

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**UTILIZACIÓN DE TÉCNICAS DE AGRUPAMIENTO PARA LA
OBTENCIÓN DE CURVAS DE CARGA REPRESENTATIVAS DE
CONSUMIDORES TIPO RESIDENCIAL, COMERCIAL E
INDUSTRIAL**

**UTILIZACIÓN DE LA TÉCNICA DE AGRUPAMIENTO
JERÁRQUICO PARA LA OBTENCIÓN DE CURVAS DE CARGA
REPRESENTATIVAS DE CONSUMIDORES DE TIPO
RESIDENCIAL, COMERCIAL E INDUSTRIAL**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

JONATHAN RAFAEL SISALEMA CUEVA

jonathan.sisalema@epn.edu.ec

PATRICIA ELIZABETH OTERO VALLADARES

patricia.otero@epn.edu.ec

DMQ, febrero 2022

CERTIFICACIONES

Yo, JONATHAN RAFAEL SISALEMA CUEVA declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



JONATHAN SISALEMA

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por JONATHAN RAFAEL SISALEMA CUEVA, bajo mi supervisión.



PATRICIA OTERO
DIRECTORA

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.



JONATHAN SISALEMA



PATRICIA OTERO

DIRECTORA

DEDICATORIA

Dedico todo este trabajo a Dios, mis padres Lupita y Ángel, quienes me apoyaron todo este tiempo, sobre todo a mi madre con su apoyo emocional incondicional, que ha sido indispensable siempre para continuar con mis sueños.

A todos los que me apoyaron moralmente y económicamente para escribir y concluir este trabajo.

AGRADECIMIENTO

Gracias a la Ing. Patricia Otero, tutora responsable de mi TIC, a quien hago llegar mis más sinceros agradecimientos, por confiar en mí para ser partícipe de uno de sus proyectos dentro de la Universidad, por haber sido muy paciente y haber sido esa persona que con sus directrices supo explicarme aquellos detalles para culminar este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VI
RESUMEN	VIII
ABSTRACT	IX
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general.....	1
1.2 Objetivos específicos	1
1.3 Alcance	2
1.4 Marco teórico	2
1.4.1 Curvas de Carga.....	2
1.4.2 Tipos de Consumidores de Energía Eléctrica.....	3
1.4.3 Definición Algoritmo Agrupamiento Jerárquico.....	3
1.4.4 Agrupamiento Jerárquico Aglomerado	4
1.4.5 Agrupamiento Jerárquico Divisivo	5
1.5 Índices de Adecuación MIA y CDI.....	6
2 METODOLOGÍA.....	7
2.1 Consideraciones Iniciales.....	7
2.2 Procedimiento General.....	7
2.3 Aplicación y Desarrollo del Algoritmo.....	9
2.3.1 Importación de Datos.....	9
2.3.2 Organización de Datos	9
2.3.3 Normalizar Datos	9
2.3.4 Agrupamiento Jerárquico.....	10
2.3.5 Cálculo índice MIA.....	11
2.3.6 Cálculo índice CDI	11
2.3.7 Gráfica de Curvas de Carga	12
3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	13
3.1 Resultados	13
3.1.1 Consumidores tipo comercial de lunes a viernes.....	13

3.1.2	Consumidores Tipo Comercial sábado.....	17
3.1.3	Consumidores Tipo Comercial domingo.....	20
3.1.4	Consumidores tipo industrial de lunes a viernes	24
3.1.5	Consumidores tipo industrial sábado.....	27
3.1.6	Consumidores tipo industrial domingo.....	31
3.1.7	Consumidores tipo residencial de lunes a viernes.....	35
3.1.8	Consumidores tipo residencial sábado	38
3.1.9	Consumidores tipo residencial domingo	42
3.1.10	Resumen de resultados obtenidos	46
3.2	Conclusiones.....	48
3.3	Recomendaciones.....	49
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
5	ANEXOS.....	51

RESUMEN

El presente trabajo de integración curricular abordará la obtención de curvas de carga representativas diarias, utilizando la técnica de agrupamiento jerárquico. Esta técnica se aplica al conjunto de curvas de carga diaria producto de las mediciones del consumo de potencia activa de 236 clientes, para obtener curvas de carga diaria representativas, además se calcula dos índices de adecuación: dispersión de agrupamiento o CDI (Clustering Dispersion Indicator) e índice de medios o MIA (Mean Index Adequacy).

El análisis de la curva de carga diaria, permite identificar patrones de consumo responsables de las variaciones en la demanda eléctrica, con la finalidad de realizar la planificación eléctrica a corto, mediano y largo plazo.

La técnica de agrupamiento jerárquico consiste en obtener curvas de carga diaria representativas, que son el centro de cada agrupación realizada por el algoritmo, este algoritmo asigna las curvas de carga diaria a un grupo específico, basándose en el cálculo de la distancia euclidiana ponderada entre la curva de carga centro del grupo y la curva de carga diaria analizada, si la distancia es menor a un umbral previamente establecido, se asignará la curva de carga diaria a dicho grupo y se recalculará el centro del mismo, caso contrario se creará un nuevo grupo en el que la nueva curva de carga diaria también es el centro de dicho grupo.

Se parte de las potencias activas consumidas por 236 clientes pertenecientes a la empresa eléctrica CNEL-Unidad de Negocios Azogues para obtener curvas de carga diaria uniendo las potencias pico promedio registradas para cada hora, formando la base de datos a analizar. Antes de ingresar las curvas de carga diaria al algoritmo, se las separa de lunes a viernes, sábados, domingos y por tipo de consumidor. Cada curva de carga diaria se normaliza con respecto a su máxima potencia activa registrada. El algoritmo de la técnica de agrupamiento jerárquico se desarrolla en Matlab y se incluye el despliegue de las curvas de carga diaria representativas para tres tipos de consumidores: residencial, comercial e industrial. Para comprobar la bondad del algoritmo se analiza los valores de los índices MIA y CDI.

PALABRAS CLAVE: algoritmo, agrupamiento, jerárquico, curvas, carga, diaria, consumidor.

ABSTRACT

This curricular integration work will address the obtaining of representative daily load curves, using the hierarchical grouping technique. This technique is applied to the set of daily load curves product of the active power consumption measurements of 236 clients, to obtain representative daily load curves, in addition two adequacy indices are calculated: clustering dispersion or CDI (Clustering Dispersion Indicator) and mean index or MIA (Mean Index Adequacy). The analysis of the daily load curve allows the identification of consumption patterns responsible for variations in electricity demand, in order to carry out electrical planning in the short, medium and long term.

The hierarchical clustering technique consists of obtaining representative daily load curves, which are the center of each cluster performed by the algorithm. This algorithm assigns the daily load curves to a specific group, based on the calculation of the weighted Euclidean distance between the center load curve of the group and the analyzed daily load curve, if the distance is less than a previously established threshold, the daily load curve will be assigned to said group and its center will be recalculated, otherwise a new group will be created in which the new daily load curve is also the center of said group.

Starting from the active powers consumed by 236 clients belonging to the electricity company CNEL-Azogues Business Unit to obtain daily load curves joining the average peak powers recorded for each hour, forming the database to be analyzed. Before entering the daily load curves into the algorithm, they are separated by Monday to Friday, Saturday, Sunday and by type of consumer. Each daily load curve is normalized to its maximum recorded active power. The algorithm of the hierarchical clustering technique is developed in MATLAB and includes the display of representative daily load curves for three types of consumers: residential, commercial and industrial. To check the goodness of the algorithm, the values of the MIA and CDI indices are analyzed.

KEYWORDS: algorithm, clustering, hierarchical, curves, load, daily, consumer.

1 INTRODUCCIÓN

En el mercado de electricidad existe una diversidad de usuarios que siguen patrones en función de sus consumos característicos como por ejemplo tipo de carga, período de tiempo, hábitos, etc. Es aquí cuando se presenta un reto, al momento de dimensionar la capacidad para suplir las necesidades energéticas de estos usuarios, y es que si bien se sabe que las curvas de carga de un usuario difieren unas de otras y probablemente nunca sean idénticas, se debe establecer modelos para tener una idea del comportamiento que tendrán un determinado grupo de usuarios, basado en datos antepuestos a la obtención de estas proyecciones, por lo que existe la importancia de trabajar con métodos de agrupamiento, con el fin de obtener valores que sigan una tendencia común de acuerdo a parámetros necesarios, para establecer el diseño y óptimo funcionamiento de un sistema de consumo de energía eléctrica.

En el presente trabajo se emplea el método de agrupamiento jerárquico, como herramienta para trabajar con la base de datos proporcionada, y desarrollar curvas de carga características que nos permitan entender la tendencia de consumo energético de un grupo de usuarios, de acuerdo al tipo de consumidor y el día de semana en que se desenvuelven. Además, se explica algunos conceptos para entender el desarrollo de este trabajo como curva de carga, tipo de consumidor, índices de adecuación, fundamentos y algoritmo del método de agrupamiento jerárquico.

1.1 Objetivo general

Aplicar técnicas de agrupamiento para la obtención de curvas de carga representativas de consumidores tipo: residencial, comercial e industrial.

1.2 Objetivos específicos

1. Estructurar las bases de datos con las mediciones de cada uno de los tipos de clientes que intervienen.
2. Realizar el análisis de los resultados conseguidos, para formular conclusiones y recomendaciones referente al desarrollo del proyecto.
3. Desarrollar el algoritmo de la técnica de Agrupamiento Jerárquico, para obtener las curvas representativas de carga, mediante la base de datos de acuerdo al tipo de cliente y los indicadores de adecuación.

1.3 Alcance

Se inicia de la investigación bibliográfica del algoritmo agrupamiento jerárquico, y su aplicación a la obtención de curvas características de carga para consumidores del tipo residencial, comercial e industrial.

Con la base teórica analizada se pasa al tratamiento de los datos de cada tipo de consumidor y se estructura los algoritmos para su programación en Matlab. El programa en Matlab despliega las curvas representativas del tipo de consumidor analizado y calcula los índices de adecuación de dispersión de agrupamiento e índice de adecuación de medios.

Los resultados obtenidos permiten evaluar la técnica de agrupamiento utilizada y su utilidad para la aplicación en obtención de curvas representativas de carga, con lo que se emite conclusiones y recomendaciones.

1.4 Marco teórico

Los algoritmos de agrupamiento sirven para organizar y representar grandes cantidades de información en pequeños grupos que contienen similares características. Los recursos de agrupamiento jerárquico ayudan a encontrar por medio de la formación de conjuntos, desarrollando su algoritmo, obtener las curvas de carga características de acuerdo al tipo de consumidor.

1.4.1 Curvas de Carga

Una curva de carga es una representación gráfica que indica la manera en la que el consumidor realiza el uso de electricidad en un determinado intervalo de tiempo. En las curvas de carga explica el comportamiento de consumo energético de un usuario, por medio de los picos o caídas en la curva, es decir si la carga tiene máxima o mínima demanda, en la figura 1.1 se puede observar un ejemplo de curva de carga diaria para un usuario X, donde se observa la gráfica de la potencia activa versus tiempo, en un lapso de 24 horas, aquí se puede entender conceptos fundamentales como: demanda máxima, demanda mínima, demanda promedio y energía consumida, definiciones importantes al momento de realizar un análisis de cada curva de carga [1], [2],[4].

Si en una curva de carga para un consumidor se representa para el lapso de tiempo de 24 horas, se conoce como curva de carga diaria.

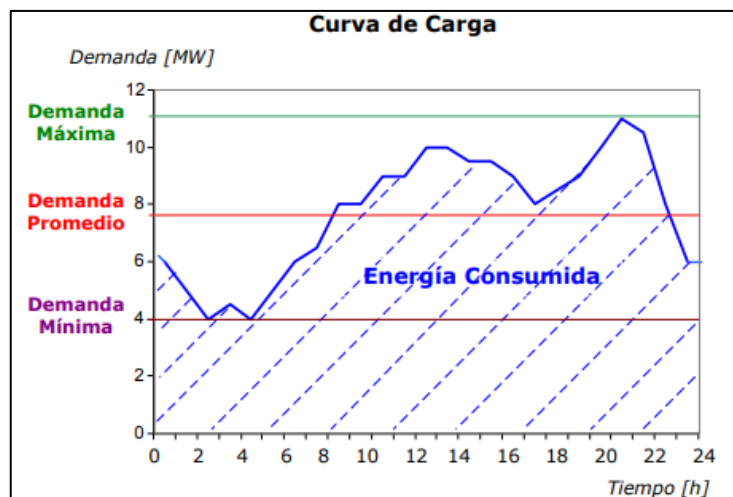


Figura 1. 1 Ejemplo de Curva de Carga Diaria [4]

1.4.2 Tipos de Consumidores de Energía Eléctrica

1.4.2.1 Consumidor Residencial

Este tipo de consumidor corresponde al uso doméstico, es decir, ya sea en el ámbito familiar o personal. Por lo general esta categoría incluye a los consumidores de bajos consumos, las curvas de cargas características son similares de lunes a viernes, presentándose algunas diferencias en las curvas de sábado y domingo, este tipo de consumidor se caracteriza por presentar en sus gráficas, picos en horas temprano de la mañana y en horas temprano de la noche [3].

1.4.2.2 Consumidor Industrial

Este tipo de consumidor corresponde al que utiliza el servicio de energía eléctrica para la elaboración o transformación de productos. Por lo general esta categoría incluye a los consumidores de altos consumos, la curva de carga característica depende de la actividad industrial que se desarrolle, y presenta picos durante el horario de actividad laboral [3].

1.4.2.3 Consumidor Comercial

Este tipo de consumidor corresponde al que utiliza el servicio de energía eléctrica para fines de negocio, actividades profesionales o cualquier actividad con fines de lucro. Por lo general esta categoría incluye a los consumidores de medio consumos, la curva de carga característica depende de la actividad, se presenta picos durante horarios diurnos que corresponde a la jornada laboral [3].

1.4.3 Definición Algoritmo Agrupamiento Jerárquico

El algoritmo de agrupamiento jerárquico es un método de minería de datos que se aplica el análisis de grupos puntuales, es decir la extracción de agrupaciones naturales de objetos

de datos similares como se indica en el ejemplo de la figura 1.2, este algoritmo busca construir una jerarquía de grupos, que se asemeja a una estructura de árbol, llamada dendrograma. Las hojas de esta jerarquía corresponden a los elementos individuales, en cambio los nodos intermedios pertenecen a subconjuntos de datos que particionan la evidencia. [4]

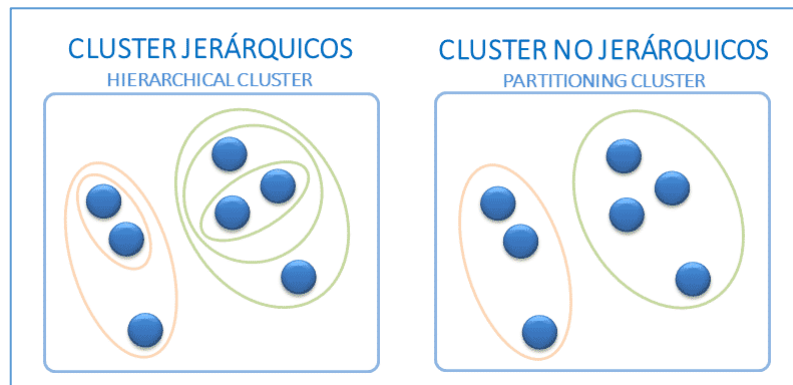


Figura 1. 2 Ejemplos de Agrupamiento Jerárquico y Agrupamiento No Jerárquico [5]

Existen algunas ideas generales con respecto a la agrupación:

- Los grupos deben estar presentes de forma natural en los datos.
- El agrupamiento debe descubrir patrones ocultos en los datos.
- Los puntos de datos dentro del grupo deben ser similares. Los puntos de datos en dos grupos desiguales no deben ser similares.

En términos generales, hay dos maneras de aglomerar los puntos de datos basados en la estructura y el funcionamiento algorítmico que pueden ser aglomerado o divisivo [5].

1.4.4 Agrupamiento Jerárquico Aglomerado

En un enfoque aglomerativo o enfoque ascendente cada muestra se trata como un solo grupo y luego se fusionan, o aglomeran, sucesivamente pares de grupos hasta que todos los grupos se hayan fusionado en uno solo [4].

En esta técnica, inicialmente cada punto de datos se considera como un grupo individual. En cada iteración, los grupos similares se fusionan con otros grupos hasta que se forma un grupo o grupos K.

El algoritmo básico de aglomeración es sencillo:

- Calcular la matriz de proximidad
- Dejar que cada punto de datos sea un grupo.

- Fusionar los dos grupos más cercanos
- Actualizar la matriz de proximidad
- Repetir hasta que solo quede un único grupo.

La operación clave es el cálculo de la proximidad que existe entre dos grupos, se puede observar una representación de la técnica de agrupamiento jerárquico aglomerado, en la figura 2.3, que se refiere a un dendrograma. Por ejemplo, si se tiene seis puntos de datos: A, B, C, D, E, F, se debe formar un solo grupo general, conformado por todos los elementos [5].

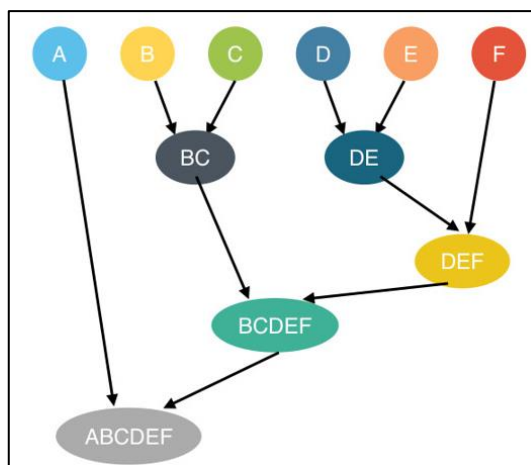


Figura 1. 3 Agrupamiento Jerárquico Aglomerado [5]

1.4.5 Agrupamiento Jerárquico Divisivo

En un agrupamiento divisivo o de arriba hacia abajo, un solo grupo de todas las muestras se divide recursivamente en dos grupos al menos similares hasta que haya un grupo para cada observación, es decir que la agrupación jerárquica divisiva es exactamente lo opuesto a la agrupación jerárquica aglomerada.

En la agrupación jerárquica divisiva, se considera todos los puntos de datos como un único grupo y en cada iteración, aislamos los puntos de datos del grupo que no son similares. Cada punto de datos que se aparta se considera como un elemento individual. Al final, queda "n" grupos, por lo que a medida que se divide los grupos individuales en n elementos, se le conoce como agrupamiento jerárquico divisivo, esta técnica de agrupamiento no se emplea tanto como la anterior [5].

