

**METODOLOGÍA PARA ESTIMAR PERFILES DE DEMANDA AGREGADA A PARTIR DE  
MODELOS DE PATRONES DE TIEMPOS DE USO PARA CARGAS RESIDENCIALES  
INDIVIDUALES TIPO ELECTRODOMÉSTICO**

**MIGUEL ANGEL ARIZA SERRANO  
WILLIAM OSWALDO AMÉZQUITA BARRERA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA  
2016**



**METODOLOGÍA PARA ESTIMAR PERFILES DE DEMANDA AGREGADA A PARTIR DE  
MODELOS DE PATRONES DE TIEMPOS DE USO PARA CARGAS RESIDENCIALES  
INDIVIDUALES TIPO ELECTRODOMÉSTICO**

**MIGUEL ANGEL ARIZA SERRANO  
WILLIAM OSWALDO AMÉZQUITA BARRERA**

Trabajo de Grado para optar por el título de  
Ingeniero Electricista

Director  
**CESAR A. DUARTE GUALDRON**  
Ingeniero Electricista, PhD  
Codirectores  
**GABRIEL ORDOÑEZ PLATA**  
Ingeniero Electricista, PhD  
**GABRIEL MALAGÓN CARVAJAL**  
Ingeniero Electricista, MIE

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA  
2016**

## Dedicatoria

*A Dios por darme tanta fortaleza y perseverancia para que cada mañana no dejara de intentar alcanzar este hermoso sueño, porque eres mi guía en cada camino que deseo recorrer y porque siempre estas cuando más te necesito. A mi mamá Inés Barrera que hace dos años partió de la vida terrenal a una reunión realmente hermosa con DIOS, pero que luchó incansablemente por ver este sueño hecho realidad y hoy te puedo decir que lo hemos logrado, que te amo con todo mi corazón y este logro es para ti. A mi papá Álvaro Amézquita que me brinda cada día el mejor ejemplo que un padre le podría dar a su hijo, la dedicación para que cada día buscara incansablemente este hermoso sueño, todo esto es realidad gracias a tu apoyo incondicional en momentos buenos y difíciles que hemos tenido que pasar y gracias porque más que mi padre eres mi amigo. A mis hermanos Orlando Amézquita y Álvaro Amézquita que con su entrega y perseverancia me han enseñado que “querer es poder” y de quienes he recibido los mejores consejos para nunca desfallecer ante las diferentes adversidades que la vida nos impone. A mi hermano Holman Amézquita, a quien quiero con todo mi corazón, y espero que con el pasar del tiempo pueda verlo sonreír logrando sus propios sueños. A Angela Lizeth Boada por brindarme todo su amor y comprensión, por estar presente en los momentos más difíciles y compartir esta etapa de mi vida.*

*William Oswaldo Amézquita Barrera*

## Dedicatoria

*A Dios por darme la fuerza, la paciencia y la capacidad para aprender, por guiarme y encaminarme en este gran sueño que hoy se hace realidad. A mi madre por su amor y esfuerzo para brindarme lo mejor, por su sacrificio y apoyo incondicional en cada momento de mi vida, por su educación y consejos que me ha brindado para que se cumplan todas mis metas, por estar presente en todo momento corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos. A mi padre por sus consejos y apoyo para alcanzar este gran sueño, por ser un padre ejemplar y enseñarme valores de una familia, por su esfuerzo para brindarme un mejor futuro. A Eduardo Lagos que más que un amigo ha sido como un padre que me ha apoyado, por su dedicación y confianza que ha puesto en mí, por su educación y consejo que me han permitido tomar las mejores decisiones. A mis hermanos que por su amor incondicional hace que cada día luche para brindarles un mejor futuro y el mejor ejemplo, por los momentos felices que hemos vivido. A mis abuelos y a mi tío Hernando Serrano que con su amor me dan fuerzas para seguir adelante, por su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, por su educación y consejos que me han formado. A mi novia por permitirme entrar en su corazón y hacer parte de su vida, por brindarme todo su amor y dedicación, por apoyarme incondicionalmente para cumplir este gran sueño, por estar presente en todo momento y apoyándome en los momentos más difíciles.*

*Miguel Angel Ariza Serrano*

---

---

## Agradecimientos

*A la universidad industrial de Santander y a la escuela de ingeniería eléctrica, electrónica y telecomunicación por brindarnos un excelente nivel académico para afrontar de la mejor manera la vida profesional.*

*A nuestro director César Antonio Duarte Gualdrón por transmitirnos su conocimiento para el desarrollo de esta tesis y enseñarnos a tener un pensamiento como ingenieros de forma autónoma.*

*A nuestro codirector Gabriel Alexis Malagón por brindar su apoyo y su confianza para que este proyecto hubiese sido posible, por su tiempo y dedicación para transmitirnos sus conocimientos y hacer que este logro sea una realidad.*

*A nuestro codirector Gabriel Ordoñez Plata por brindarnos la orientación e información para el desarrollo de este proyecto.*

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	19
1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	22
2 JUSTIFICACIÓN.....	24
3 OBJETIVOS.....	26
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	26
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
4 MARCO REFERENCIAL.....	27
4.1 TIEMPOS DE USO.....	27
4.2 CATEGORIZACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS.....	29
4.3 MODELADO PROBABILÍSTICO.....	29
4.4 MÉTODOS ESTADÍSTICOS.....	30
4.5 USO EFICIENTE DEL CONSUMO ENERGÉTICO (GESTIÓN DE LA DEMANDA). .....	31
4.6 MODELOS DE CARGA ELÉCTRICA.....	32
4.7 PREDICCIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA.....	33
4.8 PLANIFICACIÓN DE LA RED.....	34
4.9 ASPECTOS CLAVES Y CONSIDERACIONES FINALES.....	35

---

4.10 PERFILES DE DEMANDA.....	36
5 METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACION DE PERFILES DE DEMANDA.....	38
5.1 MODELADO PROBABILÍSTICO DE LAS ACTIVIDADES DE LOS USUARIOS RESIDENCIALES QUE INVOLUCRAN CARGAS TIPO ELECTRODOMÉSTICO.....	39
5.1.1 Consideraciones para realización de una encuesta de tiempos de uso .....	40
5.1.2 Organización de datos de la encuesta .....	42
5.1.3 Extracción de códigos de identificación de los encuestados. ....	43
5.1.4 Segregación y discretización de datos .....	44
5.1.5 Obtención de matrices de transición .....	48
5.1.6 Modelado del comportamiento de los ocupantes .....	52
5.1.7 Estadísticas en el sector residencial .....	54
5.1.8 Implementación del modelado del comportamiento de los ocupantes.....	56
5.1.9 Análisis de resultados .....	60
5.2 ESTRATEGIA DE SIMULACIÓN QUE INVOLUCRA LOS PERFILES DE CARGA Y LOS MODELOS DE CARGA PARA EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE BAJA TENSIÓN.....	61
5.2.1 Conversión de las actividades de los usuarios residenciales a demanda de potencia.....	61
5.2.2 Clasificación y selección de los electrodomésticos.....	62
5.2.3 Modelos de carga eléctrica .....	63
5.2.4 Perfiles de carga.....	69
5.2.5 Simulación de perfiles de carga para determinado número de hogares .....	70
6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	74

---

6.1	MODELADO PROBABILÍSTICO DE LAS ACTIVIDADES DE LOS USUARIOS RESIDENCIALES QUE INVOLUCRAN CARGAS TIPO ELECTRODOMÉSTICO.....	78
6.1.1	Datos ATUS (American Time Use Survey).....	78
6.1.2	Características y aspectos a tener en cuenta en la lectura de los datos. ....	79
6.1.3	Códigos de identificación de los usuarios. ....	80
6.1.4	Segregación y discretización de datos. ....	81
6.1.5	Matrices de transición .....	83
6.1.6	Modelado del comportamiento de los ocupantes .....	86
6.1.7	Simulación de los ocupantes de una unidad residencial .....	88
6.2	SIMULACIÓN DE LOS PERFILES DE CARGA Y MODELOS DE CARGA PARA EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE BAJA TENSIÓN.....	90
6.2.1	Clasificación y selección de los electrodomésticos .....	91
6.2.2	Clasificación de los modelos de carga eléctrica .....	98
6.2.3	Perfiles de carga para una unidad residencial.....	105
6.2.4	Simulación de perfiles de carga para estimación de la demanda de potencia.....	111
7	CONCLUSIONES.....	121
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	123
	BIBLIOGRAFÍA.....	127

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Diagrama de flujo de códigos.....	44
Figura 2 Diagrama de flujo para la obtener las matrices de las actividades .....	47
Figura 3 Comportamiento de las cadenas de Markov. ....	50
Figura 4 Descripción de la diagonal principal de la matriz de transición.....	50
Figura 5 Diagrama de flujo para generar las matrices de transición.....	51
Figura 6 Ubicación de un número Pseudoaleatorio en la posición 7. ....	53
Figura 7 Diagrama de flujo para obtener perfiles de uso.....	54
Figura 8 Hogares según el número de personas .....	55
Figura 9 Diagrama de flujo para generar los tiempos de uso. ....	58
Figura 10 Diagrama de flujo para actividades compartidas.....	59
Figura 11 Perfil de uso generado aleatoriamente.....	60
Figura 12 Diagrama de flujo para la simulación de los perfiles de carga.....	72
Figura 13 Curva de demanda diaria para el sector residencial de estratos uno y dos (ESSA). .....	73
Figura 14 Probabilidad para realizar diferentes actividades durante un día .....	74
Figura 15 Curva de demanda de potencia activa para 5000 hogares .....	76
Figura 16 Factor de potencia para 5000 hogares.....	77

---

Figura 17 Curva de demanda de potencia reactiva para 5000 hogares .....	77
Figura 18 Vector de un único código por cada encuestado.....	81
Figura 19 Probabilidad de que un ocupante realice diferentes actividades en un día .	83
Figura 20 Probabilidades de transición de 5:59pm a 6:00pm.....	85
Figura 21 Actividad generada mediante el método de Monte Carlo. ....	86
Figura 22 Perfil de uso de un usuario residencial.....	87
Figura 23 Número de personas por una unidad residencial .....	88
Figura 24 Perfil de uso antes de considerar las actividades compartidas de los usuarios 1 y 2 .....	89
Figura 25 Perfil de uso antes y después de considerar las actividades compartidas ..	89
Figura 26 Perfiles de carga del usuario 4 de un hogar de 5 personas.....	106
Figura 27 Perfiles de carga del usuario 1 para un hogar de 2 personas. ....	107
Figura 28 Perfiles de carga del usuario 1 para un hogar de 5 personas. ....	108
Figura 29 Perfil de carga para un hogar de 6 personas .....	109
Figura 30 Perfil de carga de entretenimiento para un hogar de 5 personas .....	109
Figura 31 Perfiles de carga de preparación de alimentos para un hogar de 5 personas	110
Figura 32 curva de demanda de una unidad residencial de 8 personas.....	112
Figura 33 Simulación de la curva de demanda de entretenimiento .....	112
Figura 34 Simulación de la curva de demanda de entretenimiento. ....	113
Figura 35 Simulación de la curva de demanda de preparación de alimentos.....	114
Figura 36 Simulación de la curva de demanda de preparación de alimentos.....	115
Figura 37 Simulación de la demanda de potencia de 183 los hogares.....	116



Figura 38 Curva de demanda de Simulación VS curva de demanda ESSA.....	117
Figura 39 Curva de demanda de simulación VS curva de demanda ESSA con desplazamiento .....	118
Figura 40 Curva de demanda de un día típico para 183 hogares.....	119
Figura 41 Curva de demanda del transformador de distribución de Piedecuesta.....	119

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Factor probabilístico según el nivel de confianza .....	41
Tabla 2 Organización de los datos para crear de perfiles de demanda.....	42
Tabla 3 Matriz de la actividad dormir. ....	45
Tabla 4 Electrodomésticos en los hogares de Bucaramanga.....	56
Tabla 5 Factor de potencia y constantes de los modelos ZIP .....	66
Tabla 6 Niveles de tensión establecidos por la ESSA.....	68
Tabla 7 Matrices de transición de un paso de tiempo .....	84
Tabla 8 Número de personas para una determinada cantidad de hogares .....	88
Tabla 9 Características eléctricas de televisores .....	92
Tabla 10 Características eléctricas del DVD .....	92
Tabla 11 Características eléctricas de computadores portátil .....	93
Tabla 12 Características eléctricas de computadores de escritorio.....	93
Tabla 13 Características eléctricas de neveras.....	94
Tabla 14 Características eléctricas de hornos microondas .....	94
Tabla 15 Características eléctricas de licuadoras .....	95
Tabla 16 Características eléctricas de cafeteras.....	95

Tabla 17 Características eléctricas de las sanducheras.....	96
Tabla 18 Características eléctricas de ollas arroceras .....	96
Tabla 19 Características eléctricas de equipos de sonido.....	97
Tabla 20 Características eléctricas de ventiladores .....	97
Tabla 21 Características eléctricas de lavadoras .....	97
Tabla 22 Categorización para los electrodomésticos de entretenimiento.....	101
Tabla 23 Categorización para los electrodomésticos de cocción de alimentos .....	102
Tabla 24 Categorización de los electrodomésticos de aseo y otros .....	102
Tabla 25 Especificación de datos para la licuadora .....	103
Tabla 26 Estimación del porcentaje de pertenencia de los electrodomésticos .....	105

---

---

## RESUMEN

**TÍTULO:** METODOLOGÍA PARA ESTIMAR PERFILES DE DEMANDA AGREGADA A PARTIR DE MODELOS DE PATRONES DE TIEMPOS DE USO PARA CARGAS RESIDENCIALES INDIVIDUALES TIPO ELECTRODOMÉSTICO

**AUTORES:** MIGUEL ANGEL ARIZA SERRANO, WILLIAM O. AMEZQUITA BARRERA

**PALABRAS CLAVE:** Perfiles de carga, demanda eléctrica, modelado eléctrico, perfiles de demanda, tiempos de uso, modelado probabilístico, factor de potencia.

**DESCRIPCIÓN:** Para la demanda de potencia que se presenta en los hogares residenciales se desea establecer una metodología que contenga perfiles de demanda a partir de tiempos de uso, generando así modelos eléctricos para las actividades de la unidad residencial tales como: Dormir; hacer aseo; preparación de alimentos; usar la lavadora; ver televisión; uso del computador: fuera de la casa; actividades no eléctricas.

Para el modelamiento de los perfiles de uso de los usuarios residenciales se debe tener en cuenta las Cadenas de Markov y el método Monte Carlo (MCMC), que junto con los modelos de carga los cuales están constituidos por los modelos polinomiales/ZIP y las estadísticas realizadas por el censo del 2005 del DANE acerca de las probabilidades de penetración de los electrodomésticos en los hogares de Bucaramanga permiten generar los perfiles de demanda.

Las curvas de la demanda de potencia obtenidas a partir de los tiempos de uso y los parámetros variables de carga, se comparó el comportamiento con la curva de demanda de potencia de la electrificadora de Santander S.A. E.S.P. (ESSA) y la curva de demanda de potencia de un transformador de distribución del área metropolitana de Bucaramanga ubicado en un barrio de estrato uno y dos. De esta manera fue posible afinar el programa que permite estimar los perfiles de demanda de una determinada población o comunidad.

- 
- Trabajo de grado
  - Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: Dr. Johann Farith Petit Suárez, Ingeniero electricista.

---

---

## ABSTRACT

**TITLE:** METHODOLOGY FOR ESTIMATING AGGREGATE DEMAND PROFILES FROM MODELS OF TIME PATTERNS OF USE FOR INDIVIDUAL RESIDENTIAL LOADS APPLIANCE TYPE.

**AUTHORS:** MIGUEL ANGEL ARIZA SERRANO, WILLIAM O. AMEZQUITA BARRERA

**KEY WORDS:** Electric charge profiles, electric demand, electricity modeling, demand profiles, usage time, probabilistic modeling, power factor.

**ABSTRAC:** This degree work wants to establishing a methodology for power demand in residential homes that contains demand profiles from usage times, thus generating electric models for the residential unit activities such as: sleeping, cleaning; food preparation; using washing machine; watching TV; computer use: outside the house; not electrical activities.

For modeling the use of residential users profiles should take into account of Markov Chains and Monte Carlo Method (MCMC), which together with loading patterns, which consist of ZIP/spline models and statistics carried out by Census 2005 DANE about chances of penetration of appliances in the homes of Bucaramanga and allow to generate demand profiles.

The power demand curves obtained from the usage times and variable parameters load, was compared the behavior with the power of the Electrificadora de Santander S.A. E.S.P. (ESSA) demand curve and the power demand curve of a power transformer in the metropolitan area of Bucaramanga, located in a neighborhood of stratum one and two. In this way, was possible tune the program that allows to estimate demand profiles of a given population or community.

- 
- Bachelor Thesis
  - Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: Dr. Johann Farith Petit Suárez, Ingeniero electricista.

---

## INTRODUCCIÓN

Este documento presenta el desarrollo del trabajo de grado en la modalidad de investigación bajo el título “Metodología para estimar perfiles de demanda agregada a partir de modelos de patrones de tiempos de uso para cargas residenciales individuales tipo electrodoméstico”. El desarrollo del proyecto busca obtener los perfiles de demanda adecuados para cada una de las actividades a partir de los modelos de carga de los dispositivos eléctricos, de forma que con el ajuste de estos perfiles mediante la comparación de la demanda total simulada y con la curva demanda de la electrificadora de Santander (ESSA) sea posible generar de forma aproximada en comportamiento de la curva de demanda para un determinado número usuarios conectados a la red.

Por otra parte, para la caracterización del comportamiento de los usuarios residenciales y el modelado de los perfiles de carga eléctrica en este trabajo se abordado la metodología plasmada en [1]. De esta forma, también se estudian los diferentes factores que afectan el consumo energético y que día a día toman cada vez más relevancia, debido a los avances tecnológicos y al interés que hay por parte del operador de red para poder dar el manejo pertinente de la demanda eléctrica [2], [3].

Esta caracterización agrega un nivel de incertidumbre que afecta considerablemente los modelos que representan el consumo energético. Esta incertidumbre podría estar relacionada con el número de ocupantes de una unidad residencial, sus hábitos, el clima, criterios culturales y socioeconómicos de la región en particular a la que pertenecen los

---

usuarios entre otros aspectos relacionados con la variación de la demanda eléctrica [4],. Por lo tanto, una simulación de Monte Carlo en donde se asignen aleatoriamente algunas de estas cargas, con una probabilidad para que se de este evento particular puede reducir de manera significativa esta incertidumbre.

Desde este punto de vista, una de las estrategias para la estimación de la demanda de cargas de uso residenciales, está basada en la utilización de patrones en el comportamiento de los usuarios durante actividades diarias que vinculan estos electrodomésticos [5]. Estos patrones están dados por los tiempos de uso para las diferentes actividades que se mencionaran en el desarrollo de este proyecto, estas actividades se definen para corresponder a las grandes cargas de consumo de energía que se encuentran comúnmente en el sector residencial. [6], estos a su vez son totalizados en el tablero de distribución principal, los cuales se conectan a la red de distribución de baja tensión a través de las diferentes acometidas de cada vivienda.

Sin embargo, debido a la aleatoriedad en la conexión y desconexión de las cargas, se deben implementar métodos matemáticos que permitan modelar el comportamiento entrada/salida de las cargas mediante un método estocástico como el de Monte Carlo, el cual permite obtener un perfil demanda dinámico [7], [8], donde los tiempos de uso son el principal componente para la asignación aleatoria de entrada y salida de las posibles cargas eléctricas envueltas en cada una de las actividades comunes en los usuarios residenciales [9].

De modo que, este trabajo aborda una metodología para el establecimiento de perfiles de demanda a partir de tiempos de uso de actividades típicas en usuarios residenciales y modelos de carga de los electrodomésticos de cada unidad residencial vinculadas a estas. Asimismo, este trabajo corrobora los resultados obtenidos, mediante la comparación de la curva de demanda de potencia de la electrificadora de Santander S.A. E.S.P. (ESSA) y la curva de demanda de potencia de un transformador de distribución del área metropolitana de Bucaramanga ubicado en un barrio de estrato uno y dos [10].

---

## 1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente se ha despertado un creciente interés por la optimización de los recursos energéticos, debido al impacto ambiental que se genera durante la obtención de la energía eléctrica. Países desarrollados como Estados Unidos, Reino Unido y Canadá presentan algunas ideas favorables para la reducción del consumo energético. Una de ellas es la estimación adecuada de la demanda eléctrica que permite al generador suministrar la potencia activa y reactiva necesaria al momento de abastecer al usuario, minimizando de esta forma las pérdidas durante la reserva rodante, la generación, la transmisión y la distribución de la energía [11].

El presente trabajo de grado se enfoca en la estimación de la demanda eléctrica en áreas residenciales, estableciendo una serie de factores que se tendrán en cuenta para el modelado de actividades típicas en usuarios residenciales, las cuales presentan características de funcionamiento variable. De acuerdo a estas actividades típicas y los dispositivos empleados se determinan los perfiles de demanda de los diferentes usuarios residenciales [7].

Sin embargo, este comportamiento de tipo aleatorio en los usuarios se genera durante el modelado la mayor parte del problema, puesto que el cálculo del perfil de demanda de forma determinística puede no describir de manera adecuada cómo se comportan los usuarios, ocasionando en muchos casos un sobredimensionamiento de este perfil y llevando a cabo toma decisiones no favorables para la ejecución del proceso a implementar.

De modo que para establecer un perfil adecuado que pueda describir los cambios característicos de la carga se deben tener en cuenta algunas variables, como lo son: el número de usuarios presentes en el hogar, el comportamiento de los mismos, los tipos de electrodomésticos usados en la unidad residencial, el clima en la zona geográfica y los posibles incrementos en la demanda que se generan los fines de semana [7], [11].

Sin embargo, la utilización de procesos estocásticos para el modelado del comportamiento variable de las cargas, puede permitir una mejor caracterización del modelado de la demanda eléctrica en los usuarios residenciales [5], [9], estas características establecen un enfoque para realizar la adecuada caracterización de cada uno de los modelos, que se desean identificar a partir de una recopilación de datos que serán arrojados por los usuarios residenciales [4].

De esta manera, una posible solución para la predicción de la demanda eléctrica puede estar basada en el modelado del comportamiento de los usuarios mediante cadenas de Markov y métodos de tipo estocástico como Monte Carlo (MCMC), lo que conlleva a obtener perfiles de demanda en tiempo discreto que van cambiando con el paso del tiempo de manera aleatoria y solo dependen del estado inmediatamente anterior [7], [8], [3].

De modo que, se espera contrastar los resultados del presente proyecto con los datos reales obtenidos de un transformador de distribución ubicado en un barrio de estrato uno y dos del área metropolitana de Bucaramanga. No obstante, se desea comparar la curva de simulación con la curva de demanda disponible en la norma de la electrificadora de Santander, permitiendo sintetizar los diferentes escenarios de carga para establecer una metodología que contribuya a la construcción de modelos de demanda eléctrica en el sector residencial, permitiendo que en futuros proyectos sea posible evaluar los beneficios de la Gestión de la demanda dentro de los escenarios enmarcados por las redes inteligentes.

---

## 2 JUSTIFICACIÓN

El enfoque bajo el cual está orientado este proyecto obedece al establecimiento de un modelo probabilístico de las actividades de los usuarios residenciales que permita la relación con los diferentes tipos de electrodomésticos, accediendo a una aproximación del consumo real en una unidad residencial para la estimación de perfiles de demanda eléctrica.

Los beneficios derivados de la implementación de esta metodología pueden ser significativos tanto para los consumidores como para los operadores de red, que son los encargados del suministro de energía eléctrica, puesto que una vez se tenga pleno conocimiento del comportamiento de la demanda y los factores que ocasionan los cambios en cada uno de los personajes que conforman el sistema eléctrico, lo cual genera una afección en el consumo o abastecimiento de la energía, se pueden proponer estrategias relacionadas con la gestión de la demanda, como la formulación de tiempos de uso u horarios con beneficios en los precios del kilowatt-hora para ciertas franjas del día, con el objetivo de aplanar los picos de la demanda máxima que pueden traer problemas al operador y la red misma.

Este proyecto propone una estrategia de predicción de demanda donde se involucran los diferentes componentes previstos para obtener el modelo de demanda de las diferentes cargas, que son utilizadas en las actividades de los usuarios residenciales [12], una de las ventajas de la implementación de este modelo para la estimación de demanda corresponde a la posibilidad de estimar la demanda a lo largo del día durante etapas previas a la construcción, esto además puede permitir predecir escenarios futuros como la aceptación masiva de cargas por usuarios residenciales, así como escenarios en donde los usuarios



obedecen a ciertas señales de precios formuladas a través de funciones de respuesta y gestión de la demanda, como en el caso de franjas horarias o Time of use con energía a menor costo.

De esta forma, la puesta en marcha de un modelo funcional que pueda describir el comportamiento de la demanda de energía eléctrica y la influencia de las actividades de los usuarios residenciales en estas curvas podría traer consigo un mejoramiento y uso de la demanda eléctrica, así como un mejor conocimiento de la demanda por parte de los usuarios lo cual a su vez podría motivar un futuro cambio de paradigma hacia un usuario residencial preocupado por su consumo energético y su función dentro de la era del cambio climático que el planeta afronta.

---

## **3 OBJETIVOS**

### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Definir una metodología que permita estimar perfiles de demanda agregada de energía eléctrica a partir de modelos determinísticos y/o estocásticos de patrones de uso de cargas residenciales individuales (tipo electrodoméstico).

### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Seleccionar los datos de entrada para los modelos a partir de información disponible de Encuestas de Tiempos de Uso (Time of Use Survey - TUS), relacionadas con las actividades propias de los usuarios residenciales.
- Establecer un modelado probabilístico de las actividades de los usuarios residenciales que involucren energía eléctrica y por consiguiente cargas tipo electrodoméstico.
- Proponer un procedimiento para la conversión de las actividades de los usuarios residenciales a demanda de potencia agregada por actividad.
- Establecer el modelado eléctrico de las diferentes cargas relacionadas con las actividades de los usuarios residenciales
- Proponer una estrategia de simulación que involucre los perfiles de carga y los modelos de carga para cada una de las cargas individuales y/o cargas por actividad para el sistema de distribución de baja tensión de prueba a analizar.

## 4 MARCO REFERENCIAL

En este capítulo se presentan investigaciones y antecedentes consultados que ratifican los conceptos básicos utilizados en la metodología, conceptos como: tiempos de uso, matrices de transición, conversión de las actividades de los usuarios residenciales a demanda de potencia agregada por actividad, perfiles de carga, perfiles de demanda, modelos eléctricos de las diferentes cargas relacionadas con las actividades de los usuarios residenciales.

A partir de los conceptos básicos utilizados en la metodología se realizan tres etapas:

- La primera es organizar los datos que se van a tratar para el manejo de las actividades de los usuarios residenciales.
- La segunda es el modelado de los dispositivos eléctricos a demanda de potencia.
- La tercera comprende la implementación con Matlab de una estrategia de simulación para los perfiles de carga y modelos de carga de las actividades de los usuarios residenciales.

