no hábil) para identificar la demanda máxima y la demanda mínima con su respectivas duraciones; el factor de carga y el factor de utilización de los transformadores.

Figura 1. Esquema del proceso metodológico de caracterización de la carga eléctrica.



Fuente: Suárez (2012)

La variación de la carga por períodos de 15 minutos para día hábil permitió modelar la demanda del municipio de la Ceja del Tambo, según la cual se puede identificar que el consumo máximo de los usuarios residenciales del municipio se registra desde las 18:00 horas hasta las 21:00 horas con una magnitud de 0.45 kW por usuario, para la forma de curva 1; y desde las 18:00 horas hasta las 21:30 horas con una magnitud de 0.35 kW por usuario para la forma de curva 2. Por su parte el consumo mínimo se registra desde las 00:00 horas hasta las 04:00 horas con una magnitud de 0.14 kW por usuario, en la forma de curva 1; y desde las 00:30 horas hasta las 04:00 horas con una magnitud de 0.12 kW, en el caso de la forma de curva 2. Las fig. 2 y Fig.3 representan las curvas de tipo 1 y 2 con los rangos de consumo máximo y mínimo.

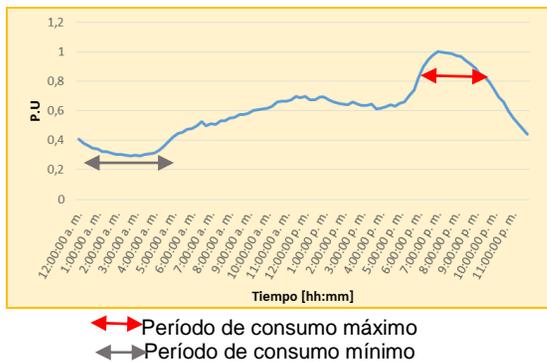


Fig. 2. Consumo máximo y mínimo según curva 1 de día hábil

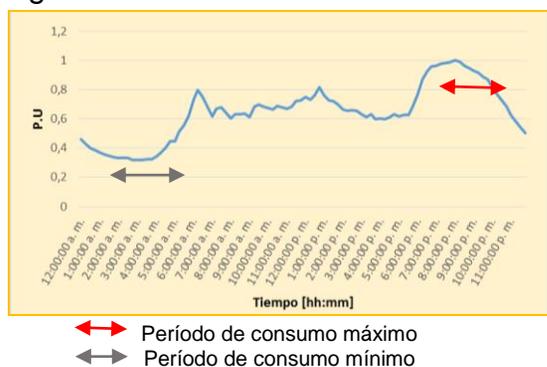


Fig. 3. Consumo máximo y mínimo según curva 2 de día hábil.

De esta forma, las figuras 2 y 3 muestran que la longitud de la demanda máxima se ubica en un promedio de 3 horas de la franja horaria nocturna y la demanda mínima se encuentra en un promedio de 4 horas en la madrugada. Esto permite inferir que la actividad nocturna de los usuarios del municipio de la Ceja del Tambo demanda mayor consumo de energía eléctrica, lo cual puede estar sustentado en el uso de sistemas de alumbrado público y privado y la utilización de electrodomésticos, en especial los destinados al entretenimiento, como televisores, equipos de cómputo y video juegos. En el caso de la longitud de la demanda mínima, se infiere un impacto de los consumos fantasmas de los electrodomésticos poco eficientes y la carga de equipos portátiles; ya que el período de consumo mínimo se ubica en la madrugada, a pesar de que, por la costumbre e idiosincrasia de un municipio, la población tiende a culminar sus actividades en horas tempranas de la noche.

En cuanto al factor de carga para la Ceja del Tambo, éste es de 0.6, encontrándose por debajo del factor de carga de 0.616 correspondiente a la región del Oriente Antioqueño, aspecto que indica la posibilidad de implementar estrategias, como el almacenamiento de energía, para el aplanamiento de la curva de demanda a través del aumento del factor de carga, lo cual permitiría disminuir la demanda máxima en las horas pico.

De igual forma se identificó que los transformadores de la muestra ubicados en el municipio de La Ceja del Tambo tienen un factor de utilización en promedio de 0.35, lo cual indica que estos transformadores están sobredimensionados en casi un 70% a la hora pico de la demanda máxima.

Este aspecto se ratifica al realizar el análisis exploratorio de la clasificación de los transformadores del municipio, que muestra una concentración de los mismos del 87% en la franja mínima de consumo, es decir, su consumo máximo es menor o igual a 0.177 kWh por usuario para la curva de forma 1 y menor o igual a 0.136 kWh por usuario para la curva de forma 2, como se muestra en la Fig. 4.