1.5 Índices de Adecuación MIA y CDI

Los índices de adecuación son importantes para entender el comportamiento de los diferentes tipos de consumidores, al seguir un patrón, es decir al momento de formar los grupos, cuan similar o dispares se encuentran los datos a analizar.

El índice de adecuación de media (MIA) depende del promedio de las distancias medias entre cada patrón asignado al grupo y su centro.

El indicador de dispersión de agrupamiento (CDI) depende de la distancia entre los diagramas de curva de carga en un mismo grupo e (inversamente) de la distancia entre los diagramas de curva de carga representativa de la clase [6].

2 METODOLOGÍA

El método del agrupamiento jerárquico puede ser empleado en cualquier base de datos, que requiera emplear parámetros de similitud para formar conjuntos, en el desarrollo del algoritmo se debe tener matrices bien estructuradas, para aplicar los cálculos que se emplean. La metodología que se emplea en este trabajo se desarrolla en un código bien estructurado en el software del programa Matlab, con lo que se debe tener consideraciones de edición y depuración adecuados, en el desarrollo del algoritmo, como se explica más adelante.

2.1 Consideraciones Iniciales

La tabla de base de datos en Excel proporcionada para el desarrollo del presente trabajo, consta de 14 columnas en las que se especifica para cada cliente, datos para la clasificación como: número de medidor, fecha, hora de consumo, promedio de potencia activa, promedio de potencia reactiva, día de la semana, tipo de consumido y claves de referencia.

Para aplicar el método de agrupamiento jerárquico en la base de datos proporcionada, es necesario realizar la clasificación del tipo de consumidor y el consumo energético de acuerdo con cada día de la semana. Por tanto, es primordial una organización de datos para entender un pronóstico de consumo, en función del perfil característico en las curvas de carga diaria de un determinado cliente.

2.2 Procedimiento General

En el presente trabajo, para desarrollar el método de Agrupamiento Jerárquico, se implementa un diagrama de flujo, presente en la figura 2.1, de forma resumida los pasos a desarrollar en conjunto con la base de datos son:

1. Importar Datos desde Excel
2. Organización de Base de Datos
3. Normalizar Datos
4. Desarrollo Método de Agrupamiento Jerárquico
5. Cálculo de índice MIA
6. Cálculo de índice CDI
7. Gráfica de curvas de carga

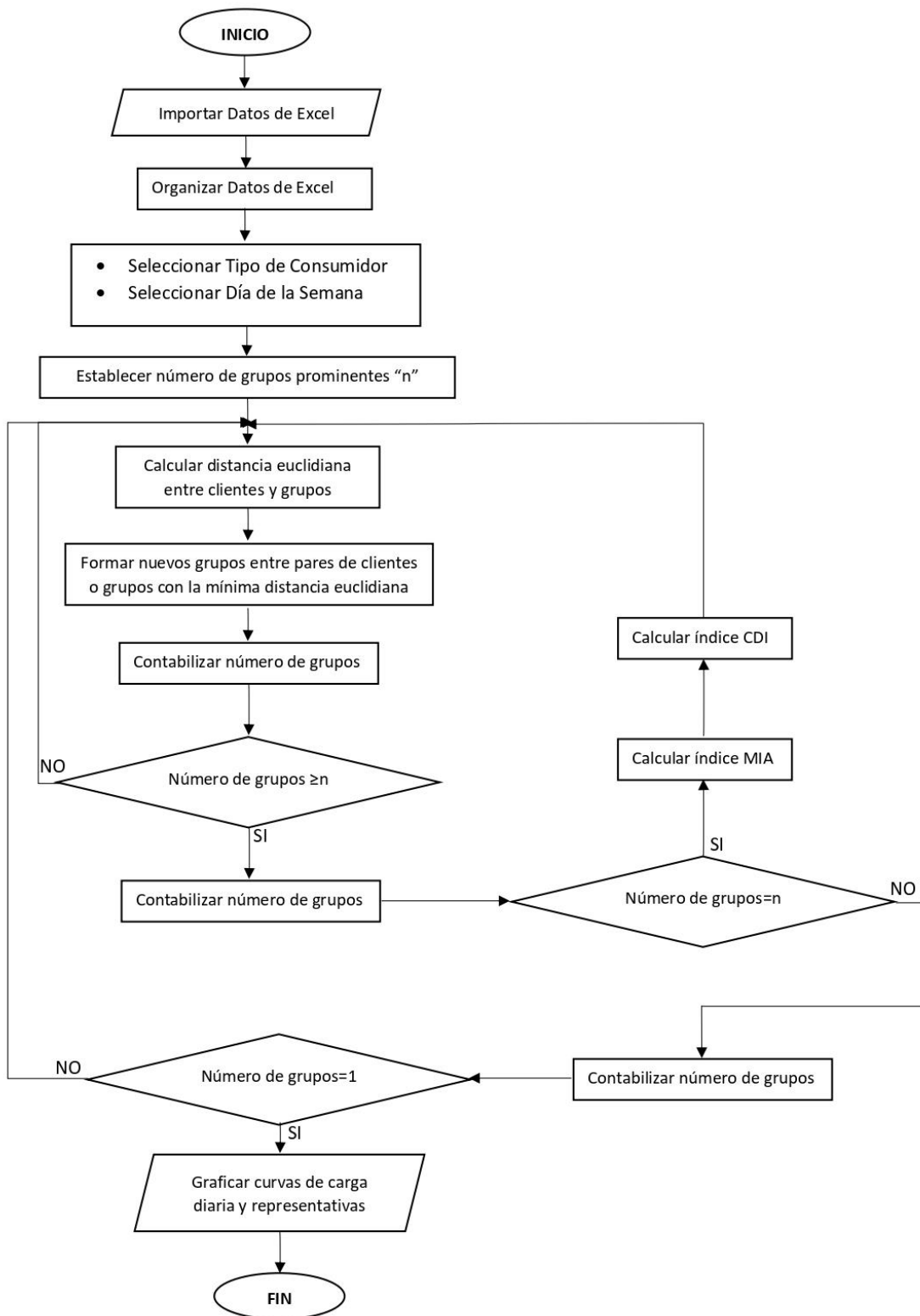


Figura 2. 1 Diagrama de flujo del algoritmo desarrollado

2.3 Aplicación y Desarrollo del Algoritmo

2.3.1 Importación de Datos

En el presente algoritmo es necesario en la parte inicial, desarrollar un código que nos permita importar la base de Datos desde Excel, para luego clasificar la información de acuerdo a los aspectos ya mencionados, con el fin de establecer un buen comienzo y funcionamiento durante todo el proceso del Agrupamiento Jerárquico. Se emplea la instrucción de Matlab “readtable ()”, que nos permite importar archivos de Excel, y el archivo debe estar en la misma carpeta de los scripts para el desarrollo del algoritmo.

2.3.2 Organización de Datos

En el código principal a desarrollar en el algoritmo, primero comienza con la ordenación de datos, para los resultados que se necesita obtener de acuerdo a los parámetros, una vez importados los datos de la tabla de Excel, se establece las columnas que se van a considerar para formar la nueva tabla de datos, como el, número de medidor, número de hora de consumo energético, potencia activa, grupo de consumo, día de la semana y fecha.

Para formar la tabla de datos que utilizaremos para constituir grupos de características similares, se requiere dimensionar la cantidad de consumidores, en cada tipo de consumo y día de la semana, las instrucciones del script forman una matriz de espacios con 24 filas y las columnas serán cada uno de los clientes a considerar. El número de consumidores se determina con la instrucción “unique” que considera como un usuario solo a las celdas que tienen el mismo número de medidor,

El lazo que se presenta en el script, forma la matriz de 24 x n consumidores, con los datos del consumo energético, es decir la potencia activa en cada hora, para cada consumidor identificado con el número de medidor, entonces se habrá formado una matriz de datos con las curvas de carga diaria. Se debe asignar para cada cliente, 24 valores que van de 0 al 23 correspondiente a cada hora del día.

En el siguiente paso se procede a eliminar los datos de las curvas erróneas, en el cual se considera que las curvas de carga que tengan datos incompletos o valores negativos sean eliminadas, asegurando una matriz de datos con valores adecuados para operar en el algoritmo.

2.3.3 Normalizar Datos

Para optimizar el desarrollo del algoritmo, y que se facilite trabajar con valores más sencillos en representación, se procede a normalizar los valores de las curvas de carga diaria, convirtiéndose en valores por unidad, por lo tanto, se procede a buscar el valor

máximo de potencia activa en cada consumidor, con la ayuda de la instrucción `max()`, y se aplica la fórmula en (2. 1).

$$x_i[p.u] = \frac{x_i}{x_{max}} \quad (2. 1)$$

Donde, $i = [0,1,2,3, \dots, 23]$, representa la hora en un día con valores entre 0 y 23 como en un reloj digital, y x_i , es la potencia activa de un usuario determinado en un intervalo de una hora.

2.3.4 Agrupamiento Jerárquico

Una vez que se ha creado la matriz de datos con los usuarios de acuerdo al tipo de consumidor y el día de la semana, se procede a calcular la distancia mínima, con ayuda de la instrucción “linkage” que sirve para encontrar el par de datos de curvas de carga más cercano o similares entre valores, esta instrucción nos entrega una matriz de tres columnas, donde las dos primeras columnas se encuentran los grupos más similares y la tercera columna nos indica la distancia entre los grupos formados.

Es importante tener en cuenta que para aplicar la instrucción linkage, se debe especificar el método de cálculo de distancia entre grupos y la métrica de distancia como técnica de aglomeración, el método de cálculo de distancia mínima que se emplea en este algoritmo, es la distancia euclidiana, empleando la fórmula (2. 2) y la técnica de aglomeración que se utiliza para formar grupos, es el método del centroide o centros de gravedad, que consiste en obtener el promedio de cada uno de los integrantes de los grupos que se van formando, como se indica en (2. 3).

$$deu(x, y) = \|x - y\| = \sqrt{\sum_{i=0}^{23} (x_i - y_i)^2} \quad (2. 2)$$

$$x_{(r,s)} = \frac{(x_{(p,s)} + x_{(q,s)})}{2} \quad (2. 3)$$

Los datos de la matriz creada con la instrucción linkage, al aplicar la instrucción “dendrogram”, se obtiene la gráfica del dendrograma, con lo cual se puede observar cómo se forman los grupos y ramales, hasta llegar a un grupo único. En la sintaxis de la instrucción dendrogram, se debe indicar `P=0`, que significa el piso para mostrar todos los ramales que se han formado con los datos proporcionados desde el total de consumidores, además se debe agregar el comando 'ColorThreshold' para diferenciar con diferentes colores los grupos más prominentes que se han formado con la matriz de datos ingresada.

Es indispensable, determinar un número “n” para formar grupos con los consumidores más similares en comportamiento de consumo energético, dentro de la matriz de datos ingresada con tipo de consumidor y día de la semana, estas curvas de carga características de cada grupo, servirá para posteriormente calcular los índices CDI y MIA. La instrucción de Matlab que utilizaremos es “cluster”, y los comandos a ingresar serán ‘MaxClust’, el número de grupos a formar y la matriz que se desea aplicar la técnica de agrupamiento. Finalmente se debe recalcar que tendremos una curva de carga representativa final que es la representación de la cima del agrupamiento jerárquico y también las curvas de carga representativa de cada uno de los grupos del número que se seleccionó.

2.3.5 Cálculo índice MIA

Para establecer el índice de medios MIA, se aplicará la función desarrollada en el presente trabajo, RS_MIA (centros, grupos), donde es necesario emplear como auxiliar la función RS_DE (d, grupos, g), para calcular la distancia euclidiana.

Al calcular el índice MIA se necesita determinar un número “n” de grupos con ayuda de la matriz adjunta al dendrograma, primero se aplica la fórmula en (2. 4), para obtener la distancia euclidiana entre cada una de las curvas de carga diaria, x_m , directamente con la curva de carga representativa de cada grupo, X_n , el número “m” representa el número de usuarios en cada grupo, finalmente se realiza la sumatoria de las distancias euclidianas obtenidas en cada grupo, se aplica la fórmula (2. 5) para obtener el índice MIA.

$$dc(X_n, X_m) = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m deu(X_n, x_m)^2} \quad (2. 4)$$

$$MIA = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n dc(X_n, X_m)^2} \quad (2. 5)$$

2.3.6 Cálculo índice CDI

Al obtener el índice de adecuación CDI, se aplicará la función desarrollada en el presente trabajo, RS_CDI (centros, grupos), donde es necesario utilizar como auxiliar la función RS_DE (d, grupos, g), para calcular la distancia euclidiana.

Para calcular el índice CDI, se aplica la fórmula (2. 6), el cual consiste en un cociente de la sumatoria de los grupos de la distancia euclidiana de todos los miembros de cada grupo,

x_m, y_m , entre sí, para la sumatoria de la distancia euclidiana de las curvas de carga representativas de cada grupo, X_n, Y_n , entre sí.

$$CDI = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left[\frac{1}{2m} \sum_{l=1}^m dc(x_m, y_m)^2 \right]}}{\sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{k=1}^n dc(X_n, Y_n)^2}} \quad (2.6)$$

2.3.7 Gráfica de Curvas de Carga

Al obtener los resultados de aplicar el algoritmo de Agrupamiento Jerárquico, se formarán las gráficas para cada tipo de consumidor y día de la semana de consumo energético, en el presente trabajo se implementará las siguientes funciones: function Graficar_C(centros), que sirve para diferenciar las curvas de carga de cada uno de los grupos desarrollados, y function Graficar_G(grupos,centros,MIA,CDI), que se utiliza para determinar las gráficas de curva diaria, curvas de carga representativas, índices MIA y CDI de cada grupo. Se debe recalcar que el número “n” de curvas de carga representativas de cada grupo, es seleccionado en el script del programa, de acuerdo al análisis de las características de comportamiento energético que se requiere para cada caso. Finalmente, también se obtiene una gráfica representativa final, que no depende del número de grupos que se ha seleccionado, esta figura es propia del resultado de la cima que se encuentra en un dendrograma al aplicar el método de Agrupamiento Jerárquico.

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Resultados

En el desarrollo del algoritmo, los resultados alcanzados están en función de la clasificación por tipo de consumidor y día de la semana, características prominentes al momento de realizar el análisis de los datos que se requiere comparar, en la interpretación de estos, existe una relación mutua entre las gráficas, valores de los índices y grupos obtenidos por medio del código desarrollado. Para el fin del estudio, se ha establecido un número de 5 grupos a formarse con cada dendrograma, necesario para el cálculo de los índices de adecuación y la formación de conjuntos. A continuación, se realiza un análisis de cada uno de los casos establecidos.

3.1.1 Consumidores tipo comercial de lunes a viernes

Para los consumidores tipo comercial de lunes a viernes, se puede observar en la figura 3.1 que la mayor cantidad de agrupamiento de consumidores por distancias mínimas entre curvas de carga diaria, se encuentra en la región de color amarillo. La curva de carga representativa para este tipo de clientes de lunes a viernes, presente en la figura 3.2 nos indica que los picos de consumo durante el día se encuentran entre las 10:00 y 15:00 que nos da una perspectiva del comportamiento de consumo de este tipo de actividades.

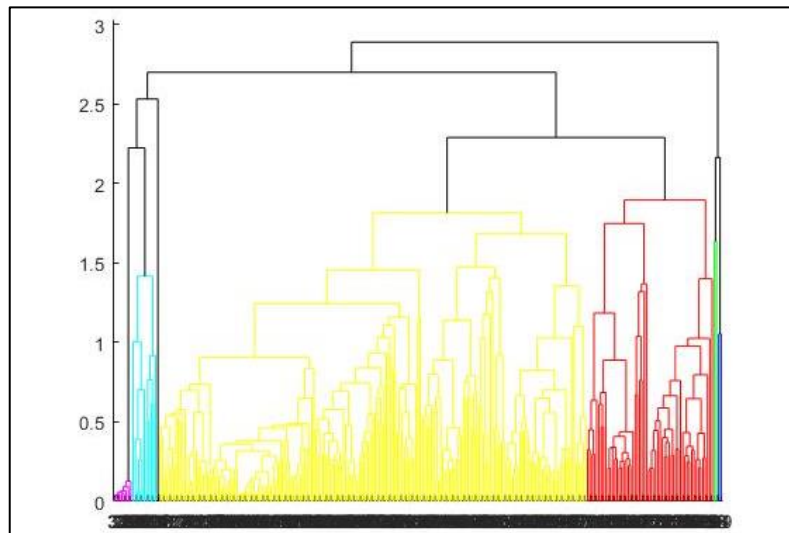


Figura 3. 1 Dendrograma consumidores tipo comercial de lunes a viernes

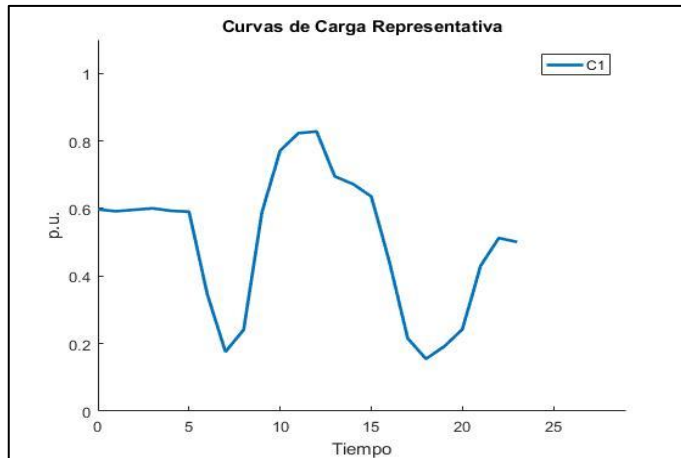


Figura 3. 2 Curva de carga representativa final consumidores tipo comercial de lunes a viernes

En la figura 3.3 se puede ver la curva de carga representativa de cada uno de los 5 grupos de consumidores más prominentes, aplicando el dendrograma del método de agrupamiento jerárquico, para un lapso de 24 horas en un día que se encuentre entre lunes y viernes, en la imagen se observa diferentes picos de consumo para distintas horas, como es el caso del grupo número 2 que difiere bastante en el comportamiento de consumo energético respecto a los demás grupos, relacionado a su curva de carga representativa.