### 4.1 TIEMPOS DE USO

En los últimos años, la investigación en el sector eléctrico se ha enfocado en la optimización y mejora de los diferentes sectores que conforman el sistema (residencial, comercial e industrial), tomando notable relevancia en el sector residencial y sus usuarios dentro de

---

nuevos paradigmas como son las redes inteligentes. De esta forma tópicos como la respuesta a la demanda, gestión de la demanda y tiempos de uso son temas de interés dentro de la comunidad científica y la industria del sector eléctrico.

Por consiguiente, los tiempos de uso pueden ser tenidos en cuenta para la estimación de la demanda eléctrica, debido a que describen el comportamiento de los usuarios residenciales durante la realización de actividades diarias permitiendo a su vez describir el comportamiento eléctrico en cada actividad donde intervienen más de una persona en una unidad residencial.

De este modo, los tiempos de uso permiten tener datos de entrada para modelado de perfiles de uso a través del enfoque de abajo hacia arriba (bottom-up) que presenta las referencias [7], [9]. En este enfoque se plantea la utilización de las cadenas de Markov y el método Monte Carlo para desarrollar perfiles de demanda. La combinación de perfiles de uso con las diferentes características de potencia propias de cada electrodoméstico permite crear modelos detallados de la demanda de cargas residenciales, adecuados para el análisis de aplicaciones de redes inteligentes y la gestión de la demanda.

Por otra parte, con base en los datos proporcionados por la Oficina del censo de los Estados Unidos, a través de la encuesta de empleo del tiempo americana (ATUS). A través de esta encuesta se clasificaron 10 actividades distintas que corresponden a las principales actividades realizadas por los usuarios residenciales y que relacionan a las grandes cargas de consumo de energía y que comúnmente son utilizadas en el sector residencial.

---

## 4.2 CATEGORIZACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS

El consumo energético también es posible clasificarlo de acuerdo al tipo de aparatos en cuatro categorías: aparatos de refrigeración; calefacción; ventilación y aire acondicionado; iluminación y energía consumida por los dispositivos electrónicos de la unidad residencial. Los tres primeros pueden ser modelados mediante procesos físicos, mientras que el último se fundamenta en los patrones de las actividades de las personas permitiendo ser modelados mediante cadenas de Markov.

De este modo, cada una de estas cuatro categorías se encuentran representadas por un número de aparatos eléctricos con sus respectivas características eléctricas tales como: potencia nominal, tensión nominal, corriente nominal y frecuencia. El funcionamiento de una cantidad pequeña de estos dispositivos electrónicos posee ciclos de trabajo, por ejemplo, el cambio en la demanda de energía durante el ciclo operativo de la máquina de lavar, debido a que tiene tres componentes internos que producen el consumo de energía, la parte electrónica y dos motores de inducción uno de par constante y otro par cuadrático [13], [7].

No obstante, para establecer otra forma de categorizar los electrodomésticos es a través del consumo eléctrico por el cual se encuentran representados de la siguiente manera: “A” menor consumo de energía (más eficiente) y “G” mayor consumo de energía (menos eficiente). De acuerdo al tipo de tecnología unos producirán mayores cambios en la demanda eléctrica que otros, por ejemplo, un horno de clase “G” consumirá más del doble de energía que uno de clase “A” [14].

## 4.3 MODELADO PROBABILÍSTICO

La clasificación de las actividades es realizada con el propósito de diseñar un modelo probabilístico que permite crear un escenario aleatorio para modelar un conjunto de

---

situaciones cercanas a la realidad que conllevan al aprovechamiento de las posibles tendencias del comportamiento del cliente. Las probabilidades representan la integración de los usuarios en las diferentes actividades, para estimar los patrones de consumo dados por el estilo de vida de los usuarios, considerando una opción importante para promover programas de respuesta a la demanda y lograr un ahorro energético.

De acuerdo con, el consumo de electricidad en un grupo de unidades residenciales presenta varios tipos de incertidumbres, dependiendo de los diferentes estilos de vida de los usuarios. Sin embargo, mediante un enfoque probabilístico es posible obtener un modelo de distribución de probabilidad binomial que permite extraer la tendencia de la demanda con respecto al tiempo de un día típico [15].

De igual manera, el enfoque probabilístico es un modelado de uso final a la previsión de la demanda eléctrica debido que para generar los diferentes modelos de carga eléctrica para los electrodomésticos y la interacción con las actividades se utiliza el método de Monte Carlo que genera probabilidades aleatoriamente para un cambio en la demanda. En este trabajo, el efecto del tiempo de muestreo se evalúa para diferentes agregaciones de cargas residenciales [16], [15].

#### **4.4 MÉTODOS ESTADÍSTICOS**

El desarrollo de modelos estadísticos para usuarios residenciales está basado en la resolución de tiempo minuto a minuto, lo cual permite determinar el comportamiento de los ocupantes de un hogar de acuerdo a las actividades típicas en donde intervienen los electrodomésticos. Estos modelos estadísticos permiten considerar el número mínimo de personas y de múltiples hogares de los ocupantes, para representar estadísticamente el

---

comportamiento residencial y así obtener la estimación del consumo de energía durante los intervalos de tiempo que una actividad genere una demanda de energía [6].

Por consiguiente, estos modelos de comportamiento de los ocupantes son simulados para observar cómo interactúan con las principales cargas de consumo de energía residencial durante un lapso de tiempo (1440 minutos). El principal enfoque de los modelos estadísticos se encuentra desarrollado por las cadenas de Markov debido que depende de los datos estadísticos de los ocupantes, es decir las encuestas realizadas para determinar el comportamiento de los usuarios en una unidad residencial [17], [6], [7].

No obstante, los dispositivos eléctricos se implementan de acuerdo a su tipo de carga para un balance estadístico de uso en los diferentes hogares, donde a cada tipo de electrodoméstico se le genera su grado de pertenencia. Además de esto, las estadísticas de propiedad de dispositivos y funciones de probabilidad de la demanda de energía se presentan para las principales cargas residenciales [13].

#### **4.5 USO EFICIENTE DEL CONSUMO ENERGÉTICO (GESTIÓN DE LA DEMANDA)**

El interés por la gestión de la demanda se vislumbra como una herramienta clave en la administración de las redes de nueva generación o Smart Grids. Así mismo permite aminorar los posibles impactos en la variación del consumo energético diario de los usuarios por cuenta de sus dispositivos eléctricos. Además de esto, se deben mejorar los modelos de carga para el rendimiento y la planificación del sistema de potencia que se representen correctamente los cambios en la demanda de energía activa y reactiva de la carga modelada como una función de las condiciones de suministro [8], [9].

---

De igual manera, un control adecuado de los recursos energéticos con lleva a una disminución en los costos de energía y una reducción del número de centrales eléctricas conectadas a la red, lo cual permite mantener la oferta y la demanda equilibrada y así brindar a los usuarios un servicio eficiente. De esta manera, la gestión de la demanda también promueve la generación distribuida, puesto que permite disminuir el transporte de gran cantidad de energía a largas distancias, reduciendo los costos por transmisión, evitando las pérdidas de energía y la construcción de nuevas centrales eléctricas.

#### 4.6 MODELOS DE CARGA ELÉCTRICA

Los modelos de carga especifican la potencia activa y reactiva de forma matemática, de manera que es posible representar cada electrodoméstico mediante un modelo eléctrico que permite analizar las características eléctricas y su estructura de funcionamiento para establecer el comportamiento de un sistema de baja tensión. Los modelos de carga se encuentran en detalle a través de una gran base de datos de estadísticas de carga, donde se especifican sus aspectos individuales para el manejo de las diferentes cargas residenciales [7], [18], [19].

Así mismo, la demanda de energía de los aparatos eléctricos por lo general, está en función de las condiciones de suministro, es decir, como una función de la magnitud de la tensión de alimentación, que puede variar en el intervalo de +5% y -10% de la nominal [20]. Además de esto, por las características de la carga que se encuentran especificadas por medio de los modelos polinomiales / ZIP.

Por lo tanto, los modelos eléctricos se encuentran representados por medio de los modelos polinomiales / ZIP donde sus características de carga están definidas como: impedancia constante, carga de corriente constante, carga de potencia constante. Los dispositivos

---

eléctricos deben ser categorizados para hacer uso de las especificaciones que se muestran en [13] que al ser combinados con las características eléctricas se obtiene la potencia activa y reactiva de operación de cada uno de los modelos [18], [19].

De esta manera, los modelos de carga de baja tensión son capaces de soportar las variaciones estocásticas del comportamiento de los usuarios residenciales, los cuales se encuentran representados a través de métodos probabilísticos como las cadenas de Markov y método Monte Carlo (MCMC). Los modelos proporcionan variaciones temporales previstas en los perfiles de carga y una información detallada sobre las variaciones a corto y a largo plazo de las características eléctricas de cada una de las cargas [7].

Por otra parte, se crea un marco de simulación que permite sintetizar el aumento de la demanda de carga de los hogares. Sin embargo, teniendo en cuenta que en realidad cada hogar tiene un conjunto único de electrodomésticos, con diferentes marcas, modelos y potencia nominal, mientras que la simulación propuesta en este trabajo supone una cierta homogeneidad entre los dispositivos así como una potencia constante para los dispositivos que se encuentren categorizados como: motores de inducción monofásicos (SMPS) y cargas resistivas, que permite mejorar la simulación debido a que la variación en las cargas se realiza en intervalos de tiempo minuto a minuto.

#### **4.7 PREDICCIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA**

La predicción de la demanda eléctrica es posible mediante el uso de la monitorización y control digital en las redes eléctricas de baja tensión (BT), pero pese a la falta de información disponible de la red y de las cargas conectadas, es conveniente tener una mejor comprensión del comportamiento de los usuarios y el uso de las cargas debido a que proporcionan una oportunidad para mejorar el rendimiento de la red eléctrica.

---

Sin embargo, el consumo de electricidad en una unidad residencial está relacionado con el clima, con la iluminación y con un grupo de aparatos que estén en funcionamiento para cada hora del día. De manera que, dado el consumo total por hora, se realiza una segregación para obtener el consumo relacionado con el clima y la iluminación, seguidamente al aplicar un modelo analítico se extrae el consumo de electricidad de los diversos aparatos o grupos de aparatos.

De tal manera que este proceso puede ser usado como una herramienta para predecir el consumo de energía eléctrica a corto plazo o para fines de redes inteligentes. No obstante, si se desea realizar una mejora que permita soportar dispositivos que no siguen estrictamente un proceso de dos estados, se debe utilizar las cadenas de Markov para introducir un modelado de más estados o nuevas dependencias [2], [9].

#### **4.8 PLANIFICACIÓN DE LA RED**

La estimación adecuada de la demanda garantiza el funcionamiento eficiente del sistema eléctrico, y de esta forma el establecimiento de modelos eléctricos que brinden información veraz y suficiente acerca del comportamiento de los clientes residenciales para la reducción de costos en las redes, es importante tener en cuenta el análisis de la demanda de los usuarios y la carga de los equipos, para así planificar y operar las redes dentro de sus límites, Los principales criterios para el proceso de planificación del sistema de distribución son: caída de tensión, capacidad de carga del equipo y la corriente de cortocircuito, para poder realizar la evaluación de la planificación de la red se debe tener presente los costos de capital, costos de explotación así como los costos debido a las pérdidas.

Ahora bien, la diversidad de cargas que se establece en un sistema eléctrico, se realiza con el fin de determinar como un cliente ordinario tiene una carga de base constante con unos cientos de vatios y cargas que producen picos de algunos kilovatios, de este modo si los

---

picos de carga de varios usuarios se producen rara vez al mismo tiempo se introduce la demanda coincidente, que representa la demanda máxima coincidente de un grupo de consumidores durante periodos de demanda máxima del sistema, por esta razón los equipos en una red tienen que soportar los cambios de carga y las diferentes caídas de tensión.

De este modo se presentan dos tipos de modelos de carga para el proceso de planificación de la red. El primer tipo se presenta debido a la influencia de usuarios en una unidad residencial si en un instante de tiempo se encuentran compartiendo el mismo dispositivo eléctrico, por esta razón se genera una demanda pico coincidente. El segundo tipo es un enfoque de abajo hacia arriba, que es más preciso y resulta a partir de una curva de carga, esta curva de carga puede ser analizada y utilizada no solo para fines de la planificación de la red, si no para el funcionamiento de la red [5].

#### **4.9 ASPECTOS CLAVES Y CONSIDERACIONES FINALES**

El comportamiento del consumidor residencial presenta aspectos claves en la influencia de la demanda eléctrica que deben ser analizados detenidamente teniendo en cuenta aspectos fundamentales como: la información disponible de las encuestas que permitan identificar que actividades son dependientes de la electricidad y cuales no; el modelado de los dispositivos eléctricos mediante los modelos polinomiales/ZIP teniendo en cuenta sus características de potencia constante, impedancia constante y corriente constantes; y el modelamiento de la demanda en un marco de simulación configurado con los parámetros calculados a partir de los datos de tiempos de uso [8].

Por lo tanto, la información proporcionada por la encuesta de tiempos de uso americano (American Time Use Survey, ATUS) [13], permite tener especificaciones detalladas acerca del tiempo de permanencia en cada una de las más de 400 actividades, es decir que para

---

ciertos fines puede ser de interés mirar las actividades que las personas hacen en determinado momento del día, por ejemplo, el tiempo de uso del computador como entreteniendo.

De tal manera que se debe establecer un número de actividades de uso típico en los usuarios residenciales donde intervienen electrodomésticos o el uso de la energía eléctrica, así mismo se deben reunir las especificaciones necesarias del lugar donde se realiza el proyecto y las características de los electrodomésticos que intervienen en cada actividad.

De igual manera en [13] se especifica cada uno de los pasos a seguir para modelar los dispositivos eléctricos que se encuentran en una unidad residencial, donde los electrodomésticos se categorizan de acuerdo a su potencia nominal y su tecnología, para obtener la potencia de operación que es asignada al perfil de cada actividad dependiendo del aparato que se encuentre en funcionamiento.

Por lo tanto, se realiza un análisis detallado que permite establecer la curva de demanda de potencia de un grupo determinado de unidades residenciales el cual es el objetivo principal en la realización de este proyecto, donde se pretende establecer una base para efectuar futuras ampliaciones en la proyección de la demanda eléctrica.

#### **4.10 PERFILES DE DEMANDA**

La simulación de la demanda eléctrica es imprescindible debido a que nos permite evaluar la lógica y la matemática encargada de crear modelos que describen el comportamiento de los usuarios residenciales durante intervalos de tiempo de un minuto. Por tal razón al crear un código dinámico brinda la posibilidad de evaluar diferentes parámetros como: el número de aparatos en cada hogar y la frecuencia con que se utilizan; el número de ocupantes en cada unidad residencial; la posibilidad de realizar actividades conjuntas entre los habitantes que conforman el hogar; y el número de viviendas.

No obstante, la aleatoriedad de la simulación está dada por la función rand de Matlab, que permite generar un número Pseudoaleatorio entre 0 y 1, el cual es utilizado en el método Monte Carlo para determinar mediante una distribución de probabilidad la acción que se realiza en cada intervalo de tiempo.

Finalmente, la simulación es realizada mediante modelos donde todas las actividades son independientes una de la otra y cuando se realiza la transición de una actividad a otra es debido cadenas de Markov y el método Monte Carlo. Sin embargo, hay algunas excepciones a esta consideración debido a que son dependientes. Por ejemplo, estar durmiendo y tener el televisor encendido, es decir que la actividad principal es dormir más sin embargo se considera la actividad de ver televisión [8].

---

## 5 METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE PERFILES DE DEMANDA

La metodología de la estimación de perfiles de demanda para el sector residencial de la ciudad de Bucaramanga se desarrolla en dos secciones: en la sección 5.1 se describe el procedimiento para la implementación de encuestas de tiempos de uso para ser ejecutadas a través de los métodos de Monte Carlo y las Cadenas de Markov (MCMC), para obtener los perfiles de uso de los ocupantes de las unidades residenciales. En la sección 5.2 se muestran las especificaciones de los modelos de carga, los cuales se encuentran representados por los modelos ZIP para obtener la potencia de operación de los equipos y así ser asignadas de acuerdo a la actividad realizada en un intervalo de tiempo (minuto a minuto) para formar los perfiles de carga en un marco de simulación donde se obtienen los perfiles de demanda de los usuarios residenciales.

De manera que, se ilustran los resultados en las secciones 6.1 y 6.2, las cuales especifican las características de los ocupantes en una unidad residencial, por medio de las encuestas (ATUS), que son las encargadas de proporcionar la información base para la simulación de los ocupantes, de igual forma se realiza una clasificación y categorización de los electrodomésticos para generar los perfiles de carga y demanda eléctrica de los usuarios de estratos uno y dos.

En primer lugar, para caracterizar el comportamiento de los usuarios residenciales y reducir el nivel de incertidumbre presente en los perfiles de carga, es necesario implementar las técnicas de modelado probabilístico y estadístico que se encuentran asociadas a los electrodomésticos. Por otra parte, los dispositivos eléctricos inteligentes alteran el tiempo de uso de ciertas cargas, pero los patrones de uso impulsaran los principales periodos de

---

actividad dentro de las viviendas. Por esta razón, el modelado de este trabajo empieza a partir de las encuestas tomadas de los tiempos de uso (ATUS).

Así mismo, la demanda de energía está conectada implícitamente a una serie de factores que se utilizan para la definición de los grupos de usuarios para fines de modelado y la forma como se involucran los dispositivos eléctricos con las actividades, para construir modelos de carga y perfiles de demanda. Esto se realiza con el propósito de establecer la demanda eléctrica de cada uno de los usuarios residenciales para determinar su consumo y la forma que interactúan las cargas a lo largo de un día.

### **5.1 MODELADO PROBABILÍSTICO DE LAS ACTIVIDADES DE LOS USUARIOS RESIDENCIALES QUE INVOLUCRAN CARGAS TIPO ELECTRODOMÉSTICO**

En este capítulo se realiza un estudio de las etapas planteadas para el desarrollo de este proyecto, donde contenga información detallada acerca de las consideraciones y aspectos que se tuvieron en cuenta, así como las características principales requeridas para el acceso de la información disponible una vez realizadas las encuestas propuestas.

Por otra parte, la razón por la cual fueron utilizados los datos obtenidos de las encuestas realizadas en Estados Unidos es debido a que en Colombia no se ha realizado una encuesta que contenga los tiempos de uso de los electrométricos. Por consiguiente, se dará a conocer la forma de implementar el método de Monte Carlo y las Cadenas de Markov para obtener los perfiles de uso de las unidades residenciales.

Finalmente, Para la descripción de esta primera parte de la metodología se tiene como resultados los perfiles de uso para una determinada unidad residencial donde se consideran

las actividades compartidas. No obstante, se debe tener en cuenta los siguientes aspectos: características de los usuarios, número de ocupantes por unidad residencial, modelado del comportamiento de los ocupantes e implementación del modelado del comportamiento de los ocupantes.

**5.1.1 Consideraciones para realización de una encuesta de tiempos de uso.** Para el diseño de la encuesta de tiempos de uso se debe recopilar información acerca del comportamiento de las personas, con los electrodomésticos en las diferentes actividades que realizan en el uso diario. En este tipo de encuesta se debe hacer una clasificación detallada de los tipos de dispositivos eléctricos y sus características eléctricas, para que con la cantidad de encuestas estimadas se pueda obtener la probabilidad de uso en los hogares de Bucaramanga. Como segunda medida, es importante obtener información acerca de la interacción de los equipos eléctricos con las actividades durante los diferentes intervalos de tiempo en que se presenta el uso de cada uno de estos electrodomésticos.

**Muestra.** Para realizar una muestra representativa de un conjunto de habitantes, se debe inferir en las propiedades que permitan extraer la información similar a la obtenida en un estudio de toda la población evitando así una reducción en los costos y en el tiempo destinado para la encuesta. Por tal razón, se debe tener en cuenta el tamaño de la muestra que garantice la estimación de los parámetros para un determinado nivel de confianza, lo cual se realiza a través de la siguiente expresión:

$$n_0 = \frac{z^2 * p * q * N}{e^2 * (N - 1) + z^2 * p * q} \quad (1)$$

Donde:

- $N$ : Tamaño de la población o universo.
- $n_0$ : Tamaño de la muestra.
- $z$ : Factor probabilístico dado por el nivel de confianza.
- $P$ : Porción de individuos que poseen en la población la característica de estudio. este dato es generalmente desconocido y se suele suponer como la opción más segura de 0.5.
- $Q$ : Porción de individuos que no poseen esa característica es decir  $1-P$ .
- $e$ : Error máximo permitido.

Los valores de  $z$  más utilizados y sus valores de confianza son:

**Tabla 1** Factor probabilístico según el nivel de confianza

$Z$	1.64	1.96	2	2.58	3
Nivel de confianza	90%	95%	95.5%	99%	99.7

Fuente: Datos tomados del libro muestreo estadístico y diseño de aplicaciones [21].

**Encuesta.** Mediante la realización de la encuesta se debe obtener información acerca de las actividades realizadas durante un día en especial donde intervinieron electrodomésticos. Por tal razón, las preguntas realizadas a los encuestados deben presentar características básicas como: la representación de las personas encuestadas mediante un código; la enumeración de las actividades realizadas por cada encuestado según el orden en que fueron realizadas; la hora de inicio y fin de cada actividad; la codificación de las respectivas actividades realizadas; y el número de personas que estuvieron presentes en cada actividad.

**5.1.2 Organización de datos de la encuesta.** Debido a la cantidad de información que se obtiene al momento de realizar una encuesta es conveniente clasificarla, ordenarla y presentarla adecuadamente, de tal manera que permita la fácil comprensión y descripción al momento de realizar un análisis y de esta forma procesar adecuadamente los datos.

A continuación, se propone la organización de la información que establece el buen manejo de los datos resultantes de una encuesta mediante una tabla en un archivo de Excel, en donde la primera columna contiene los códigos de los encuestados, estos a su vez se repetirán de acuerdo al número de actividades realizadas por un encuestado, la segunda columna se conforma por la numeración de las actividades realizadas por cada encuestado, la tercera y cuarta columna comprende la hora de inicio y fin de cada actividad respectivamente, la quinta columna abarca los códigos correspondientes a cada actividad y la sexta columna identifica el número de personas que intervinieron en cada actividad del encuestado.

**Tabla 2** Organización de los datos para crear de perfiles de demanda

Código del encuestado	Número de la actividad	Tiempo		Código de la actividad	Número de personas que intervienen
		Inicio	Fin		

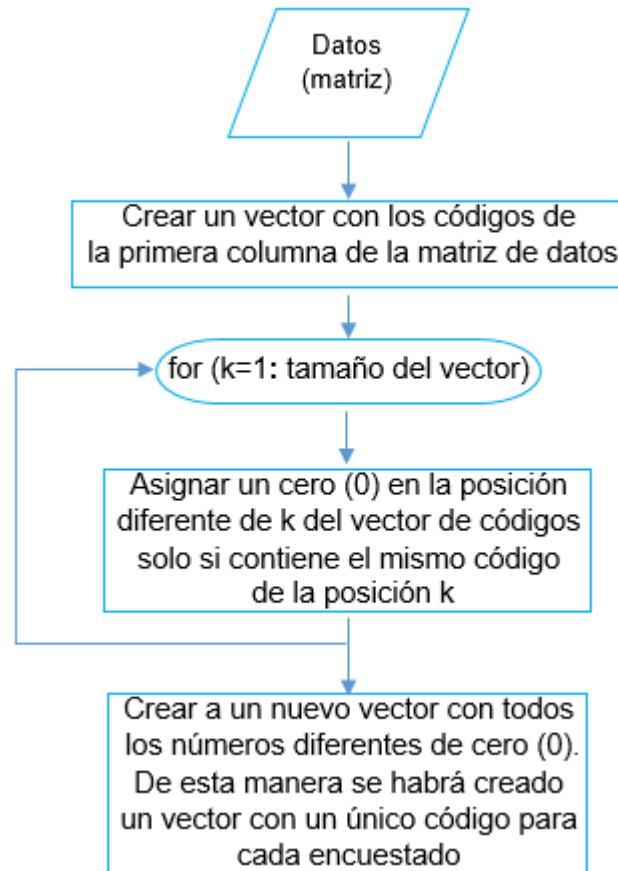
---

Una vez se consolidan los archivos con los datos de las encuestas en un archivo de Excel (.xlsx) son guardarlos en un archivo MAT (.mat) para facilitar su manejo en Matlab.

**5.1.3 Extracción de códigos de identificación de los encuestados.** Después de haber guardado la información de las encuestas en un archivo MAT (.mat) y teniendo en cuenta la organización de los datos propuestos, se realiza un código en Matlab que permite crear un vector con un número de identificación de todos los encuestados de tal manera que contiene un único código para cada uno de ellos.

De forma que, el programa debe crear una copia de la primera columna de los datos (matriz de datos en archivo Mat) formando un vector donde se le asigne un cero (0) en la posición  $k+1$ ,  $k+2$ ,  $k+3$ , ...,  $k+n$  siempre y cuando se encuentre almacenado un código igual al de la posición  $k$ . finalmente el programa debe crear un nuevo vector donde se le asignan todos los números de identificación de los usuarios excepto el número cero (0). De esta manera se crea un vector con un único código por cada encuestado para todo tamaño de muestra. Ver Figura 1

Figura 1 Diagrama de flujo de códigos



**5.1.4 Segregación y discretización de datos.** La matriz de datos conformada por los resultados de la encuesta no presenta organización uniforme en las actividades, debido a que están asignadas en el orden en que se realizaron. Por tal razón, una segregación de los datos permite seleccionar y extraer la hora de inicio y fin de cada actividad realizada por los encuestados, así mismo se debe realizar la discretización de los datos obtenidos de manera que permita la manipulación de la información.