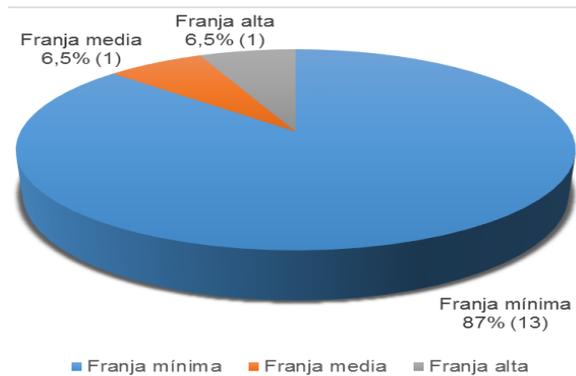


Fig. 4. Distribución de los transformadores de la Ceja del Tambo por franja.

El transformador de la muestra ubicado en la franja alta corresponde a un sector con usuarios de estrato 2. Esta zona del municipio de La Ceja del Tambo es de poco desarrollo social y comercial y su alto consumo de energía eléctrica se debe a la poca presencia del gasoducto y de la utilización de electrodomésticos con poca eficiencia energética.

Del mismo modo, aunque el transformador ubicado en la franja media se encuentra en una zona con usuarios residenciales de estrato 3, este se encuentra en un sector colindante con usuarios de estrato 2. Debido a esta razón, se refleja un incremento en el consumo de energía a pesar de que estos usuarios residenciales cuentan con suministro de

gas, estos no poseen electrodomésticos eficientes.

Asimismo, se identifica que la CCE del municipio de la Ceja del Tambo es del tipo residencial, ya que esta tarifa es la de mayor impacto en la cargabilidad de los transformadores predominando sobre la tarifa comercial, como se muestra en la Fig. 5.

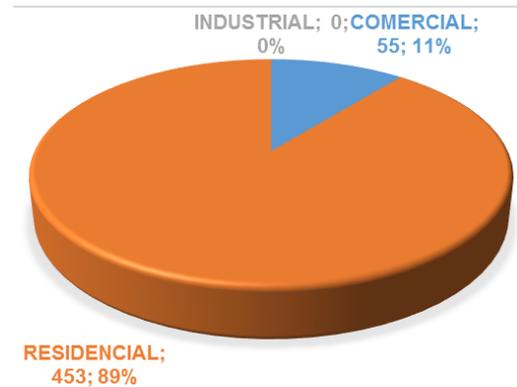


Fig. 5. Usuarios conectados por tipo de transformador de la Ceja del Tambo.

El análisis de los usuarios conectados por estrato socioeconómico, permite identificar que la curva de la forma 1 está conformada por usuarios residenciales donde predomina el estrato 3. En la curva de la forma 2, predomina los usuarios residenciales en estrato 2 y 3, como se muestra en las Fig. 6 y Fig. 7.

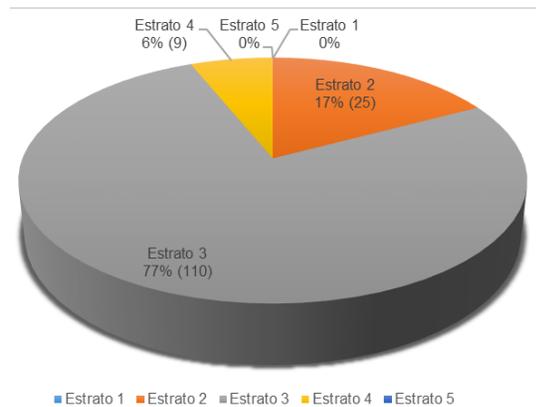


Fig. 6. Usuarios conectados por estrato en la curva de forma 1.

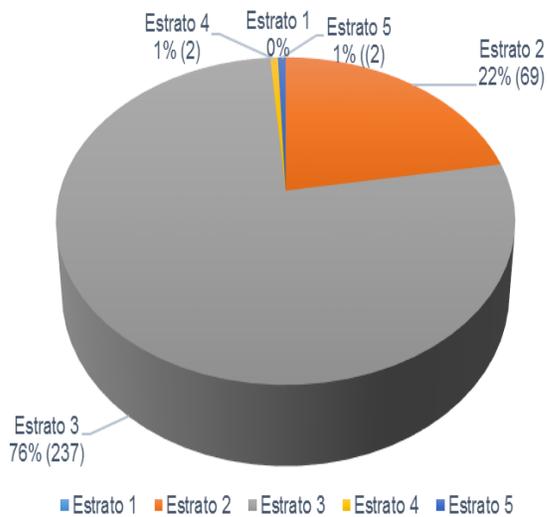


Fig. 7. Usuarios conectados por estrato en la curva de forma 2.

predomina el estrato 3 y existe escasa presencia de comercio, la central que cuenta con presencia principal del estrato 3 y en la cual se concentra el comercio del municipio y la sur en la que predomina el estrato 2 y existe poca actividad comercial. En estas zonas se identifica que los transformadores pertenecientes a la forma de curva 1 se concentran en la zona central de municipio, mientras que los transformadores de la forma de curva 2 se ubican en la zona norte; la zona sur presenta una combinación de transformadores de la forma de curva 1 y la forma de curva 2.

