

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

METODOLOGÍA PARA CALCULAR LA DEMANDA MÁXIMA UNITARIA DE CLIENTES INDUSTRIALES Y COMERCIALES QUE CUENTEN CON SISTEMA DE TELEMEDICIÓN EN BASE A LA OBTENCIÓN DE CURVAS TIPO DE DEMANDA DIARIA MEDIANTE LA TÉCNICA FUZZY C-MEANS

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

SYLVIA PAOLA LAINES MAIGUA


MILENA LIZBETH OVIEDO ROSERO

DIRECTOR: DR. ING. PAÚL FABRICIO VÁSQUEZ MIRANDA

Quito, abril 2021

AVAL

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Sylvia Paola Laines Maigua y Milena Lizbeth Oviedo Rosero, bajo mi supervisión.

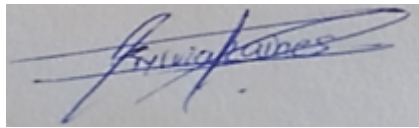


DR. ING. PAÚL VÁSQUEZ
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Sylvia Paola Laines Maigua y Milena Lizbeth Oviedo Rosero, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración dejamos constancia de que la Escuela Politécnica Nacional podrá hacer uso del presente trabajo según los términos estipulados en la Ley, Reglamentos y Normas vigentes.



SYLVIA PAOLA LAINES MAIGUA



MILENA LIZBETH OVIEDO ROSERO

DEDICATORIA

A mis padres Luis y Teresa por ser mi apoyo incondicional y mi más grande motivación para superar toda adversidad.

A mis hermanos Elizabeth y Santiago por ser mis mejores amigos y mi ejemplo para seguir con mis sueños.

A mis sobrinos Dylan y Doménica por ser los pequeñitos que alumbran mi vida.

A mis abuelitos Gregorio y Anita, en especial a mi querida mamá Rosita y a mi adorado papá Gabicho quienes, aunque no estén presentes físicamente siempre vivirán en mi corazón y mis recuerdos.

Sylvia

AGRADECIMIENTO

A Dios por ser la base fundamental de mi vida.

A mis padres por su amor incondicional, por brindarme su ayuda y comprensión en los momentos más difíciles y por regalarme un número inmenso de alegrías.

A mis hermanos por ser mis guías y mi inspiración para lograr mis propósitos.

A mi abuelito Segundo Maigua, quien se fue antes de compartir esta felicidad, sé lo importante que era para ti este logro, te abrazo hasta el cielo.

A mi amiga y compañera de este proyecto Milenita, por las palabras y acciones que nos motivaron a salir adelante.

A mis maestros por la dedicación y el conocimiento transmitido, por ser la inspiración para lograr todo objetivo.

A los Ingenieros, Técnicos y personal de la Empresa Eléctrica de Quito que nos brindaron su ayuda con los datos necesarios para el desarrollo del proyecto, en especial al Ing. Ricardo Dávila por estar pendiente y brindarnos su ayuda ante cualquier inquietud.

Al Dr. Paúl Vásquez por apoyarnos con el desarrollo del proyecto.

A mis amigos Jessy, Shafita y Doris por las alegrías y momentos compartidos.

Sylvia

DEDICATORIA

A Dios por su infinito amor

A mis padres Elibardo y Miriam

A mis abuelitos José, Cecilia y Leonila

A mis tías Doris y Blanca

A mis hermanos Maribel, Santiago y Cristian

Milena Lizbeth

AGRADECIMIENTO

A Dios y a la Virgen de las Lajas por su infinito amor y por derramar tantas bendiciones a lo largo de mi vida. Por siempre cuidarme, darme salud, fuerza y sabiduría para poder culminar esta etapa importante en mi vida.

A mis queridos padres Elibardo y Miriam por el gran sacrificio que han hecho por darnos lo mejor a mis hermanos y a mí. Por su amor incondicional, sus consejos, su esfuerzo permanente, sus palabras de aliento, su apoyo en cada etapa de mi vida y por ser siempre mi soporte y motivación para continuar cada día, sin ustedes esta meta no habría sido posible.

A mis amados abuelitos José, Cecilia y Leonila por el gran amor que me han brindado, por su apoyo incondicional, por los valiosos y sabios consejos que siempre he recibido de ustedes.

A mis tías Doris y Blanca por siempre estar pendiente de mí, por su constante apoyo, sus consejos y por siempre creer en mí.

A mis hermanos Maribel, Santiago y Cristian y mis primos Danna, Odalis, Brighth y Gabriel que, con su amor, sus ocurrencias me dieron los ánimos para no desfallecer en este proceso.

A mi compañera de tesis y amiga Sylvi por su colaboración, esfuerzo y apoyo para la realización de este proyecto, por brindarme su sincera amistad y por siempre mantener una actitud positiva incluso en los peores momentos que hemos pasado.

Al Dr. Paúl Vázquez por haber aceptado ser nuestro director de tesis y guiarnos para la realización de mismo.

A mis amigos Diana, Vanne, Mariu, Jessy, Laurita, Colón y Santi por tantas vivencias y momentos compartidos durante mi carrera universitaria.

A la Empresa Eléctrica Quito por abrirnos las puertas para la realización de este proyecto de titulación, en especial al personal que trabaja en la Gerencia de Planificación y en el Departamento de Control de Calidad del Producto y Pérdidas Técnicas. Gracias por su apoyo.

¡Gracias de corazón a todos!