Como primera medida se debe seleccionar y agrupar las actividades de interés para el análisis de este proyecto, posteriormente se realiza una discretización del tiempo destinado por el encuestado en cada actividad durante 24 horas, es decir que se tendrá información del usuario en intervalos de un minuto. De esta manera se obtiene como resultado una matriz por cada actividad donde las filas representan a los encuestados y las columnas los pasos de tiempo, por ejemplo, la matriz de la actividad de dormir describe minuto a minuto si cada encuestado está durmiendo o no. Ver Tabla 3

**Tabla 3** Matriz de la actividad dormir.

Código\Tiempo	4:00	4:01	4:02	4:03	4:04	4:05	4:06	4:07	...
20140101140007	1	1	1	1	1	1	1	1	...
20140101140011	1	1	1	1	1	1	1	1	...
20140101140028	0	0	0	0	0	0	0	0	...
20140101140063	1	1	1	1	1	1	1	1	...
20140101140168	1	1	1	1	1	1	1	1	...
20140101140537	1	1	1	1	1	1	1	1	...
20140101140559	0	0	0	0	0	0	0	0	...
20140101140610	1	1	1	1	1	1	1	1	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	

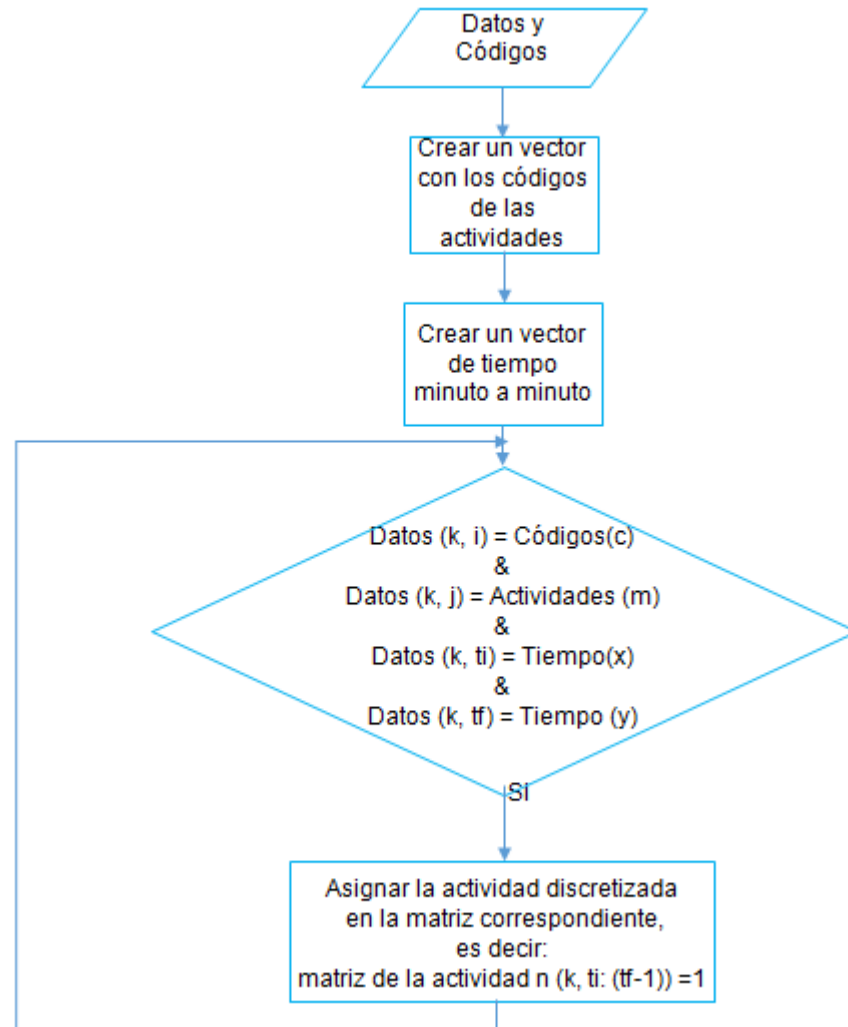
En otras palabras, un código en Matlab permite manipular la información previa, es decir la matriz de los datos y el vector de códigos obtenido en el inciso anterior (5.1.3). En primera instancia se crea un vector que alberga el código de cada actividad. Posteriormente el programa crea un vector que contiene cada instante de tiempo durante un lapso de 24 horas a intervalos de un minuto. Seguidamente con la ayuda del vector que contiene el código de identificación se individualiza cada encuestado y se comparan los códigos de las actividades que ha realizado con el vector de actividades, si son iguales se efectúa una discretización minuto a minuto en el intervalo de tiempo que se realizó la actividad y se asigna en una fila de la matriz correspondiente de cada actividad. Por ejemplo, si el encuestado número uno (1) realizó la actividad de ver televisión de las 7:00pm a 8:00pm.



Esta información corresponde a la fila uno (1) de la matriz ver televisión con un uno (1) asignado cada minuto desde las 7:00pm hasta 7:59pm, es decir que un uno identifica que se encuentra haciendo la actividad y un cero que no está realizando la actividad.

En efecto se obtiene como resultado  $n$  matrices de dimensión  $ij$  donde  $n$  es el número de actividades,  $i$  es el número de encuestados y  $j$  es el total de minutos en un día. A continuación, en la Figura 2, podemos observar una representación gráfica de los pasos o etapas de este proceso.

Figura 2 Diagrama de flujo para la obtener las matrices de las actividades



Dónde:

- k: corresponde a la fila de la matriz de datos
- i: corresponde a la columna de la matriz de datos donde se encuentran los códigos de los usuarios

- c: corresponde a la posición del vector de códigos no repetidos
- j: corresponde a la columna de la matriz de datos donde se encuentran los códigos de las actividades
- m: corresponde a la posición del vector de códigos de las actividades
- ti: corresponde a la columna de la matriz de datos donde se encuentra la hora de inicio de cada actividad
- x: corresponde a la posición del vector de tiempo
- tf: corresponde a la columna de la matriz de datos donde se encuentra la hora de fin de cada actividad
- y: corresponde a la posición del vector de tiempo
- n: es el número de la matriz correspondiente a cada actividad

**5.1.5 Obtención de matrices de transición.** Las matrices de transición son el resultado de las cadenas de Markov, que son las encargadas de modelar procesos estocásticos, a través del establecimiento de una variable aleatoria, como es el comportamiento de los usuarios en la realización de una actividad particular, donde la variable va cambiando con el paso del tiempo y solo depende del estado inmediatamente anterior [11], [7].

Ahora bien, las matrices de transición se obtienen de acuerdo a la probabilidad de que un ocupante este realizando una actividad en un tiempo (t) y pueda realizar una transición o mejor efectuar el cambio a una nueva actividad en un tiempo (t+1), es decir que un usuario tiene la posibilidad de realizar una de las n transiciones, donde n corresponde al número de actividades que se desee establecer para el modelamiento de los datos en Colombia.

De modo que, las matrices de transición se encuentran conformadas por un numero de filas i que representa las actividades que realiza en un instante (t) y las columnas j son las

actividades a realizar en un instante (t+1). Por tal razón, las probabilidades de transición establecidas en la diagonal principal corresponden a la probabilidad de permanecer en la misma actividad (Figura 4), es decir no se tiene ningún cambio. Por otra parte, las probabilidades de transición de una variable de tiempo de cadena de Markov en un momento dado puede ser expresado en  $n \times n$  matrices, en donde n es el número de estados posibles. Para efectuar el desarrollo probabilístico se utilizan la siguiente ecuación matemática:

$$P_{ij}(t) = \frac{\sum_{i=1}^J n_{ij}}{n_i(t)} \quad (2)$$

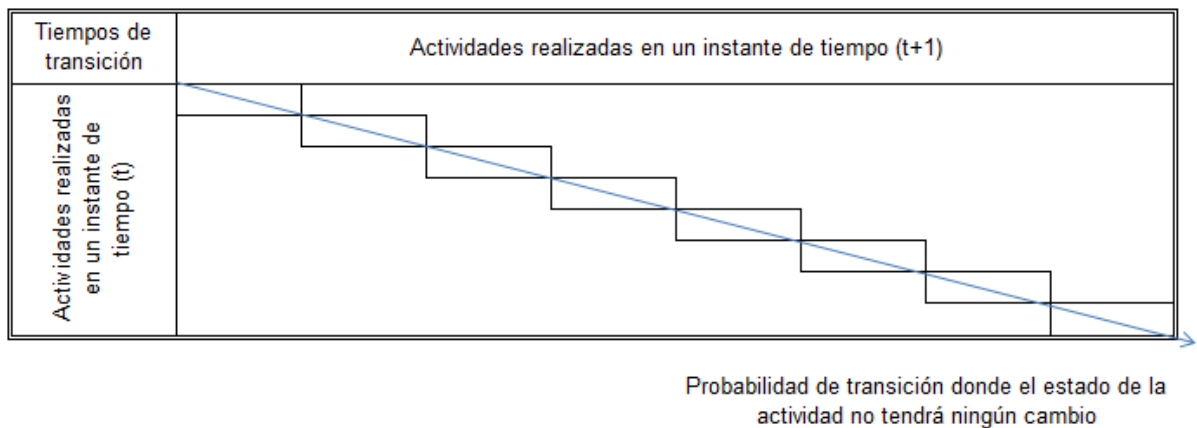
Dónde:

- $P_{ij}(t)$ : Probabilidad de transición para un estado i a un estado j.
- $n_{ij}$ : Es el número de transiciones para el estado i a un estado j entre un tiempo t a un tiempo t+1.
- $n_i(t)$ : Es el total del número de transiciones para el estado i entre un tiempo t y un tiempo t+1.
- J: Es el número total de estados de las actividades.

**Figura 3** Comportamiento de las cadenas de Markov.



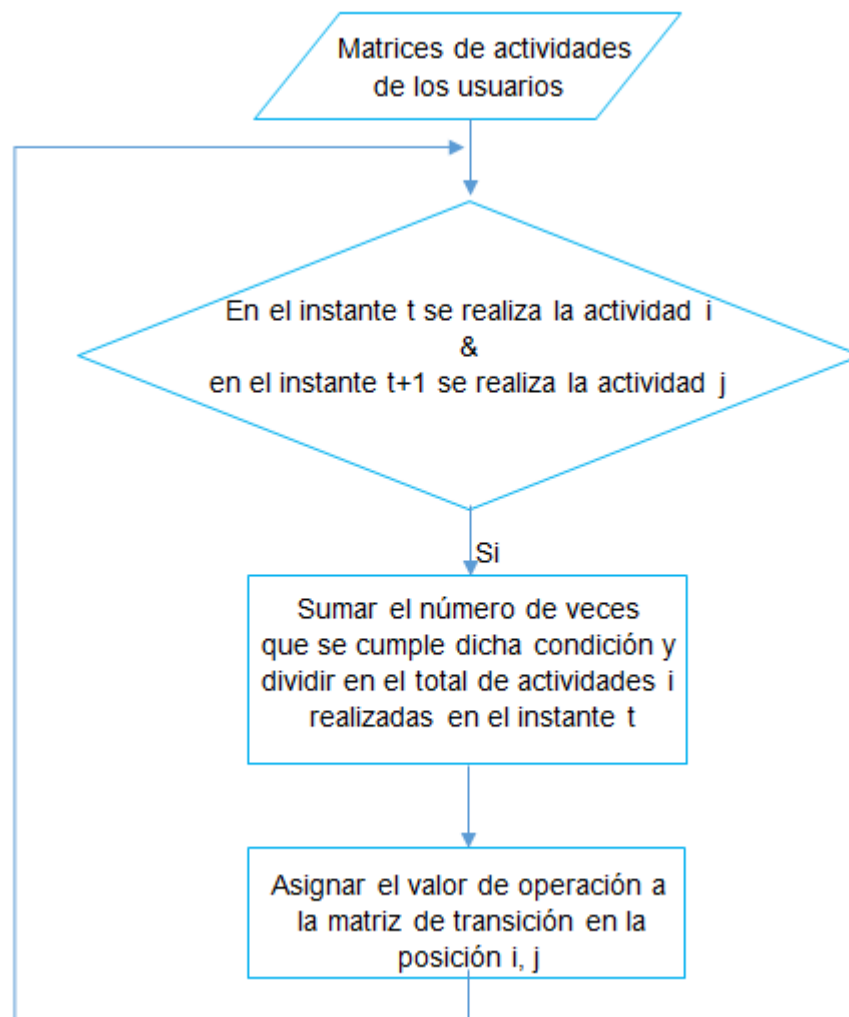
**Figura 4** Descripción de la diagonal principal de la matriz de transición



Por otra parte, el proceso es efectuado dentro de un lapso de tiempo de 24 horas donde se realiza la transición minuto a minuto de una actividad a otra como se muestra en la Figura 3, por lo tanto el número de matrices dependerá del total de minutos en un día, es decir que un día tiene 1440 minutos, por tal razón se obtienen  $n-1$  matrices de transición (1439), por lo que es conveniente realizar un código en Matlab que contiene como datos de entrada

las matrices discretizadas de las actividades y permite obtener las matrices de transición de las actividades, de forma automática como se describe en la Figura 4.

**Figura 5** Diagrama de flujo para generar las matrices de transición



De igual forma, las matrices deben cumplir dos propiedades para que sean determinadas como matrices estocásticas las cuales son:

1.  $P_{ij} \geq 0$
2.  $\sum_j P_{ij} = 1$

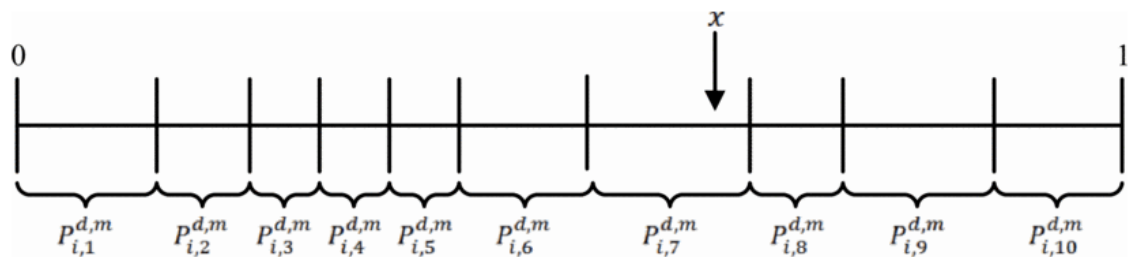
Es decir, que la primera propiedad determina que la matriz no puede contener valores negativos puesto que se trata de probabilidades, la segunda propiedad establece que la suma de las probabilidades de transición en una fila debe ser igual 1 debido a que es un conjunto de probabilidades determinísticas condicionadas a la actividad que se encuentre realizando. Por tal razón la suma probabilidades de transición en una columna nunca será 1 [6], [22].

**5.5.6 Modelado del comportamiento de los ocupantes.** El modelado del comportamiento de los ocupantes está dado por el método Monte Carlo y el uso de las matrices de transición que son desarrolladas mediante cadenas de Markov. El método Monte Carlo permite realizar simulaciones de variables aleatorias utilizando probabilidades que describen el problema de objeto de estudio, es decir que las cadenas de Markov suministran la información requerida.

Por lo tanto, para generar un perfil de uso se requiere de tres elementos necesarios que son: un estado inicial; matrices de transición; y números pseudoaleatorio uniformemente distribuidos. Donde el primer elemento corresponde a la condición inicial para el perfil, es decir que actividad está realizando 4 am, para efecto de la simulación se utiliza el método Monte Carlo para establecer la actividad inicial. Por otra parte, los dos últimos elementos conforman el método Monte Carlo, teniendo en cuenta la estructura de las matrices de transición se establece que la actividad inicial es la encargada de seleccionar la fila correspondiente a dicha actividad de la primera matriz, donde se realiza la distribución de probabilidades acumuladas y seguidamente se genera un número pseudoaleatorio que es ubicado en el intervalo que corresponde, de esta manera la ubicación del número determina

la siguiente actividad a realizar. Donde posteriormente se convierte como estado inicial para la siguiente matriz. Esta técnica se presenta en la Figura 6.

**Figura 6** Ubicación de un número Pseudoaleatorio en la posición 7.

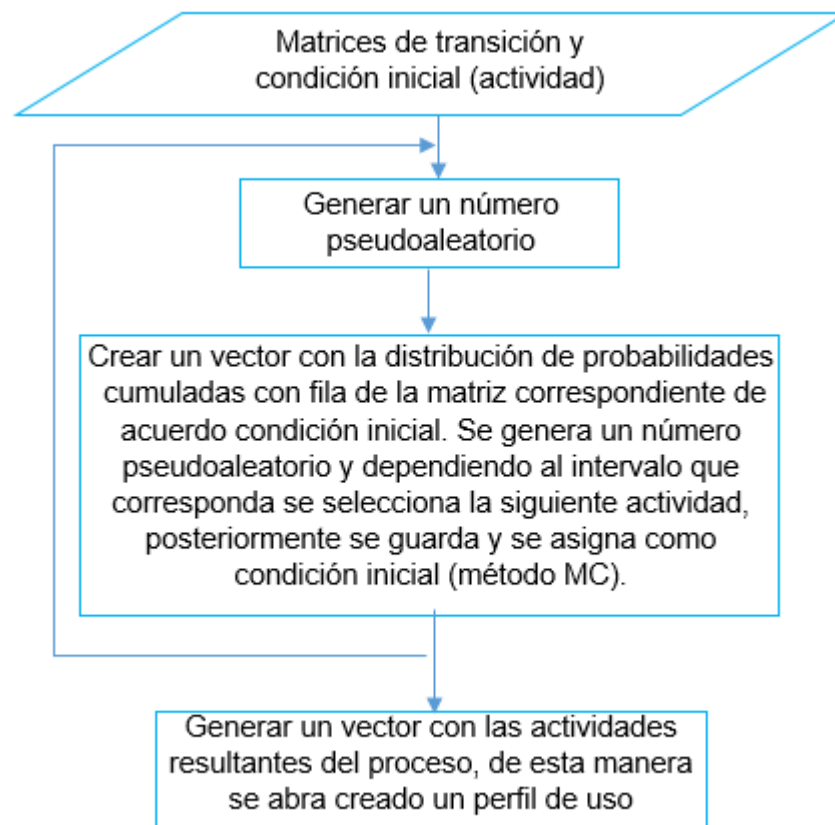


Fuente: M. R. S. O. A. A. R. k. J. Brandon J.Johson, in Department of electrical Engineering and Computer Science, Knoxville , 2014, p. 3.

En la Figura 6 se presenta de forma general la ubicación de un número pseudoaleatorio ( $x$ ) dentro de una probabilidad acumulada ( que se forma con las probabilidades que conforman una fila  $i$  o una actividad) que al ser sumadas se presenta una probabilidad condicionada con valor igual a 1.

El diagrama de flujo de la Figura 7, muestra el procedimiento que se debe seguir para la obtención de los números Pseudoaleatorio y su comportamiento en las matrices de transición, para establecer las actividades que generen el perfil de uso adecuado.

Figura 7 Diagrama de flujo para obtener perfiles de uso



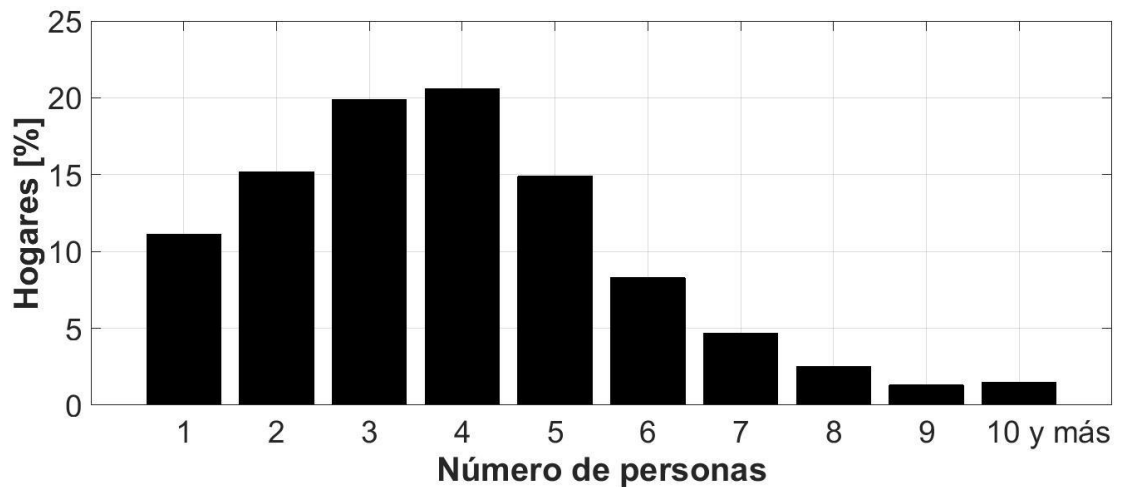
**5.1.7 Estadísticas en el sector residencial.** La demanda de potencia en el sector residencial está dada por las características del comportamiento de los usuarios debido a la manipulación de cargas de manera directa o indirecta. A pesar de que cada uno de los ocupantes presenta tipologías únicas, es posible agruparlos de acuerdo con:

- El número de ocupantes
- La situación laboral y el número de ocupantes
- El tipo de edificio.

En este proyecto el tamaño de los hogares está definido por el número de personas en Colombia, según el censo general de 2005 realizado por el DANE el promedio de personas en un hogar es de 3.9 donde aproximadamente 66.7% de los hogares tienen 4 o menos personas [23]. Ver Figura 8.

En primer lugar, la estadística sobre la tendencia de los hogares colombianos es fundamental para implementar el método Monte Carlo y de esta manera dimensionar aleatoriamente el tamaño de cada hogar, ya que la demanda de potencia se encuentra impulsada por el comportamiento de los ocupantes y la interacción que tienen con los electrodomésticos de acuerdo al tipo de actividad que se encuentren realizando en un instante de tiempo dado.

**Figura 8** Hogares según el número de personas



Fuente: Autores, datos tomados del DANE [23]

De acuerdo al número de personas que residen en un hogar y los electrodomésticos más utilizados, se debe tener en cuenta las estadísticas de pertenencia mostrados en la Tabla 4.

**Tabla 4** Electrodomésticos en los hogares de Bucaramanga

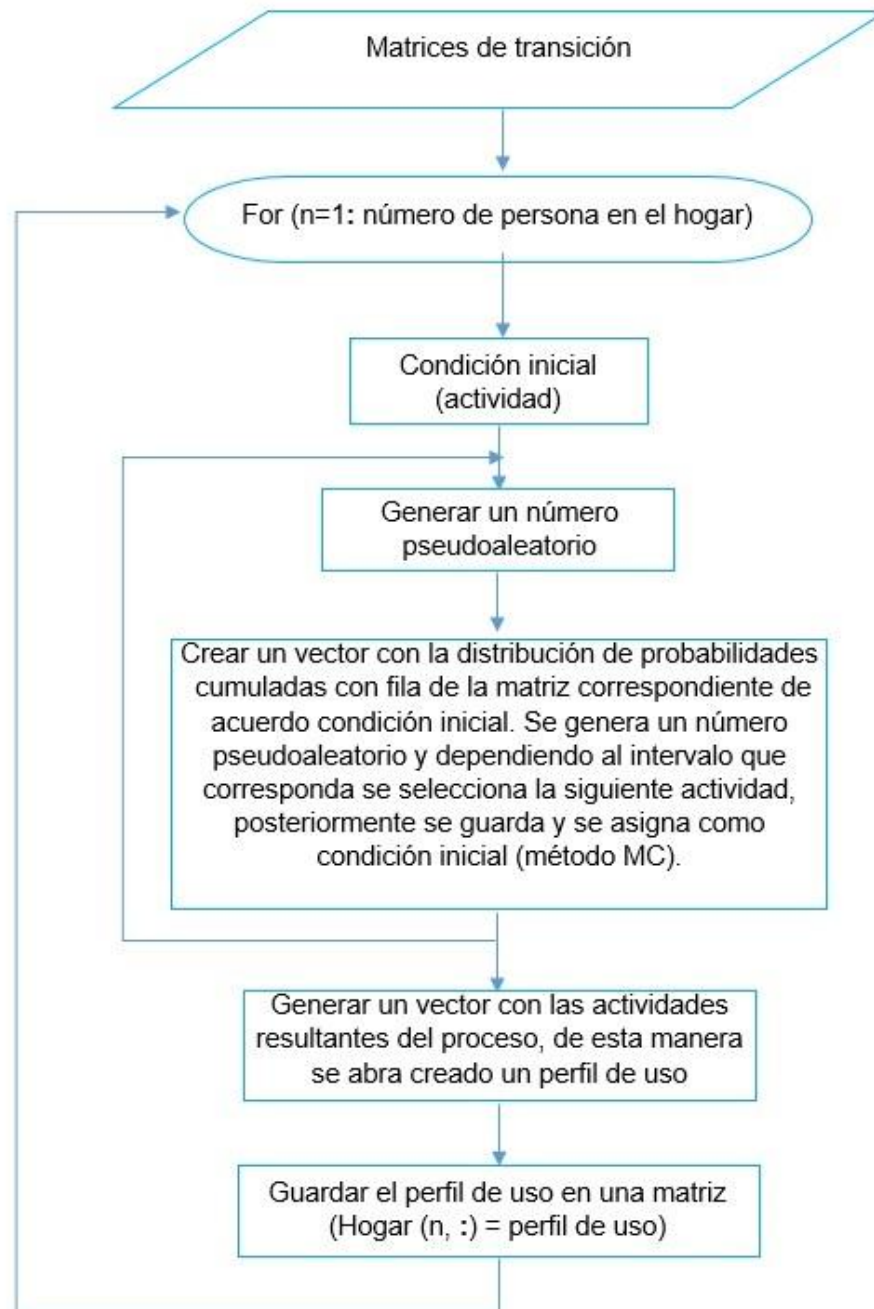
Electrodoméstico	Si %	No%	No informa %	Total %
Televisores	87.08	11.14	1.78	100
Equipo de sonido	74.224	43.73	1.79	100
Nevera	80.02	18.24	1.74	100
Lavadora	45.95	52.23	1.82	100
Ventilador	49.6	48.57	1.84	100
Ducha eléctrica	5.32	98.54	1.84	100
Licuada	79.86	18.36	1.77	100
Horno microondas	16.11	82.02	1.86	100

Fuente: Autores, datos tomados del DANE [24].

**5.1.8 Implementación del modelado del comportamiento de los ocupantes.** El consumo energético en una unidad residencial es directamente proporcional al número de personas y a las actividades desarrolladas por cada uno de ellos, es decir que el perfil de demanda en un hogar tiene como base fundamental los perfiles de uso. De este modo, el número de perfiles generados dependerá del tamaño de la vivienda.

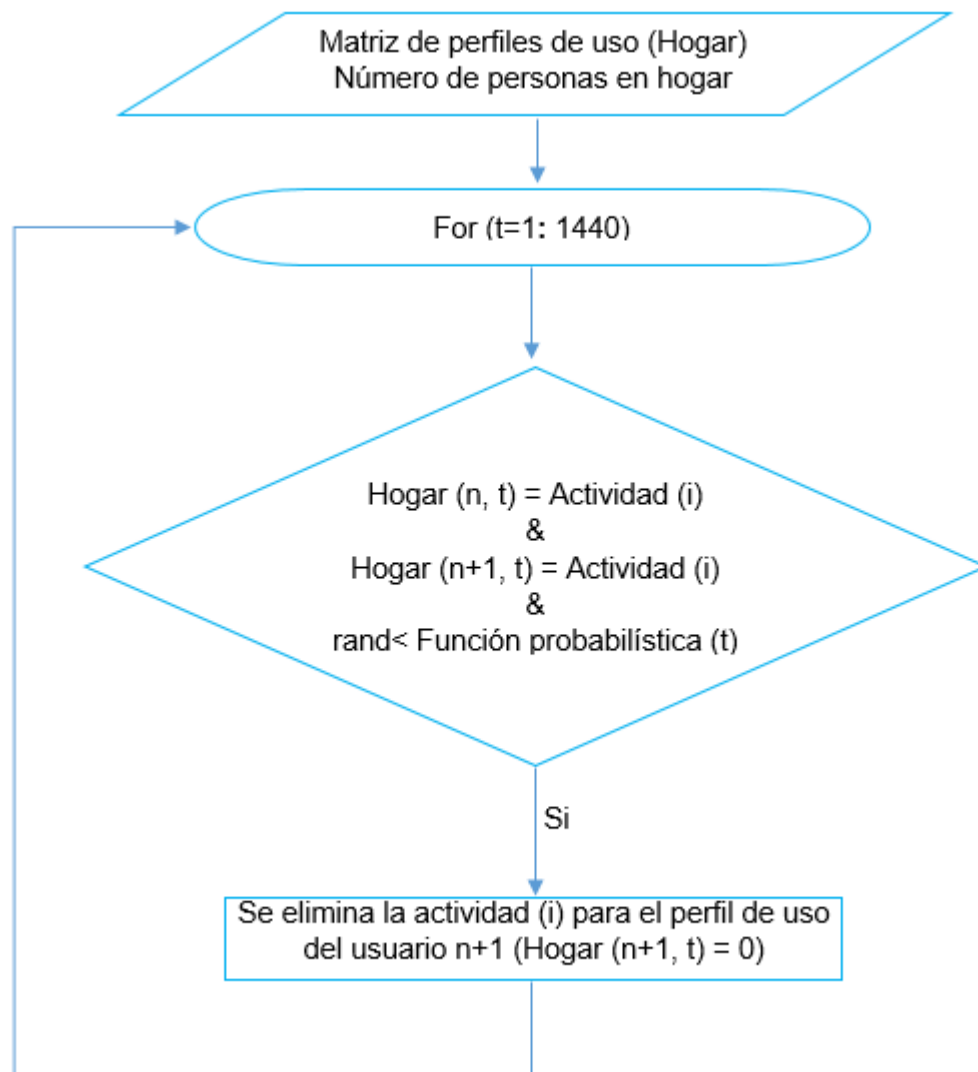
Por otra parte, si hay más de un ocupante en la unidad residencial existe la probabilidad de que ciertos electrodomésticos en un intervalo de tiempo sean compartidos, esta condición varía de acuerdo a la actividad y hora del día. Para determinar si una actividad es compartida o no se identifica minuto a minuto si los usuarios tienen la misma actividad, seguidamente se genera un número pseudoaleatorio y si es menor a la función probabilística (es la probabilidad de que un ocupante realice una actividad compartida) la actividad desaparece del perfil de uso de uno de los ocupantes, por ejemplo, si un hogar está conformado por tres ocupantes y dos de ellos presentan la misma actividad en un momento dado y si el número generado aleatoriamente en ese instante es menor al valor correspondiente de la función probabilística, entonces dicha actividad para uno de los implicados se elimina. De esta manera al momento de agregar la carga correspondiente por actividad solo se tendrá en cuenta para un perfil. El diagrama de flujo de la Figura 9 se muestra el procedimiento para ser implementado en Matlab, con el propósito de generar los tiempos de uso de una unidad residencial.