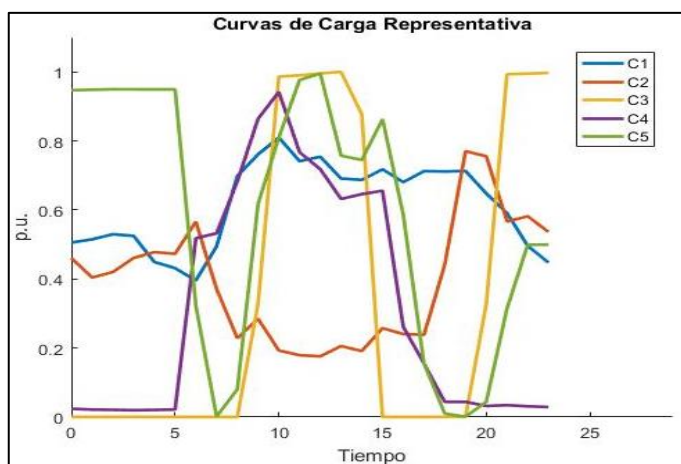


Figura 3. 3 Curvas de carga representativas para cada grupo de consumidores tipo comercial de lunes a viernes

En las figuras 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 y 3.8 se puede observar el comportamiento de las curvas de carga diaria para todos los consumidores frente a la curva de carga representativa de cada grupo tipo comercial de lunes a viernes. Se puede constatar que el grupo número 1

abarca la mayor cantidad de consumidores parecidos en características de consumo energético. Para un total de 5 grupos se obtiene un índice MIA de 0.23 y un índice CDI de 5.45.

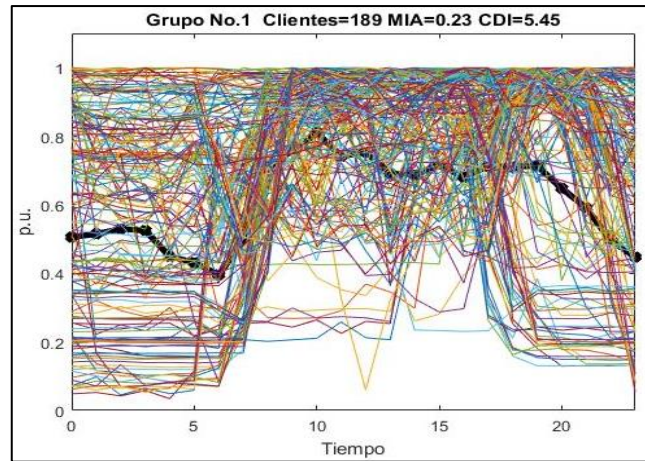


Figura 3. 4 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 1 consumidores tipo comercial de lunes a viernes

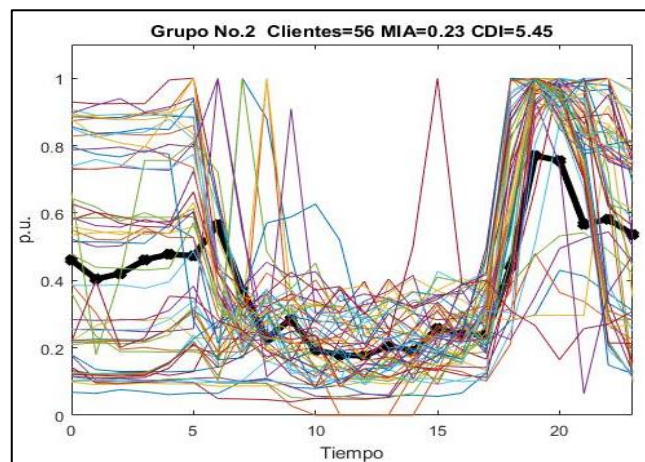


Figura 3. 5 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 2 consumidores tipo comercial de lunes a viernes

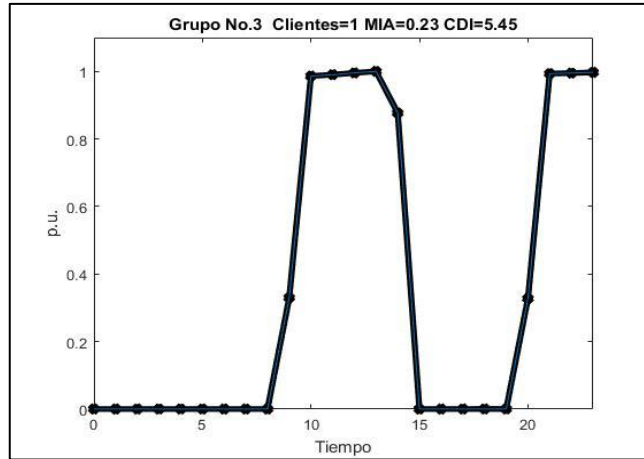


Figura 3. 6 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 3 consumidores tipo comercial de lunes a viernes

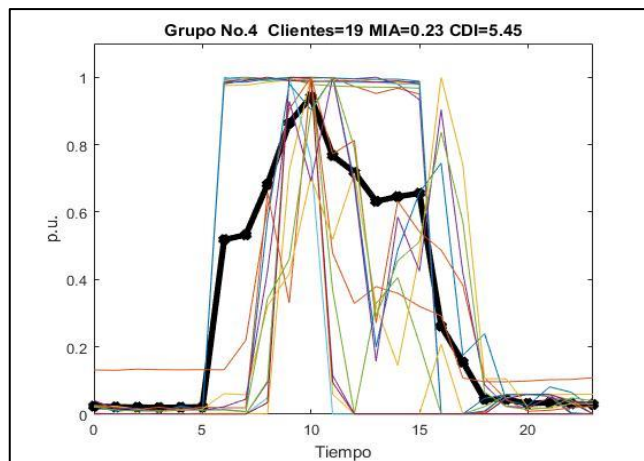


Figura 3. 7 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 4 consumidores tipo comercial de lunes a viernes

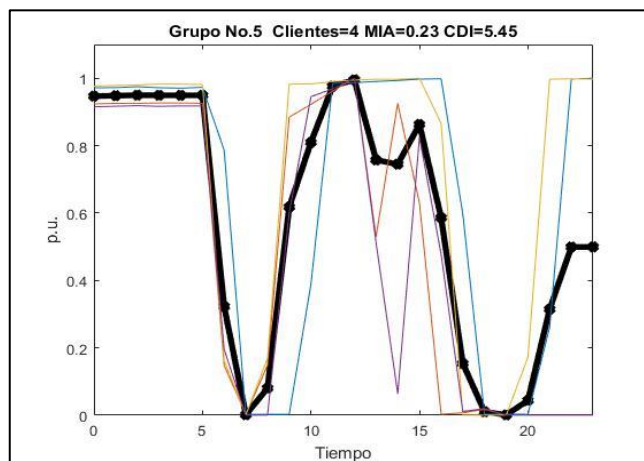


Figura 3. 8 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 5 consumidores tipo comercial de lunes a viernes

3.1.2 Consumidores Tipo Comercial sábado

Para los consumidores tipo comercial día sábado, se puede observar en la figura 3.9 que la mayor cantidad de agrupamiento de consumidores por distancias mínimas entre curvas de carga diaria, se encuentra en la región de color azul. La curva de carga representativa para este tipo de clientes en el día sábado, presente en la figura 3.10 nos indica que los picos de consumo durante un sábado se encuentran a las 9:00, diferenciándola de las curvas representativas para los otros días de la semana.

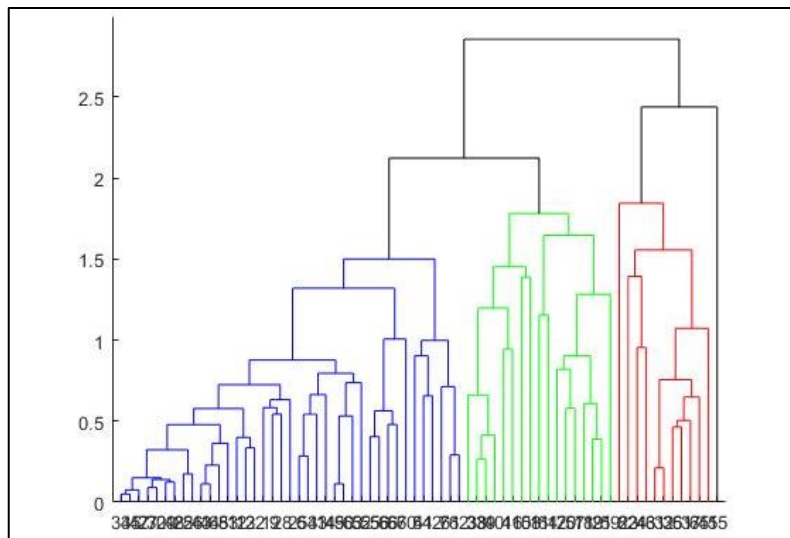


Figura 3. 9 Dendrograma consumidores tipo comercial sábado

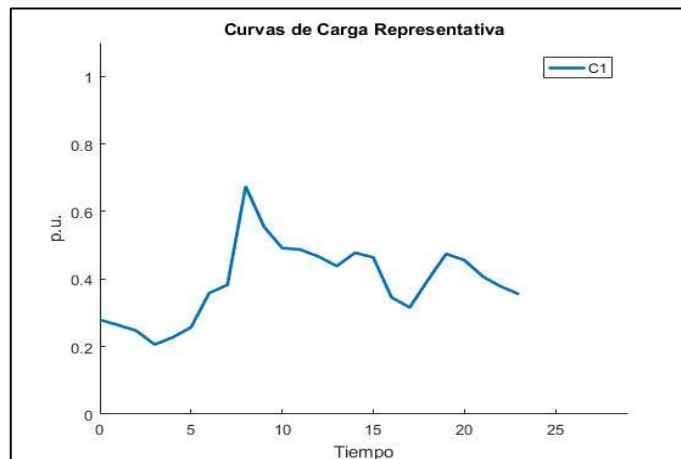


Figura 3. 10 Curva de Carga Representativa Final Consumidores Tipo Comercial sábado

En la figura 3.11 se puede ver la curva de carga representativa de cada uno de los 5 grupos de consumidores más prominentes, aplicando el dendrograma del método de agrupamiento jerárquico, para un lapso de 24 horas en un sábado, en la imagen se observa diferentes picos de consumo para distintas horas, como es el caso de los grupos 3 y 4 que

difieren de manera considerada en el comportamiento de consumo energético respecto a los demás grupos, con respecto a su curva de carga representativa.

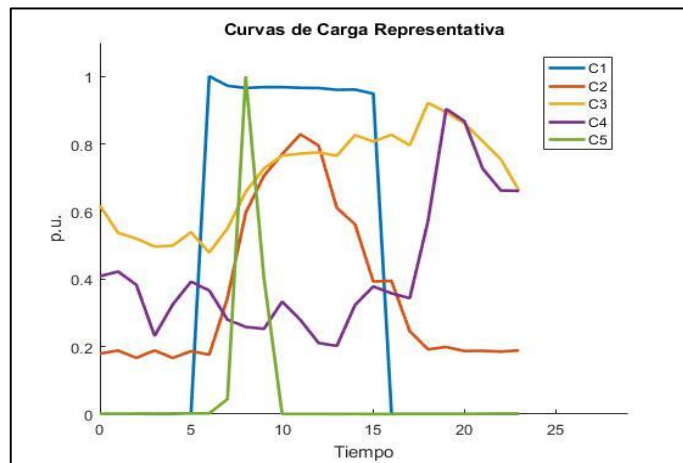


Figura 3. 11 Curvas de carga representativas para cada grupo de consumidores tipo comercial sábado

En las figuras 3.12, 3.13, 3.14, 3.15 y 3.16 se puede observar el comportamiento de las curvas de carga diaria para todos los consumidores frente a la curva de carga representativa de cada grupo de los consumidores tipo comercial sábado. Se puede constatar que el grupo número 3 abarca la mayor cantidad de consumidores parecidos en características de consumo energético. Para un total de 5 grupos se obtiene un índice MIA de 0.16 y un índice CDI de 1.86.

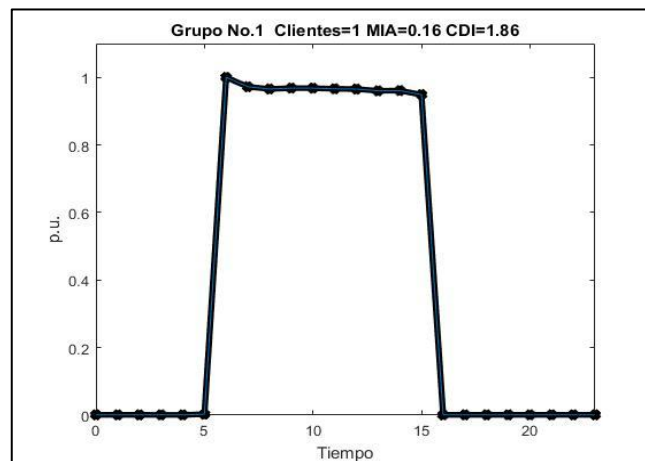


Figura 3. 12 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 1 consumidores tipo comercial sábado

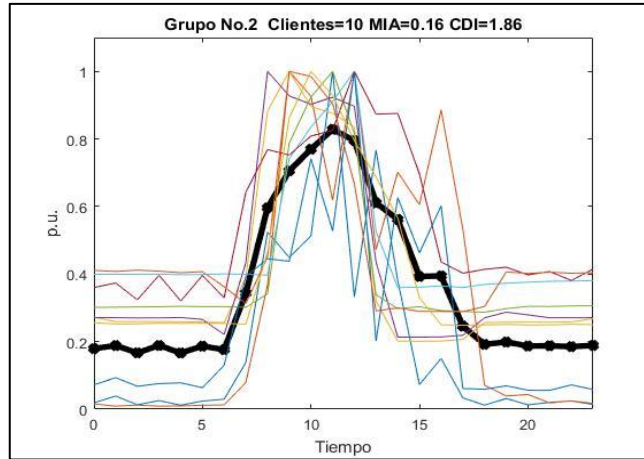


Figura 3. 13 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 2 consumidores tipo comercial sábado

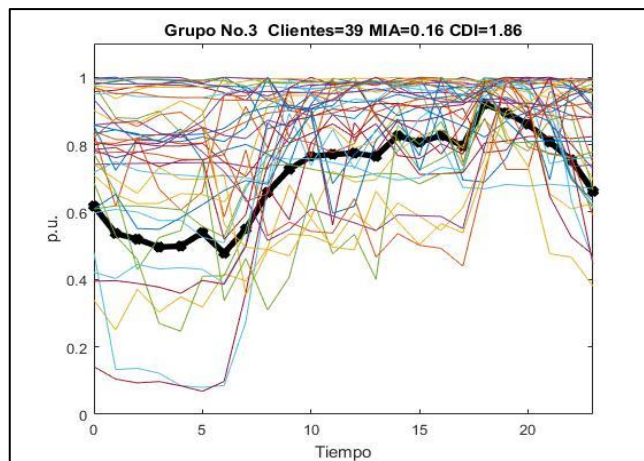


Figura 3. 14 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 3 consumidores tipo comercial sábado

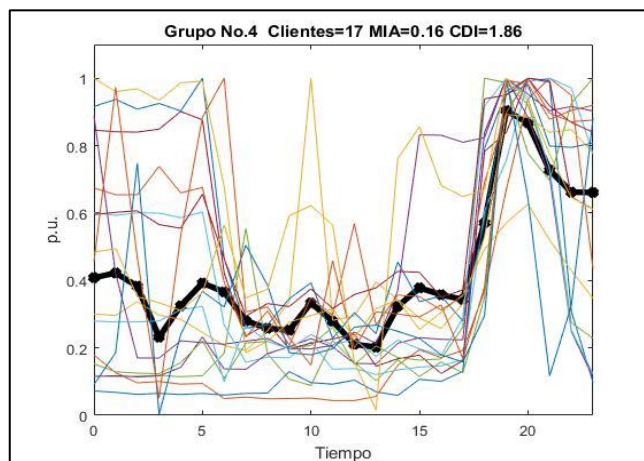


Figura 3. 15 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 4 consumidores tipo comercial sábado

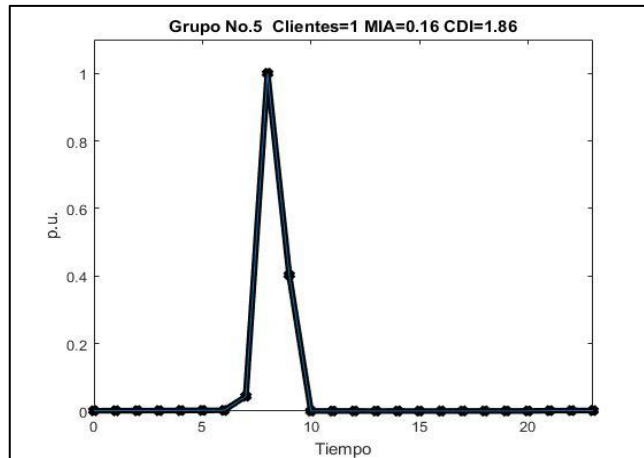


Figura 3. 16 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 5 consumidores tipo comercial sábado

3.1.3 Consumidores Tipo Comercial domingo

Para los consumidores tipo comercial domingo, se puede observar en la figura 3.17 que la mayor cantidad de agrupamiento de consumidores por distancias mínimas entre curvas de carga diaria, se encuentra en la región de color violeta. La curva de carga representativa para este tipo de clientes en el domingo, presente en la figura 3.18 nos indica que el consumo tiene una trayectoria uniforme por lapsos de tiempo, con valles o caídas a las 5:00 y 17:00, diferenciándola de las curvas representativas para los otros días de la semana.