ÍNDICE DE CONTENIDO

AVAL	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VII
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVOS	1
1.2 ALCANCE	2
1.3 MARCO TEÓRICO.....	4
1.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS CARGAS	4
1.3.2 SISTEMA DE TELEMEDICIÓN DE LA EEQ S.A.....	10
1.3.3 CLASIFICACIÓN DE CLIENTES ESPECIALES.....	15
1.3.4 TÉCNICAS DE MUESTREO	22
1.3.5 MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA	24
1.3.6 TÉCNICAS DE MINERÍA DE DATOS	28
2 METODOLOGÍA.....	35
2.1. CONSIDERACIÓN DE DATOS PARA DETERMINAR LA CURVA DE CARGA DIARIA	39
2.2. TRATAMIENTO DE DATOS	42
2.1.1 PREPROCESAMIENTO DE DATOS.....	42
2.1.2 FILTRADO Y LIMPIEZA DE DATOS.....	47
2.1.3 ESTIMACIÓN DE CURVAS REPRESENTATIVAS	50
2.1.4 CLASIFICACIÓN DE CLIENTES ESPECIALES.....	52
2.1.5 PROCESO DE CLUSTERIZACIÓN CON TÉCNICA AVANZADA....	59
2.2 CÁLCULO DE LA DEMANDA MÁXIMA UNITARIA	62
3 RESULTADOS	63

3.1	CURVAS REPRESENTATIVAS DE DEMANDA POR ESTRATOS PARA CLIENTES COMERCIALES	63
3.1.1	curvas representativas de demanda - ESTRATO 1	63
3.1.2	curvas representativas de demanda - ESTRATO 2.....	64
3.1.3	curvas representativas de demanda - ESTRATO 3.....	65
3.1.4	curvas representativas de demanda - ESTRATO 4.....	66
3.1.5	curvas representativas de demanda - ESTRATO 5.....	67
3.1.6	curvas representativas de demanda - ESTRATO 6.....	68
3.2	CURVAS REPRESENTATIVAS DE DEMANDA POR SECTORES PARA CLIENTES INDUSTRIALES	69
3.2.1	Curvas representativas de demanda - sector agricultura, ganadería, silvicultura y pesca.....	69
3.2.2	Curvas representativas de demanda - sector comercio.....	71
3.2.3	Curvas representativas de demanda - sector SERVICIOS.....	72
3.2.4	Curvas representativas de demanda - sector INDUSTRIAS MANUFACTURERAS - GRUPO MF1.....	73
3.2.5	Curvas representativas de demanda - sector INDUSTRIAS MANUFACTURERAS - GRUPO MF2.....	74
3.2.6	Curvas representativas de demanda - sector INDUSTRIAS MANUFACTURERAS - GRUPO MF3.....	76
3.2.7	Curvas representativas de demanda - sector INDUSTRIAS MANUFACTURERAS - GRUPO MF5.....	77
3.3	CÁLCULO DEL ERROR DE LAS CURVAS.....	78
3.4	CÁLCULO DE LA DEMANDA MÁXIMA UNITARIA EN DISTINTAS EMPRESAS	81
3.4.1	CÁLCULO DEL DMU PARA LA EMPRESA ARGOLDS DEL ECUADOR S.A.	81
3.4.2	CÁLCULO DEL DMU PARA LA EMPRESA EL ROSADO	83
3.4.3	CÁLCULO DEL DMU EN LA EMPRESA PASTEURIZADORA QUITO S.A	85
3.4.4	CÁLCULO DEL DMU EN LA EMPRESA SOCIEDAD DE HECHO AGROPAT	87
3.4.5	CÁLCULO DEL ERROR DE LA DEMANDA MÁXIMA UNITARIA	89
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	91
4.1.	CONCLUSIONES.....	91
4.2.	RECOMENDACIONES	92
5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93

ANEXOS	96
--------------	----

RESUMEN

El presente trabajo de titulación describe una metodología para el cálculo de la demanda máxima unitaria para grandes clientes comerciales e industriales, que se encuentran en el Sistema de Telemedición de la Empresa Eléctrica Quito.

La metodología se basa en tres etapas principales. La primera etapa consiste en clasificar a los clientes comerciales por estratos de consumo de energía y a los clientes industriales por actividad económica. La segunda etapa consiste en determinar las curvas de demanda diaria características de cada cliente especial aplicando los algoritmos DBSCAN y K – Means. Finalmente, en la tercera etapa se aplica la técnica de agrupamiento difuso Fuzzy C-Means para la obtención de curvas tipo de demanda diaria representativas para cada grupo clasificado.

Con los resultados de las curvas tipo de demanda diaria de cada grupo clasificado dentro de las categorías comercial e industrial, se determina la demanda máxima unitaria de algunos clientes, esto puede servir como guía para el diseño de demanda de futuros proyectos eléctricos que realice la Empresa Eléctrica Quito o profesionales afines.

PALABRAS CLAVE: Cliente especial, Sistema de telemedición, DBSCAN, K - Means, Fuzzy C-Means, Demanda máxima unitaria.

ABSTRACT

This degree project describes a methodology for calculating the maximum unit demand for large commercial and industrial customers, which are in the Telemetry System of Empresa Eléctrica Quito.

The methodology is based on three main stages. The first stage consists in the classification for commercial customers by energy consumption strata and industrial customers by economic activity. The second stage consists in the determination of the characteristic daily demand curves for each special customer applying the DBSCAN and K-Means algorithms. Finally, in the third stage, the fuzzy methods used for grouping such as Fuzzy C-Means is applied to obtain the daily representative load curves for each classified group.

With the typical daily load curves for each classified group for the commercial and industrial categories, the maximum unit demand of some customers is determined, this can serve as a guide for the demand design for future electrical projects by the Empresa Eléctrica Quito or electrical related professionals.

KEYWORDS: Special customer, Telemetry system, DBSCAN, K - Means, Fuzzy C-Means, Maximum unit demand.

1 INTRODUCCIÓN

El Distrito Metropolitano de Quito al ser la ciudad más poblada del país tiene concentrada gran cantidad de actividades económicas como comercios e industrias. La Empresa Eléctrica Quito tiene a cargo el diseño de demanda que se empleará para la construcción de estas empresas [1].