**Figura 9** Diagrama de flujo para generar los tiempos de uso.



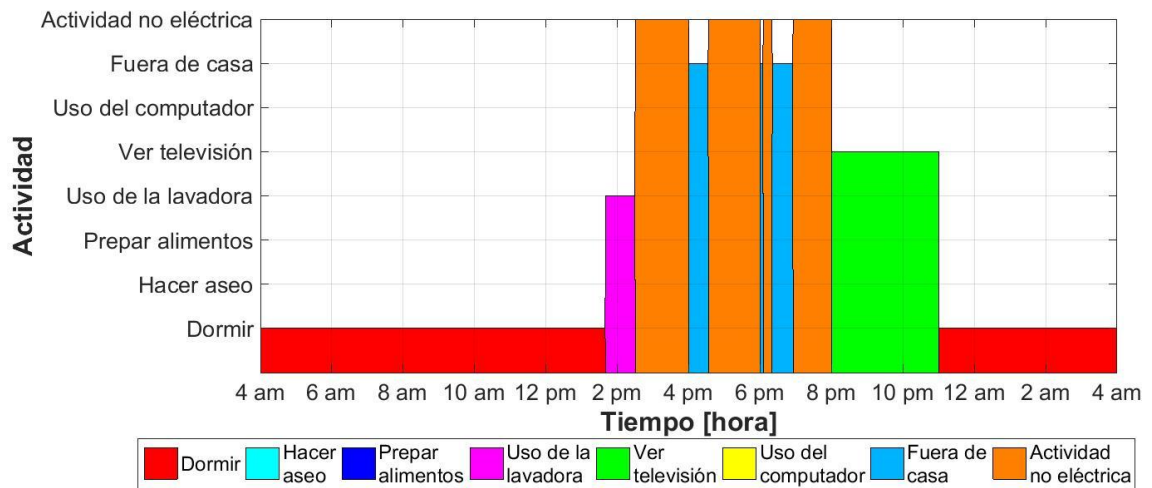
En diagrama de flujo de la Figura 10 se muestra los pasos necesarios para la implementación en MATLAB de las actividades compartidas de los usuarios residenciales en un hogar.

**Figura 10** Diagrama de flujo para actividades compartidas



**5.1.9 Análisis de resultados.** Con la información y cada uno de los pasos implementados anteriormente se modela el comportamiento de los usuarios residenciales a partir de las actividades que desempeñan cada uno de ellos. Así mismo los algoritmos matemáticos propuestos prometen visualizar y crear entornos de simulación con características probabilísticas semejantes a la realidad. Por tal razón, los perfiles de uso son una herramienta útil para la caracterización de usuarios, en la Figura 11 se muestra el perfil de uso generado aleatoriamente por medio de una simulación.

**Figura 11** Perfil de uso generado aleatoriamente



El perfil de uso generado aleatoriamente que se muestra en la Figura 11 describe el comportamiento de una persona de acuerdo a las actividades tomadas en cuenta para la realización de este proyecto. Sin embargo, la actividad más frecuente realizada por un ocupante según las especificaciones mostradas en la figura es la actividad no eléctrica.

---

## 5.2 ESTRATEGIA DE SIMULACIÓN QUE INVOLUCRA LOS PERFILES DE CARGA Y LOS MODELOS DE CARGA PARA EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE BAJA TENSIÓN.

En el desarrollo de esta sección se tienen en cuenta los perfiles de uso obtenidos en la primera etapa de este proyecto (5.1) que están conformados por actividades y cada una involucra uno o varios electrodomésticos, de los cuales se debe considerar el tipo y sus características eléctricas. A si mismo se debe establecer las estadísticas de propiedad del dispositivo y las funciones de probabilidad que permiten estimar la demanda de energía que se presenta para las principales cargas residenciales.

Por lo tanto, a partir de las características eléctricas y el tipo de electrodoméstico se genera cada uno de los modelos de carga, los cuales se encuentran representados a través modelos polinomiales/ZIP que son los encargados de categorizar los electrodomésticos y establecer para cada uno de ellos la impedancia constante, corriente constante y potencia constante, es decir que los factores tanto para potencia activa como reactiva y las condiciones nominales, son los encargados de estimar la potencia de operación correspondiente a cada equipo y se asignan de acuerdo a la actividad realizada en un intervalo de tiempo (minuto a minuto) para formar los perfiles de carga en un marco de simulación donde se obtienen los perfiles de demanda de los usuarios residenciales.

**5.2.1 Conversión de las actividades de los usuarios residenciales a demanda de potencia.** Las actividades generadas para cada una de las personas en un hogar colombiano forman los perfiles de uso, las cuales tienen una relación implícita con los electrodomésticos, es decir que la relación de cada uno de los dispositivos eléctricos deben ser considerados para los modelos de carga eléctrica, esto se realiza a través de las características eléctricas de los equipos y la categorización que incluye el factor de

---

potencia y las constantes de potencia activa y reactiva para obtener la potencia de operación de los electrodomésticos.

De acuerdo con, las estadísticas acerca del número unidades residenciales que poseen ciertos electrodomésticos es obtenida del censo de 2005 realizado por el DANE [24]. Para los dispositivos que el departamento nacional de estadística no presente información se considera la probabilidad de su existencia. Por tal razón, para determinar si los electrodomésticos se incluyen en una actividad se considera el porcentaje de pertenencia como elemento decisivo.

Sin embargo, para generar los perfiles de carga se debe tener en cuenta los perfiles de uso (son los encargados de determinar el comportamiento de las actividades) y de acuerdo al método Monte Carlo se debe generar un número pseudoaleatorio menor al porcentaje de pertenencia para determinar si se ingresa o no el modelo de carga eléctrico correspondiente al electrodoméstico que es asignado de acuerdo a la actividad, de esta manera se obtienen los perfiles de carga para cada persona, posteriormente se suman minuto a minuto para obtener el perfil de demanda de la unidad residencial, sin considerar el uso de la nevera.

**5.2.2 Clasificación y selección de los electrodomésticos.** Con el fin de realizar una descripción detallada de los equipos considerados para obtener los perfiles de demanda, se establece como primera medida un enfoque en el número de actividades y las características de cada una, para asignar los diferentes electrodomésticos estimados como cargas típicas en los hogares colombianos, teniendo en cuenta el acceso por disponibilidad y costo en los usuarios. Para obtener información acerca del porcentaje de los dispositivos eléctricos presentes en las unidades residenciales se tiene en cuenta los datos del departamento administrativo nacional de estadística (DANE) [23], [24], donde se muestra en detalle las probabilidades de penetración de los equipos en los hogares y la probabilidad total acumulada en las diferentes ciudades de Colombia.

---

De modo que, los principales electrodomésticos que se usan en los hogares colombianos son: televisores convencionales, equipos de sonido, reproductores de DVD, monitor, ordenador de escritorio, computador portátil, neveras, lavadora de ropa, ducha eléctrica, estufa eléctrica, licuadora, ventilador, horno microondas, sandwichera, cafetera y olla arrocera. donde a partir de cada equipo eléctrico se realiza una clasificación por el tipo y las características eléctricas como la potencia nominal y tensión nominal.

**5.2.3 Modelos de carga eléctrica.** La representación de los modelos de carga se realiza a partir de la información que se obtiene de los dispositivos eléctricos que se encuentran comúnmente en el sector residencial de Bucaramanga, para individualizar y considerar las operaciones eléctricas realizadas por los electrodomésticos se establece un enfoque que permite la clasificación de las cargas de acuerdo a su tipo (televisores, computadores, neveras, etc.) y de acuerdo al tamaño o tecnología se selecciona al menos una potencia nominal disponible en el mercado. Los datos presentados se destinan como un recurso para el desarrollo de perfiles de carga en sistemas eléctricos de baja tensión.

Así que, los modelos de carga eléctrica se desarrollan a partir de la demanda de energía de los aparatos eléctricos, en función de las condiciones de suministro, es decir se presenta en función de la tensión de alimentación, donde las características de los electrodomésticos se definen por los modelos de carga:

- ✓ **Impedancia constante.** Para los que la demanda de potencia activa y reactiva de la carga varía proporcionalmente al cuadrado de la magnitud de la tensión de alimentación.

- ✓ **Carga de corriente constante.** Para los que las demandas de potencia activa y reactiva de la carga varían en proporción directa (es decir, lineal) a la magnitud de la tensión de alimentación.
- ✓ **Carga de potencia constante.** Para el que la carga se basara constante la potencia activa y reactiva, con independencia de los cambios en la magnitud de la tensión de alimentación.

De acuerdo a cada uno de los dispositivos eléctricos presentes en los hogares colombianos, se realiza una clasificación según los componentes eléctricos presentes para su funcionamiento:

**Cargas de iluminación (GIL, fluorescentes).** Estos dos tipos de lámparas son usadas en los hogares colombianos de acuerdo al estudio realizado por la universidad nacional de Colombia para la Unidad de Planeación Minero energética (UPME), donde especifica la probabilidad de penetración de estos dos tipos de iluminación [25], las lámparas incandescentes (GIL) tienen un filamento eléctrico en un bulbo de vidrio lleno de gas inerte que se calienta a una alta temperatura hasta que se ilumine. Las lámparas fluorescentes son lámpara de descarga de gas que utiliza electricidad para excitar vapor de mercurio para su funcionamiento se requiere un circuito de balasto, de tal manera que para la clasificación hay dos tipos de lámparas fluorescentes: lineal (LFL) y compacto (CFL).

**Dispositivos electrónicos (fuentes de alimentación conmutada SMPS).** Para utilizar cada una de estas características se debe hacer una clasificación de los dispositivos electrónicos que tienen diferentes topologías internas dependiendo de los circuitos de corrección del factor de potencia (PFC), para algunos de estos aparatos electrónicos de

---

consumo se categorizan como SMPS, donde están conformados por tres sub categorías de cargas, NO-PFC, PFC-pasivo (PFC-p), PFC-activo (PFC-a). Los dispositivos NO-PFC por lo general tienen un SMPS simple, que consta únicamente de un puente rectificador y un condensador de circuito intermedio, es decir, cargadores portátiles con potencia nominal inferior a 75W. Los dispositivos PFC-pasivo poseen condensadores o inductores y los PFC-activo son de bajo consumo como los ordenadores y cargadores de los vehículos eléctricos. Por ejemplo, el microondas debido a la rectificación de tensión de alimentación y se modela como PFC-pasivo (PFC-p).

**Cargas resistivas.** Gran parte de los electrodomésticos presentes en una unidad residencial se encuentran en la cocina y son generalmente cargas resistivas que incluyen elementos de calentamiento óhmico, y su consumo de energía nominal depende del tipo de aparato y su ciclo de trabajo, los principales dispositivos eléctricos estimados en los hogares colombianos son: cafetera, sandwichera, olla arrocera, estufa eléctrica.

**Cargas de motores conectados directamente.** Los motores de inducción monofásica conectados directamente se encuentran divididos en subcategorías basados en la configuración eléctrica de los SPIM y el tipo de carga mecánica en el motor. De acuerdo a las posibles variaciones que se presentan en las cargas del sector residencial [13], y a su funcionamiento se pueden clasificar como: arranque por resistencias – funcionamiento del motor capacitivo con par constante ( $RSCR_{CT}$ ), arranque por resistencias-funcionamiento del motor de inducción (RSIR) y un par de motor constante o cuadrático (CT y QT, respectivamente).

De esta manera, en el sector residencial se presenta una amplia gama de aplicaciones de este tipo de categorizaciones tales como: neveras, licuadoras, lavadora, batidora, lavavajillas, secadoras y congeladores. En este trabajo se considera la nevera, licuadora y lavadora, debido que son los electrodomésticos más usuales en los hogares colombianos.

Por tal razón con la información presentada para la clasificación de los electrodomésticos, se complementan las especificaciones eléctricas del valor típico de desplazamiento del factor de potencia y los modelos de carga eléctrica polinomiales/ZIP para potencia activa como reactiva, mostrados en la Tabla 5.

**Tabla 5** Factor de potencia y constantes de los modelos ZIP

Categoría	Factor de potencia (PFC)	ZIP –P			ZIP – Q		
		Z	I	P	Z	I	P
GIL	1	0	0	1	0	0	0
CFL/LFL	0.91*	-0.01	0.96	0.05	0.1	-0.73	-0.37
LED LS	0.137*	0.23	0.85	-0.08	-1.05	0.04	0.01
Resistive	1	0	0	1	0	0	1
$SMPS_{noPFC}$	0.994	0	0	1	-3.63	9.88	-7.25
$SMPS_{pPFC}$	0.97	0	0	1	0.45	-1.44	1.99
$SMPS_{aPFC}$	1	0	0	1	0	0	0
$RSIR_{QT}$	0.62	0.1	0.1	0.8	1.4	-0.91	0.5
$RSIR_{CT}$	0.62	0.63	-1.2	1.57	1.4	-0.91	0.5
$RSCR_{CT}$	0.9	0.5	-0.62	1.11	1.54	-1.43	0.89

Dónde: \* indica una carga capacitiva. Nota: el LED es menor variante de energía destinada a la sustitución de la HIL centro de atención.

Fuente: tabla modificada, A. J. C. A. K. G. Tsagarakis, *Int J. Emerging Electr. Power Syst*, vol. 14, no. 5, pp. 511, 2013

Los electrodomésticos establecidos se representan como cargas modernas no lineales, las cuales están mejor representadas como una mezcla de estos modelos de carga, y la

relación puede ser descrita por el modelo de carga polinomiales / Zip, (3) para la potencia activa y (4) para la potencia reactiva en función de la tensión de la alimentación.

$$P = P_0 \left[ Z_p \left( \frac{V_{sistema}}{V_0} \right)^2 + I_p \left( \frac{V_{sistema}}{V_0} \right) + P_p \right] \quad (3)$$

Para obtener la potencia reactiva nominal de los dispositivos electricos utilizamos el factor de potencia mostrado en las Tabla 5 que seran implementados a traves de la siguiente ecuacion:

$$Q_0 = P_0 * \tan(\cos (PFC)^{-1}) \quad (4)$$

$$Q = Q_0 \left[ Z_q \left( \frac{V_{sistema}}{V_0} \right)^2 + I_q \left( \frac{V_{sistema}}{V_0} \right) + P_q \right] \quad (5)$$

Donde:

- P,Q : son la demanda de energia activa y reactiva respectivamente.
- Tension del sistema ( $V_{sistema}$ ): se considera con una variacion aleatoria entre +5 y - 10 según la Tabla 6 de la norma tecnica de la electrificadora de santander (ESSA).

**Tabla 6** Niveles de tensión establecidos por la ESSA.

Clasificación (nivel)	Nivel de tensión	Tensión nominal (V)		Tensión máxima (% de la nominal)	Tensión mínima (% de la nominal)
		Sistemas trifásicos de 3 o 4 conductores	Sistemas monofásicos de 2 o 3 conductores		
Baja tensión (nivel 1)	Menor o igual a: 1000 V	-	120	+5	-10
		120/208	-		
		-	120/240		
		127/220	-		
		220	-		
		254/440	-		
Baja tensión (nivel 2 y 3)	Menor o igual a: 1000 V y menor a: 57.5 KV	4,6 <sup>1)</sup>	-		
		6,3 <sup>1)</sup>	-		
		11,4 <sup>1)</sup>	-		
		13,2	-		
		34,5	-		

Fuente: autores, D. C. A. P. O. D. H. G. M. Dr. Jose Vicente Villamizar Duran, Bucaramanga, 2005, p. 27

- $P_0, Q_0, V_0$ ,: son los valores nominales de cada uno de los dispositivos electricos.
- $Z_p, I_p, P_p, Z_q, I_q, P_q$ : son los coeficientes de los modelos de carga polinomial ZIP.
- PFC: correccion del factor de potencia.

Finalmente, con las ecuaciones (3) y (5) se obtiene la potencia activa y reactiva de cada electrodomestico respectivamente, que al ser asignadas minuto a minuto dependiendo de cada actividad se obtendra los perfiles de carga.

**5.2.4 Perfiles de carga.** En el sector residencial, la demanda de potencia se presenta por las actividades que realizan los ocupantes y la carga de los electrodomésticos involucrados en cada una de ellas, estos aparatos pueden ser accionados con diferentes estilos de tecnología de forma controlada que pueden alterar el tiempo de uso de ciertas cargas, pero mantienen los patrones habituales de los usuarios, por ejemplo, el uso de la lavadora programada para que inicie su ciclo de lavado a una determinada hora del día.

A continuación, se asignan modelos eléctricos a los electrodomésticos involucrados en una actividad desarrollada por cada una de las personas que residen en una unidad residencial a intervalos de tiempo minuto a minuto, permitiendo obtener un perfil de carga. Por ejemplo, el perfil de carga para la actividad de preparar alimentos está dado por la ecuación (6). Así mismo la sumatoria de cada perfil de carga por actividad genera un perfil de carga por usuario.

Para obtener el perfil de demanda se consideran diferentes estimaciones de perfiles de carga como:

Perfil de carga por actividad de un usuario:

$$P_{actividad}(t) = \sum_{e=1}^{ne} P_e(t) \quad (6)$$

Dónde:

- $P_{actividad}(t)$  = Potencia de la actividad desarrollada por un usuario
- $ne$  = Número de electrodomésticos utilizados en la actividad
- $P_e(t)$  =Potencia de operación de los electrodomésticos

Perfil de carga por usuario:

$$P_{usuario}(t) = \sum_{a=1}^{na} P_a(t) \quad (7)$$

Dónde:

- $P_{usuario}(t)$  =Potencia de todas las actividades desarrolladas por una persona
- $na$ = Número de actividades desarrolladas por una persona
- $P_a(t)$ = Potencia por actividad

Finalmente, la sumatoria de los perfiles de carga de los usuarios da como resultado el perfil demanda (8) sin tener en cuenta el uso de la nevera.

$$P_{casa}(t) = \sum_{u=1}^{nu} P_u(t) \quad (8)$$

Dónde:

- $P_{casa}(t)$  = Demanda de potencia de un hogar
- $nu$ = Número de usuarios
- $P_u(t)$ = Potencia por usuario

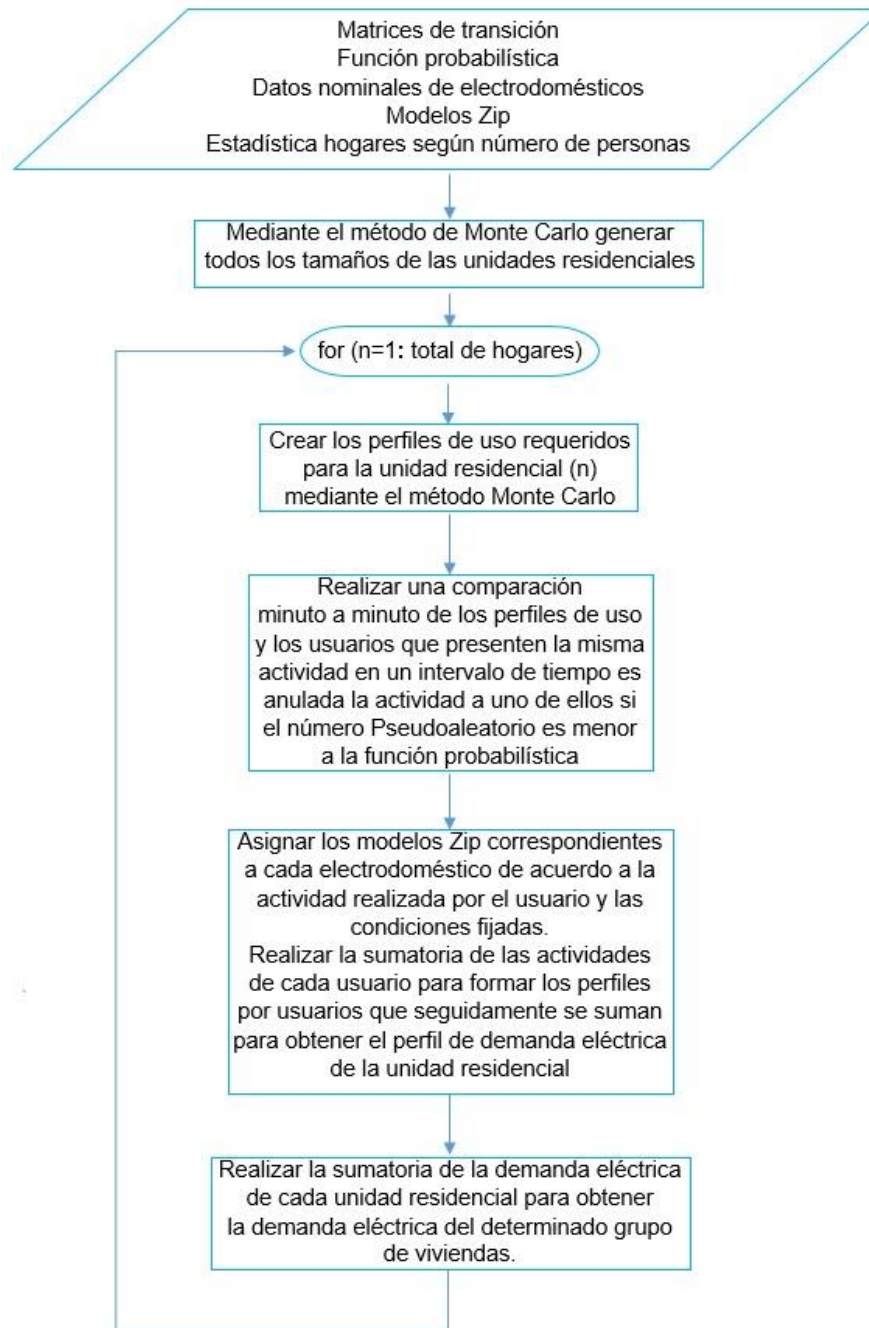
**5.2.5 Simulación de perfiles de carga para determinado número de hogares.** Un entorno de simulación da lugar a la integración de las consideraciones para la dinámica de los hogares y los modelos desarrollados en el inciso 5.2.4, permitiendo generar perfiles de

carga para un determinado número de viviendas, donde se tienen en cuenta parámetros como: el tipo de electrodomésticos y la variación de los mismos debido a que todos los hogares no poseen los mismos dispositivos eléctricos. Por otra parte, la clasificación asociada a la potencia nominal se utiliza para adquirir una variabilidad en los dispositivos eléctricos.

Así mismo para determinar el tamaño de un hogar, se utiliza como base fundamental las estadísticas del DANE [23], permitiendo agrupar un número de personas donde persiste una probabilidad de que los diferentes perfiles de uso estén asociados a un mismo tipo de electrodoméstico. Por ejemplo, una unidad residencial puede tener dos computadores (uno portátil y otro de escritorio) y en un momento dado puede que ambos se encuentren en funcionamiento, pero uno de ellos es compartido por dos personas y el otro no.

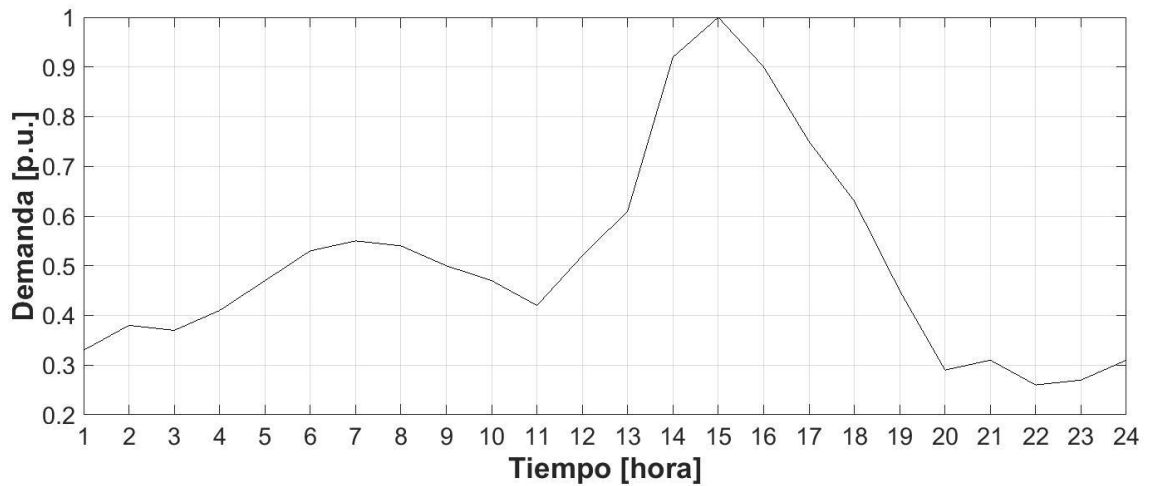
Por consiguiente, todas las casas presentan la misma probabilidad de generar cualquier perfil de carga representativo para cada ocupante, esto permite tener un proceso estocástico con una distribución uniforme. De tal manera que mediante una simulación de Monte Carlo durante un día (1440 minutos) se generen los perfiles de demanda para un grupo determinado de hogares. Ver Figura 12

**Figura 12** Diagrama de flujo para la simulación de los perfiles de carga



Así que para estimar los perfiles de demanda de los usuarios residenciales de estrato uno y dos del área metropolitana de Bucaramanga, se tiene en cuenta la curva de demanda mostrada en la Figura 13 por la electrificadora de Santander (ESSA) para realizar la respectiva comparación con los resultados obtenidos en este proyecto.