En la Fig. 8, se muestra otra forma de análisis de los transformadores del municipio de la Ceja del Tambo, con base en la división del área urbana en tres zonas, la norte en la que



Fig. 8. División de zonas del área de ubicación de los tranformadores.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo permiten inferir una curva de demanda diversificada para el municipio de la Ceja del Tambo, como se muestra en la Fig. 8 y compuesta por los datos de la Tabla 2.

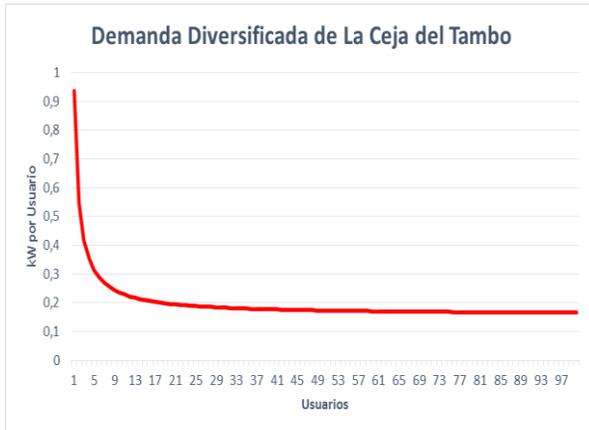


Fig. 9. Curva de Demanda Diversificada de La Ceja del Tambo

Esta curva tipifica que entre más número de usuarios tiene asociado un transformador, el consumo por cada uno de ellos tiende a cero.

N° Usuarios	kW por Usuario	kVA Totales	kVA Trafo	% de Uso
1	0,94	1,74	5	35%
2	0,55	2,03	5	41%
3	0,42	2,32	5	46%
4	0,35	2,61	5	52%
5	0,31	2,90	5	58%
6	0,29	3,20	5	64%
7	0,27	3,49	5	70%
8	0,26	3,78	5	76%
9	0,24	4,07	5	81%
10	0,24	4,37	5	87%
11	0,23	4,66	5	93%
12	0,22	4,95	5	99%
13	0,22	5,24	5	105%
14	0,21	5,53	5	111%
15	0,21	5,83	10	58%
16	0,21	6,12	10	61%
17	0,20	6,41	10	64%
18	0,20	6,70	10	67%
19	0,20	6,99	10	70%
20	0,20	7,29	10	73%

Tabla 2. Datos de Demanda Diversificada de La Ceja del Tambo

AGRADECIMIENTO

El autor expresa su agradecimiento a Dios por la fortaleza suficiente para alcanzar esta meta; a mi familia por su comprensión, paciencia y apoyo en los momentos de aciertos y desaciertos en el desarrollo del trabajo de grado; a las personas que participaron en la consolidación de este proyecto.

REFERENCIAS

- Franco Cardona, C., Velásquez Henao, J., & Olaya Morales, Y. (2008). Caracterización de la demanda mensual de electricidad en Colombia usando un modelo de componentes no observables. *Cuadernos de Administración*, 21(36), p. 221-235.
- Suárez Londoño, G. (2012). *Proceso metodológico para la caracterización de la carga eléctrica residencial*. Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Transmisión y Distribución de Energía, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín.
- Romero González, C., Díaz, P., Martínez, P., & Núñez, O. (2001). Caracterización de la curva de carga eléctrica en el sector sur oriente del Ecuador (Provincias de Azuay, Cañar, Morona Santiago, Loja y Zamora). *Acta Científica Ecuatoriana*, 7(1), p. 31-39.
- Casas, L., Ramírez, A., & Limonte, A. (2008). Características de las cargas del sector residencial en

Cuba. *Ingeniería Energética*,
29(1), p. 15- 18.

Guzmán Gómez, L. (2010). *Diseño e implementación de una técnica para la construcción de las curvas de demanda máxima diversificada para empresas del sector eléctrico colombiano*. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera Eléctrica,

Universidad Tecnológica de
Pereira.

Sanabria Domínguez, J. (2013). *Demanda diaria de energía en Colombia 2000-2013: una aplicación de P-SPLINES*. Trabajo de grado para optar al título de economista, Universidad del Valle, Cali.