Las guías de diseño con las que trabaja la Empresa Eléctrica Quito son antiguas y no tan convincentes en lo que se refiere al diseño de demanda para clientes comerciales e industriales. En algunos estudios realizados anteriormente acerca de la evaluación del diseño de demanda se tiene como resultado que la mayoría de los transformadores en el sector comercial están subutilizados, lo que provoca una inversión inicial elevada del proyecto por el costo del transformador [2].

El presente trabajo de titulación está enfocado en determinar la demanda máxima unitaria de los grandes clientes a partir de las curvas tipo de demanda de cada subclasificación de clientes comerciales e industriales.

Este estudio se inicia recolectando datos de demanda de los grandes clientes del Sistema de Telemedición que maneja la Empresa Eléctrica Quito. A partir de estos datos se usa técnicas de minería de datos que permiten depurarlos y obtener finalmente una curva de demanda diaria de cada cliente.

Dentro de las categorías comercial e industrial se forman grupos de curvas de demanda diaria, los cuales se someten a un proceso de clusterización avanzada y dan como resultado las curvas tipo de demanda representativas de cada grupo.

A partir de las curvas tipo de demanda representativas se calcula la demanda máxima unitaria de algunos clientes y se compara los resultados obtenidos con los valores de los diseños de demanda realizados con la guía de diseño de la Empresa Eléctrica Quito y con los resultados obtenidos de otros métodos de diseño.

1.1 OBJETIVOS

El objetivo general de este Proyecto Técnico es:

- Desarrollar una nueva metodología para el cálculo de la demanda máxima unitaria de los clientes industriales y comerciales que cuentan con el Sistema de

Telemedición de la Empresa Eléctrica Quito S.A., en base a la obtención de curvas tipo de demanda diaria mediante la técnica de agrupamiento difuso Fuzzy C-Means.

Los objetivos específicos del Proyecto Técnico son:

- Obtener curvas de demanda diaria de cada cliente de telemedición a partir de los datos de demanda registrados durante el año 2018, mediante técnicas de agrupamiento como el algoritmo de densidad DBSCAN y el algoritmo de partición k-means.
- Estratificar a los clientes comerciales por consumo de energía mediante técnicas de muestreo.
- Categorizar a los clientes industriales por la actividad económica desarrollada, basados en el código CIIU (Clasificación Nacional de Actividades Económicas).
- Aplicar la técnica de agrupamiento difuso Fuzzy C-Means para la obtención de curvas de demanda diaria representativas de cada grupo sectorizado de clientes industriales y comerciales.
- Aplicar la metodología propuesta para el cálculo de la DMU de varios clientes comerciales e industriales para comparar los resultados con los obtenidos mediante la metodología convencional de la EEQ y las mediciones reales de demanda del Departamento de Control de Calidad de Producto.

1.2 ALCANCE

Para el desarrollo del trabajo de titulación se revisarán las normas contenidas en la parte A de la guía de diseño de redes para distribución, específicamente las secciones A-10 y A-11. Dichas secciones establecen el proceso de ejecución del diseño de una red de distribución tipo, así como los criterios básicos y valores de referencia que la Empresa Eléctrica de Quito ha establecido a manera de constituir una guía para el proyectista en la ejecución de nuevos proyectos urbanísticos localizados en el área de servicio de la Empresa. La revisión se enfocará en los fragmentos A-11.03 y A-11.04, principalmente el punto b de cada fragmento, en los cuales se establece el procedimiento para la determinación de la demanda máxima unitaria y la demanda de diseño de los clientes industriales y comerciales [3].

La metodología propuesta para modificar el diseño de la demanda de los clientes especiales se basará en la obtención de curvas características de demanda diaria de los grandes clientes con influencia industrial y comercial, específicamente aquellos que están

sujetos al Sistema de Medición Comercial (SMC) que maneja la Empresa Eléctrica Quito. Por tanto, en acuerdo con la EEQ, el estudio se enfocará en los clientes con procesamiento de datos bajo el sistema de telemedición, de los cuales se extraerán los datos de demanda que registraron a través de los medidores electrónicos del sistema durante el año 2018.

Se investigarán diversas técnicas para el tratamiento de datos, que permitan manipular los datos de demanda de la base de datos inicial de cada empresa de manera confiable. Se requerirá que dichos métodos exploren los datos, eliminen el ruido y permitan la obtención de resultados confiables. Dado que en el análisis de datos las técnicas de agrupamiento o clustering son de gran importancia, se investigará acerca de los algoritmos de agrupamiento específicamente los métodos basados en densidad y los métodos de partición como DBSCAN y K-means. De esta manera se podrá contar con curvas de demanda diaria representativas de cada cliente, que manejen información de forma acertada o al menos lo más cercana a la realidad [4].

Mediante la base de datos que maneja el ArcGIS de los clientes que se ajustan al Sistema de Medición Comercial (SMC), se clasificará a los clientes de telemedición en industriales y comerciales. Dada la primera clasificación se investigará acerca de las técnicas de estratificación y muestreo, que permitan agrupar a los clientes comerciales en subgrupos que faciliten el siguiente proceso. De la misma manera se estudiará el código CIIU (Clasificación Nacional de Actividades Económicas) de tal manera que se categorice al grupo de usuarios industriales por la actividad mercantil que realicen.

Para la obtención de las curvas tipo de demanda diaria representativas de cada grupo clasificado, se investigará acerca de la lógica difusa y las técnicas de agrupamiento difuso específicamente el algoritmo Fuzzy C-Means [5]. Una vez obtenidas las curvas se buscará la manera adecuada de presentar los resultados obtenidos a través de una tabla, en la cual se especificará la estratificación de los clientes comerciales y la sectorización de los clientes industriales, con los respectivos valores de demanda máxima unitaria; facilitando de esta manera la obtención de la demanda de diseño y la capacidad de los transformadores de futuros proyectos de la Empresa Eléctrica Quito.