**Figura 13** Curva de demanda diaria para el sector residencial de estratos uno y dos (ESSA).

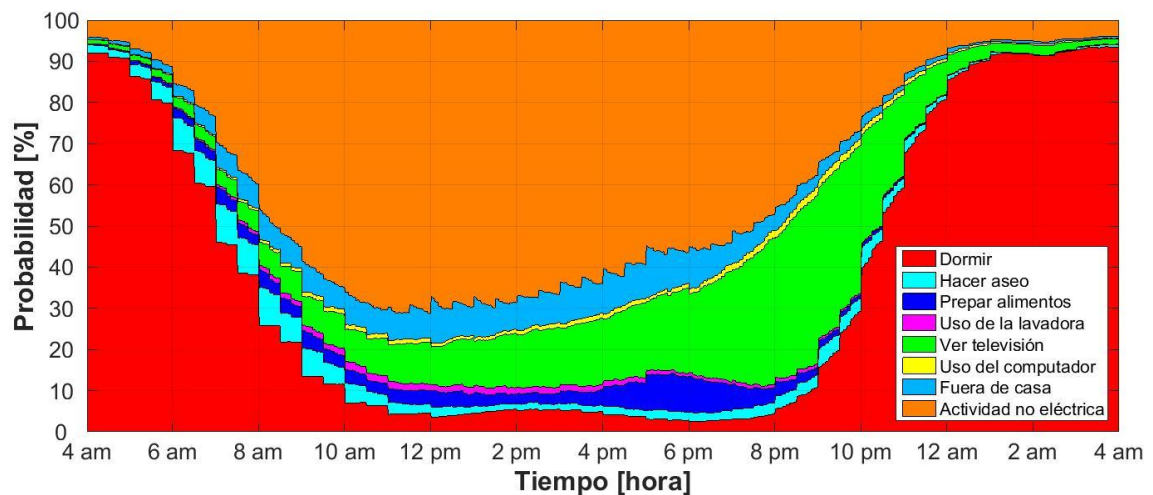


Fuente: autores, datos tomados de la norma de la electrificadora de Santander [20], p. 131

## 6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se describe los resultados obtenidos de las diferentes simulaciones realizadas, para las cuales se tuvieron en cuenta los diferentes aspectos tales como: datos ATUS; características y aspectos a tener en cuenta en la lectura de los datos; códigos de identificación de los usuarios; segregación y discretización de datos; matrices de transición; modelado del comportamiento de los ocupantes; y simulación de los ocupantes de un a unida residencial. De esta manera, los primeros resultados que se analizan en este capítulo se enfocan en obtener los perfiles de uso a partir de las encuestas de ATUS, donde se identifican las actividades que realizan los ocupantes en una unidad residencial. Ver Figura 14

**Figura 14** Probabilidad para realizar diferentes actividades durante un día



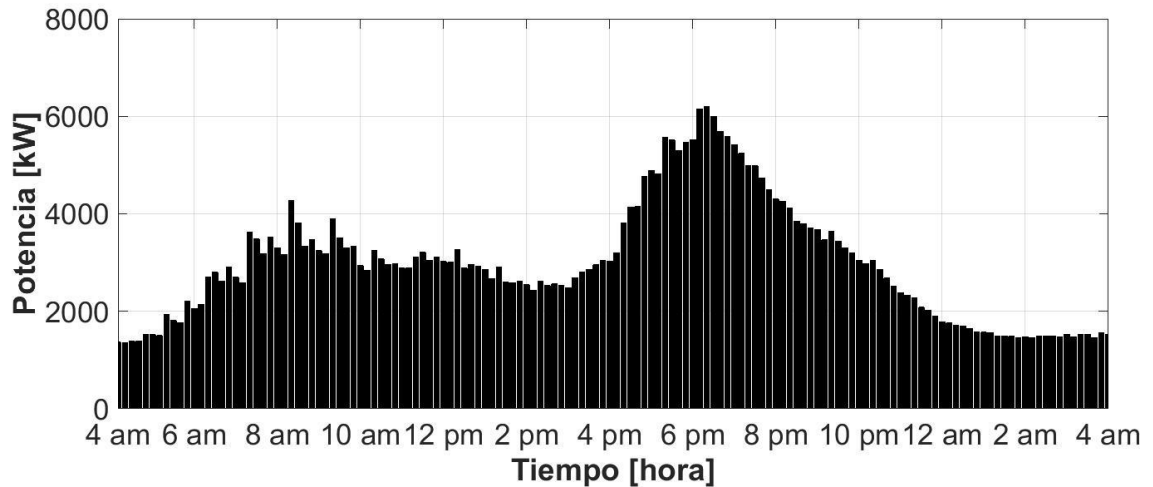
---

En la Figura 14 se muestra los resultados de una simulación de 12000 perfiles, con el propósito de verificar si los perfiles de uso obtenidos presentan el mismo comportamiento que los obtenidos de las encuestas, la afinidad es debido a que el método Monte Carlo y las cadenas de Markov conservan las características de los encuestados. A si mismo las probabilidades obtenidas minuto a minuto de cada actividad se presentan en la Figura 14, donde se puede apreciar un comportamiento similar a los resultados obtenidos en la sección 6.1.4, pero con mínimas variaciones. Por ejemplo, la probabilidad de dormir a las 2 am es cerca de un 3% menor a la obtenida mediante los datos de las encuestas.

Seguidamente en la sección 6.2 se muestran los resultados después de haber implementado la segunda parte de la metodología (5.2), los cuales se presentan a continuación: clasificación y selección de los electrodomésticos, clasificación de los modelos de carga eléctrica, perfiles de carga para una unidad residencial y simulación de perfiles de carga para la estimación de la demanda eléctrica, en cada uno de ellos se muestra las especificaciones necesarias y las consideraciones que se tienen en cuenta para la realización del código. La descripción de cada una de las figuras se realiza con el fin de que la interpretación de los resultados sea de la manera correcta y corrobore con los datos suministrados por el DANE.

Así que, un aspecto importante a tener en cuenta es la clasificación y categorización de los electrodomésticos, debido a que es uno de los principales enfoques para obtener los modelos de carga eléctrica y los encargados de generar los perfiles de demanda.

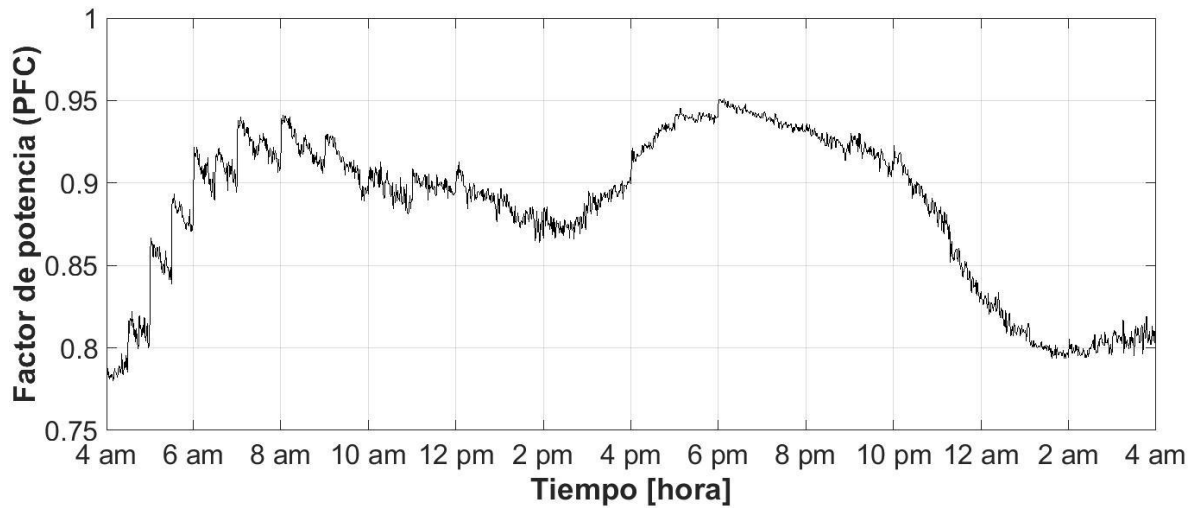
**Figura 15** Curva de demanda de potencia activa para 5000 hogares



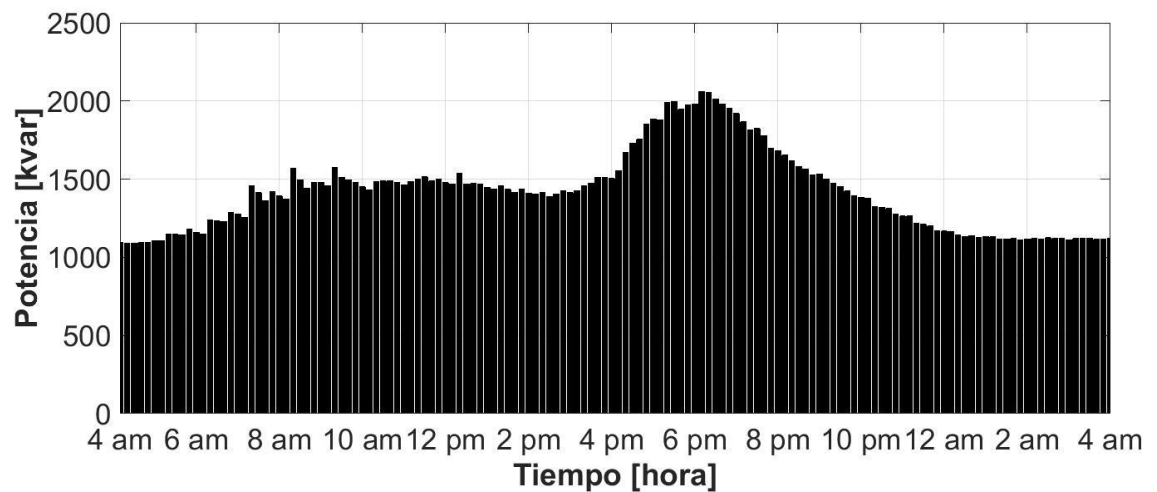
En la Figura 15 se aprecia la curva de demanda de potencia activa en un día típico para 5000 hogares debido al comportamiento de los ocupantes de acuerdo a la influencia de los electrodomésticos en cada una de las actividades. El consumo de energía de mayor fluctuación se presenta en horas de la noche cuando existe mayor presencia de personas manipulando los diferentes dispositivos eléctricos. El mínimo local de la curva de demanda se produce cerca a las 2 pm.

En segunda medida en la Figura 16 se presenta el comportamiento del factor de potencia a lo largo de día para una simulación de 5000 hogares, donde se aprecia un máximo absoluto de 0.9513 a las 6 pm y un mínimo absoluto de 0.7818 a las 4:06 am. Estos factores de potencia se dan debido al uso continuo de las cargas resistivas y a los dispositivos electrónicos.

**Figura 16** Factor de potencia para 5000 hogares



**Figura 17** Curva de demanda de potencia reactiva para 5000 hogares



La curva de demanda para 5000 hogares de potencia reactiva de la Figura 17 presenta un comportamiento más uniforme en comparación con la curva de demanda de potencia activa

---

(Figura 15) debido a la presencia de gran cantidad de electrodomésticos de tipo electrónico que presentan una potencia reactiva capacitiva que se refleja en la impedancia constante, corriente constante y potencia constante de los modelos ZIP. En horas de la noche se presenta mayor consumo de energía reactiva puesto que actúan mayor cantidad de cargas de entretenimiento.

## 6.1 MODELADO PROBABILÍSTICO DE LAS ACTIVIDADES DE LOS USUARIOS RESIDENCIALES QUE INVOLUCRAN CARGAS TIPO ELECTRODOMÉSTICO

El consumo energético de una unidad residencial está dado por el comportamiento de los usuarios y la interacción con los electrodomésticos, es decir que si se conoce las características de los dispositivos eléctricos y sus perfiles de carga se podrá estimar la potencia a través del tiempo. Por tal razón al combinar los tiempos de uso y los métodos estocásticos brindan las herramientas necesarias para crear perfiles de uso. A continuación, se describirá la manipulación y el respectivo manejo de los datos según la metodología dada.

**6.1.1 Datos ATUS (American Time Use Survey).** Debido a que en Colombia no se cuenta con datos o encuestas relacionadas con el comportamiento de los usuarios, se utiliza para este trabajo de grado la encuesta realizada en el 2014 en Estados Unidos de América. La encuesta americana de tiempos de uso (ATUS) [26], es la encargada de medir el tiempo que las personas utilizan para realizar diferentes actividades del diario vivir, tales como la realización de labores domésticas, uso de diferentes tipos de transporte, entretenimiento familiar, entre otros. Sin embargo, a pesar de que esta encuesta no describe completamente el usuario residencial colombiano es posible que exista una afinidad con las

---

actividades realizadas por los usuarios residenciales americanos. Este trabajo corresponde a una exploración inicial dentro de las metodologías de estimación de demanda y por tanto el origen de los datos no es preocupación en este proyecto, sin embargo, la metodología llevada a cabo para su utilización es el principal aporte.

De esta manera, para generar el comportamiento de los usuarios residenciales durante un día, se utilizan algunas características básicas que describen el comportamiento eléctrico como: la representación mediante un código para cada persona encuestada; la enumeración de las actividades de cada persona encuestada; la hora de inicio y fin de cada actividad; la codificación de las respectivas actividades realizadas; y la especificación del número de personas que estuvieron presentes en cada actividad.

Ahora bien, la información referente a las encuestas realizadas cada año en los Estados Unidos de 2003 a 2014 se encuentran disponibles en ATUS [26] así como documentación importante que permite la interpretación de información referente a los tiempos de uso de las actividades y el contenido de cada una de los datos, se encuentran especificados a lo largo del documento con el fin de que la interpretación de las diferentes factores que enlazan a una actividad sean tomadas en cuenta para la solución de este proyecto.

**6.1.2 Características y aspectos a tener en cuenta en la lectura de los datos.** La documentación disponible en ATUS no es a simple vista interpretable, debido a la cantidad de datos y a la codificación de la misma. Por tal razón es conveniente tener en cuenta aspectos claves y los parámetros que ayuden al buen manejo de la información. A continuación, se realiza una breve descripción de las consideraciones a tener en cuenta.

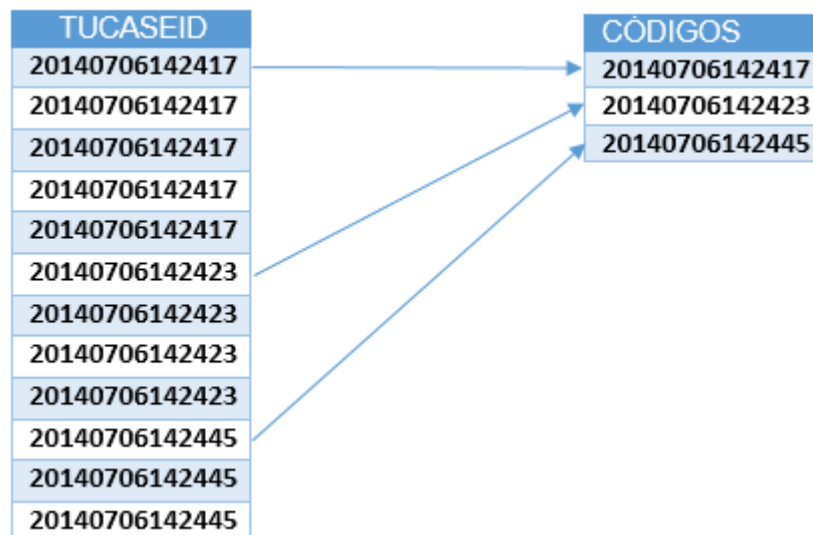
De modo que un aspecto clave del archivo correspondiente acerca de cómo los encuestados pasaron un día, está constituido por una matriz de datos de 223.249 filas por 29 columnas. De las 29 columnas, 20 son las columnas que muestran el comportamiento de los usuarios tales como: cuidado de los niños; cuidado de ancianos; medio y tipo de transporte ya sea particular o público. Los 9 restantes son de principal interés debido a que son las encargadas de describir las actividades realizadas. De tal forma que la primera columna corresponde a los códigos asignados a cada encuestado, este código se repite de acuerdo a número de actividades. La segunda columna es la encargada de la numeración de las actividades realizadas por cada encuestado. Las columnas 22 y 23 están conformadas por la hora de inicio y fin de cada actividad respectivamente. De la columna 24 a la columna 28 están constituidas por los códigos de las actividades, cada una de ellas corresponde a una categoría según la clasificación propuesta por ATUS.

Del mismo modo, un segundo archivo proporciona información acerca de las personas que intervinieron en cada actividad y está conformado por una matriz de datos de 287.450 filas y 5 columnas. De las 5 columnas, 4 son relevantes para el desarrollo del proyecto y para futuros trabajos. La primera columna de este archivo está constituida por los códigos asignados a cada encuestado, este código se repite de acuerdo a número de actividades y al número de personas que estuvieron presentes para cada actividad. La segunda columna es la encargada de la numeración de las actividades realizadas por cada encuestado y cada número correspondiente a cada actividad se repite dependiendo de la cantidad de personas que actuaron en la actividad. La columna 4 identifica la persona que ha acompañado al encuestado a realizar la actividad, el número correspondiente a cada acompañante permite conocer ciertas características como la edad, el género y que parentesco presenta con el encuestado (columna 5).

**6.1.3 Códigos de identificación de los usuarios.** Para manipular la gran cantidad de información que ATUS ofrece, es conveniente obtener un vector con códigos no repetitivos

que permiten individualizar a cada encuestado. Los códigos correspondientes a la identificación de cada encuestado son procesados de acuerdo a la metodología descrita dando como resultado un vector con 11592 códigos, es decir igual al número de encuestados. Mediante la realización de un código en Matlab se obtiene de manera automática los códigos de identificación de cada persona. En la Figura 18 se evidencia de manera gráfica del procedimiento realizado con tres de los códigos.

**Figura 18** Vector de un único código por cada encuestado



**6.1.4 Segregación y desratización de datos.** El modelado eléctrico que contiene el comportamiento de las personas está dado por el desarrollo de las diferentes actividades que consumen energía dentro de una unidad residencial. Por tal razón para el presente trabajo de grado se clasificaron ocho (8) actividades las cuales son citadas a continuación:

1. Dormir;
2. Hacer aseo;

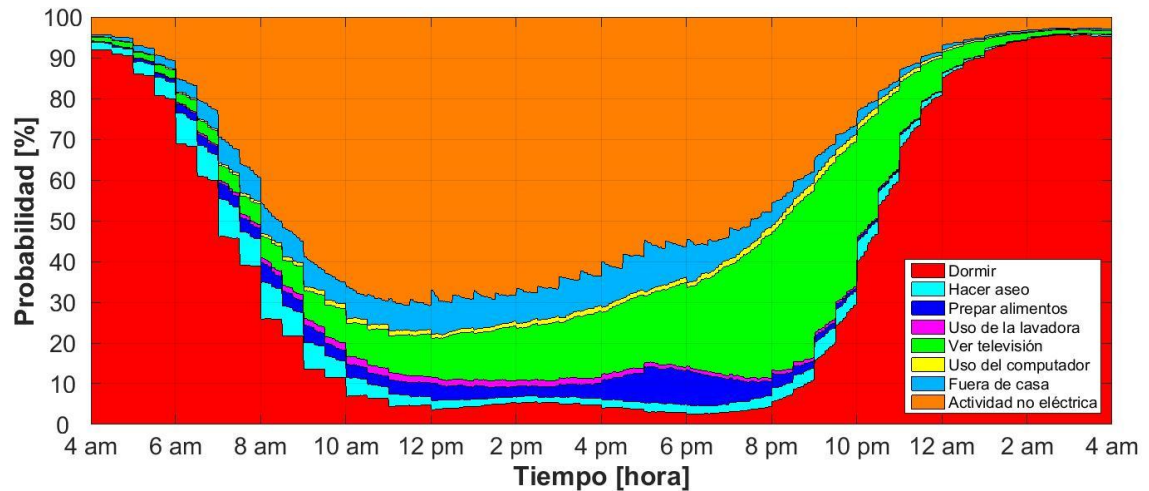
3. Preparar alimentos;
4. Uso de la lavadora;
5. Ver televisión;
6. Uso del computador;
7. Estar fuera de casa;
8. Realizar actividades no eléctricas.

Cada una de estas actividades están representadas mediante un código propuesto por ATUS que permite identificar el comportamiento del encuestado. Debido a que las encuestas proporcionan información sobre el tiempo destinado en cada una de las más de 400 actividades, es conveniente realizar una segregación de los datos de interés para este proyecto, mediante los códigos de las actividades y de los encuestados se realiza la individualización para extraer la hora de inicio y fin de cada actividad.

De forma que la segregación de los datos se realiza de acuerdo a la metodología propuesta en la sección 5.1.4, donde se obtienen ocho (8) matrices (una por cada actividad) de 11.592 filas por 1.440 columnas. En cada matriz, los encuestados son representados por las filas y el tiempo a intervalos de un minuto durante 24 horas se encuentra presentado por las columnas, de manera que cada posición de las matrices contiene un uno (1) o un (0) que identifica si el encuestado realiza o no la actividad respectivamente en el tiempo  $t$ .

Por otra parte, una vez se obtienen las 8 matrices de las actividades se crea un vector por cada matriz donde contiene en cada intervalo de tiempo el número de encuestados que han realizado dicha actividad, posteriormente se divide el resultado de cada posición en el total de encuestados para obtener la probabilidad de realizar una actividad en un tiempo  $t$ . Ver Figura 19

**Figura 19** Probabilidad de que un ocupante realice diferentes actividades en un día



La Figura 19 presenta los resultados obtenidos del programa realizado en Matlab donde describe el comportamiento que tienen las personas encuestadas en el transcurso de un día, con esta grafica es posible identificar la probabilidad que tiene una persona de realizar una actividad a determinada hora del día. Este análisis se da por los datos ATUS con variaciones de tiempo minuto a minuto en cada una de las actividades.

**6.1.5 Matrices de transición.** Teniendo en cuenta las ocho (8) matrices de las actividades obtenidas en el inciso anterior (6.1.4) y aplicando la metodología propuesta (sección 5.1.5) es posible obtener las matrices de transición. De igual forma en esta sección se consideró un lapso de 24 horas a partir de las 4 am en donde en cada paso de tiempo (minuto a minuto) se establece una matriz de transición que contiene la probabilidad de estar haciendo una actividad en un tiempo  $t$  y pasar a realizar la misma u otra actividad en un tiempo  $t+1$ , es decir que, de acuerdo a los 1440 minutos de un día, se obtienen como resultado  $n-1$  matrices de transición estableciendo así un total 1439 matrices. En la Tabla 7 se muestran la matriz de transición resultante del paso de tiempo de 6:59 pm a 7:00pm.

**Tabla 7** Matrices de transición de un paso de tiempo

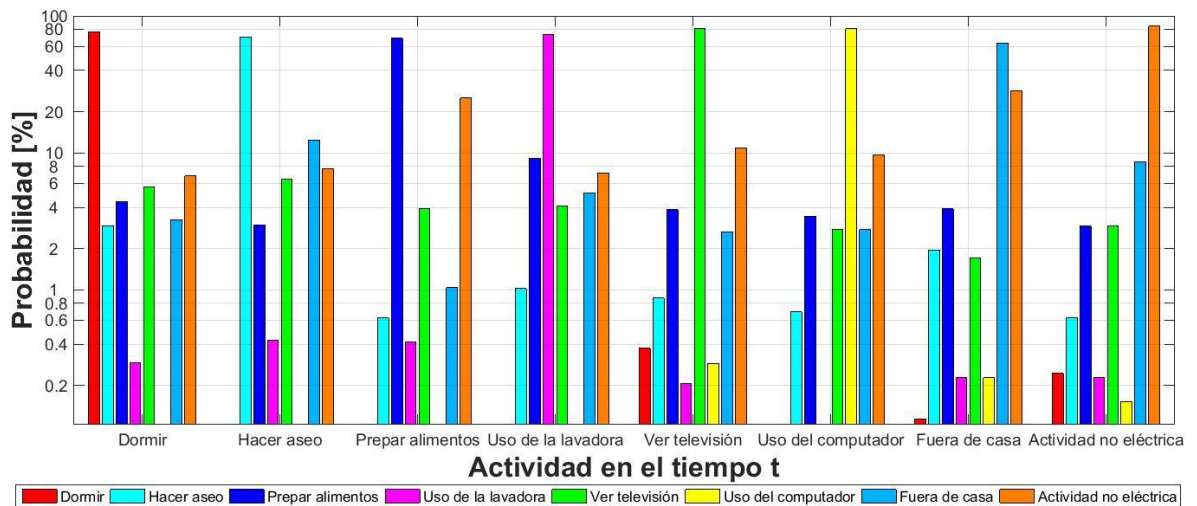
<b>Matriz de transición de 6:59pm a 7:00pm</b>	<b>Dormir</b>	<b>Hacer aseo</b>	<b>Preparación de alimentos</b>	<b>Uso de la lavadora</b>	<b>Ver televisión</b>	<b>Uso del computador</b>	<b>Fuera de casa</b>	<b>Actividad no eléctrica</b>
<b>Dormir</b>	89.306	1.156	0.578	0.289	3.179	0.000	0.289	5.202
<b>Hacer aseo</b>	2.262	66.516	1.810	0.000	9.502	0.000	9.050	10.860
<b>Preparación de alimentos</b>	0.141	1.266	65.541	0.141	8.579	0.000	0.422	23.910
<b>Uso de la lavadora</b>	0.000	1.020	8.163	79.592	5.102	0.000	1.020	5.102
<b>Ver televisión</b>	0.955	0.924	2.038	0.414	85.605	0.446	1.561	8.057
<b>Uso del Computador</b>	0.000	0.617	1.852	0.000	6.173	82.099	1.852	7.407
<b>Fuera de casa</b>	0.159	2.067	3.657	0.477	2.703	0.318	64.865	25.755
<b>Actividad no eléctrica</b>	0.302	1.018	1.973	0.207	4.647	0.223	6.381	85.248

De acuerdo a la matriz expuesta en la Tabla 7. Se pueden evidenciar las probabilidades de paso de una actividad a otra durante un intervalo de un minuto, esta es una matriz de transición de las 1439 que arroja el código realizado en Matlab. Es por ello, que se evidencia las propiedades que identifican una matriz de transición donde con los datos obtenidos se puede hacer un barrido a lo largo de la fila, realizando una sumatoria para obtener una probabilidad del 1, así mismo la probabilidad de transición en la diagonal corresponde a la probabilidad de que el estado de actividad de un ocupante se mantendrá sin cambios, mientras que los elementos fuera de la diagonal representan la probabilidad de transición

del estado de una actividad a otra, de esta manera se demuestra los resultados obtenidos aplicando la metodología de la sección 5.1.5 .

De igual forma, las probabilidades de transición se pueden mostrar a través de la caracterización del diagrama de barras mostrado en la Figura 20 que representan el comportamiento de las actividades durante un lapso de tiempo, de manera que se desea mostrar con mayor claridad la dinámica de la transición de una actividad a otra mediante la distinción de colores.