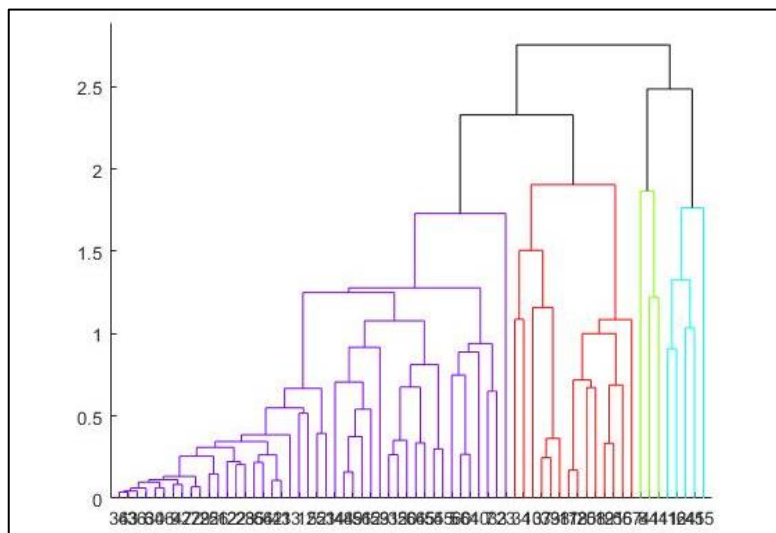


Figura 3. 17 Dendrograma consumidores tipo comercial domingo

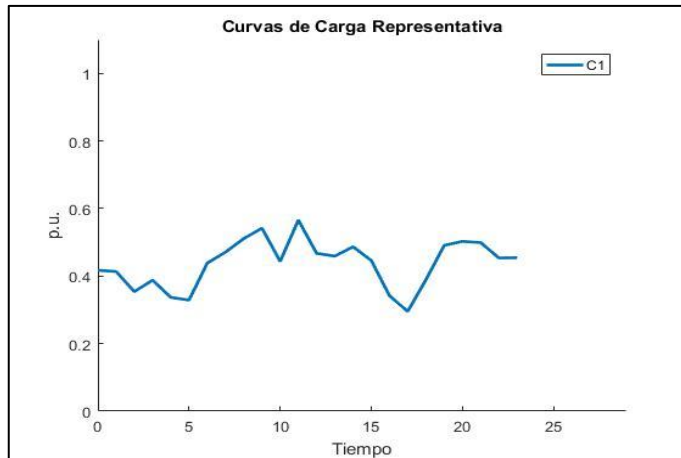


Figura 3. 18 Curva de carga representativa final consumidores tipo comercial domingo

En la figura 3.19 se puede ver la curva de carga representativa de cada uno de los 5 grupos de consumidores más prominentes, aplicando el dendrograma del método de agrupamiento jerárquico, para un lapso de 24 horas en un domingo, en la imagen se observa diferentes picos de consumo para cada grupo de consumidores y cada uno difieren de manera considerada en el comportamiento de consumo energético, con respecto a su curva de carga representativa.

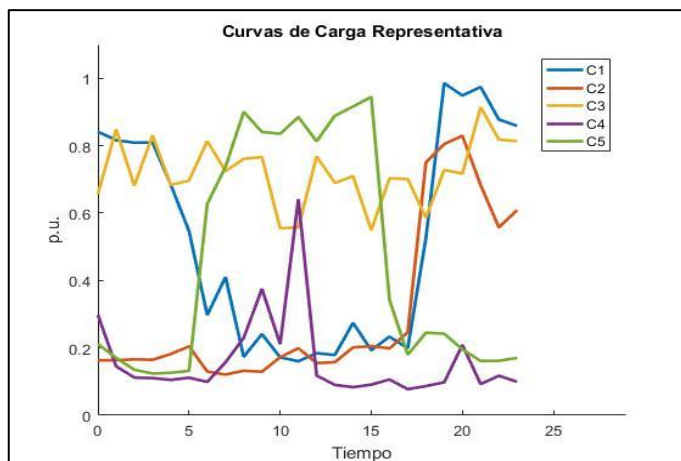


Figura 3. 19 Curvas de carga representativas para cada grupo de consumidores tipo comercial domingo

En las figuras 3.20, 3.21, 3.22, 3.23 y 3.24 se puede observar el comportamiento de las curvas de carga diaria para todos los consumidores frente a la curva de carga representativa de cada grupo de los consumidores tipo comercial domingo. De acuerdo a las siguientes gráficas, se observa que en el grupo número 3 abarca la mayor cantidad de

consumidores similares en características de consumo energético. Para un total de 5 grupos se obtiene un índice MIA de 0.19 y un índice CDI de 1.27.

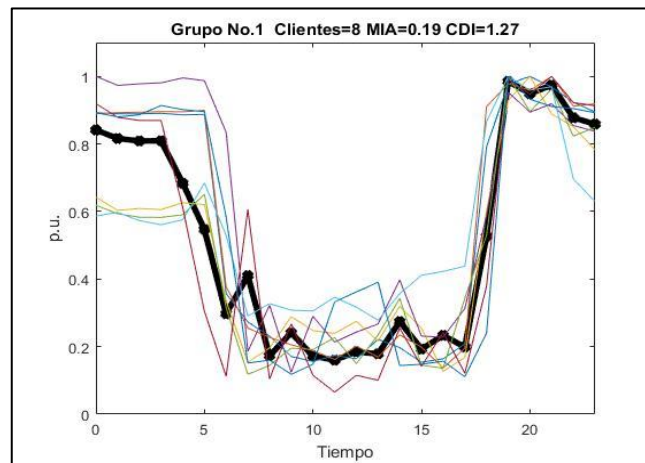


Figura 3. 20 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 1 consumidores tipo comercial domingo

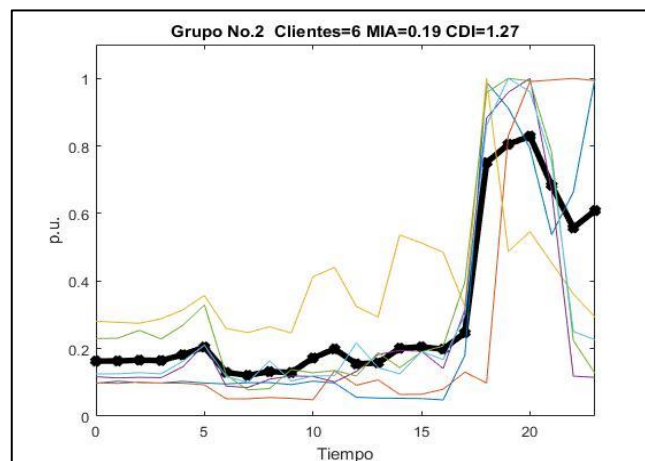


Figura 3. 21 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 2 consumidores tipo comercial domingo

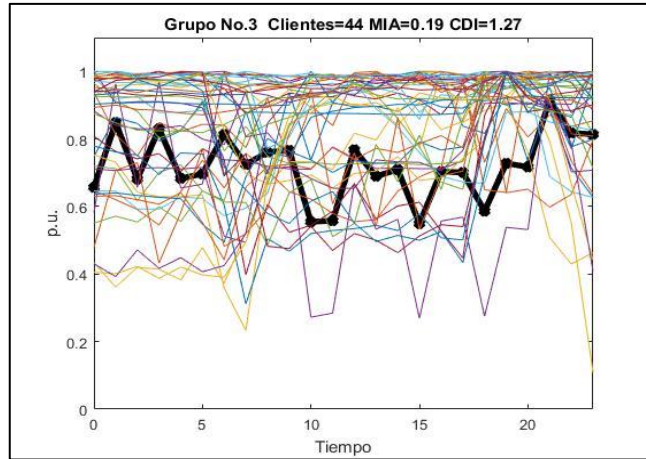


Figura 3. 22 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 3 consumidores tipo comercial domingo

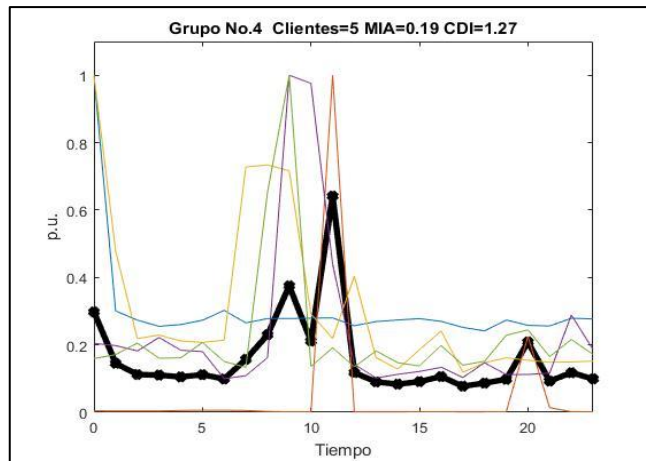


Figura 3. 23 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 4 consumidores tipo comercial domingo

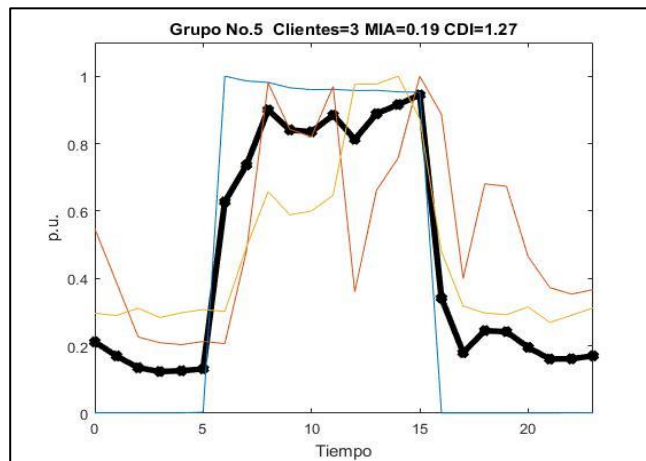


Figura 3. 24 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 5 consumidores tipo comercial domingo

3.1.4 Consumidores tipo industrial de lunes a viernes

Para los consumidores tipo industrial de lunes a viernes, se puede observar en la figura 3.25 que la mayor cantidad de agrupamiento de consumidores por distancias mínimas entre curvas de carga diaria, se encuentra en las regiones de color amarillo y color rojo. La curva de carga representativa para este tipo de clientes de lunes a viernes, presente en la figura 3.26 nos indica que presenta valles o caídas de consumo de 5:00 a 20:00, y la mayor cantidad de consumo energético se presenta en altas horas de la noche y madrugada, indicando un distintivo para este tipo de consumidores de lunes a viernes.

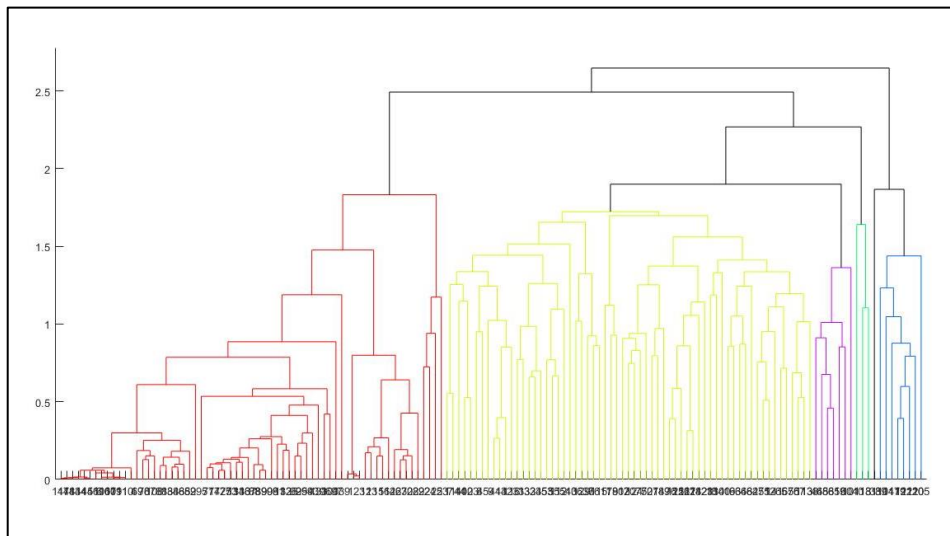


Figura 3. 25 Dendrograma consumidores tipo industrial de lunes a viernes

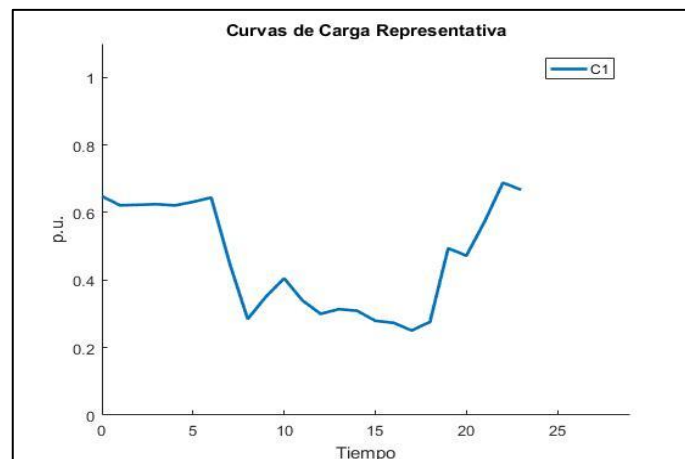


Figura 3. 26 Curva de carga representativa final consumidores tipo industrial de lunes a viernes

En la figura 3.27 se puede ver la curva de carga representativa de cada uno de los 5 grupos de consumidores más prominentes, aplicando el dendrograma del método de agrupamiento jerárquico, para un lapso de 24 horas de lunes a viernes, en la imagen se observa diferentes picos de consumo para cada grupo de consumidores y cada uno difieren de manera considerada en el comportamiento de consumo energético, sobre todo el grupo 5, con respecto a su curva de carga representativa.

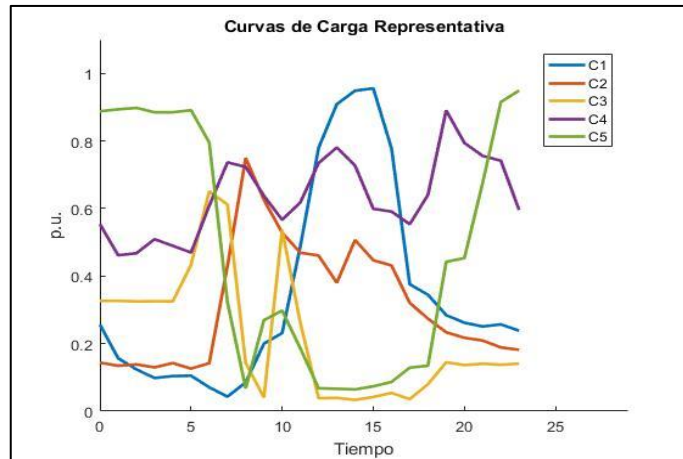


Figura 3. 27 Curvas de carga representativas para cada grupo de consumidores tipo industrial de lunes a viernes

En las figuras 3.28, 3.29, 3.30, 3.31 y 3.32 se puede observar el comportamiento de las curvas de carga diaria para todos los consumidores frente a la curva de carga representativa de cada grupo de los consumidores tipo industrial de lunes a viernes. De acuerdo a las siguientes gráficas, se observa que los grupos número 3 y número 4 abarcan la mayor cantidad de consumidores similares en características de consumo energético. Para un total de 5 grupos se obtiene un índice MIA de 0.23 y un índice CDI de 1.87.

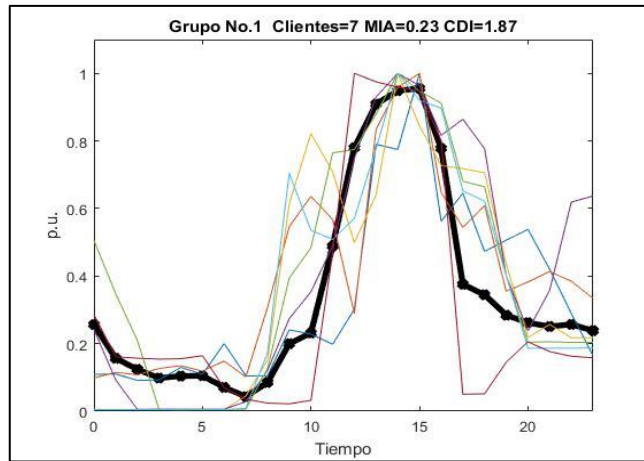


Figura 3. 28 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 1 consumidores tipo industrial de lunes a viernes

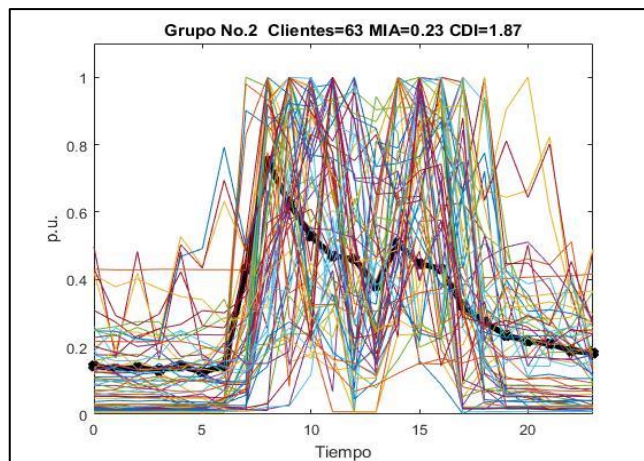


Figura 3. 29 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 2 consumidores tipo industrial de lunes a viernes

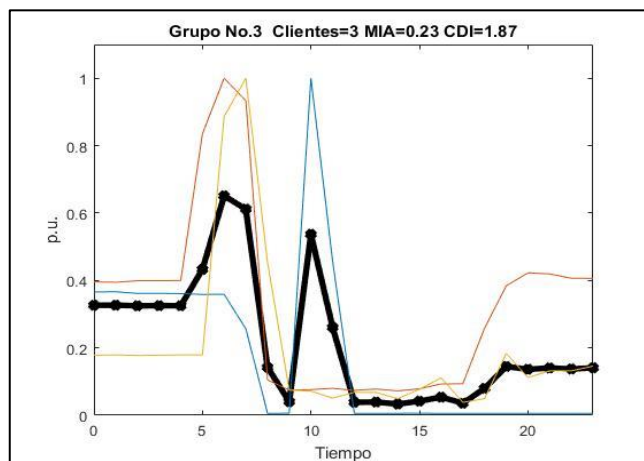


Figura 3. 30 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 3 consumidores tipo industrial de lunes a viernes

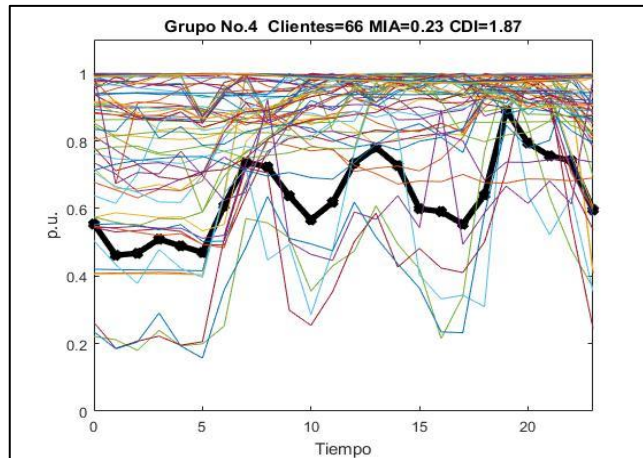


Figura 3. 31 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 4 consumidores tipo industrial de lunes a viernes

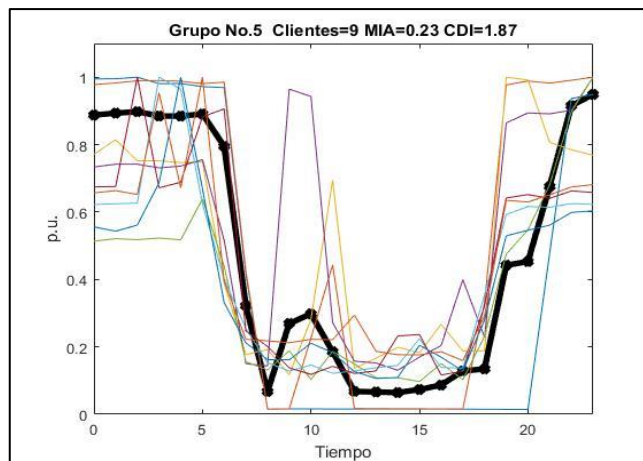


Figura 3. 32 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 5 consumidores tipo industrial de lunes a viernes

3.1.5 Consumidores tipo industrial sábado

Para los consumidores tipo industrial sábado, se puede observar en la figura 3.33 que la mayor cantidad de agrupamiento de consumidores por distancias mínimas entre curvas de carga diaria, se encuentra en la región de color rojo. La curva de carga representativa para este tipo de clientes, presente en la figura 3.34 nos indica que presenta mayor cantidad de consumo energético en horas de la madrugada hasta la mañana de 0:00 a 10:00, con un pico de consumo a las 9:00, indicando un rasgo significativo para este tipo de consumidores en un sábado.