Con el fin de validar la metodología propuesta, se escogerán empresas del sector comercial e industrial, donde se aplicará la metodología propuesta para el cálculo de la DMU. Se comparará los resultados obtenidos por la metodología desarrollada con los resultados de la metodología convencional que sugiere la EEQ y las mediciones de demanda real del Departamento de Control de Calidad de Producto.

1.3 MARCO TEÓRICO

1.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS CARGAS

Las cargas influyen directamente en el sistema de distribución, son las partes terminales del sistema. Las características de las cargas expresan el comportamiento de los usuarios frente al sistema de distribución y, por lo tanto, imponen las condiciones del funcionamiento de dichas redes. A continuación, se describen algunos conceptos importantes para este proyecto:

1.3.1.1 Carga Instalada

Es el resultado de la suma de potencias nominales de los equipos instalados en el sistema que consumen energía eléctrica, no representa necesariamente la potencia demandada. Se expresa generalmente en kVA, MVA, kW o MW. Se designa por C_I [6].

$$C_I = \sum P_i \quad (1.1)$$

Donde:

C_I : Carga instalada.

P_i : Potencia nominal de cada carga i .

1.3.1.2 Demanda

La demanda eléctrica de un sistema se establece como la intensidad de corriente o potencia promedio que requiere una carga en un intervalo de tiempo, conocido como intervalo de demanda. Puede expresarse en unidades de potencia o corriente. Se designa por $D(t)$ y se calcula mediante la Ecuación 1.2.

$$D(t) = \frac{\int_0^{\Delta t} p(t) dt}{\Delta t} \quad (1.2)$$

Donde:

$D(t)$: Demanda eléctrica.

$p(t)$: Potencia instantánea.

Δt : Intervalo de demanda.

La demanda es el promedio de la potencia instantánea $p(t)$, durante el intervalo de demanda. El intervalo de demanda puede variar entre los valores de 5, 15, 30 y 60 minutos. Los lapsos de 15 o 30 minutos se aplican generalmente en facturación, estudios de balanceo y transferencia de carga o selección de la capacidad de equipos. El lapso de 60

minutos permite construir perfiles de carga diarios para el análisis del consumo de energía [7].

1.3.1.3 Demanda Máxima

Es la mayor demanda existente durante un período de tiempo especificado (diario, semanal, mensual, anual). Es en esta demanda en donde se presenta la mayor caída de tensión, ocasionando las mayores pérdidas de energía y potencia del sistema. Es la demanda de mayor interés porque representa la condición más severa de carga para un sistema de distribución. Para establecer la demanda máxima es necesario precisar el intervalo de demanda para medirla. Se designa por D_M [8].

1.3.1.4 Demanda Máxima Unitaria –DMU-

Es el valor máximo de la potencia que se transfiere de la red eléctrica de distribución de baja tensión a la instalación del usuario tipo durante el periodo de máximo requerimiento [9]. Se designa por DMU.

1.3.1.5 Factor de carga

Es la relación existente entre la demanda media o promedio y la demanda máxima durante un cierto período de tiempo. Generalmente se calcula dividiendo la energía total acumulada en el período de tiempo considerado para la demanda máxima, como lo indica la Ecuación 1.3.

$$F_c = \frac{D_m}{D_M} \quad (1.3)$$

Donde:

F_c : Factor de carga.

D_m : Demanda media.

El valor del factor de carga es menor o igual que 1. La demanda media decrece a medida que se incrementa el intervalo de tiempo considerado, por lo tanto, el factor de carga también decrece, teniendo lo siguiente:

$$F_{c \text{ anual}} < F_{c \text{ mensual}} < F_{c \text{ semanal}} < F_{c \text{ diario}}$$

1.3.1.6 Factor de demanda

Es la relación entre la demanda máxima y la carga instalada como lo indica la Ecuación 1.4.

$$F_d = \frac{D_M}{C_I} \quad (1.4)$$

Donde:

F_d : Factor de demanda.

D_M : Demanda máxima.

C_I : Carga instalada.

Por lo general este valor es menor que 1.

1.3.1.7 Factor de diversidad

Representa la diversidad de demandas máximas de un grupo, es la relación entre la suma de las demandas máximas individuales de las partes del sistema y la demanda máxima del sistema (llamada también demanda máxima coincidente). La determinación de este factor se indica mediante la Ecuación 1.5, cabe recalcar que el factor de diversidad se basa en la característica de la carga y el ciclo de operación, será siempre mayor a la unidad [6].

$$F_{div} = \frac{\sum D_{M i}}{D_{M sist}} \quad (1.5)$$

Donde:

F_{div} : Factor de diversidad.

$D_{M i}$: Demanda máxima de cada individuo i .

$D_{M sist}$: Demanda máxima coincidente.

La demanda coincidente es también llamada demanda diversificada y se define como la demanda de un grupo compuesto. La carga diversificada máxima representa un dato de alta importancia y corresponde a la suma de las contribuciones de las demandas individuales (no coincidentes) en el momento exacto de la hora pico establecida por la curva de carga del grupo [8].

Este factor se puede aplicar a distintos niveles del sistema como alimentadores, transformadores, subestaciones, etc. [6].

1.3.1.8 Factor de coincidencia

El factor de coincidencia se define como el recíproco del factor de diversidad. La Ecuación 1.6 establece el factor como la relación entre la demanda máxima coincidente y la suma de las demandas máximas de consumidores individuales. Los dos valores deben ser medidos en el mismo punto de alimentación y para un mismo tiempo.

$$F_{co} = \frac{1}{F_{div}} = \frac{D_{M\ sist}}{\sum D_{M\ i}} \quad (1.6)$$

Donde:

F_{co} : Factor de coincidencia

La determinación del factor de coincidencia debe ser lo más precisa que sea posible, dado que es importante para dimensionar y seleccionar el equipo de la red de distribución [6].