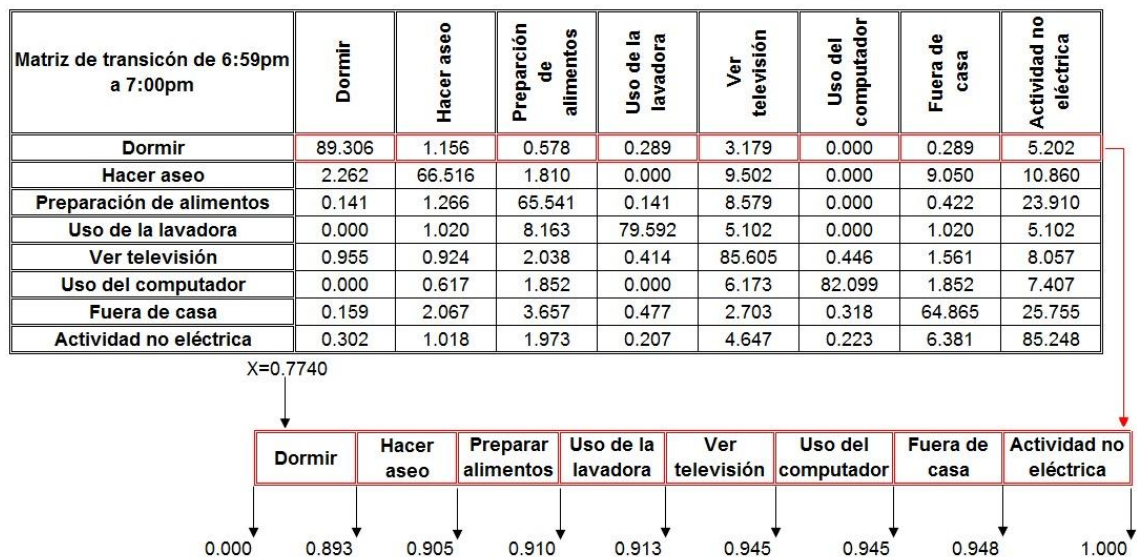
**Figura 20** Probabilidades de transición de 5:59pm a 6:00pm



La Figura 20 representa la matriz de transición de 5:59pm a 6:00pm, donde el eje horizontal representa la actividad realizada a las 5:59pm y el eje vertical representa la probabilidad a realizar una actividad a las 6:00pm, por ejemplo, la probabilidad de estar durmiendo y seguir durmiendo es cercana al 80%.

**6.1.6 Modelado del comportamiento de los ocupantes.** El comportamiento de los ocupantes está caracterizado por las probabilidades de transición que se obtienen de las matrices, de igual manera se realizara un enfoque en el método de Monte Carlo a intervalos de un minuto, donde minuto a minuto se genera un número pseudoaleatorio, que seguidamente se compara con las probabilidades acumuladas de la actividad realizada y finalmente la ubicación de este número dentro de la distribución uniforme establece que actividad a realizar en el siguiente instante de tiempo para la simulación del perfil de uso que presenta un ocupante dentro de una unidad familiar.

**Figura 21** Actividad generada mediante el método de Monte Carlo.

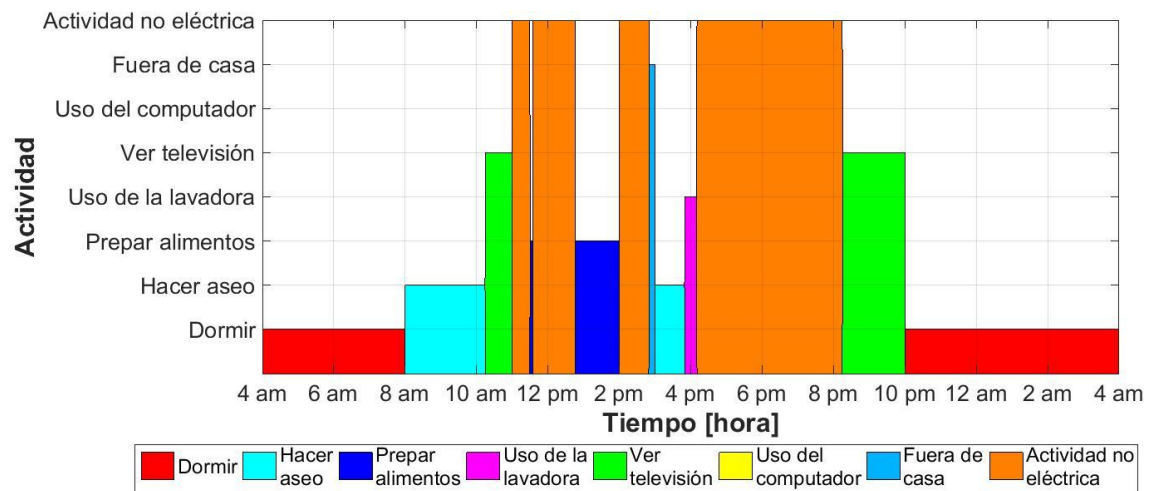


Los resultados de la Figura 21 son obtenidos en a través de un código realizado en Matlab, donde se muestra un ejemplo del comportamiento del número Pseudoaleatorio y la matriz de transición en un minuto, así podemos observar que el valor se encuentra dentro del rango de la actividad de dormir, con todas las probabilidades de transición y el ajuste que

se realiza por Monte Carlo obtenemos los perfiles de uso de un usuario residencial durante un día.

El perfil de uso de un usuario residencial mostrado en la Figura 22 se efectúa a través de las 1.439 matrices de transición y el comportamiento de un número Pseudoaleatorio minuto a minuto para que se establezca la probabilidad más ajustada a la cual pertenece dicho número para las diferentes actividades establecidas en el proyecto, así cada intervalo de tiempo mostrado en la figura representa la realización de cada una de las actividades por un usuario residencial en un periodo de tiempo de 24 horas.

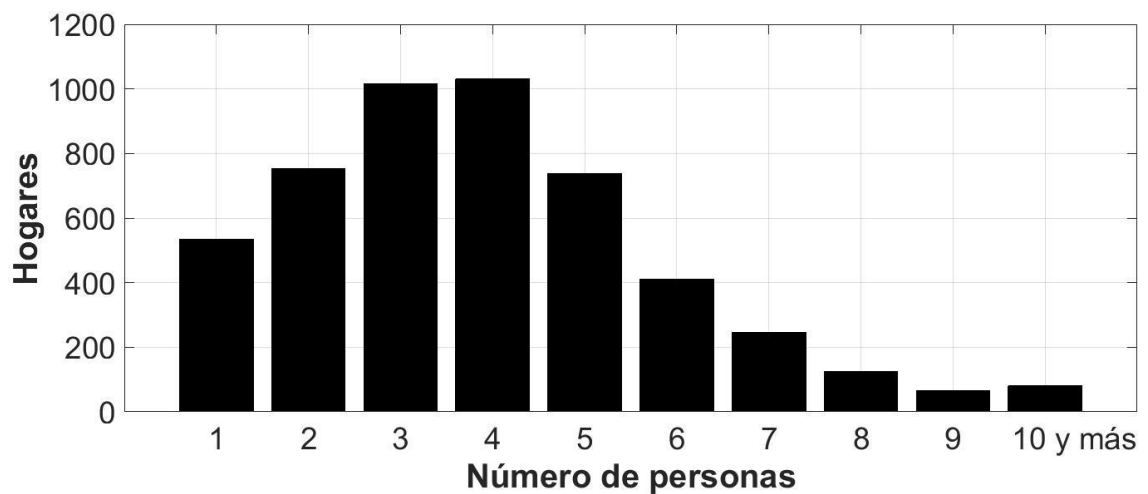
**Figura 22** Perfil de uso de un usuario residencial



El perfil de uso mostrados en la Figura 22 describen el comportamiento de un usuario residencial en las diferentes actividades realizadas durante el día, la gráfica muestra de manera pertinente la veracidad de los resultados debido que la actividad de dormir se encuentra dentro de los intervalos de tiempo que una persona del común realizaría.

**6.1.7 Simulación de los ocupantes de una unidad residencial.** En esta sección se presenta la estimación del número de personas por unidad residencial para una simulación de 5000 hogares con el fin de observar el comportamiento de los perfiles de uso teniendo en cuenta las actividades compartidas. Como segunda medida se comprobó la efectividad del método Monte Carlo para determinar el número de personas en un hogar.

**Figura 23** Número de personas por una unidad residencial



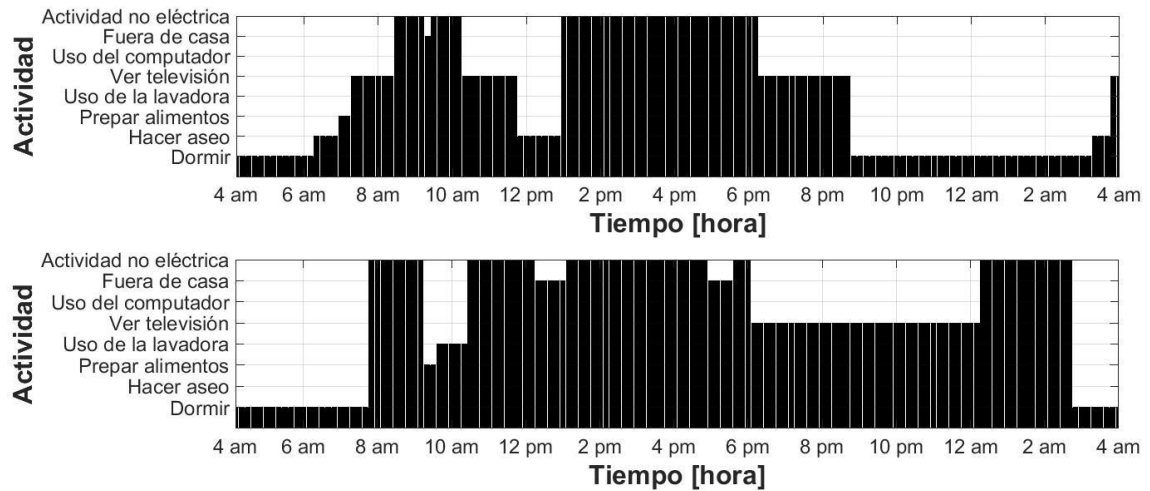
**Tabla 8** Número de personas para una determinada cantidad de hogares

	Número de personas por hogar									
Personas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hogares	534	753	1015	1031	739	411	247	124	66	80

En la Figura 23, el eje horizontal representa el número de personas en un hogar y el eje vertical el número de hogares. Por ejemplo, 1031 hogares estaban conformados por 4

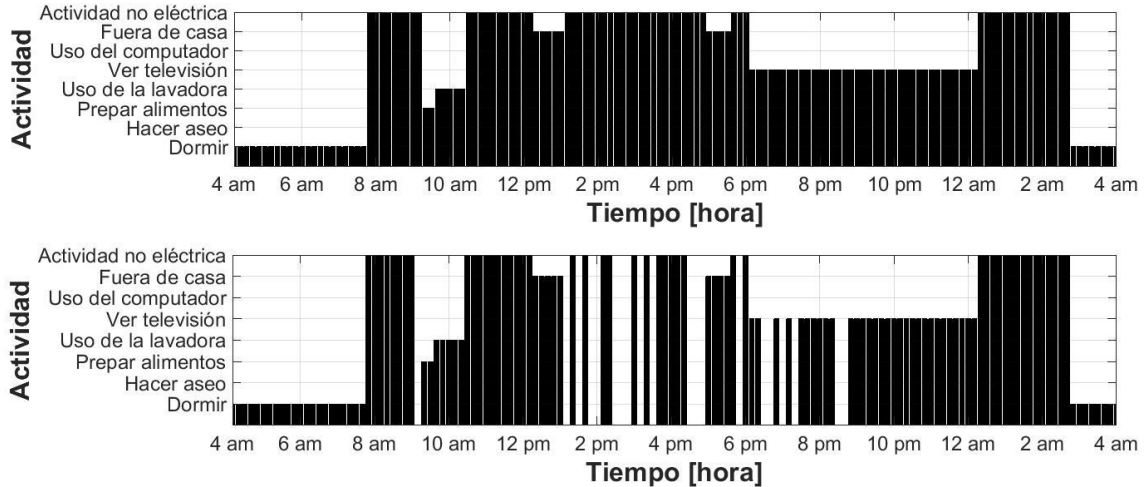
personas cada uno. El promedio de personas por unidad residencial es 3,897. De igual forma este comportamiento se presenta para cualquier tipo de simulación debido a que es realizado con datos estadísticos del DANE y el método Monte Carlo (6.1.6).

**Figura 24** Perfil de uso antes de considerar las actividades compartidas de los usuarios 1 y 2



Es por esto que, se presentan dos perfiles uso para uno de los hogares conformado por 6 personas, donde se puede observar como se ve alterado los perfiles de uso al considerar la función probabilística. En la Figura 24 y Figura 25 el eje horizontal representa la hora del día y el eje vertical representa la actividad a realizar por un usuario residencial. La Figura 24 está conformada por el perfil de uso del usuario 1 y 2 antes de considerar las actividades compartidas, donde se puede apreciar que en ciertos intervalos de tiempo realizan la misma actividad, es decir que en ese instante de tiempo al determinar si un número Pseudoaleatorio es menor a la función probabilística, dicha actividad será compartida.

**Figura 25** Perfil de uso antes y después de considerar las actividades compartidas



Por tal razón la Figura 25 se presenta el perfil de uso del usuario 2 antes y después de considerar las actividades compartidas, donde el primer perfil está conformado por las actividades realizadas durante el día, sin tener en cuenta si dicha actividad ha sido realizada con el acompañamiento de otra persona, posteriormente en el segundo perfil se presenta teniendo en cuenta que ha realizado actividades con el usuario 1, por tal razón se aprecia que para ciertos intervalos no existen actividades dado que ya fueron consideradas en el perfil del acompañante (usuario 1).

## **6.2 SIMULACIÓN DE LOS PERFILES DE CARGA Y MODELOS DE CARGA PARA EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE BAJA TENSIÓN.**

Un entorno de simulación da lugar a la integración de las consideraciones para la dinámica de los hogares y los modelos desarrollados anteriormente, permitiendo generar perfiles de carga para miles de viviendas, donde se tienen en cuenta parámetros como: el tipo de electrodomésticos y la variación de los mismos para diferentes unidades residenciales. Por

---

otra parte, la clasificación asociada a la potencia nominal se utiliza para adquirir una variabilidad en los dispositivos eléctricos.

Es por ello que, para determinar el tamaño de un hogar, se utiliza como base fundamenta las estadísticas del DANE, permitiendo agrupar un número de personas donde persiste una probabilidad de que los diferentes perfiles de uso estén asociados a un mismo tipo de electrodoméstico. Por ejemplo, una unidad residencial puede tener dos computadores (uno portátil y otro de escritorio) y en un momento dado puede que ambos se encuentren en funcionamiento, pero uno de ellos es compartido por dos personas y el otro no.

Dado que se asume que todas las casas presentan la misma probabilidad de generar cualquier perfil de carga representativo para cada ocupante, esto permite tener un proceso estocástico con una distribución uniforme. De tal manera que mediante una simulación de Monte Carlo durante un día (1440 minutos) es posible generar los perfiles de demanda para un grupo determinado de hogares.

**6.2.1 Clasificación y selección de los electrodomésticos.** Los electrodomésticos que se muestran a continuación son los estimados para obtener los perfiles de carga de las personas que residen en un hogar. La selección de estos dispositivos se realiza con el fin de tener una buena proximidad o acercamiento al comportamiento de la curva de demanda de los usuarios residenciales de estrato uno y dos.

De acuerdo con, los datos de placa como la potencia nominal, tensión nominal, frecuencia son las principales características eléctricas que se tienen en cuenta junto con los modelos

ZIP y la tensión del sistema para dar solución a la potencia de operación de los equipos, todo esto se realiza en un marco de simulación para obtener la demanda de potencia.

**Tabla 9** Características eléctricas de televisores

Nombre	Tamaño (pulgadas)	Marca	Potencia nominal (W)	Tensión nominal (V)	Frecuencia (Hz)
Televisor (plasma)	14	Panasonic	25	100/240	50/60
Televisor (plasma)	21	Samsung	30	100/240	50/60
Televisor (LCD)	32	LG	39	100/240	50/60
Televisor (LCD)	43	Sony	120	100/240	50/60

**Tabla 10** Características eléctricas del DVD

Nombre	Tamaño (pulgadas)	Marca	Potencia nominal (W)	Tensión nominal (V)	Frecuencia (Hz)
DVD	–	Samsung	7	120	60
DVD	–	Pioneer	9	120	60
DVD	–	Panasonic	12	120	60
DVD	–	Sony	15	120	60

**Tabla 11** Características eléctricas de computadores portátil

Nombre	Tamaño (pulgadas)	Marca	Potencia nominal (W)	Tensión nominal (V)	Frecuencia (Hz)
PC portátil 2.2GHz, Intel i5-5200, 8Gb	14	Lenovo	50	100/240	50/60
PC portátil 2GHz, Intel Dual-Core, 4Gb	14	Compaq	65	100/240	50/60
PC portátil 2GHz, Intel Dual Core, 4GB	14	TOSHIBA	90	100/240	50/60
PC portátil 2.4GHz, Intel i3-2400, 4GB	17	hp	120	100/240	50/60

**Tabla 12** Características eléctricas de computadores de escritorio

Nombre	Tamaño (pulgadas)	Marca	Potencia nominal (W)	Tensión nominal (V)	Frecuencia (Hz)
Monitor	21.5	Acer	22	100/240	50/60
Monitor	24	Acer	26.1	100/240	50/60
Monitor	27	Dell	90	100/240	50/60
Monitor	29	LG	56.5	100/240	50/60
Ordenador	-	Acer	300	100/240	47/63
Ordenador	-	Lenovo	450	100/240	47/63
Ordenador	-	hp	550	100/240	47/63
Ordenador	-	LG	750	100/240	47/63

**Tabla 13** Características eléctricas de neveras

Nombre	Tamaño (litros)	Marca	Potencia nominal (W)	Tensión nominal (V)	Frecuencia (Hz)
Nevera	246	mabe	80	110	60
Nevera	273	Samsung	108	115	60
Nevera	684	Haceb	160	110	60
Nevera	320	LG	180	120	60

**Tabla 14** Características eléctricas de hornos microondas

Nombre	Tamaño (litros)	Tamaño (pies)	Marca	Potencia nominal (W)	Tensión nominal (V)	Frecuencia (Hz)
Horno microondas	–	0.7	Electrolux	1500	120	60
Horno microondas	–	0.8	LG	1050	120	60
Horno microondas	15	–	Samsung	1300	120	60
Horno microondas	9	–	LG	1200	120	60

**Tabla 15** Características eléctricas de licuadoras

Nombre	Tamaño (litros)	Marca	Potencia nominal (W)	Tensión nominal (V)	Frecuencia (Hz)
Licuadora	1.5	Oster	400	120	60
Licuadora	1.5	Oster	450	127	60
Licuadora	1.25	Oster Monterrey	550	120	60
Licuadora	1.25	Oster	600	120	60

**Tabla 16** Características eléctricas de cafeteras

Nombre	Tamaño (pulgadas)	Marca	Potencia nominal (W)	Tensión nominal (V)	Frecuencia (Hz)
Cafetera	12	Black & Decker	800	120	60
Cafetera	12	Black & Decker	975	120	60
Cafetera	6	Home elements	550	110	60
Cafetera	15	Oster	900	120	60

**Tabla 17** Características eléctricas de las sandwicheras

Nombre	Tamaño	Marca	Potencia nominal (W)	Tensión nominal (V)	Frecuencia (Hz)
Sanduchera	–	Imusa	625	120	60
Sanduchera	–	Black & Decker	700	110	60
Sanduchera	–	Imusa	750	110	60
Sanduchera	–	Oster	820	120	60

**Tabla 18** Características eléctricas de ollas arroceras

Nombre	Tamaño (tazas)	Marca	Potencia nominal (W)	Tensión nominal (V)	Frecuencia (Hz)
Olla arrocera	1.5	Black & Decker	200	120	60
Olla arrocera	5	Black & Decker	400	120	60
Olla arrocera	8	Veeden	900	120	60
Olla arrocera	5	Oster multiusos	500	120	60

**Tabla 19** Características eléctricas de equipos de sonido

Nombre	Tamaño (potencia de sonido)	Marca	Potencia nominal (W)	Tensión nominal (V)	Frecuencia (Hz)
Equipo de sonido	2000	Panasonic	250	120	60
Equipo de sonido	2100	Sony	140	120	60
Equipo de sonido	280	LG	50	120	60
Equipo de sonido	1000	Samsung	97	120	60

**Tabla 20** Características eléctricas de ventiladores

Nombre	Tamaño (pulgadas)	Marca	Potencia nominal (W)	Tensión nominal (V)	Frecuencia (Hz)
Ventilador	12	Universal	40	120	60
Ventilador	14	Electrolux	50	110/120	60
Ventilador	18	Kalley	60	120	60
Ventilador	16	Samuray	80	120	60

**Tabla 21** Características eléctricas de lavadoras

Nombre	Tamaño (libras)	Marca	Potencia nominal (W)	Tensión nominal (V)	Frecuencia (Hz)
Lavadora	20	Electrolux	40	127	60
Lavadora	29	Samsung	50	120/240	60
Lavadora	31	LG	60	120	60
Lavadora	24	Haceb	80	120	60

---

**6.2.2 Clasificación de los modelos de carga eléctrica.** Este caso de estudio tiene como objetivo la clasificación de los electrodomésticos en cada una de las categorías de los modelos polinomiales/ZIP, algunos de los dispositivos eléctricos mencionados en la sección (6.2.1) tienen consideraciones de potencia activa para establecer la topología en la que se encuentran designados, y así establecer el tipo de tecnología, por ejemplo, los televisores mayores a 75 W con una topología PFC-activo (PFC-a) se encuentran designados por su tecnología como LCD/LED. Por esta razón, se mostrará a continuación las especificaciones de los electrodomésticos y las consideraciones tomadas en cuenta.

**Televisores.** Los televisores se clasifican de acuerdo a su potencia nominal que determinara las características eléctricas de la carga, donde el electrodoméstico con potencia nominal menor a 75 W tiene una forma de SMPS de baja potencia NO-PFC. Los televisores de potencia nominal mayor a 75 W incluyen alguna forma de PFC. Se supone que los televisores más antiguos (CRT/Plasma) usan PFC-pasivo, mientras que las nuevas tecnologías, es decir, los televisores LCD/LED, usan un PFC-activo. De acuerdo a la categorización se toma una probabilidad del 50% de que las personas tengan CRT/plasma y un 50% LCD/LED.

**DVD/ Equipo de sonido.** Se establece que todos los DVD son considerados con una probabilidad del 70% y según el DANE [24] los equipos de sonido tienen una probabilidad del 54.48%, estos dispositivos eléctricos son SMPS de baja potencia, por lo tanto, estas cargas se asumen como SMPS NO-PFC.

**Computadores.** Incluye dispositivos como: computadores de escritorio (ordenadores, monitores) y portátiles. Por lo general, los monitores se modelan de la misma manera que los televisores, y se establecen las mismas consideraciones de probabilidad. Los ordenadores tienen un consumo de energía activo que variara del 20 al 60% de la potencia

---

nominal durante las condiciones normales de funcionamiento y su clasificación está dada como PFC (PFC-p, PFC-a). Las estimaciones de probabilidad son del 50% para PFC-p y un 50% PFC-a. Los computadores de escritorio son SMPS de alta potencia con una probabilidad del 30%.

De esta manera, los computadores portátiles tienen una probabilidad de pertenencia del 56% como NO-PFC, 19% como PFC-p y el 25% como PFC-a. Durante la operación la potencia absorbida por el ordenador portátil variara entre el 40 y el 85% del cargador de la energía nominal durante condiciones normales de funcionamiento y la probabilidad establecida para el número de personas que utilizan computador portátil es del 70%.

**Electrodomésticos de cocción de alimentos.** Las cargas de cocción de alimentos se pueden dividir en seis tipos generales: horno microondas, cafeteras, sanducheras, olla arrocera, estufa eléctrica, licuadora. El horno microondas se modela como PFC-p con una probabilidad del 16.11% según el DANE [24]. La licuadora se encuentra incorporada en la categoría de motores de inducción monofásicos de par constante  $RSIR_{CT}$ , donde las condiciones de probabilidad efectuadas se establecen atrás del DANE con un valor del 70.86%, los demás electrodomésticos se encuentran categorizados como resistivos.

**Lavadora.** La estimación de la lavadora se realiza a partir del ciclo de funcionamiento que consiste en dos etapas principales. En la primera etapa se efectúa el bombeo del agua hacia el tambor y en la siguiente etapa de funcionamiento es una secuencia de rotaciones del tambor según el ciclo típico de uso de los hogares el cual fue estimado con una duración de 75 minutos. El SPIM utilizado para impulsar la rotación del tambor se considera como  $RSIR_{CT}$  debido al alto par que se requiere, con una probabilidad de funcionamiento del 46.7%. La bomba de agua centrífuga presenta un motor de par cuadrático y se modela como  $RSIR_{QT}$  con 14.7% de su funcionamiento y el sistema electrónico se modela como

---

SMPS NO- PFC con un valor de 38.7%. Este tipo de electrodomésticos tienen una probabilidad de pertenencia del 45.95% en los hogares de Bucaramanga.

**Nevera.** Este tipo de electrodoméstico se estima que tiene un comportamiento de uso continuo y todas las casas están equipadas con al menos 1 nevera. Mediante el método de Monte Carlo y con una probabilidad de pertenencia de 80.02% del dispositivo es posible tener una aleatoriedad en la simulación. Para el modelado se tiene en cuenta la categorización de la Tabla 4 donde corresponde al grupo de motores de inducción monofásicos con conexión directa ( $RSIR_{CT}$ ).

**Ventilador.** El ventilador se encuentra modelado como  $RSIR_{CT}$ , con una probabilidad de 49.60% de pertenencia de los hogares.

De acuerdo a la categorización previamente establecida para cada uno de los electrodomésticos, se realiza detalladamente una serie de tablas: Tabla 22, Tabla 23, Tabla 24 que especifican su potencia nominal y topología.