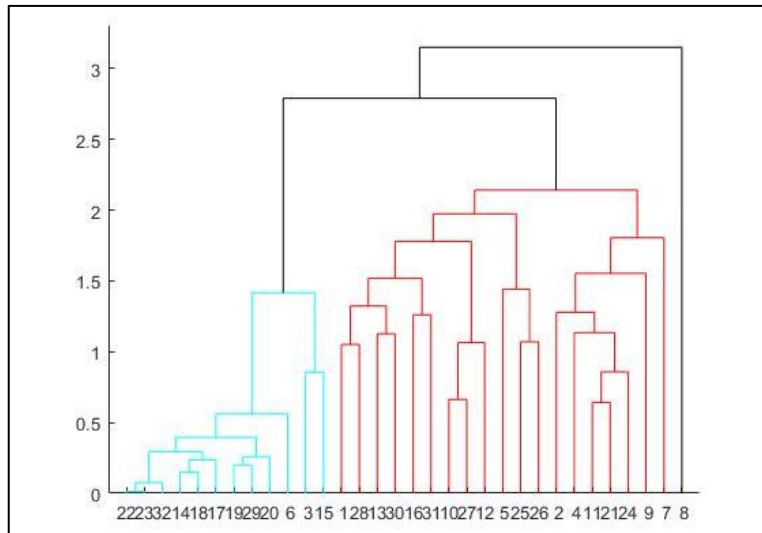


Figura 3. 33 Dendrograma Consumidores Tipo Industrial sábado

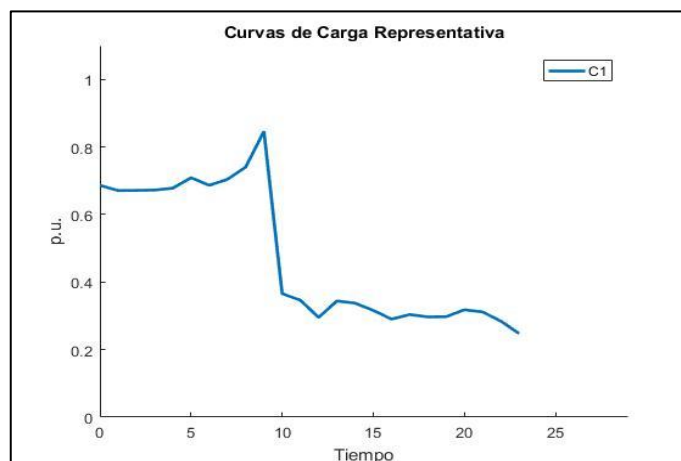


Figura 3. 34 Curva de carga representativa final consumidores tipo industrial sábado

En la figura 3.35 se puede ver la curva de carga representativa de cada uno de los 5 grupos de consumidores más prominentes, aplicando el dendrograma del método de agrupamiento jerárquico, para un lapso de 24 horas en un sábado, en la imagen se observa diferentes picos de consumo para distintas horas, y cada uno difieren de manera considerada en el comportamiento de consumo energético, con respecto a su curva de carga representativa.

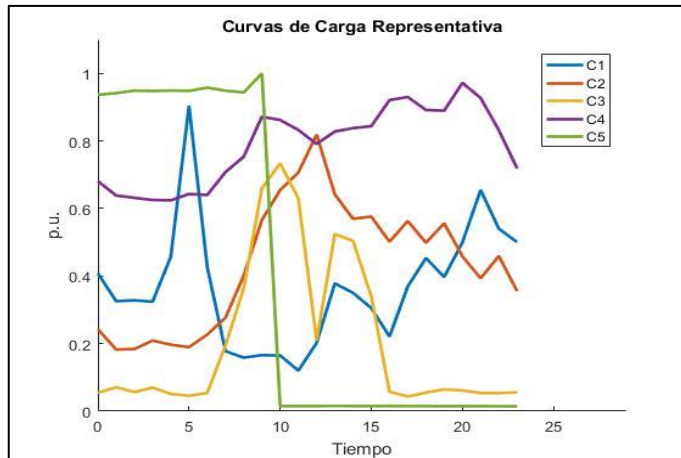


Figura 3. 35 Curvas de carga representativas para cada grupo de consumidores tipo industrial sábado

En las figuras 3.36, 3.37, 3.38, 3.39 y 3.40 se puede observar el comportamiento de las curvas de carga diaria para todos los consumidores frente a la curva de carga representativa de cada grupo de los consumidores tipo industrial sábado. De acuerdo a las siguientes gráficas, se observa que los grupos número 3 y número 4 abarcan la mayor cantidad de consumidores similares en características de consumo energético. Para un total de 5 grupos se obtiene un índice MIA de 0.18 y un índice CDI de 0.80.

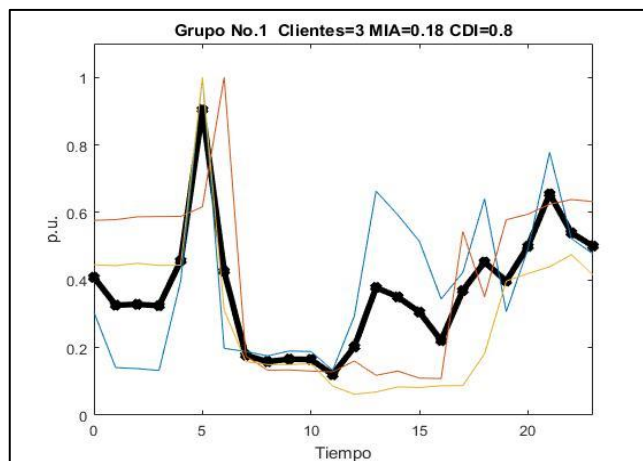


Figura 3. 36 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 1 consumidores tipo industrial sábado

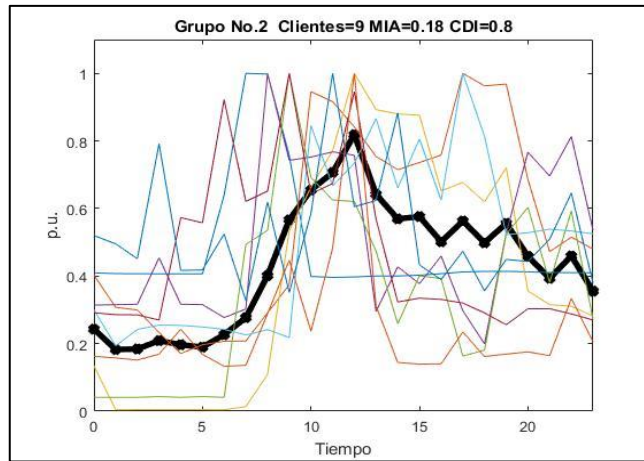


Figura 3. 37 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 2 consumidores tipo industrial sábado

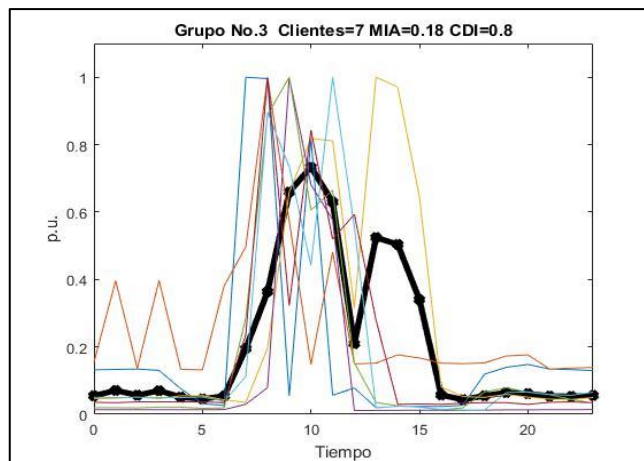


Figura 3. 38 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 3 consumidores tipo industrial sábado

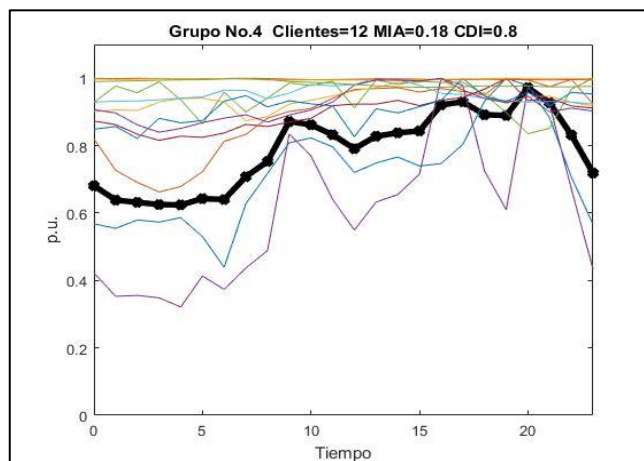


Figura 3. 39 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 4 consumidores tipo industrial sábado

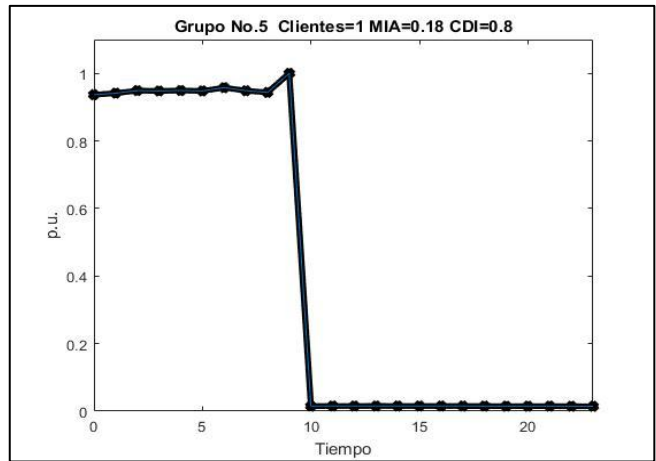


Figura 3. 40 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 5 consumidores tipo industrial sábado

3.1.6 Consumidores tipo industrial domingo

Para los consumidores tipo industrial domingo, se puede observar en la figura 3.41 que la mayor cantidad de agrupamiento de consumidores por distancias mínimas entre curvas de carga diaria, se encuentra en la región de color violeta. La curva de carga representativa para este tipo de clientes, presente en la figura 3.42 nos indica que presenta un consumo energético uniforme con picos ligeros a las 9:00 y 12:00, indicando un rasgo significativo para este tipo de consumidores en un domingo.

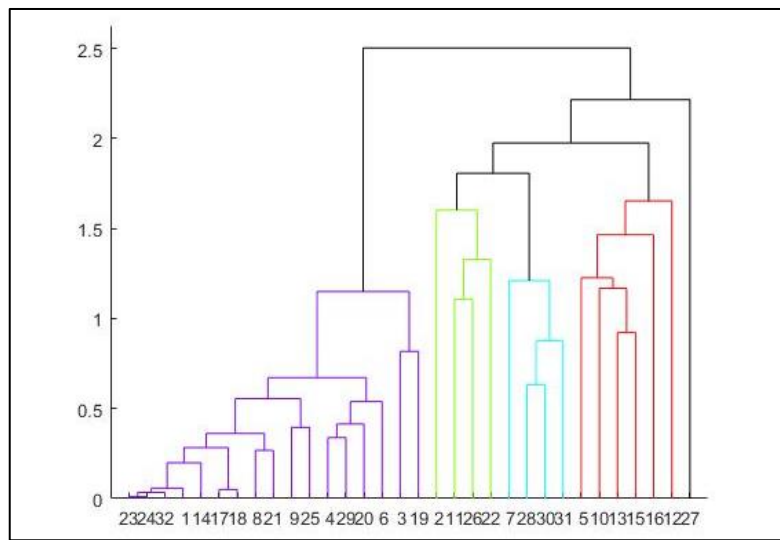


Figura 3. 41 Dendrograma consumidores tipo industrial domingo

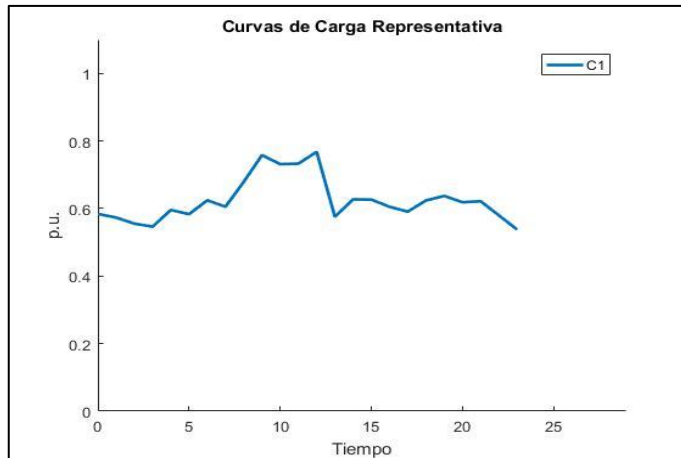


Figura 3. 42 Curva de carga representativa final consumidores tipo industrial domingo

En la Fig.3.43 se puede ver la curva de carga representativa de cada uno de los 5 grupos de consumidores más prominentes, aplicando el dendrograma del método de agrupamiento jerárquico, para un lapso de 24 horas en un domingo, en la imagen se observa diferentes picos de consumo para distintas horas, y cada uno difieren de manera significativa en el comportamiento de consumo energético, con respecto a su curva de carga representativa.

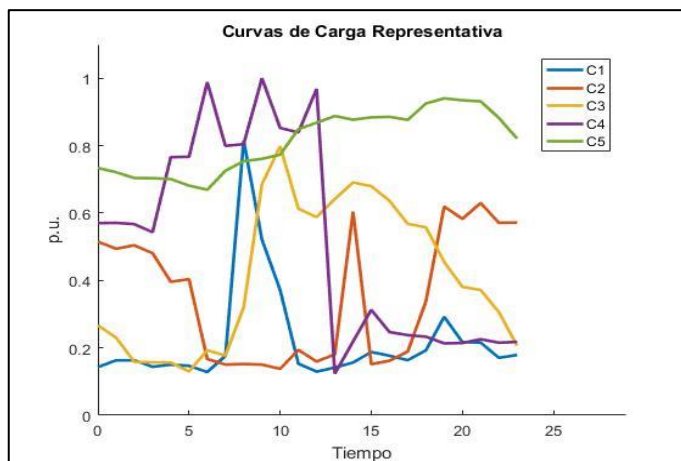


Figura 3. 43 Curvas de carga representativas para cada grupo de consumidores tipo industrial domingo

En las figuras 3.44, 3.45, 3.46, 3.47 y 3.48 se puede observar el comportamiento de las curvas de carga diaria para todos los consumidores frente a la curva de carga representativa de cada grupo de los consumidores tipo industrial domingo. De acuerdo a las siguientes gráficas, se observa que el grupo número 5 tiene la mayor cantidad de

consumidores similares en características de consumo energético. Para un total de 5 grupos se obtiene un índice MIA de 0.17 y un índice CDI de 0.90.