1.3.1.9 Factor de utilización

Representa la razón entre la demanda máxima y la capacidad nominal del sistema en un intervalo de tiempo dado. La determinación de este factor se indica mediante la Ecuación 1.7.

$$F_u = \frac{D_M}{P_I} \quad (1.7)$$

Donde:

F_u : Factor de utilización.

P_I : Capacidad instalada.

El factor de utilización se puede aplicar a transformadores, alimentadores, subestaciones de distribución, etc. Indica la utilización máxima del equipo o instalación, mientras que el factor de demanda nos indica el porcentaje de carga que se está alimentando [8].

1.3.1.10 Curva de carga o de demanda

La curva de demanda representa gráficamente la variación de la potencia eléctrica en un tiempo determinado; pudiendo ser diaria, semanal, mensual, anual. La Figura 1.1 muestra una curva de carga para un día. La carga no es constante en el período analizado.

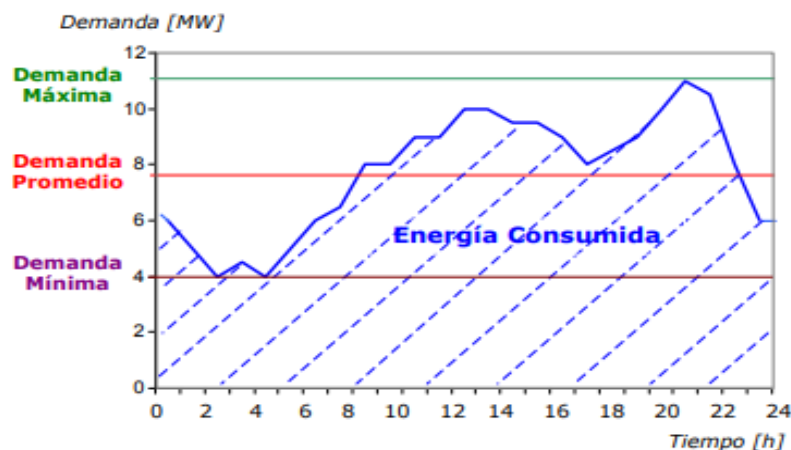


Figura 1.1. Curva de carga diaria [10]

En las abscisas (eje x) se representa el tiempo y en las ordenadas (eje y) la potencia eléctrica demandada. El área debajo de la curva formada representa la energía demandada [10].

La forma de la curva difiere dependiendo del tipo de carga que la red suministre. Ciertos aspectos que influyen en la forma de la curva son el tipo de tarifa, la sensibilidad, el tipo de usuario, etc. Describiremos a continuación las curvas por el tipo de usuario, es decir, las curvas para usuarios de tipo residencial, comercial e industrial.

1.3.1.10.1 Usuarios residenciales

La curva característica para los usuarios que pertenecen a esta categoría se representa generalmente mediante la Figura 1.2, que representa una curva de fácil análisis dado que la tendencia de la demanda de consumidor a consumidor es similar. De esta manera se tiene que las demandas máximas en el transcurso del día se establecen en horas de la mañana y en horas de la noche cuando las personas se encuentran en casa [11]. Las cargas residenciales se caracterizan por ser de baja tensión, pequeña potencia y en la gran mayoría de casos, monofásicas [6].

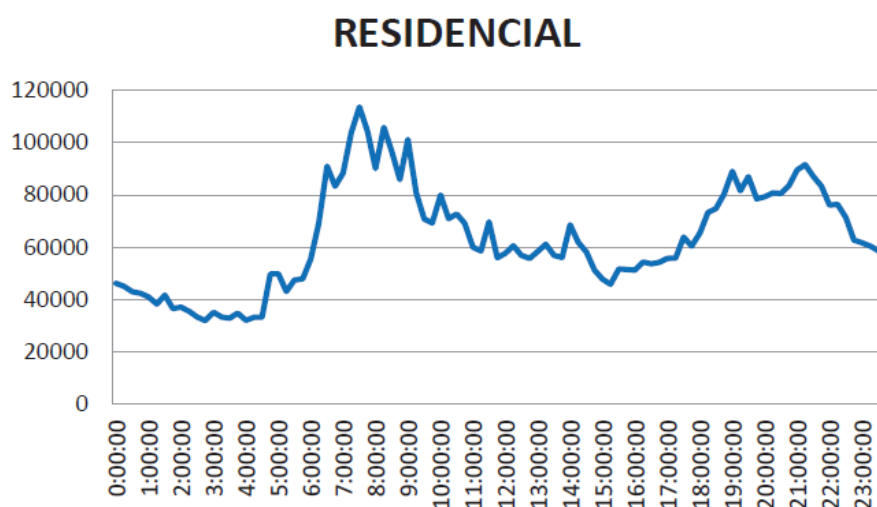


Figura 1.2. Curva de carga de usuarios residenciales [11]

1.3.1.10.2 Usuarios comerciales

Los usuarios de este tipo de carga demandan energía durante toda una jornada de trabajo, presentando un menor consumo de energía en la hora del almuerzo, mientras que en la noche y madrugada se observa una demanda mínima [11]. Las cargas comerciales generalmente son trifásicas, con potencias medianas [6]. La Figura 1.3 muestra el comportamiento representativo de este tipo de usuarios.