**Tabla 22** Categorización para los electrodomésticos de entretenimiento

Entretenimiento			Entretenimiento		
Electrodoméstico	Potencia nominal (W)	Topología	Electrodoméstico	Potencia nominal (W)	Topología
Televisor	25	no-PFC	Equipo de sonido	50	no-PFC
Televisor	30	no-PFC	Equipo de sonido	97	no-PFC
Televisor	39	no-PFC	Equipo de sonido	140	no-PFC
Televisor	120	PFC-p	Equipo de sonido	250	no-PFC
DVD	7	no-PFC	Monitor	22	no-PFC
DVD	9	no-PFC	Monitor	26.1	no-PFC
DVD	12	no-PFC	Monitor	56.5	no-PFC
DVD	15	no-PFC	Monitor	90	PFC-p
Portátil	30	no-PFC	Ordenador	300	PFC-p
Portátil	65	no-PFC	Ordenador	450	PFC-a
Portátil	90	PFC-a	Ordenador	550	PFC-p
Portátil	120	PFC-p	Ordenador	750	PFC-a

**Tabla 23** Categorización para los electrodomésticos de cocción de alimentos

Cocción de alimentos			Cocción de alimentos		
Electrodoméstico	Potencia nominal (W)	Topología	Electrodoméstico	Potencia nominal (W)	Topología
Nevera	80	RISR-CT	Olla arrocera	200	Resistivo
Nevera	108	RISR-CT	Olla arrocera	400	Resistivo
Nevera	160	RISR-CT	Olla arrocera	500	Resistivo
Nevera	180	RISR-CT	Olla arrocera	900	Resistivo
Horno microondas	1050	PFC-p	Cafetera	550	Resistivo
Horno microondas	1200	PFC-p	Cafetera	800	Resistivo
Horno microondas	1300	PFC-p	Cafetera	900	Resistivo
Horno microondas	1500	PFC-p	Cafetera	975	Resistivo
Licuadaora	400	RISR-CT	Sanduchera	625	Resistivo
Licuadaora	450	RISR-CT	Sanduchera	700	Resistivo
Licuadaora	90	RISR-CT	Sanduchera	750	Resistivo
Licuadaora	120	RISR-CT	Sanduchera	820	Resistivo
Estufa eléctrica	2000	Resistivo	Estufa eléctrica	4000	Resistivo
Estufa eléctrica	3500	Resistivo	Estufa eléctrica	5000	Resistivo

**Tabla 24** Categorización de los electrodomésticos de aseo y otros

Aseo y otros			Aseo y otros		
Electrodoméstico	Potencia nominal W	Topología	Electrodoméstico	Potencia nominal W	Topología
Ventilador	40	RSIR-CT	Ducha eléctrica	7200	Resistivo
Ventilador	50	RSIR-CT	Ducha eléctrica	8000	Resistivo
Ventilador	60	RSIR-CT	Ducha eléctrica	8500	Resistivo
Ventilador	80	RSIR-CT	Ducha eléctrica	9500	Resistivo

La representación de las tablas expuestas anteriormente se realiza con el fin de establecer la topología a la que corresponden los electrodomésticos, de esta manera se podrá establecer la impedancia constante, corriente constante y potencia constante que forman un tipo modelo polinomial/ZIP, con estos datos mencionados y las características eléctricas se forma la potencia de operación de un electrodoméstico. Así mismo, se muestra con un ejemplo la potencia de operación de una licuadora. A continuación, se presenta los datos según la Tabla 25.

**Tabla 25** Especificación de datos para la licuadora

Categoría	Factor de potencia	ZIP-P			ZIP-Q		
		Z	I	P	Z	I	P
RSIR-CT	0.62	0.63	-1.2	1.6	1.4	-0.9	0.5

De acuerdo a los datos de la licuadora según los modelos ZIP y sus características eléctricas (potencia nominal 450 [ W ] , voltaje nominal 120 [ V ]), mostraremos el cálculo según la ecuación (4) que se debe realizar para obtener la potencia de operación en un intervalo de tiempo:

$$P = P_0 \left[ Z_p \left( \frac{V_{sistema}}{V_0} \right)^2 + I_p \left( \frac{V_{sistema}}{V_0} \right) + P_p \right]$$

$$P = 450 \left[ (0.63) \left( \frac{120 * 1.05}{120} \right)^2 + (-1.2) \left( \frac{120 * 1.05}{120} \right) + 1.57 \right]$$

$$P = 452.0588 [ W ]$$

Para obtener la potencia reactiva nominal del equipo se deben realizar los cálculos según la ecuación (4), para esto se debe tener en cuenta la estimación del factor de potencia mostrado en modelos ZIP.

$$Q_0 = P_0 * \tan(\cos(PFC)^{-1})$$

$$Q_0 = 450 * \tan(\cos(0.62)^{-1})$$

$$Q_0 = 569.4691 \text{ [var ]}$$

$$Q = Q_0 \left[ Z_q \left( \frac{V_{sistema}}{V_0} \right)^2 + I_q \left( \frac{V_{sistema}}{V_0} \right) + P_q \right]$$

$$Q = (569.4691) \left[ (1.4) \left( \frac{120 * 1.05}{120} \right)^2 + (-0.91) \left( \frac{120 * 1.05}{120} \right) + 0.5 \right]$$

$$Q = 619.5824 \text{ [var ]}$$

De esta manera, se puede obtener La potencia activa y reactiva de operación para un intervalo de tiempo donde la licuadora se encuentra en funcionamiento. Las probabilidades de pertenencia de los electrodomésticos se muestran en la Tabla 26 las cuales son estimadas de acuerdo a los requerimientos establecidos en la ejecución del proyecto.

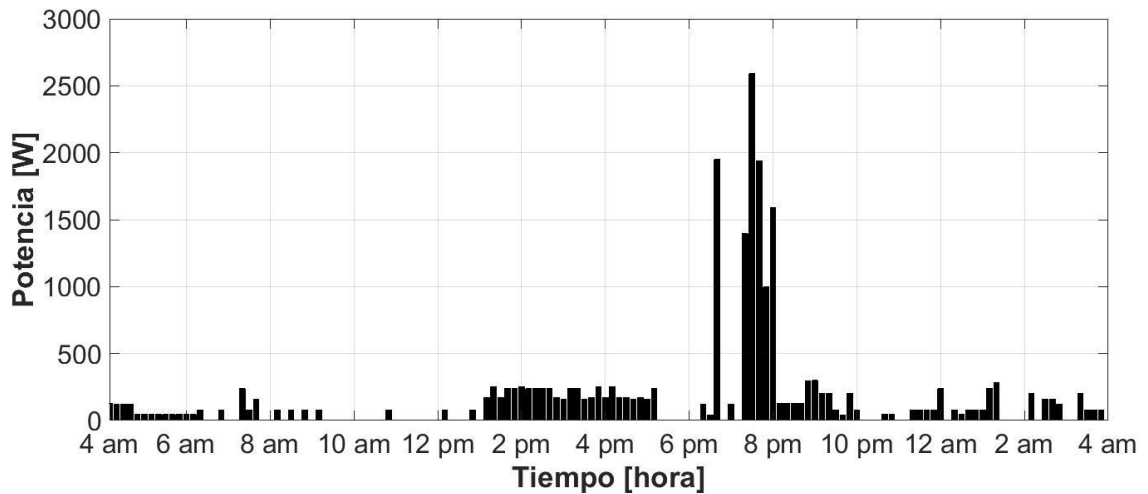
**Tabla 26** Estimación del porcentaje de pertenencia de los electrodomésticos

Electrodoméstico	SI %	NO%	Total %
DVD	70	30	100
Computador de escritorio	30	70	100
Computador portátil	70	30	100
Cafetera	20	80	100
Sanduchera	80	20	100
Olla arrocera	40	60	100
Estufa eléctrica	26.46	73.54	100

Las consideraciones que se estiman en la Tabla 26, para este tipo de electrodomésticos se realizan de acuerdo a lo comúnmente observado en los hogares de la ciudad de Bucaramanga, esto se realizó debido a que no se presentan fuentes de información.

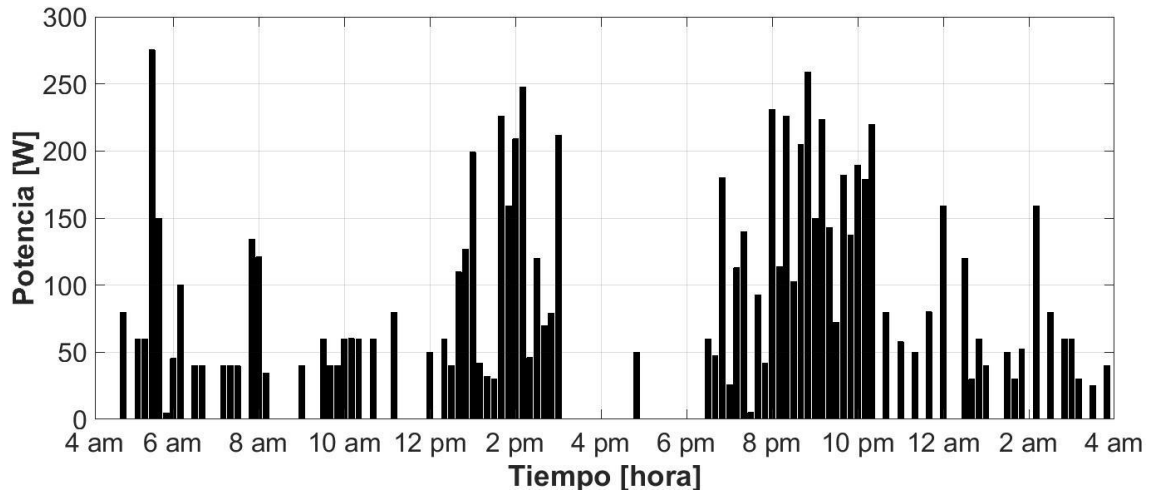
**6.2.3 Perfiles de carga para una unidad residencial.** Basados en la sección 5 de la segunda parte de la metodología (perfiles de carga), se presentan cuatro (4) perfiles de carga de todos resultantes de las simulaciones de 183 hogares durante 21 días típicos, donde el número de hogares estimados para las simulaciones es debido a la afinidad en el comportamiento que se espera tener con las mediciones realizadas en un transformador de distribución del municipio de Piedecuesta.

**Figura 26** Perfiles de carga del usuario 4 de un hogar de 5 personas.



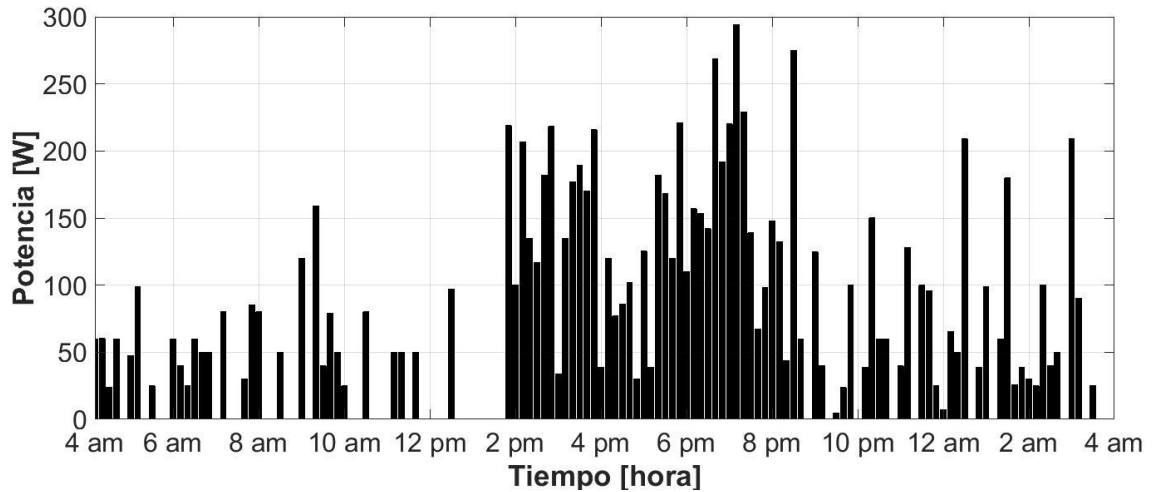
En la Figura 26 se presenta la simulación para un ocupante de una unidad residencial donde viven siete (7) integrantes. En la gráfica se observa que cerca de las 8 de la noche hay un consumo de energía considerable debido a que la actividad de preparar alimentos ha ingresado al perfil de carga una estufa eléctrica con potencia de operación cercana a los 2500W.

**Figura 27** Perfiles de carga del usuario 1 para un hogar de 2 personas.



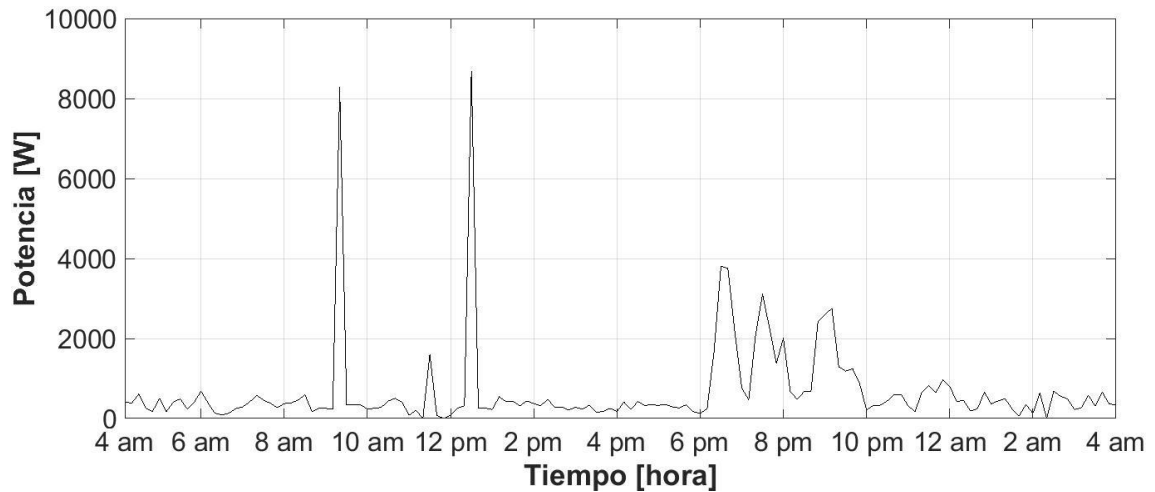
En cuanto, a la Figura 27 se presenta un perfil de carga para un ocupante de una unidad residencial de dos (2) integrantes donde se observa un comportamiento más uniforme en relación con el perfil mostrado en la Figura 26. Como era de esperarse este usuario presenta un comportamiento típico en el sector residencial, es decir un alto consumo de energía en horas de la noche debido a las diferentes cargas de entretenimiento que estén en operación y un bajo consumo en horas de la tarde debido a que realiza actividades no eléctricas o se encuentra fuera de la casa.

**Figura 28** Perfiles de carga del usuario 1 para un hogar de 5 personas.



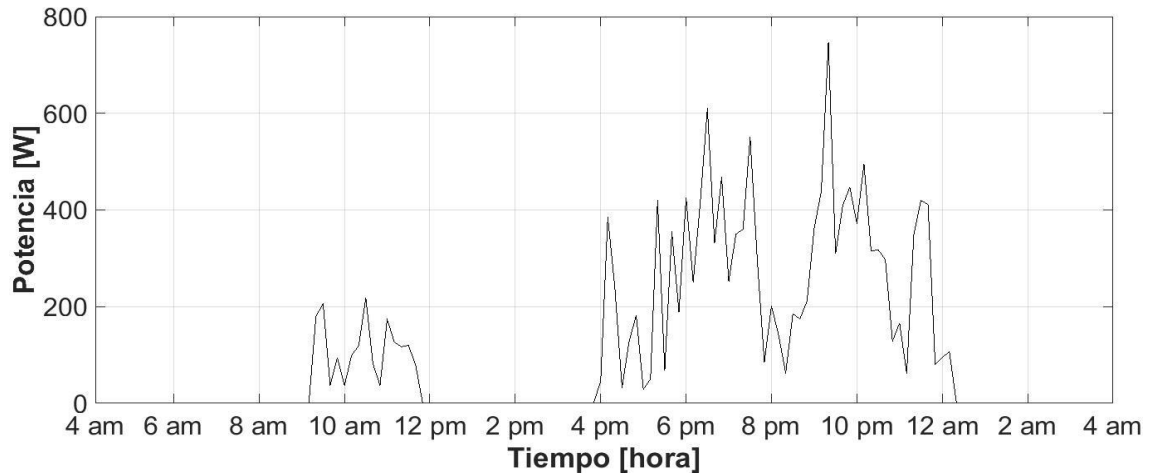
Finalmente se presenta en la Figura 27 un perfil de carga de un ocupante de una unidad residencial de 5 integrantes, donde se observa un comportamiento atípico en relación con la Figura 27 debido a que en horas de la tarde hay gran actividad eléctrica, lo que implica que la persona estuvo en casa gran parte del tiempo, En este perfil de carga se presenta interacción de electrodomésticos tales como el televisor y el ventilador debido a que se produce un consumo de energía considerable en los intervalos de tiempo de 12 am a 5 am donde las personas se encuentran durmiendo.

**Figura 29** Perfil de carga para un hogar de 6 personas



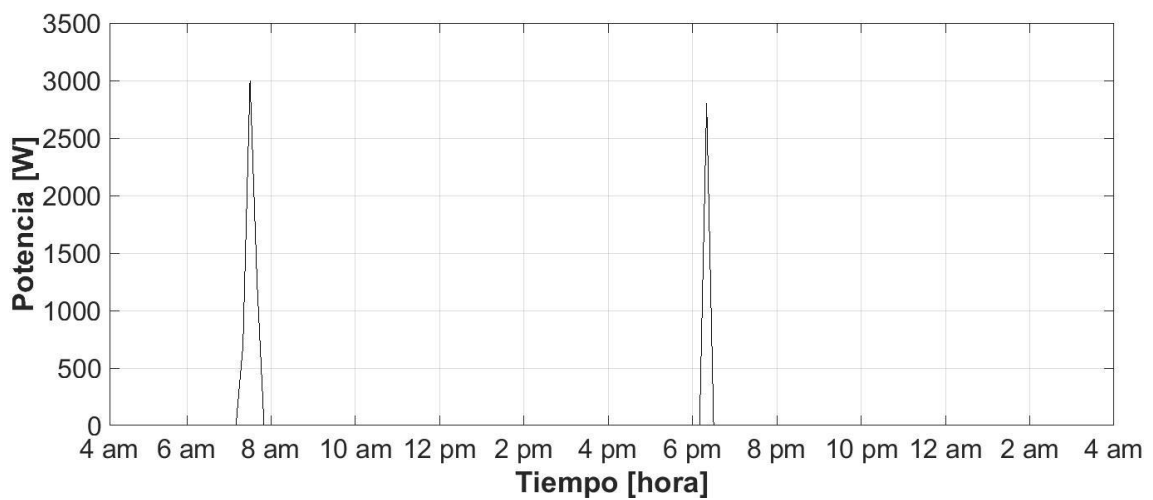
En la Figura 29 representa el perfil de carga de un hogar de seis (6) integrantes, donde se presenta el mayor consumo de energía cerca de las 1 pm. En la gráfica se observa un consumo variable a lo largo del día debido a las actividades realizadas por los integrantes de la unidad residencial.

**Figura 30** Perfil de carga de entretenimiento para un hogar de 5 personas



En la Figura 30, se observa la dinamica de perfil de carga de entretenimiento dado por franjas horarias, en la franja nocturna se evidencia mayor consumo de energia en relacion con el transcurso del día, debido a que en los patrones habituales del usuario se concentra una mayor probabilidad en horas de la noche de hacer uso de los dispositivos eléctricos como: computador, televisor y reproductor de DVD.

**Figura 31** Perfiles de carga de preparación de alimentos para un hogar de 5 personas



---

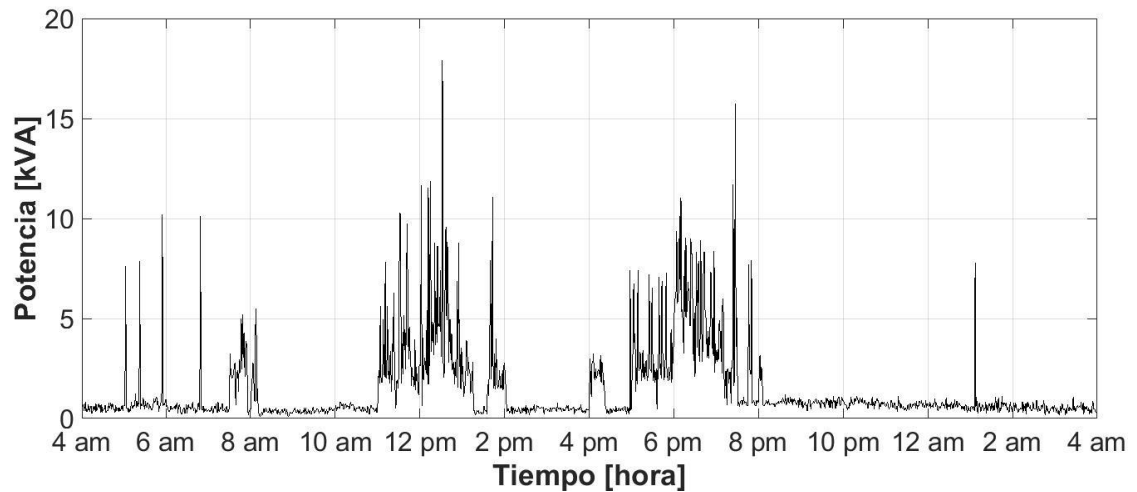
En la Figura 31 se observa el perfil carga de preparación de alimentos para un hogar de 5 personas, donde alrededor de las 7:30 am se genera el mayor consumo. Por otra parte, para el perfil de carga no se consideró la nevara debido a que es un electrodoméstico de uso continuo, es decir que no depende de los tiempos uso. Generalmente los mayores picos de carga presentes en una unidad residencial son la consecuencia del uso de los dispositivos eléctricos en la actividad de preparación de alimentos, debido a que la mayoría de electrodomésticos a utilizar son resistivos o motores de inducción de par constante.

En la Figura 30 y Figura 31 se aprecia el comportamiento de las actividades de entretenimiento y preparación de alimentos respectivamente durante un día con intervalos de 10 minutos. la visualización de los datos minuto a minuto no se presenta debido a las distorsiones ocurridas por la aleatoriedad de las cargas y/o actividades. Por tal razón para futuros trabajos se recomienda que a cada usuario le sea asignado aleatoriamente un grupo de electrodomésticos y estos sean incluidos a medida que el usuario realice una actividad, en lugar de elegir de manera aleatoria una potencia para cada electrodoméstico que interviene en la actividad minuto a minuto.

#### **6.2.4 Simulación de perfiles de carga para estimación de la demanda de potencia.**

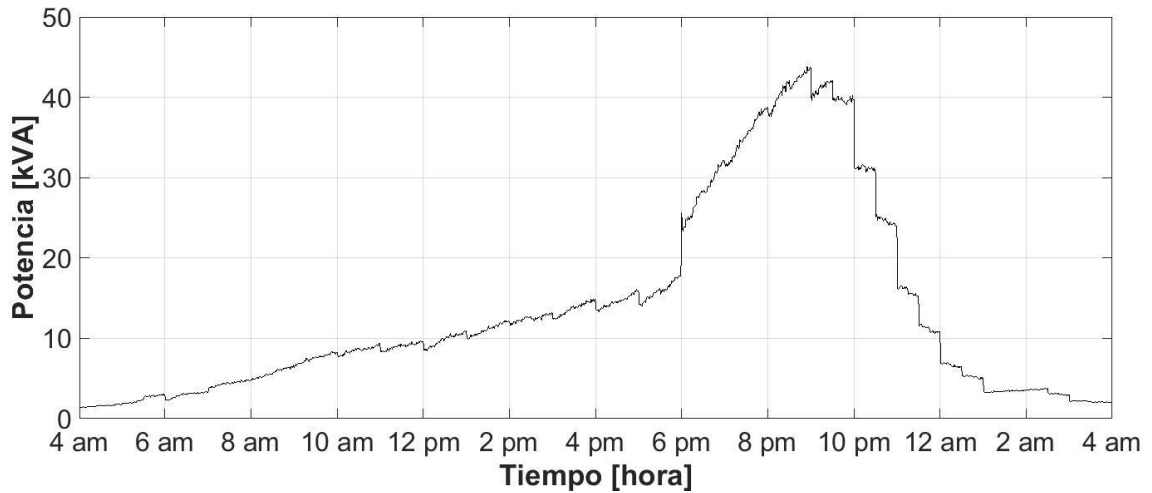
Finalmente se presenta los resultados obtenidos de la simulación de la demanda eléctrica para 183 hogares, generadas por las transformaciones ocurridas de los perfiles de uso combinados con los modelos eléctricos de carga para obtener los perfiles de carga de cada ocupante de las unidades residenciales, que al ser sumados se presenta la demanda eléctrica de la vivienda (ver Figura 32), donde proporciona una contribución a la demanda eléctrica global.

**Figura 32** curva de demanda de una unidad residencial de 8 personas



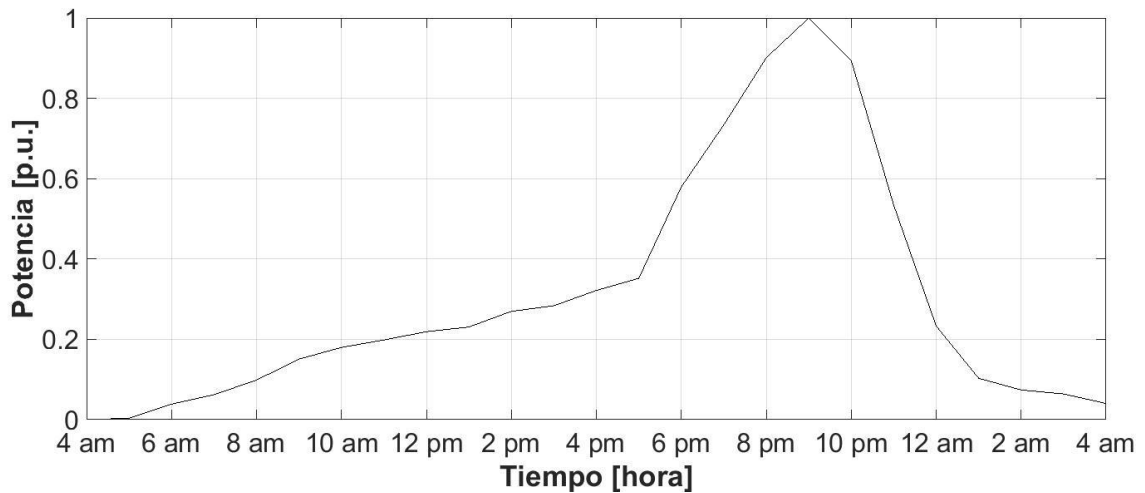
En la Figura 32 se observa la curva de demanda para un hogar de 8 personas donde se muestra un consumo de energía a lo largo del día resultante de las actividades realizadas por las personas y en consumo constante de la nevera.