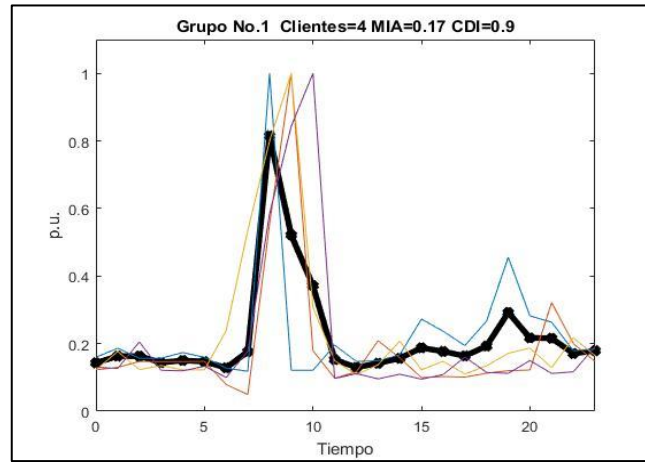


Figura 3. 44 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 1 consumidores tipo industrial domingo

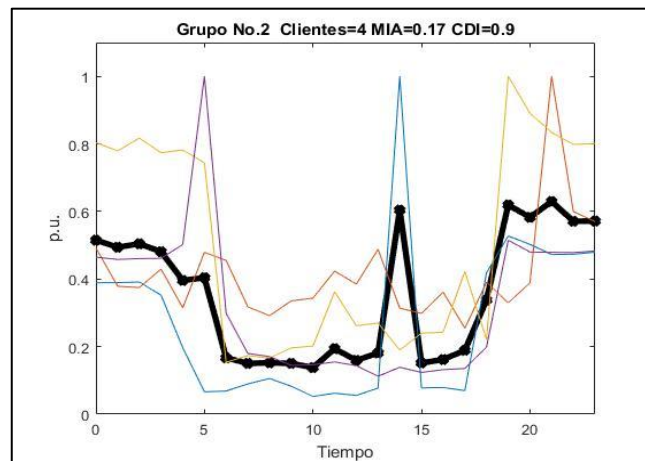


Figura 3. 45 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 2 consumidores tipo industrial domingo

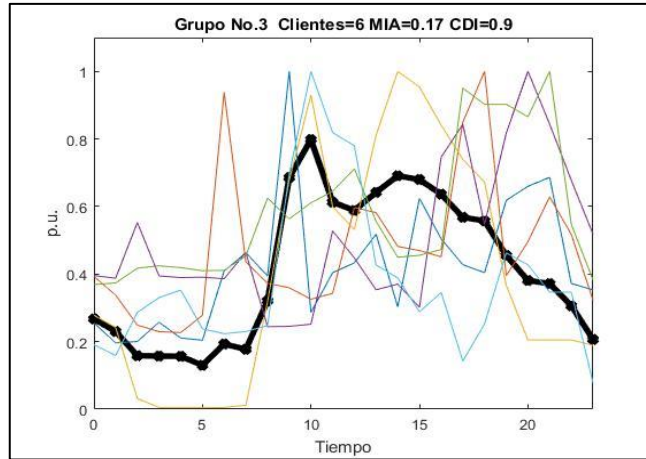


Figura 3. 46 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 3 consumidores tipo industrial domingo

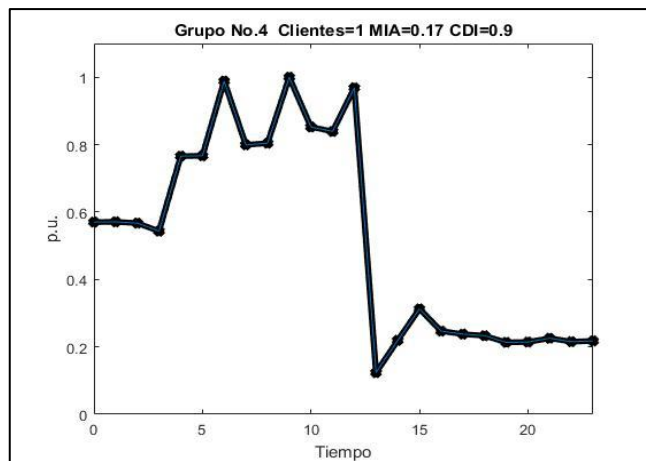


Figura 3. 47 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 4 consumidores tipo industrial domingo

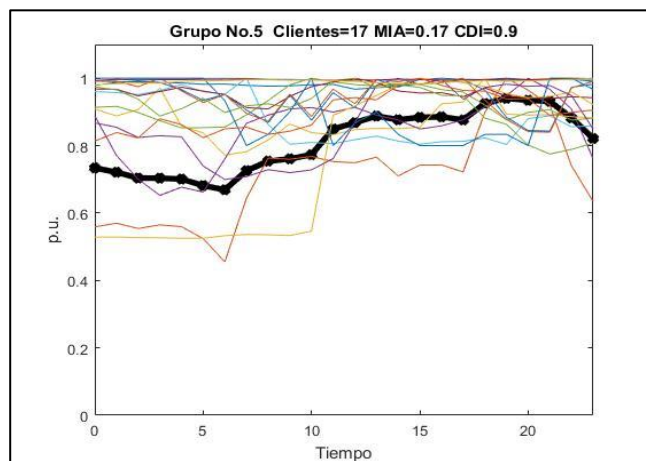


Figura 3. 48 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 5 consumidores tipo industrial domingo

3.1.7 Consumidores tipo residencial de lunes a viernes

En la figura 3.49 se puede observar el dendrograma para los consumidores tipo residencial de lunes a viernes, donde nos indica que la mayor cantidad de agrupamiento de consumidores por distancias mínimas entre curvas de carga diaria, se encuentra en las regiones de color verde y color rojo. La curva de carga representativa para este tipo de clientes de lunes a viernes, presente en la figura 3.50 nos indica que el pico de demanda se encuentra de 20:00 a 22:00, sobre todo por el uso de electrodomésticos como televisiones, equipos de sonido, computadores, y una caída de consumo en horas de la madrugada, dando una característica significativa de este tipo de consumidores de lunes a viernes.

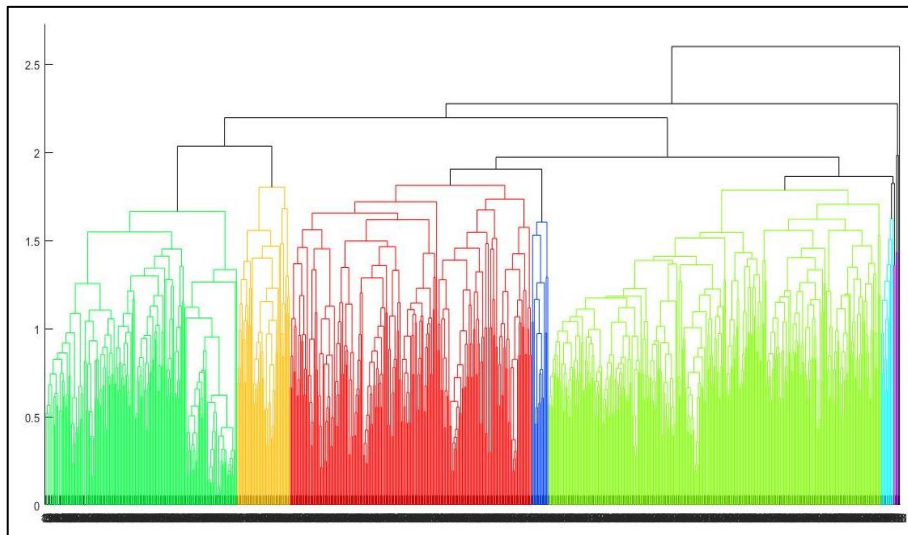


Figura 3. 49 Dendrograma consumidores tipo residencial de lunes a viernes

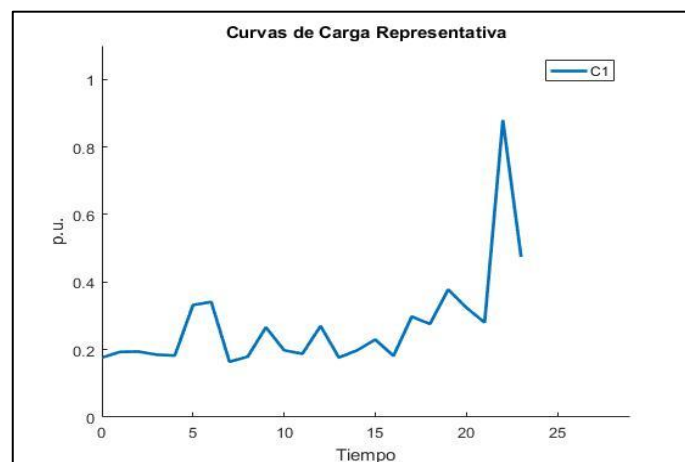


Figura 3. 50 Curva de carga representativa final consumidores tipo residencial de lunes a viernes

En la figura 3.51 se puede ver la curva de carga representativa de cada uno de los 5 grupos de consumidores más prominentes, aplicando el dendrograma del método de agrupamiento jerárquico, para un lapso de 24 horas de lunes a viernes, en la imagen se observa diferentes picos de consumo para cada grupo de consumidores y cada uno difieren de manera considerada en el comportamiento de consumo energético, sobre todo el grupo 4, que presenta varios picos de consumo, uno de ellos se muestra en horas de la madrugada, en fin al aglomerar los consumidores nos da curvas características propias del comportamiento de cada grupo.

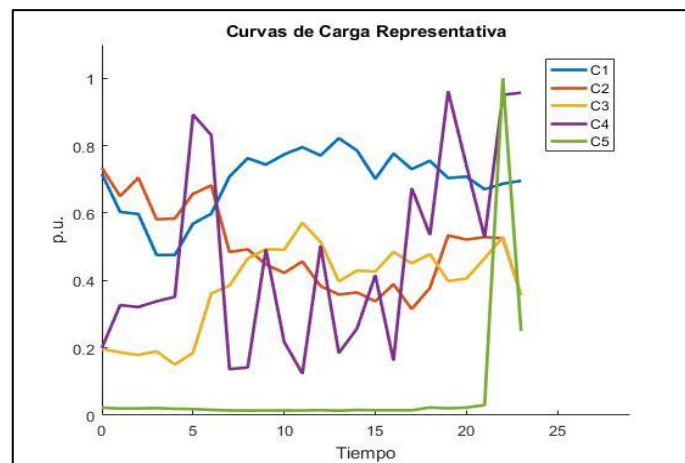


Figura 3. 51 Curvas de carga representativas para cada grupo de consumidores tipo residencial de lunes a viernes

En las figuras 3.52, 3.53, 3.54, 3.55 y 3.56 se puede observar el comportamiento de las curvas de carga diaria para todos los consumidores frente a la curva de carga representativa de cada grupo de los consumidores tipo residencial de lunes a viernes. De acuerdo a las siguientes gráficas, se observa que en los grupos primero número 3 y luego número 1, concentran la mayor cantidad de consumidores similares en características de consumo energético. Para un total de 5 grupos se obtiene un índice MIA de 0.21 y un índice CDI de 10.95.

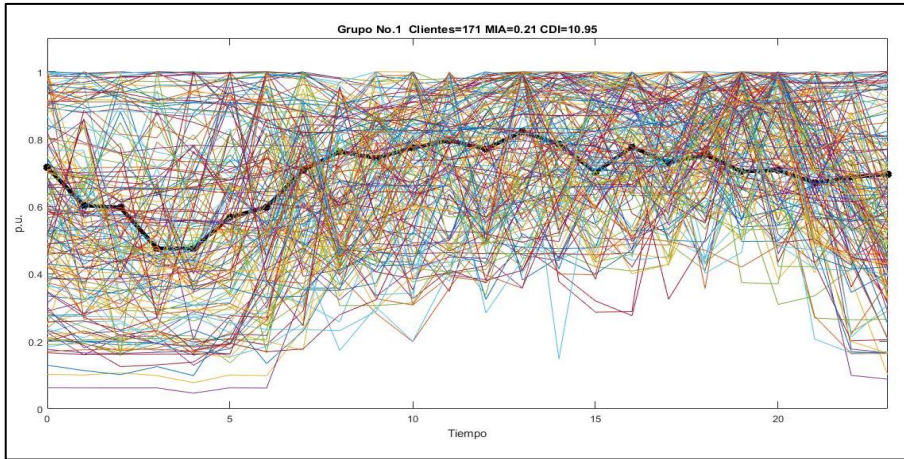


Figura 3. 52 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 1 consumidores tipo residencial de lunes a viernes

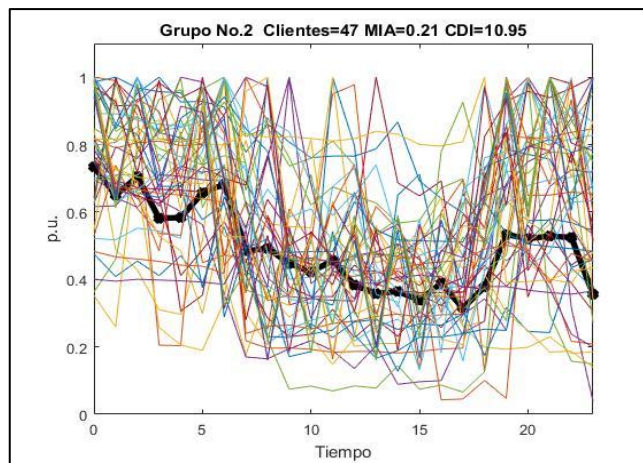


Figura 3. 53 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 2 consumidores tipo residencial de lunes a viernes

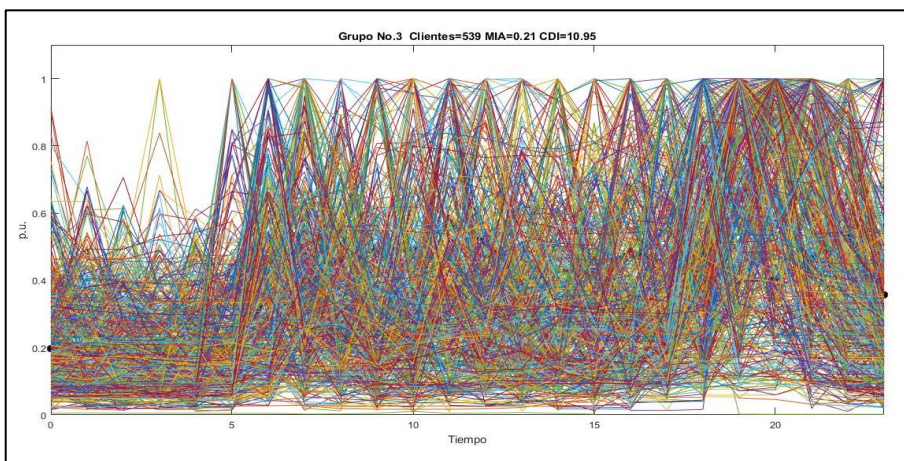


Figura 3. 54 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 3 consumidores tipo residencial de lunes a viernes

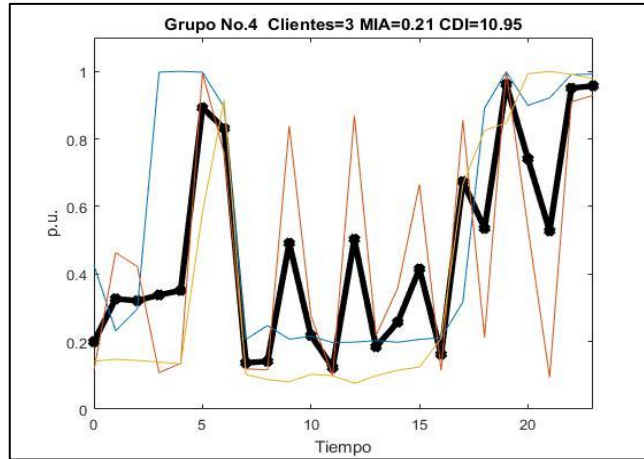


Figura 3. 55 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 4 consumidores tipo residencial de lunes a viernes

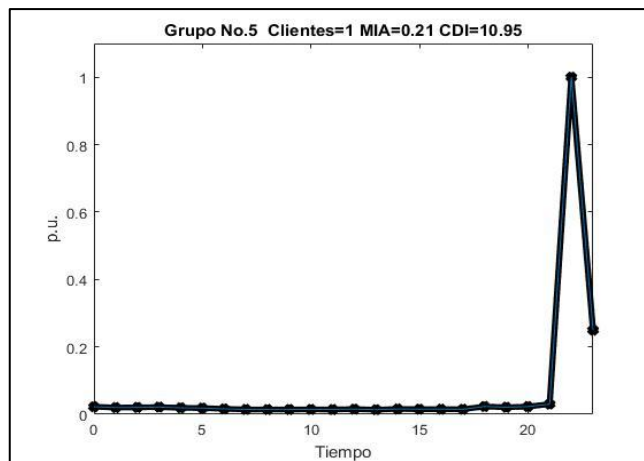


Figura 3. 56 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 5 consumidores tipo residencial de lunes a viernes

3.1.8 Consumidores tipo residencial sábado

En la figura 3.57 se puede observar el dendrograma para los consumidores tipo residencial sábado, donde nos indica que la mayor cantidad de agrupamiento de consumidores por distancias mínimas entre curvas de carga diaria, se encuentra en la región de color anaranjado. La curva de carga representativa para este tipo de clientes en un día sábado, presente en la figura 3.58 nos muestra una curva de tendencia de consumo uniforme, con unos pequeños picos a las 8:00, 14:00, 15:00 y 20:00, señalando un rasgo significativo para este tipo de consumidores en un sábado.

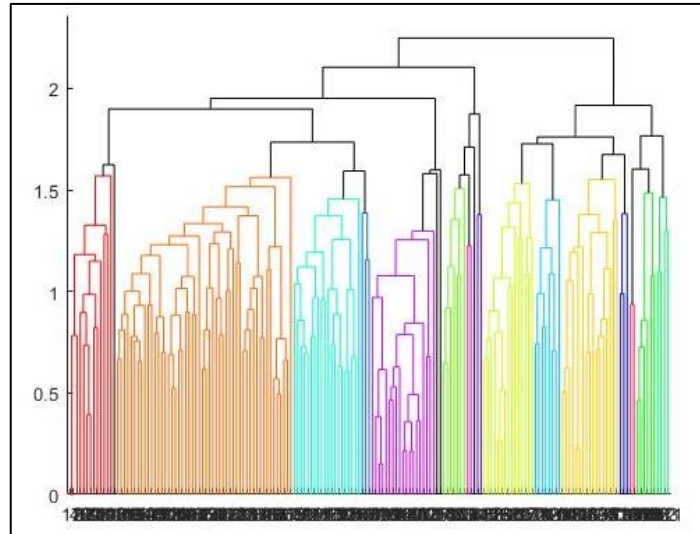


Figura 3. 57 Dendrograma consumidores tipo residencial sábado

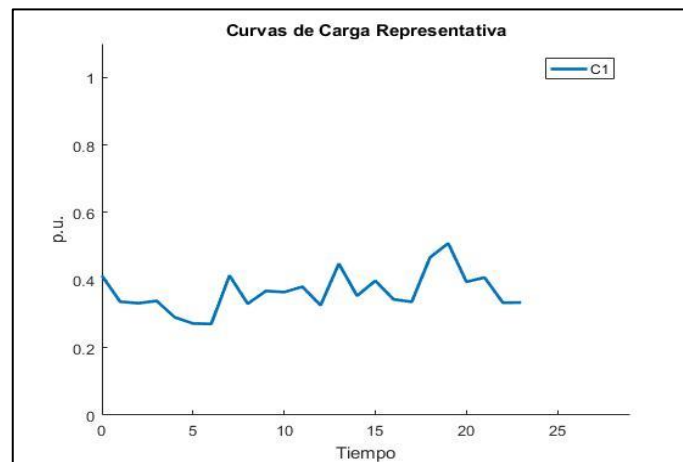


Figura 3. 58 Curva de carga representativa final consumidores tipo residencial sábado

En la figura 3.59 se puede ver la curva de carga representativa de cada uno de los 5 grupos de consumidores más destacados, aplicando el dendrograma del método de agrupamiento jerárquico, para un lapso de 24 horas de un sábado, en la imagen se observa diferentes picos de consumo para cada grupo de consumidores y cada uno difieren de manera considerada en el comportamiento de consumo energético, lo que se puede constatar un comportamiento diferente de consumo energético para cada grupo.