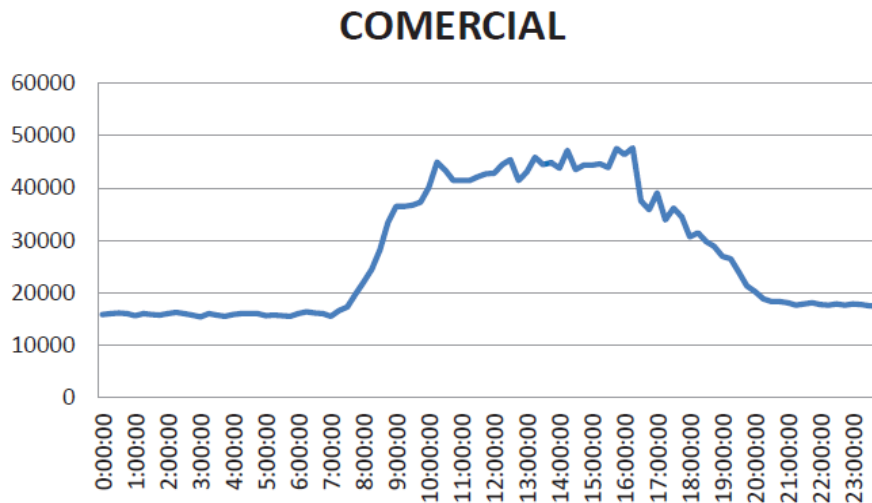


Figura 1.3. Curva de carga de usuarios comerciales [11]

1.3.1.10.3 Usuarios industriales

La curva de este tipo de usuarios generalmente depende del número de jornadas de trabajo que estén involucradas, dado que las grandes industrias no pueden cesar sus actividades a ninguna hora, por lo que representan un consumo de energía uniforme a lo largo del día en algunos casos. Sin embargo, existen industrias livianas que mantienen una sola jornada de trabajo [11]. Las cargas industriales pueden ser de baja, media y alta tensión. Este tipo de cargas se representan mediante la Figura 1.4.

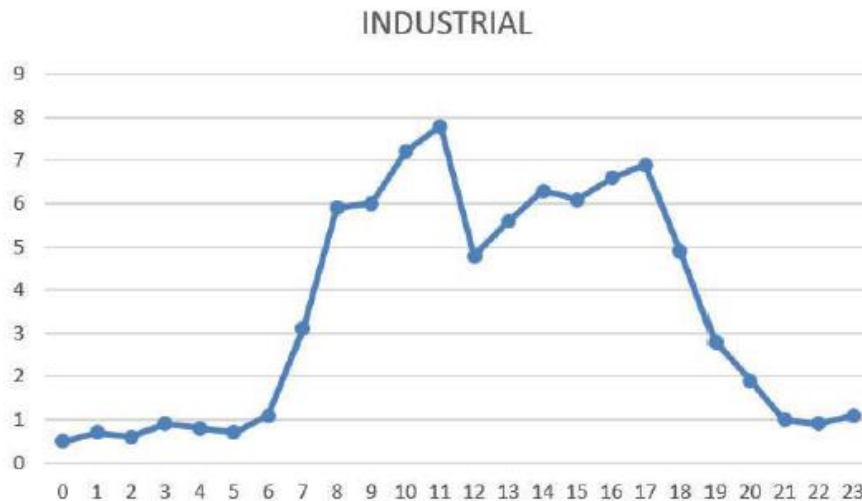


Figura 1.4. Curva de carga de usuarios industriales livianos [11]

Para este proyecto el objetivo radica en analizar exclusivamente el comportamiento de carga de los clientes industriales y comerciales específicamente.

1.3.2 SISTEMA DE TELEMEDICIÓN DE LA EEQ S.A.

En la actualidad los sistemas de telemedición tienen gran importancia, dada la necesidad de obtener datos de los medidores eléctricos en tiempo real, con el fin de utilizar la información para una serie de análisis, estudios y aplicaciones. Es por esta razón que los sistemas de telemedición se han implementado a nivel mundial para facilitar el trabajo en las empresas distribuidoras de energía eléctrica.

El uso de este nuevo sistema representa para las empresas mayor productividad, mejora del servicio, reducción de pérdidas de información y ahorro de gastos. En Ecuador, ha contribuido de manera significativa a las empresas de distribución en los procesos de facturación, comercialización, captación, corte y reconexión de la energía eléctrica.

Es así, como la Empresa Eléctrica Quito S.A. cuenta un sistema de telemedición como uno de sus objetivos estratégicos, para incrementar la innovación tecnológica con el fin de alcanzar la satisfacción de los clientes a través de un servicio de calidad, eficiente, con eficacia operativa y energética. Es por esto, que desde el año 2007 mantiene contratos para la prestación de servicios de telemedición en clientes con facturación especial, facilitando la medición remota de consumos y la obtención de información de los medidores en tiempo real. Este sistema incluye a los clientes especiales de la EEQ, es decir los clientes con facturaciones más importantes de la empresa [12].

Algunos de los beneficios de su uso son:

- Facturación de clientes con consumos altos de energía eléctrica con datos en línea de perfiles de carga y lecturas.
- Apoyar la reducción de pérdidas comerciales de energía, gracias a las alarmas que genera el sistema como error en diagramas fasoriales, factor de multiplicación, factor de potencia, entre otros [12].
- Satisfacción del cliente lo cual les permite realizar un control de los consumos diarios para optimizar el uso eficiente de energía eléctrica y mejora de la imagen corporativa de la empresa.
- Disponer de Información para análisis en línea de los parámetros registrados por los medidores de energía eléctrica tales como son: consumos de energía, demanda, perfiles de carga, voltajes, corrientes, etc.

1.3.2.1 Clientes Especiales

El crecimiento constante de la población del área de concesión de la Empresa Eléctrica Quito ha tenido un gran avance en cuanto se refiere a la construcción de centros comerciales, departamentos, procesos de producción de las industrias, etc. Esto contribuye a una variación de la demanda eléctrica, la cual debe ser analizada para determinar la capacidad que se debe instalar en los clientes finales y lograr una inversión correcta en la infraestructura eléctrica previa a la construcción de los proyectos que se presenten.