**Figura 33** Simulación de la curva de demanda de entretenimiento



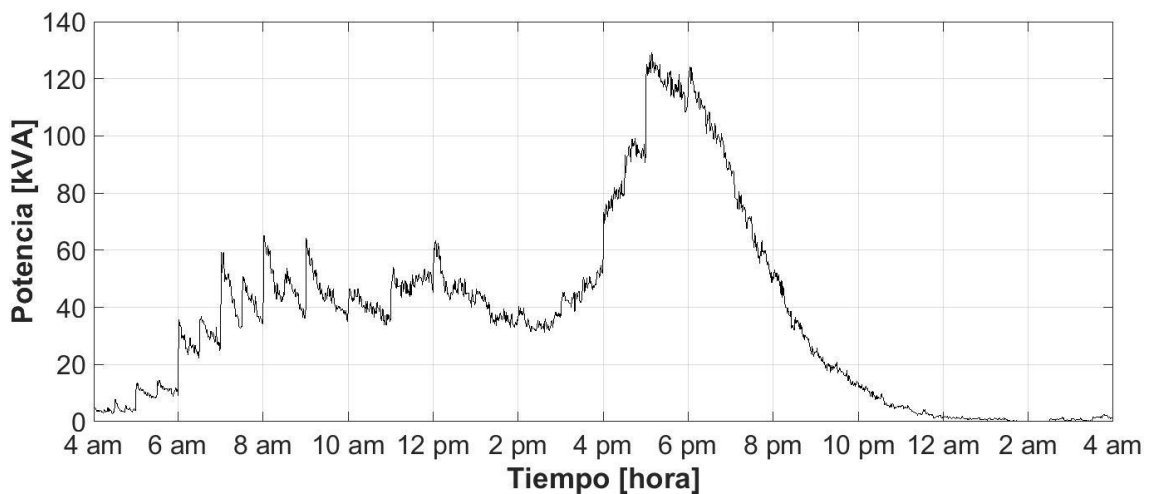
En la Figura 33 se aprecia la curva de demanda de entretenimiento obtenida de la simulación de los hogares, donde presenta un crecimiento de la demanda eléctrica desde las 4am a las 9pm, empieza a decrecer hasta las 4am del siguiente día. Como se observa en la Figura 33 en horas de la noche se encuentra la mayor acumulación de carga debido a que es más habitual hacer uso de los electrodomésticos como el televisor, DVD o computador.

**Figura 34** Simulación de la curva de demanda de entretenimiento.



Teniendo en cuenta que la curva mostrada en la Figura 33 presenta distorsión debido a la resolución de simulación (minuto a minuto), se proponen visualizar el comportamiento de los datos cada hora para mostrar una curva uniforme durante el día. ver Figura 34

**Figura 35** Simulación de la curva de demanda de preparación de alimentos

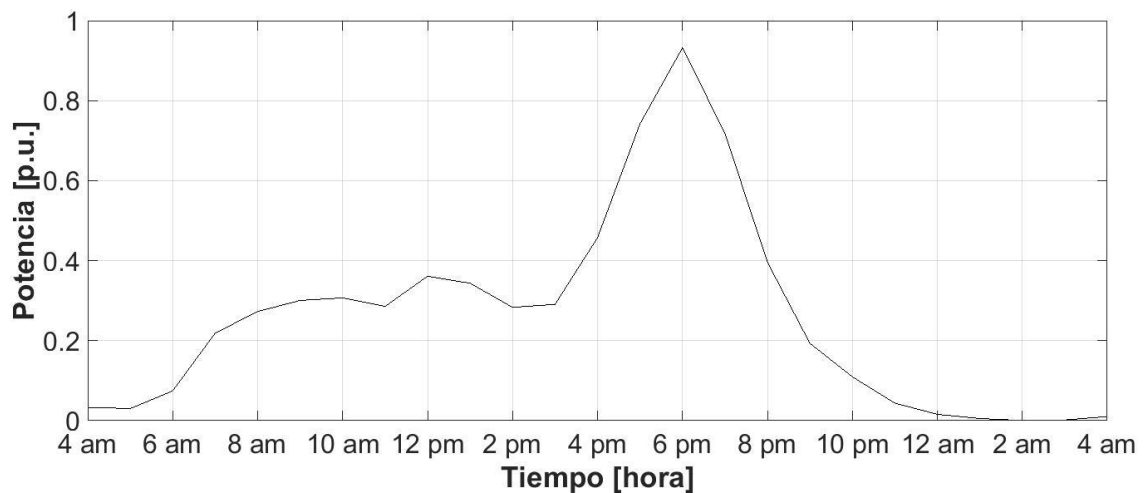


Los resultados obtenidos para la curva de demanda de preparación de alimentos mostrados en la Figura 35 se realizan en intervalos de tiempo minuto a minuto con variaciones a lo largo de la curva, esto se obtiene con un valor de demanda de potencia aparente (kVA). El pico de demanda de mayor proporcionalidad se presenta a las 5 pm, donde el consumo de energía aumenta debido a la cocción de alimentos en diferentes hogares en el mismo instante tiempo.

De esta manera, el intervalo de tiempo 12 am a 4 am donde se visualiza de forma plana el comportamiento de la curva, se debe a que los ocupantes de cada uno de los hogares se

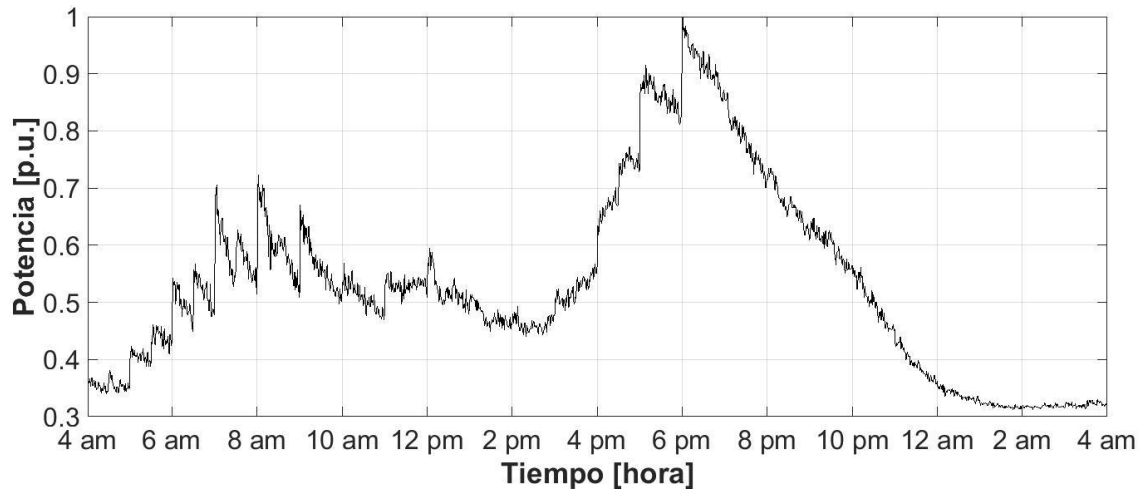
encuentran durmiendo, por este motivo no se presenta una dinámica en el uso de los electrodomésticos en el área de cocción de alimentos para que se de fluctuación de demanda de potencia.

**Figura 36** Simulación de la curva de demanda de preparación de alimentos



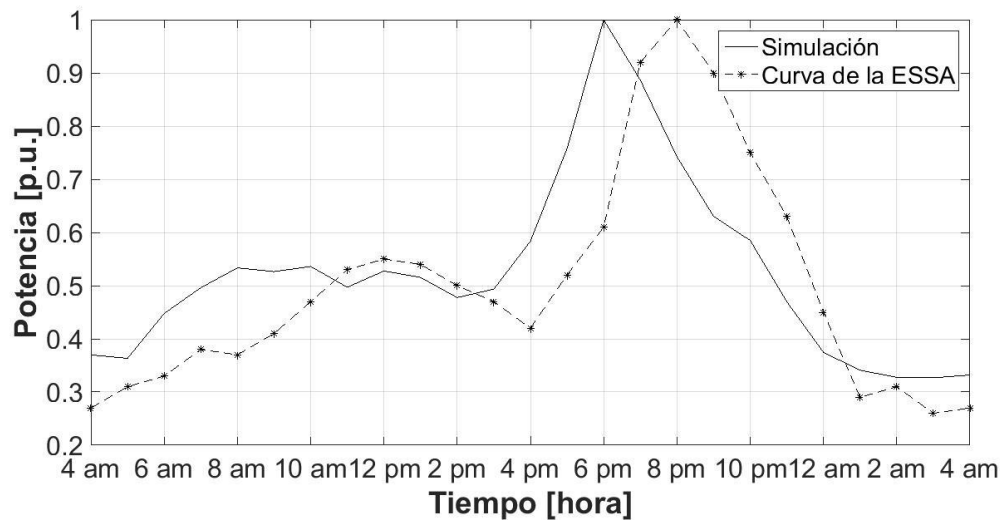
La resolución que se presenta para la Figura 36 se hace en intervalos de tiempo de una hora para que los picos de demanda de potencia en por unidad (p.u) sean expuestos con mayor visualización, y no se den picos con mayor regularidad como se muestra de 6 am a 10 am en la Figura 35.

**Figura 37** Simulación de la demanda de potencia de 183 los hogares



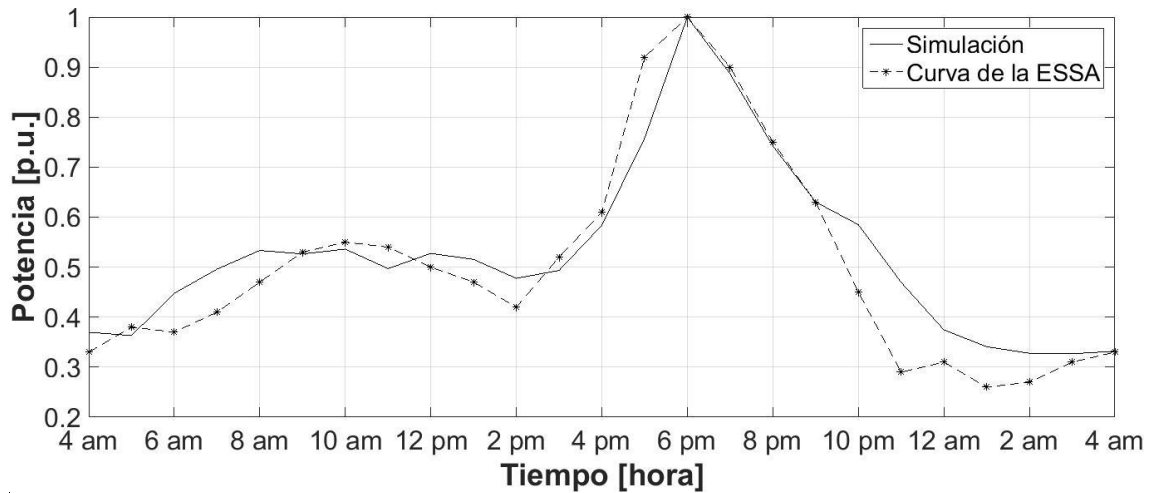
La curva de demanda de potencia mostrada en la Figura 37 representa el comportamiento en el sector residencial para estratos uno y dos con intervalos de tiempo de un minuto, donde se observa un máximo local a las 8 am, un mínimo local cerca de las 2pm y un máximo absoluto a las 6pm. Por otra parte, el comportamiento casi constante entre 12am y 4 am es debido a que entre el 90% o el 95% de las personas se encuentran durmiendo y la demanda resultante es el producto de cargas de uso constante como la nevera o de cargas como iluminación, televisión o ventilador que han sido puestos en funcionamiento de manera consciente o inconscientemente. Para efecto de simulación se consideró que mientras las personas estaban durmiendo se encuentran en funcionamiento con una probabilidad de: un 30% de los ventiladores; un 20% de la iluminación; y un 20 % de los televisores.

**Figura 38** Curva de demanda de Simulación VS curva de demanda ESSA



De modo que, para verificar la información obtenida se realizó una comparación de la curva de la simulación con la curva de la electrificadora de Santander (ESSA), donde se obtuvo como resultado lo mostrado en la Figura 38. Donde se puede concluir que la curva de simulación presenta una afinidad en relación con la curva propuesta por la ESSA, pero con un desplazamiento de dos horas de los máximos absolutos, esto es debido a los tiempos de uso que han sido obtenidos de las encuestas realizadas por ATUS y no de los usuarios colombianos de estrato uno y dos, pese a estos los resultados muestran una aproximación satisfactoria. Así mismo el mínimo absoluto presente al inicio de la curva de simulación se encuentra distante al mínimo absoluto de la curva de la electrificadora de Santander. Para un mayor acercamiento de estos puntos se deberá afinar el método Monte Carlo para elegir la actividad con la que inicia cada perfil de uso.

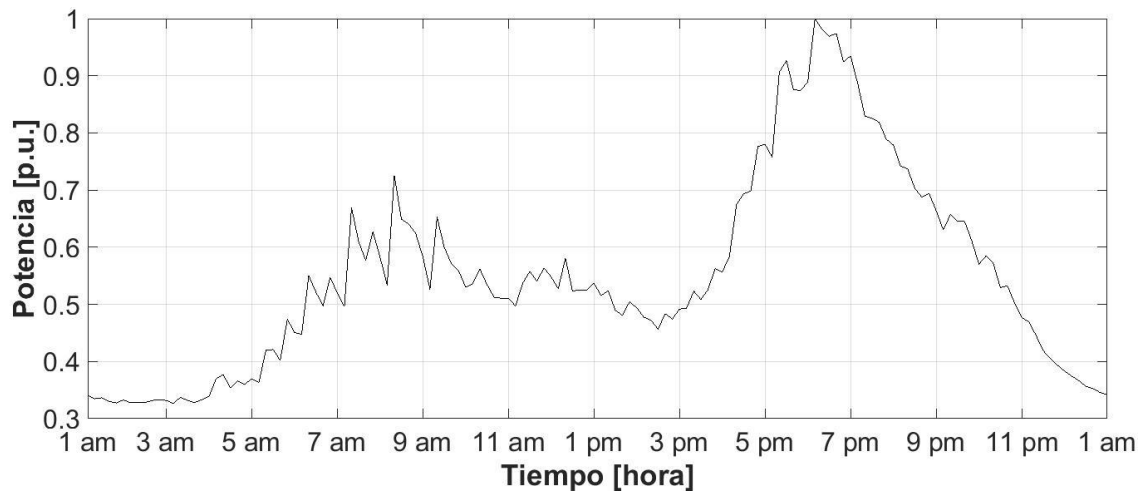
**Figura 39** Curva de demanda de simulación VS curva de demanda ESSA con desplazamiento



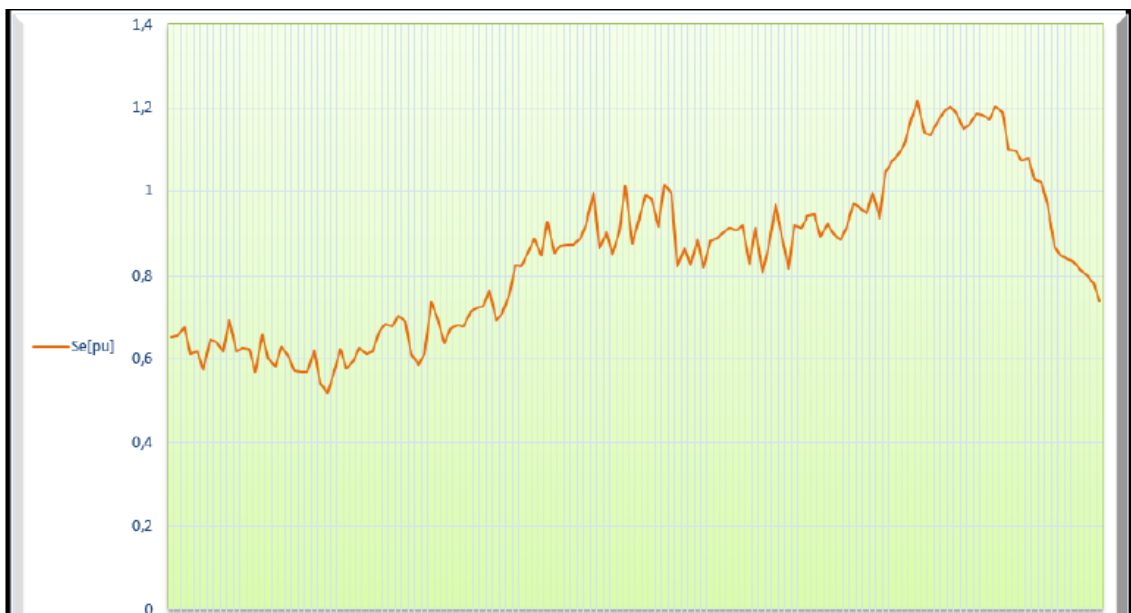
En la Figura 39 se presenta la comparación del comportamiento de la curva de la demanda de simulación con la curva de demanda de la ESSA con un desplazamiento de dos horas de la curva propuesta por la electrificadora de Santander. Es decir que la curva de demanda de simulación inicia a las 4 de la mañana, mientras que la curva de demanda de la ESSA inicia a las 6 de la mañana.

Por otra parte, se realizó la comparación de la curva de demanda la simulación con la curva de demanda del transformador de Piedecuesta con el fin de visualizar el comportamiento que se presenta en los usuarios. Ver Figura 40 y Figura 41

**Figura 40** Curva de demanda de un día típico para 183 hogares



**Figura 41** Curva de demanda del transformador de distribución de Piedecuesta



Fuente: proyecto de grado “Caracterización del comportamiento dinámico de la carga eléctrica de un transformador de distribución del área metropolitana de Bucaramanga” [10]



En la Figura 40 muestra el resultado de la simulación de la curva de demanda de un día típicos para 183 hogares, donde se aprecia la similitud en el comportamiento con relación a la curva mostrada en la Figura 41 que pertenece a la demanda del transformador de distribución ubicado en el municipio de Piedecuesta. De la manera que, pese a las diferentes consideraciones tomadas, a los datos obtenidos del censo de 2005 y a los tiempos de uso suministrados por ATUS, se puede apreciar cierta afinidad en los resultados que son característicos de una curva de demanda para usuarios residenciales de estrato 1 y 2 del área metropolitana de Bucaramanga.

## 7 CONCLUSIONES

- La metodología propuesta en este documento contribuye en la investigación e implementación de procesos estocásticos, a partir de cadenas de Markov no homogéneas de dos estados con probabilidades de transición dependientes del tiempo, para formar perfiles de uso, que al asignarle los modelos de carga a partir de las características eléctricas de los electrodomésticos, son capaces de generar perfiles de carga para los diferentes usuarios residenciales donde mediante una estrategia de simulación se obtiene los perfiles de demanda.
- Para el desarrollo del proyecto se presentan dos modelos para describir el comportamiento de los ocupantes (cadenas de Markov y Método Monte Carlo), los cuales son encargados de caracterizar las actividades que realizan los usuarios residenciales a través de las encuestas (ATUS) y los perfiles de carga obtenidos a partir de los correspondientes modelos polinomiales/ZIP que son las encargadas de generar los modelos eléctricos, esto es posible implementarlo debido a las consideraciones tomadas por el DANE y las sugeridas por los autores.
- La metodología establecida se enfoca en el modelado de las diferentes cargas que se encuentran en una unidad residencial, para ello se establecen los modelos ZIP que categorizan cada uno de los electrodomésticos de acuerdo a su estructura eléctrica, potencia o tipo de tecnología, de esta manera se podrá generar la potencia de operación de cada dispositivo eléctrico



- La metodología que se plantea en este proyecto de grado es un caso de estudio para el sector residencial de la ciudad de Bucaramanga, a partir de las encuestas disponibles en ATUS y datos suministrados por el DANE. Sin embargo, hay que señalar que los resultados no presentan afinidad con el escenario propuesto debido a que las encuestas fueron realizadas en estado unidos, pero hay una similitud en el comportamiento de la curva de demanda por la afinidad en el comportamiento de los usuarios.
- Los resultados obtenidos en la realización de este proyecto no son el principal interés, debido a que no hay información requerida del sitio de estudio y lo que se pretende es presentar una metodología que permita dar solución a la problemática planteada y una vez sea viable acceder a los datos necesarios será posible estimar la curva de demanda correspondiente de los usuarios residenciales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1 A. J. Collin, J. L. Acosta, B. P. Hayes y S. Z. Djokic, «Component-based Aggregate Load  
] Models For Combined Power Flow and Harmonic Analysis,» de *7th Mediterranean  
conference and Exhibition on power Generation, Transmission ,distribution and energy  
convesion*, Ayia Napa, 7-10 noviembre 2010.
- [2 J. D. Hobby, A. Shoshitaishvili y G. H. Tucci, «Analysis and Methodology to Segregate  
] Residential Electricity Consumption in Different Taxonomies,» *IEE TRANSACTIONS  
ON SMART GRID*, vol. 3, nº 1, p. 8, 2012.
- [3 P. palensky y D. Dietrich, «Demand Side Management: Demand Response, Inttelligent  
] Energy Systems, and Smart Loads,» *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL  
INFORMATICS*, vol. 7, nº 3, p. 8, Agosto 2011.
- [4 D. d. M. y. P. Estadística-DIMPE, «Encuesta Nacional de Calidad de Vida ENCV-2013,»  
] de *DANE-DIMPE-ENCV-2013*, Colombia, 2013.
- [5 J. Dickert y P. Shegner, «Residential Load Models For Network Planning Purposes,» de  
] *Moder Electric Power Systems*, Wroclaw, 2010.
- [6 B. J. Johson, M. R. Starke, O. A. Addelaziz y R. k. Jackson, «A Method for Modeling  
] Household Occupent Behavior to Simule Residential Energy Consumption,» de  
*Department of electrical Engineering and Computer Science*, Knoxville, 2014.
- [7 A. J. Collin, G. Tsagarakis, A. E. Kiprokis y S. McLaughlin, «Development of Low-  
] Voltage Load Models for the Residential Load Sector,» *IEEE TRANSACTIONS ON  
POWER SYSTEMS*, vol. 29, nº 5, p. 9, Septiembre 2014.

- 
- [8 J. Bajada, M. Fox y D. Long, «Load Modelling and Simulation of Household Electricity Consumption For the Evaluation of DEMAND-Side Management Strategies,» *Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe)*, nº 4, p. 5, 2013.
- [9 A. J. Collin, G. Tsagarakis, A. E. Kiprokis y S. McLaughlin, «Multi-Scale Electrical Load Modelling for Demand-Side Management,» de *IEEE PES innovative smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe)*, Berlin, Berlin, 2012.
- [1 L. C. H. Piña y C. J. R. Ordoñez, Caracterización del comportamiento dinámico de la carga eléctrica de un transformador de distribución del área metropolitana de Bucaramanga, Bucaramanga, 2014.
- [1 C. M. Cholson y M. H. Nehrir, «An Alternative Method to Load Modeling for Obtaining End-Use Load Profiles,» de *Electrical and computer Engineering Department*, Bozeman.
- [1 M. Muratori, M. C. Roberts, R. Sioshansi y V. Marano, «A highly resolved modeling technique simulate residential power demand,» *ELSEVIER*, vol. 107, nº 1, pp. 465-473, 2013.
- [1 G. Tsagarakis, A. J. Collin y a. A. E. Kiprakis, «A statistical survey of the UK residential sector electrical loads,» *Int J. Emerging Electr. Power Syst*, vol. 14, nº 5, pp. 509-523, 2013.
- [1 IDAE, «Curso Etiquetado Energetico de los Electrodomesticos,» 15 Septiembre 2001. 4] [En línea]. Available: [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_curso\\_electrodomesticos\\_3de3\\_fb864ddb.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_curso_electrodomesticos_3de3_fb864ddb.pdf). [Último acceso: 12 Mayo 2016].
- [1 I. A. Sajjad, G. Chicco y R. Napoli, «A Probabilistic Approach to Study the Load Variations in Aggregated Residential Load Patterns,» de *Energy Department*, Torino, 2007.

- 
- [1 J. Dickert y a. P. Schegner, «A Time Series Probabilistic Synthetic Load Curve Model  
6] For Residential Customers,» *IEEE Trondheim Power Tech*, vol. 11, nº 13, p. 6, 2011.
- [1 Statistics y I.-R. o. f. National, «United Kingdom time use survey,» september 2003. [En  
7] línea]. Available: <http://discover.uk-dataservice.ac.uk/catalogue?sn=4504>.
- [1 A. J. Collin, I. Hernando-Gil, J. L. Acosta y a. S. Z. Djokic, «An 11 KV Steady State  
8] Residential Aggregate Load Model. Parte 2: Aggregation Methodology,» *IEEE Trondheim  
Power Tech*, vol. 8, nº 14, p. 8, 2011.
- [1 A. J. Collin, I. Hernando-Gil, J. L. Acosta y a. S. Z. Djokic, «An 11 KV Steady State  
9] Residential Aggregate Load Model. Parte 1: Aggregation Methodology,» *IEEE Trondheim  
Power Tech*, vol. 7, nº 13, p. 8, 2011.
- [2 J. V. V. Duran, C. A. P. Orduz y H. G. Macias, «Electrificadora de Santander S.A.  
0] E.S.P.,» Bucaramanga, 2005.
- [2 M. Vivanco, «Muestreo estadístico y diseño de aplicaciones,» 2005. [En línea].  
1] Available: [https://books.google.com.co/books?id=-  
\\_gr5l3LbplC&pg=PA45&dq=nivel+de+confianza+estadistica&hl=es&sa=X&ved=0ahU  
KEwiZslb-  
ua3PAhVJVT4KHQRCCcwQ6AEIPDAE#v=onepage&q=nivel%20de%20confianza%2  
0estadistica&f=false](https://books.google.com.co/books?id=-_gr5l3LbplC&pg=PA45&dq=nivel+de+confianza+estadistica&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiZslb-ua3PAhVJVT4KHQRCCcwQ6AEIPDAE#v=onepage&q=nivel%20de%20confianza%20estadistica&f=false). [Último acceso: 23 mayo 2016].
- [2 X. Guyon, «Metodos Numericos Por Cadenas De Markov,» HAL, Merida, Venezuela,  
2] 1999.
- [2 «Dane. gov.co,» 13 septiembre 2010. [En línea]. Available:  
3] [http://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL\\_PDF\\_CG2005/00000T7T000.PDF](http://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL_PDF_CG2005/00000T7T000.PDF).  
[Último acceso: 12 abril 2016].

- [2 «Dane.gov.co,» 30 junio 2005. [En línea]. Available:  
4] <http://systema59.dane.gov.co/cgi-bin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CG2005AMPLIADO&MAIN=WebServerMain.inl>. [Último acceso: 12 abril 2016].
- [2 «Siel.gov.co,» 11 Junio 2006. [En línea]. Available:  
5] [http://www.siel.gov.co/siel/documentos/documentacion/Demanda/Residencial/Consumo\\_Final\\_Energia.swf](http://www.siel.gov.co/siel/documentos/documentacion/Demanda/Residencial/Consumo_Final_Energia.swf). [Último acceso: 13 Mayo 2016].
- [2 «Bls.gov,» American Time Use Survey—2014 Microdata Files, 24 Junio 2015. [En  
6] línea]. Available: [http://www.bls.gov/tus/datafiles\\_2014.htm](http://www.bls.gov/tus/datafiles_2014.htm). [Último acceso: 21 Abril 2016].

---

---

## BIBLIOGRAFÍA

A. J. Collin, G. Tsagarakis, A. E. Kiprokis y S. McLaughlin, «Multi-Scale Electrical Load Modelling for Demand-Side Management,» de *IEEE PES innovative smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe)*, Berlin, Berlin, 2012.

A. J. Collin, G. Tsagarakis, A. E. Kiprokis y S. McLaughlin, «Development of Low-Voltage Load Models for the Residential Load Sector,» *IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS*, vol. 29, nº 5, p. 9, Septiembre 2014.

B. J. Johson, M. R. Starke, O. A. Addelaziz y R. k. Jackson, «A Method for Modeling Household Occupent Behavior to Simule Residential Energy Consumption,» de Department of electrical Engineering and Computer Science, Knoxville, 2014.

G. Tsagarakis, A. J. Collin y a. A. E. Kiprakis, «A statistical survey of the UK residential sector electrical loads,» *Int J. Emerging Electr. Power Syst*, vol. 14, nº 5, pp. 509-523, 2013.