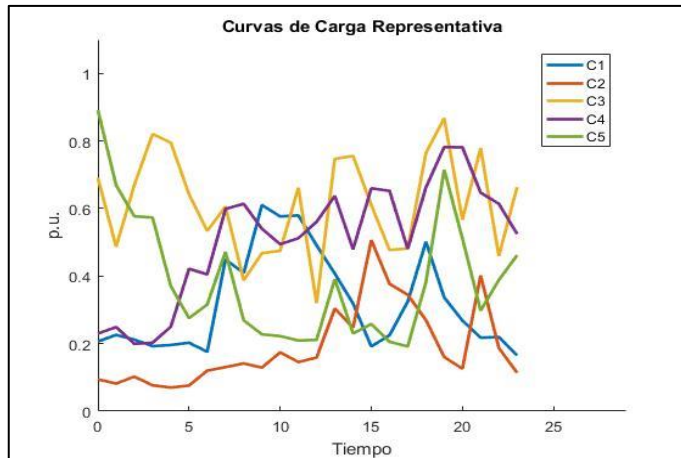


Figura 3. 59 Curvas de carga representativas para cada grupo de consumidores tipo residencial sábado

En las figuras 3.60, 3.61, 3.62, 3.63 y 3.64 se puede observar el comportamiento de las curvas de carga diaria para todos los consumidores frente a la curva de carga representativa de cada grupo de los consumidores tipo residencial sábado. De acuerdo a las siguientes gráficas, se observa que en los grupos primero número 4 y luego número 1, concentran la mayor cantidad de consumidores similares en características de consumo energético. Para un total de 5 grupos se obtiene un índice MIA de 0.25 y un índice CDI de 1.86.

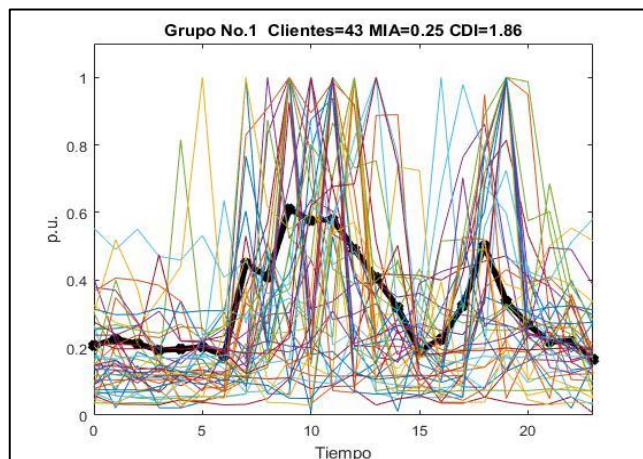


Figura 3. 60 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 1 consumidores tipo residencial sábado

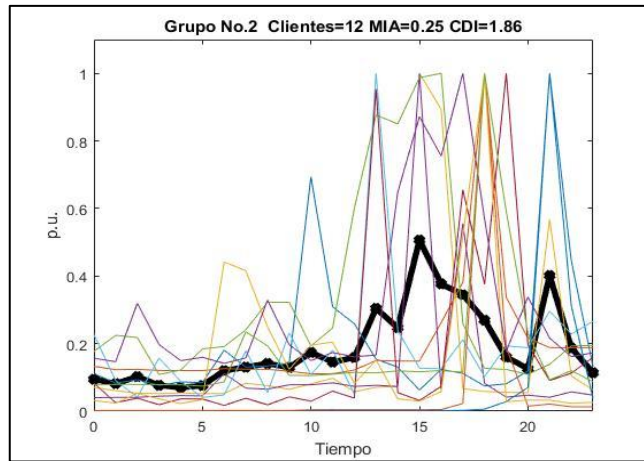


Figura 3. 61 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 2 consumidores tipo residencial sábado

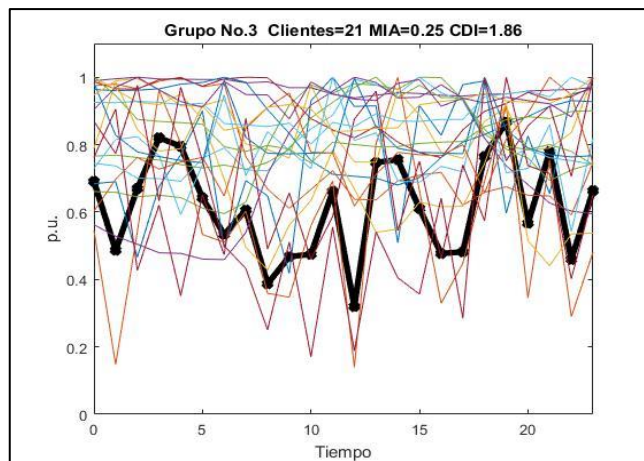


Figura 3. 62 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 3 consumidores tipo residencial sábado

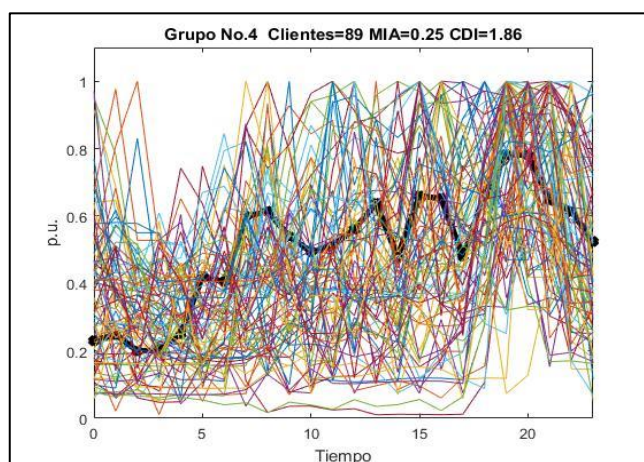


Figura 3. 63 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 4 consumidores tipo residencial sábado

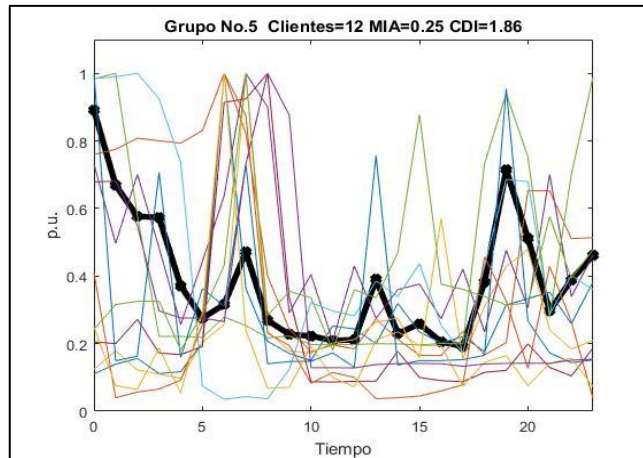


Figura 3. 64 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 5 consumidores tipo residencial sábado

3.1.9 Consumidores tipo residencial domingo

Para los consumidores tipo industrial domingo, se puede observar en la figura 3.65 que la mayor cantidad de agrupamiento de consumidores por distancias mínimas entre curvas de carga diaria, se encuentra en la región de color rojo. La curva de carga representativa para este tipo de clientes en el domingo, presente en la figura 3.66 nos indica que presenta un mayor consumo energético uniforme en las horas de la mañana, tarde y en la noche, desde las 8:00 hasta las 22:00, con picos ligeros a las 12:00, 16:00 y 21:00, indicando un rasgo significativo de este tipo de consumidores en el día domingo, con respecto al comportamiento de consumo del resto de los días de la semana.

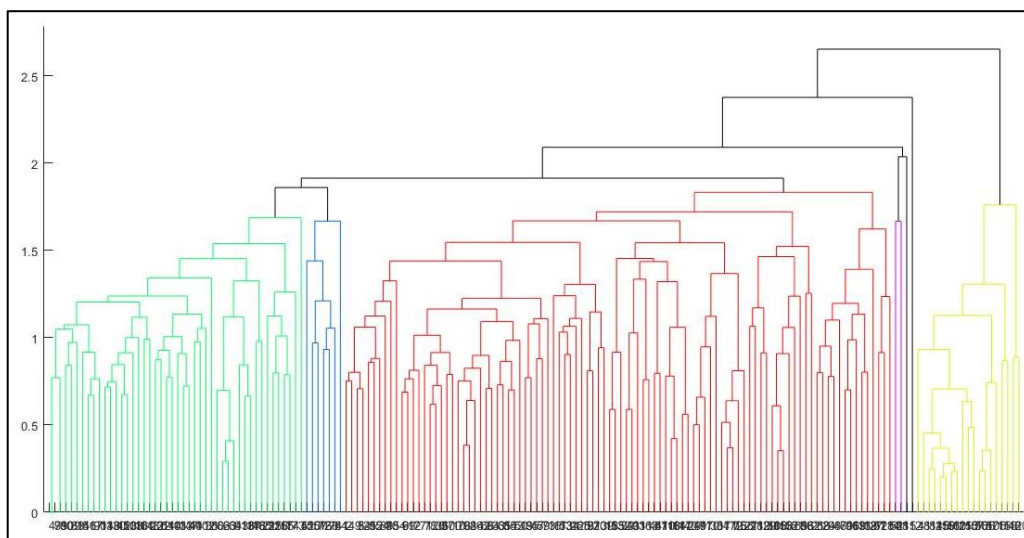


Figura 3. 65 Dendrograma consumidores tipo residencial domingo

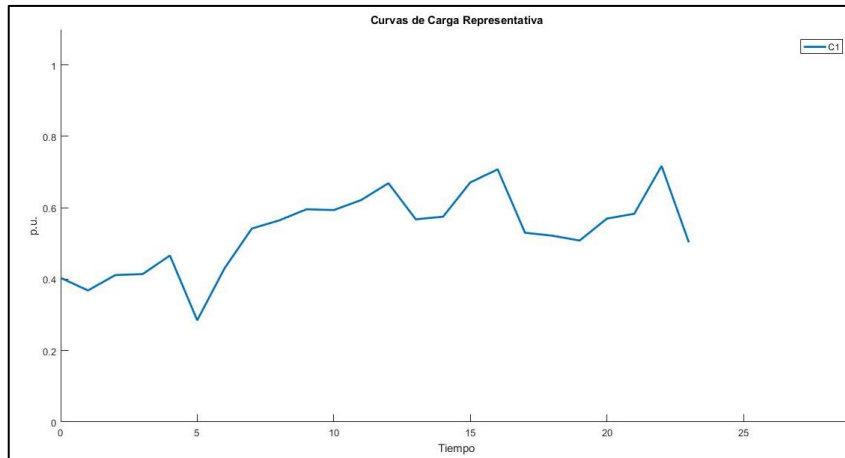


Figura 3. 66 Curva de carga representativa final consumidores tipo residencial domingo

Se puede observar en la figura 3.67, la curva de carga representativa de cada uno de los 5 grupos de consumidores más destacados, aplicando el dendrograma del método de agrupamiento jerárquico, para un lapso de 24 horas en un domingo, en la imagen se observa diferentes picos de consumo para cada grupo de consumidores y cada uno distan de manera considerada en el comportamiento de consumo energético, lo que se puede confirmar un comportamiento diferente de consumo energético para cada grupo.

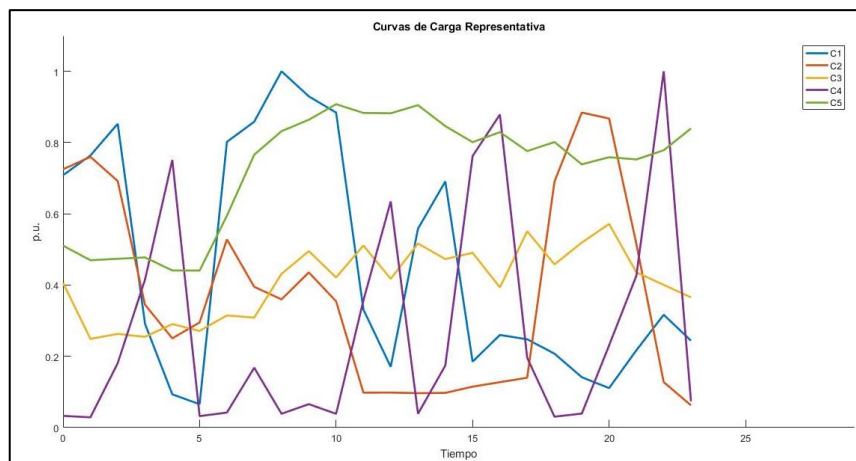


Figura 3. 67 Curvas de carga representativas para cada grupo de consumidores tipo residencial domingo

En las figuras 3.68, 3.69, 3.70, 3.71 y 3.72 se puede observar el comportamiento de las curvas de carga diaria para todos los consumidores frente a la curva de carga representativa de cada grupo de los consumidores tipo residencial domingo. De acuerdo a las siguientes gráficas, se observa que en el grupo número 3, concentra la mayor cantidad

de consumidores similares en características de consumo energético. Para un total de 5 grupos se obtiene un índice MIA de 0.17 y un índice CDI de 5.01.

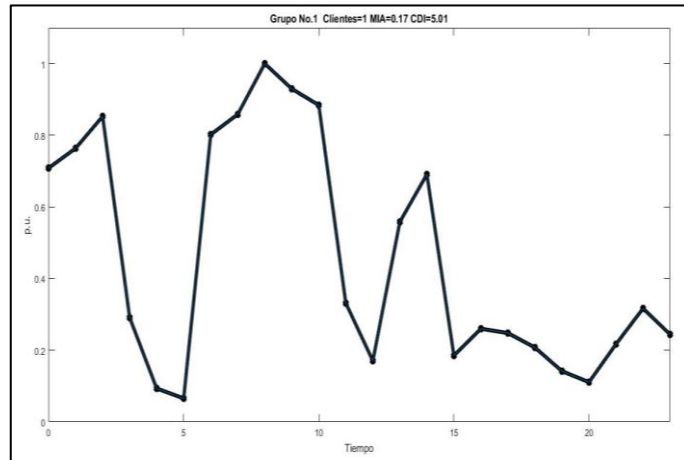


Figura 3. 68 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 1 consumidores tipo residencial domingo

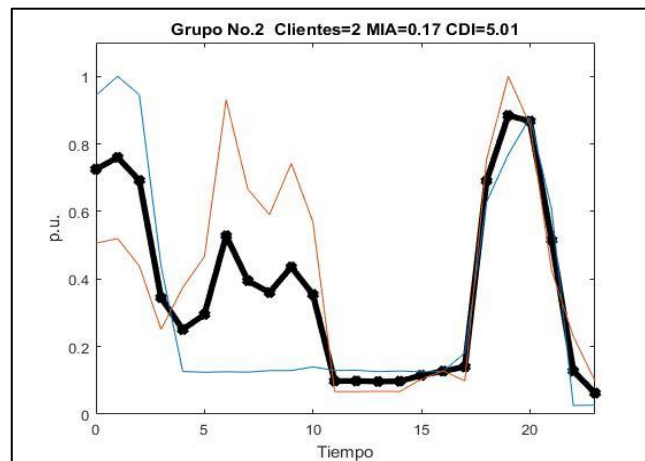


Figura 3. 69 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 2 consumidores tipo residencial domingo

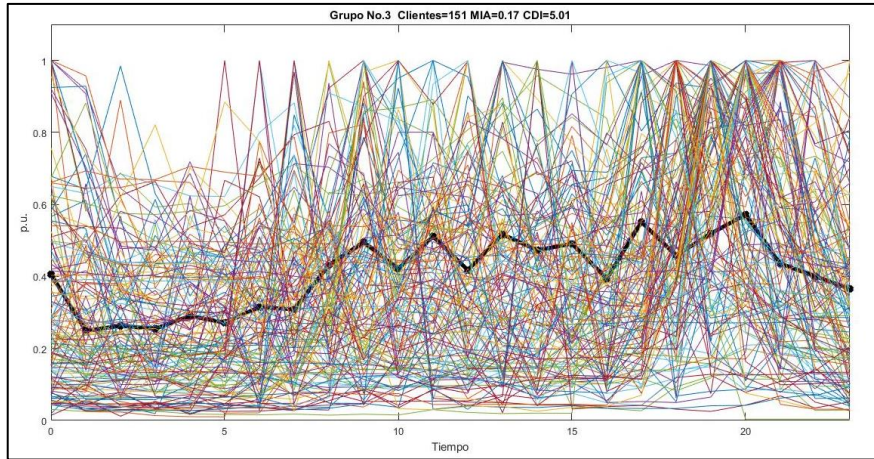


Figura 3. 70 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 3 consumidores tipo residencial domingo

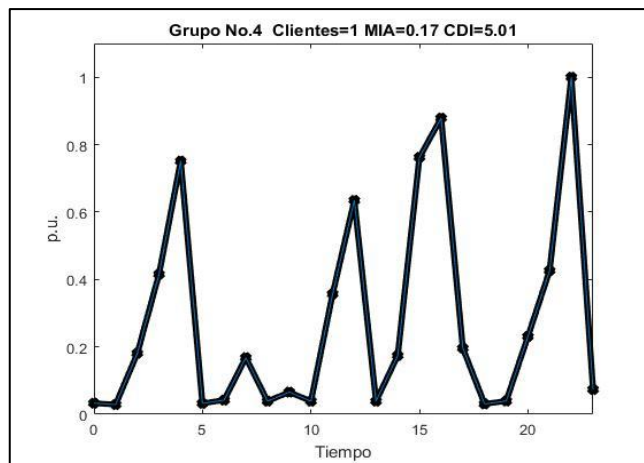


Figura 3. 71 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 4 consumidores tipo residencial domingo

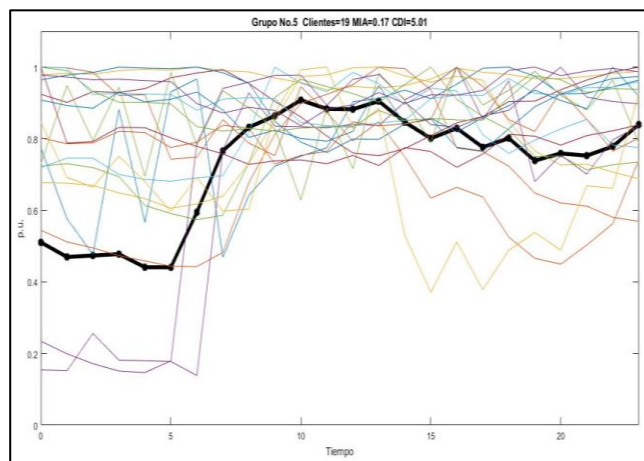


Figura 3. 72 Curva de carga representativa y curvas de carga diaria para el grupo 5 consumidores tipo residencial domingo

3.1.10 Resumen de resultados obtenidos

Después de aplicar el algoritmo de agrupamiento jerárquico en la base de datos por tipo de consumidor y día de semana, se puede hacer un análisis mediante la comparación de valores, que se encuentran en la Tabla 3.1, que corresponde al número total de curvas de cargas diarias correspondientes a cada usuario que conforman un grupo obtenido por dendrograma de los conjuntos de consumidores clasificados, el número de grupos es opcional en función de las necesidades específicas, que se requiere para la aplicación del estudio, y es importante para comprender la similitud que existe en el comportamiento de consumo energético entre diferentes usuarios aglomerados en conjuntos.