Los clientes especiales es decir los clientes industriales y comerciales o también denominados grandes consumidores son aquellos que utilizan la energía eléctrica exclusivamente para consumo propio en sus instalaciones y tienen tratamiento especial para la facturación de energía eléctrica. Además, deben cumplir con las siguientes consideraciones:

- La capacidad instalada en sistemas monofásicos o trifásicos es mayor o igual a 50 [kVA].
- Los consumos de energía tienen valores superiores a los 4000 [kWh] [13].

El cliente especial tiene atención personalizada con ejecutivos de cuenta y revisores especiales para atender sus solicitudes, consultas en temas técnicos y administrativos, asesoramiento en el uso de energía, instalación de nuevos servicios, medición de consumos de energía y potencia, facturación, convenios de pago, si es necesario, para otorgar un servicio rápido y oportuno a sus requerimientos [13].

1.3.2.2 Categorías Tarifarias

Los grandes clientes tienen un trato especial en lo que se refiere a la facturación de demanda eléctrica, por lo que se ven obligados a usar el pliego tarifario. Este documento es emitido por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARC), anteriormente conocida como ARCONEL; contiene la estructura, nivel y régimen tarifario para el servicio público de energía eléctrica [14].

Determinar la categoría tarifaria de los consumidores es responsabilidad de la Empresa Distribuidora, la misma que debe evaluar las características de la carga y el uso de la energía declarada por cada consumidor regulado. Sobre esta base la Empresa Distribuidora (ED) debe regirse al pliego tarifario para clasificar a cada uno de sus usuarios [14]. Para lograr la correcta clasificación se deben conocer las definiciones expuestas a continuación:

1.3.2.2.1 Niveles de Voltaje

Bajo Voltaje: Son todos aquellos voltajes de suministro en el punto de entrega que sean menores a 600 V [14].

Medio Voltaje: Son aquellos voltajes de suministro en el punto de entrega que se encuentren en un rango de 600 V y 40 kV [14].

Alto Voltaje: Este nivel de voltaje se subdivide en dos grupos los cuales se presenta a continuación:

- Grupo 1: Son todos aquellos voltajes de suministro en el punto de entrega que se encuentren en el rango de 40 kV y 138 kV [14].
- Grupo 2: Son todos los voltajes de suministro en el punto de entrega que sean superiores a 138 kV [14].

Tabla 1.1. Niveles de Voltaje [14]

Nivel de Voltaje		Voltaje de Suministro en el punto de entrega
Bajo		$NV < 0,6kV$
Medio		$0,6kV \leq NV \leq 40kV$
Alto	AV1	$40kV < NV \leq 138kV$
	AV2	$NV > 138kV$

Los usuarios pueden tener demanda horaria diferenciada o simplemente no tener un cargo por demanda, en este caso se da una nueva clasificación dentro de los niveles de voltaje como se muestra en la Figura 1.5.

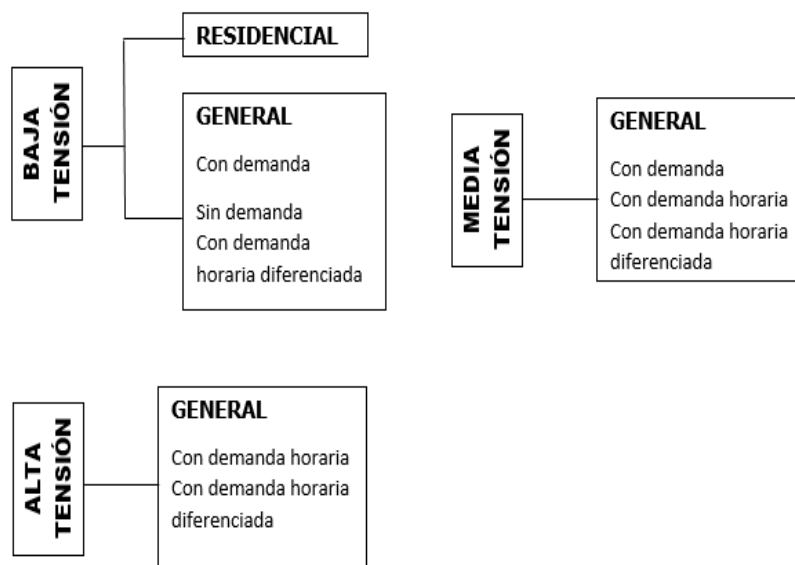


Figura 1.5. Clasificación de los usuarios según su demanda y su nivel de voltaje

En la Categoría General se establece que el servicio público de energía eléctrica es destinado por los consumidores en actividades tales como el comercio, la industria y la prestación de servicios públicos y privados.

Dentro de esta categoría se encuentran los siguientes:

- Locales y establecimientos comerciales públicos o privados.
- Locales y establecimientos industriales públicos o privados, destinados a la elaboración o transformación de productos por medio de cualquier proceso industrial y sus oficinas administrativas.
- Instalaciones de Bombeo de Agua (incluye oficinas administrativas y guardianía).
- Entidades de Asistencia Social.
- Entidades de Beneficio Público.
- Entidades Oficiales (del sector público).
- Escenarios Deportivos.
- Culto Religioso.
- Servicio Comunitario (Servicio General).
- Abonado Especial.