Además, se puede realizar una comparativa con los resultados del índice MIA, presente en Tabla 3.2, así como de los resultados del índice CDI, presente en la Tabla 3.3 para cada conjunto de tipo de consumidores y día de la semana. Para el caso de los valores del índice MIA se puede constatar cuán parecidas son las formas de las curvas de carga, y en el caso de los valores del índice CDI la similitud entre características, esto para los componentes que forman un conjunto establecido.

Tabla 3. 1 Número de clientes en cada grupo obtenido del dendrograma, según tipo de consumidor y día de la semana

	Tipo de Consumidor								
	Comercial			Industrial			Residencial		
	Día de la semana			Día de la semana			Día de la semana		
	Lunes a viernes	Sábado	Domingo	Lunes a viernes	Sábado	Domingo	Lunes a viernes	Sábado	Domingo
Grupo No. 1	189	1	8	7	3	4	171	43	1
Grupo No. 2	56	10	6	63	9	4	47	12	2
Grupo No. 3	1	39	44	3	7	6	539	21	151
Grupo No. 4	19	17	5	66	12	1	3	89	1
Grupo No. 5	4	1	3	9	1	17	1	12	19

Tabla 3. 2 índice MIA en cada grupo obtenido del dendrograma, según tipo de consumidor y día de la semana

	Tipo de Consumidor								
	Comercial			Industrial			Residencial		
	Día de la semana			Día de la semana			Día de la semana		
	Lunes a viernes	Sábado	Domingo	Lunes a viernes	Sábado	Domingo	Lunes a viernes	Sábado	Domingo
Grupo No. 1	0,23	0,16	0,19	0,23	0,18	0,17	0,21	1,86	0,17
Grupo No. 2	0,23	0,16	0,19	0,23	0,18	0,17	0,21	1,86	0,17
Grupo No. 3	0,23	0,16	0,19	0,23	0,18	0,17	0,21	1,86	0,17
Grupo No. 4	0,23	0,16	0,19	0,23	0,18	0,17	0,21	1,86	0,17
Grupo No. 5	0,23	0,16	0,19	0,23	0,18	0,17	0,21	1,86	0,17

Tabla 3. 3 índice CDI en cada grupo obtenido del dendrograma, según tipo de consumidor y día de la semana

	Tipo de Consumidor								
	Comercial			Industrial			Residencial		
	Día de la semana			Día de la semana			Día de la semana		
	Lunes a viernes	Sábado	Domingo	Lunes a viernes	Sábado	Domingo	Lunes a viernes	Sábado	Domingo
Grupo No. 1	5,45	1,86	1,27	1,87	0,8	0,9	10,95	0,25	5,01
Grupo No. 2	5,45	1,86	1,27	1,87	0,8	0,9	10,95	0,25	5,01
Grupo No. 3	5,45	1,86	1,27	1,87	0,8	0,9	10,95	0,25	5,01
Grupo No. 4	5,45	1,86	1,27	1,87	0,8	0,9	10,95	0,25	5,01
Grupo No. 5	5,45	1,86	1,27	1,87	0,8	0,9	10,95	0,25	5,01

3.2 Conclusiones

- Según los resultados obtenidos en este trabajo, se puede observar que las curvas de carga representativas finales, de cada tipo de consumidor se diferencian de manera considerada de acuerdo a la actividad como es el caso del tipo industrial que es muy diferente a la de los tipos residencial y comercial, también se puede notar que el día de la semana en que se presenta las actividades también influye mucho como es el caso de los consumidores tipo residencial, la curva de carga representativa tiene un contraste pronunciado entre lunes a viernes, sábado y domingo, presentándose en este un consumo energético más uniforme durante el día.
- El algoritmo de agrupamiento jerárquico nos facilita trabajar con una cantidad grande a muy grande de datos sin restricciones, con la condición que los datos se localicen de manera organizada en cada parámetro y con valores adecuados, en este caso de gráficas de consumo energético de varios usuarios, como datos, permite encontrar modelos de predicción de la forma de curva de carga para un grupo de usuarios con determinadas características, para realizar análisis y estudios de gran ayuda.
- Una de las características más sobresalientes del método de agrupamiento jerárquico, es que siempre nos va permitir encontrar un resultado único y final, por medio de la herramienta gráfica dendrograma, sin importar como se comporten los datos a analizar en un proceso, como es el caso del consumo energético de los tipos de clientes y el día de la semana que se desarrollan, este método nos va a permitir encontrar una curva de carga representativa como pronóstico en estudios que requieran un análisis de dimensionamiento de demanda eléctrica.
- Con la herramienta gráfica dendrograma, como dato inicial de las curvas de cargas diarias de los consumidores, se puede establecer como número mínimo de grupos igual a uno y como número máximo de grupos a la mitad del número de consumidores, si el número es par, la mitad del número entre los consumidores y sumado uno, si el número es impar, debido a que en la primera iteración los grupos al formarse, van de par en par entre consumidores con los datos más similares.
- De acuerdo a la aplicación que se requiera, se puede definir el número de grupos de consumidores con datos similares, trazando una línea horizontal en el dendrograma, este valor se define con el total de las intersecciones que se ha encontrado entre las ramas y la línea horizontal, este número no puede ser mayor

del máximo establecido, y entre más cerca de la cima, menor cantidad de grupos se tiene para realizar el análisis correspondiente.

3.3 Recomendaciones

- Es necesario establecer un número determinado de grupos que se va a obtener con las ramificaciones de un dendrograma en cada conjunto de consumidores, acorde con el análisis que se va a desarrollar, ya que este valor influye de manera significativa en el cálculo de los índices de adecuación, como es el caso de este trabajo donde se forman cinco grupos para cada tipo de consumidor y día de semana, dando índices CDI y MIA característicos, estos valores pueden cambiar si cambia el número de grupos a formarse, pero no afecta el rango al percibir cuán similares o dispares se encuentran los datos empleados.
- Es necesario realizar una clasificación adecuada de la base de datos, organizando de acuerdo a parámetros concisos, ya sea para poder emplear este método o cualquier otro que incluya minería de datos, ya que, si llega a presentarse en las tablas valores incoherentes o quedan en blanco, el algoritmo implementando creará bucles infinitos que no nos permitirá compilar o generará error en la lectura e interpretación de los mismos, en el caso del algoritmo desarrollado en MATLAB del presente trabajo se ha obtenido un análisis adecuado de los resultados, filtrando los datos para crear una matriz óptima en los cálculos.
- Es muy importante determinar en cualquier método de agrupamiento, el cálculo de distancia y la técnica de aglomeración que se aplicará a cada conjunto de datos, ya que las diferentes maneras de calcular con estas fórmulas, intervienen en los valores de los resultados, como en el caso de este trabajo se aplicó la distancia euclidiana y de centros de gravedad, lo que optimiza la formación de grupos para este tipo de datos de consumo energético.
- Es recomendable buscar los comandos más óptimos y utilizar la sintaxis adecuada de código en un método de agrupamiento, para desarrollar el código del algoritmo de manera eficaz, como las instrucciones aplicadas aquí, entre ellos linkage, cluster, dendrogram, que demostraron que MATLAB puede ser una herramienta poderosa como método de agrupamiento jerárquico, en la rama extensa de minería de datos.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] G. Chicco, R. Napoli, and F. Piglione, "Comparisons among clustering techniques for electricity customer classification," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 21, no. 2, pp. 933–940, May 2006, doi: 10.1109/TPWRS.2006.873122.
- [2] A. Funes, "Agrupamiento Conceptual Jerárquico," Departamento de Sistemas Informáticos y Computación, Universidad Politécnica de Valencia, 2008.
- [3] Turan Gonen, "Electric power distribution system engineering," 3rd Edition., vol.1. New York: CRC Press, 2014.
- [4] página web: estrategiastrading.com, "Clustering Jerárquico - Agrupar elementos con minería de datos," online. <https://estrategiastrading.com/clustering-jerarquico/> (accessed Dec. 03, 2021).
- [5] página web: <https://aprendeia.com>, "Algoritmo Agrupamiento Jerárquico," online. <https://aprendeia.com/algoritmo-agrupamiento-jerarquico-teoria/> (accessed jul. 17, 2022).
- [6] I. Dent, T. Craig, U. Aickelin, and T. Rodden, "An Approach for Assessing Clustering of Households by Electricity Usage," Horizon Digital Economy Research Institute, University of Nottingham, Sep. 2014, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1409.0718>[1] V. Figueiredo *et al.*, «Electric Energy Customer Characterization by Clustering», p. 7.

5 ANEXOS

ANEXO I: BASE DE DATOS

Archivo en Excel: BDEEA.xlsx

ANEXO II: CÓDIGO PRINCIPAL AGRUPAMIENTO JERÁRQUICO

```
close all
clear all
clc
%% CARGA DE DATOS
da=readtable('BDEEA.xlsx'); % Base de datos debe estar en la misma
carpeta
auxda=da; % Respaldo Base de Datos
%% EXTRAER DATOS
clear cu dcu % Necesario para cambiar tipo de consumidor.
da=auxda;
ho=24; % Curva de carga diaria 24 horas
fe=6; % Fecha Sola 6ta columna
cl=1; % Cliente 1ra columna
po=4; % Promedio P 4ta columna
ti=7; % Hora Sola 7ma columna

aux=da;
num=size(aux,2)+1;
aux(:,num)=(2:1:(size(aux,1)+1))';

cla=12; % Grupo de consumo 12va columna
su=1; % Comercial Industrial Residencial
gru={'Comercial';'Industrial';'Residencial'};
aux2=[];
aux1=find(strcmpi(da(:,cla),gru(su,1)));
aux2=[aux2;aux1];
da=da(aux2,:);
aux=aux(aux2,:);

cla=10; % Día de la Semana 10ma columna
su=7; % [1,2,3,4,5],[6]Sabado,[7]Domingo
gru=[1,2,3,4,5,6,7];
aux2=[];
for i=1:size(su,2)
    aux1=find(da(:,cla)==gru(su(i)));
    aux2=[aux2;aux1];
end
aux=aux(aux2,:);
da=aux;
clear gru aux1 aux2
n=1;
cu=ones(ho,size(da,1))*-2;
dcu=ones(ho,size(da,1))*-2;
aux4=unique(da(:,cl));
for tcl=1:size(aux4,1)
    aux1=da(strcmpi(da(:,cl),aux4{tcl}),:);
    aux2=unique(aux1(:,fe));
    for tf=1:size(aux2,1)
```

```

aux3=aux1(strcmpi(aux1{:,fe},aux2{tf}),:);
for tt=1:ho-1
    if ~isempty(find(aux3(:,ti)==(tt),1))
        cu(tt,n)=aux3{find(aux3(:,ti)==(tt),1),po};
        dcu(tt,n)=aux3{find(aux3(:,ti)==(tt),1),num};
    else
        cu(tt,n)=0;
        dcu(tt,n)=0;
    end
end
if ho==24
    if ~isempty(find(aux3(:,ti)==0,1))
        cu(ho,n)=aux3{find(aux3(:,ti)==0,1),po};
        dcu(ho,n)=aux3{find(aux3(:,ti)==0,1),num};
    else
        cu(ho,n)=0;
        dcu(ho,n)=0;
    end
end
n=n+1;
end
end
aux1=find(cu(1,:)==-2,1,'first');
cu(:,aux1:size(cu,2))=[];           % Curvas
dcu(:,aux1:size(dcu,2))=[];       % Direcciones de Curvas
da=cu;
%% ELIMINAR CURVAS ERRONEAS
cu=abs(cu);
aux=zeros(1,size(cu,2));
k=1;
for i=1:size(cu,2)
    if size(find(cu(:,i)==0),1)==0 && size(find(cu(:,i)>0),1)==24
        aux(k)=i;
        k=k+1;
    end
end
end
aux(:,aux==0)=[];
cu=cu(:,aux);
dcu=dcu(:,aux);
% NORMALIZAR CURVAS DE CARGA
for i=1:size(cu,2)
    cu(:,i)=cu(:,i)/max(cu(:,i));
end
%% LIMPIEZA
clear aux aux1 aux2 aux3 aux4 i k n num tt tf tcl su

%% AGRUPAMIENTO JERÁRQUICO
a=linkage(cu','weighted');
figure;
dendrogram(a,0,'ColorThreshold','default')

dir=cluster(a,'MaxClust',1)';
aux=unique(dir);
centros=ones(24,size(aux,2));
aux1=find(1==dir);
c=linkage(cu(:,aux1),'weighted');
cc=cu(:,aux1);
for j=1:size(c,1)
    aux2=[cc(:,c(j,1)),cc(:,c(j,2))];
    cc(:,size(cc,2)+1)=mean(aux2,2);
end

```

```

end
centros(:,1)=cc(:,size(cc,2));
Graficar_C(centros);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
dir=cluster(a,'MaxClust',5)';
%%% Formación de grupos
aux=unique(dir);
%%%
grupos=ones(24,(size(cu,2)+size(aux,2)))*-1;
n=1;
centros=ones(24,size(aux,2));
for i=1:size(aux,2)
    aux1=find(aux(i)==dir);
    if size(aux1)==1
        centros(:,i)=cu(:,aux1);
        fprintf('Grupo No %d no se grafica dendograma /n',i);
    else
        c=linkage(cu(:,aux1)','weighted');
        figure;
        dendrogram(c,0)
        cc=cu(:,aux1);
        for j=1:size(c,1)
            aux2=[cc(:,c(j,1)),cc(:,c(j,2))];
            cc(:,size(cc,2)+1)=mean(aux2,2);
        end
        centros(:,i)=cc(:,size(cc,2));
    end
    grupos(:,n:(n-1+size(aux1,2)))=cu(:,aux1);
    n=size(aux1,2)+n+1;
end
%%% MIA
MIA=RS_MIA(centros,grupos);
%%% CDI
CDI=RS_CDI(centros,grupos);
%%% CENTROS
Graficar_C(centros);
%%% GRUPOS
Graficar_G(grupos,centros,MIA,CDI);
%% CERRAR GRÁFICAS
close all
clc

```

ANEXO III: CÓDIGO CÁLCULO DE ÍNDICE CDI

```

function CDI=RS_CDI(centros,grupos)
ng=find(centros(1,:)==-1);
DE=zeros(size(grupos,2),1);
loc=0;
aux=find(grupos(1,:)==-1);
for i=1:size(ng,2)
    if i==1
        g=grupos(:,1:aux-1);
    else
        g=grupos(:,(aux(i-1)+1):(aux(i)-1));
    end
    for j=1:size(g,2)
        DE(j,1)=RS_DE(g(:,j),grupos,ng(i));
    end
end

```

```

        loc=((1/(2*size(g,2)))*sum(DE.^2,1))+loc;
    end
    loc=((1/size(ng,2))*loc)^(1/2);
    DE=zeros(size(ng,2),1);
    for i=1:size(ng,2)
        DE(i,1)=RS_DE(centros(:,ng(i)),centros,[]);
    end
    DE=((1/(2*size(ng,2)))*sum(DE.^2,1))^(1/2);
    CDI=loc/DE;
end

```

ANEXO III: CÓDIGO CÁLCULO DE ÍNDICE MIA

```

function MIA=RS_MIA(centros,grupos)
ng=find(centros(1,:)~=-1);
MIA=zeros(size(ng,2),1);
    for i=1:size(ng,2)
        MIA(i,1)=RS_DE(centros(:,ng(i)),grupos,ng(i));
    end
    MIA=((1/(size(ng,2)))*sum(MIA.^2,1))^(1/2);
end

```

ANEXO IV: CÓDIGO CÁLCULO DE DISTANCIA EUCLIDIANA

```

function DE=RS_DE(d,grupos,g)
if isempty(g)
    g=grupos(:,grupos(1,:)~=-1);
else
    aux=find(grupos(1,)==-1);
    if g==1
        g=grupos(:,1:aux-1);
    else
        g=grupos(:,(aux(g-1)+1):(aux(g)-1));
    end
end
DE=zeros(size(d,1),size(g,2));
    for i=1:size(g,2)
        DE(:,i)=(d-g(:,i)).^2;
    end
DE=((1/(size(g,2)))*(sum((((1/(size(d,1))).*sum(DE,1)).^(1/2)).^2)))^(1/2);
end

```

ANEXO V: CÓDIGO GRÁFICA DE FUNCIONES

```

function Graficar_C(centros)
t=size(centros,1)-1;
x=linspace(0,t,size(centros,1));
loc=centros(size(centros,1),:);
centros(2:size(centros,1),:)=centros(1:(size(centros,1)-1),:);
centros(1,:)=loc;
loc=find(centros(1,:)~=-1);
figure;

```

```

l{size(loc,2),1}=[];
hold on
for i=1:size(loc,2)
    plot(x,centros(:,loc(i)), 'LineWidth',2);
    l{i}=strcat('C',num2str(i));
end
title('Curvas de Carga Representativa');
xlabel('Tiempo'); ylabel('p.u. ');
legend(1, 'Location', 'NorthEast');
axis([0 29 0 1.1]);
hold off
end

```

```

function Graficar_G(grupos,centros,MIA,CDI)
MIA=round(MIA,2);
CDI=round(CDI,2);
t=size(centros,1)-1;
x=linspace(0,t,size(centros,1));
loc=centros(size(centros,1),:);
centros(2:size(centros,1),:)=centros(1:(size(centros,1)-1),:);
centros(1,:)=loc;
locu=find(centros(1,:)~= -1);
aux=find(grupos(1,:)== -1);
for j=1:size(locu,2)
figure;
plot(x,centros(:,locu(j)), '-*k', 'LineWidth',4);
hold on
if j==1
    g=grupos(:,1:aux-1);
else
    g=grupos(:,(aux(j-1)+1):(aux(j)-1));
end
loc=g(size(g,1),:);
g(2:size(g,1),:)=g(1:(size(g,1)-1),:);
g(1,:)=loc;
for i=1:size(g,2)
    plot(x',g(:,i)');
end
title(strcat('Grupo No.',num2str(j),' Clientes=',num2str(size(g,2)),...
    ' MIA=',num2str(MIA),' CDI=',num2str(CDI)));
xlabel('Tiempo'); ylabel('p.u. ');
axis([0 23 0 1.1]);
hold off
end
end

```