1.3.2.3 Sistema de Medición Comercial

La Empresa Eléctrica Quito S.A. cuenta con un sistema de medición comercial a través del cual se almacenan periódica y automáticamente las mediciones de diferentes variables eléctricas de los clientes especiales con sistema de telemedición. Entre los parámetros que maneja el sistema se encuentran: voltaje y corriente por fase, energía activa total acumulada, energía activa por bandas horarias, energía reactiva total acumulada, energía reactiva por bandas horarias, demanda máxima activa para cada una de las bandas horarias, demanda máxima reactiva para cada una de las bandas horarias, fecha y hora en la que se registra la demanda máxima activa y reactiva en cada una de las bandas horarias, factor de multiplicación configurado en el medidor, reloj del medidor, potencia activa y aparente, ángulo de fase entre voltajes y corrientes [15].

La Figura 1.6 muestra la interfaz del Sistema de Medición Comercial de la EEQ S.A. para visualizar los detalles del medidor de la empresa VITRUM S.A.



Figura 1.6. Interfaz del Sistema de Medición Comercial para visualizar los detalles del medidor de la empresa VITRUM S.A.

Las mediciones se realizan a través de medidores electrónicos que cuentan con su respectivo software y hardware para el procesamiento de datos de telemetría. Entre las diversas herramientas que posee el sistema, se tiene un recurso importante para la caracterización de la carga. La herramienta que permite acceder al perfil de carga de cada cliente especial muestra gráficamente su comportamiento de carga mensual, con registros de demanda activa y reactiva actuales y de años anteriores, con opción de descarga de datos en formato Excel. Se tienen registros de mediciones de potencia activa y reactiva cada 15 minutos. La Figura 1.7 muestra el perfil de carga mensual de la empresa VITRUM S.A.

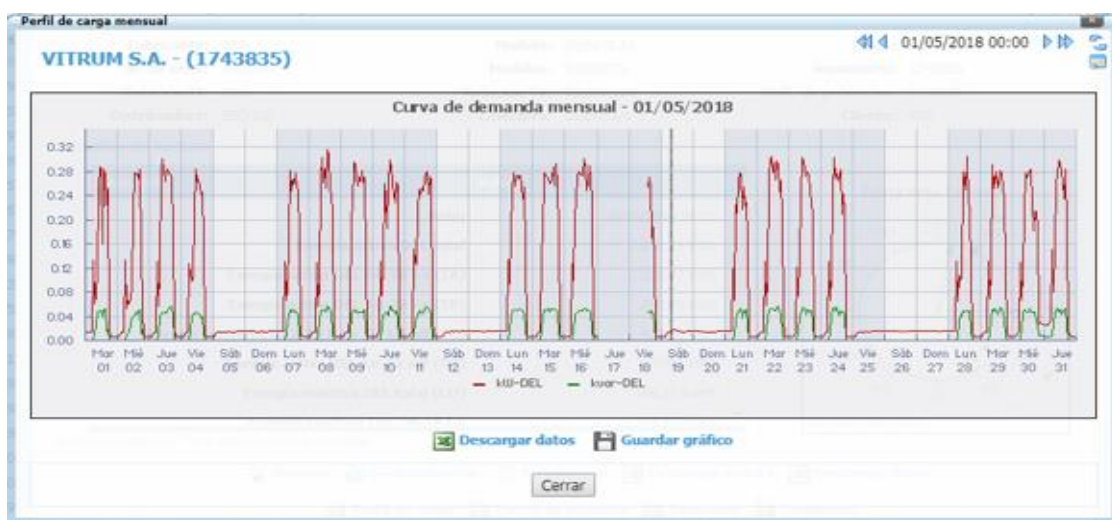


Figura 1.7. Perfil de carga mensual de la empresa VITRUM S.A.

1.3.3 CLASIFICACIÓN DE CLIENTES ESPECIALES

Los clientes especiales del sistema de telemedición de la Empresa Eléctrica Quito presentan aspectos muy variables entre sí, en lo que se refiere por ejemplo a consumos de energía, actividad económica a la que se dedican, la demanda máxima y su hora de ocurrencia, entre otros. Esto provoca que el análisis que se realice a dichos clientes conlleve a resultados desacertados si se los trata como un solo grupo, puesto que es claro que cada cliente presenta una curva de carga diaria distinta, sobre todo para los clientes industriales. Por tanto, es necesario encontrar la manera de subdividir a los macro grupos de clientes industriales y comerciales, a fin de guiar el estudio de manera más específica y acertada a grupos más pequeños y homogéneos que describan un comportamiento típico de carga más acorde a la realidad. A continuación, se detalla los criterios y definiciones más relevantes tomados en cuenta para la clasificación de los clientes especiales.

1.3.3.1 Clasificación de clientes comerciales

Los clientes comerciales se clasifican bajo un criterio que prioriza los estratos de consumo de energía con la finalidad de saber el destino que tiene la energía en función de las actividades comerciales que realizan. Estudios elaborados por empresas eléctricas en los Estados Unidos y reportados en publicaciones técnicas indican que el método comúnmente utilizado en investigación de carga es el muestreo estratificado, que se detalla en el punto 1.3.4.2.2, y para definir los límites de los estratos, se aplicará la Regla de T. Dalenius y J. L. Hodges.

1.3.3.1.1 Método de Dalenius-Hodges

El método de Dalenius-Hodges permite establecer estratos en los cuales la varianza es mínima al interior de cada estrato y máxima entre cada estrato, es decir, este método permite formar grupos lo más homogéneos posibles [16].

El método de Dalenius Hodges determina los límites de las particiones de los estratos que minimizan los coeficientes de variación, dado un tamaño de la muestra y un número de estratos fijos. La distribución de la muestra es continua y la densidad de la probabilidad de la variable de interés es constante dentro de los estratos [17]. El procedimiento de este método se detalla en la Figura 1.8.

Este procedimiento se aplica a 5 estratos como mínimo y como máximo 10 estratos, como se cita en la referencia [18]. De cada uno de los estratos se calculará el coeficiente de variación que permitirá decidir qué número de estratos es el adecuado utilizar.

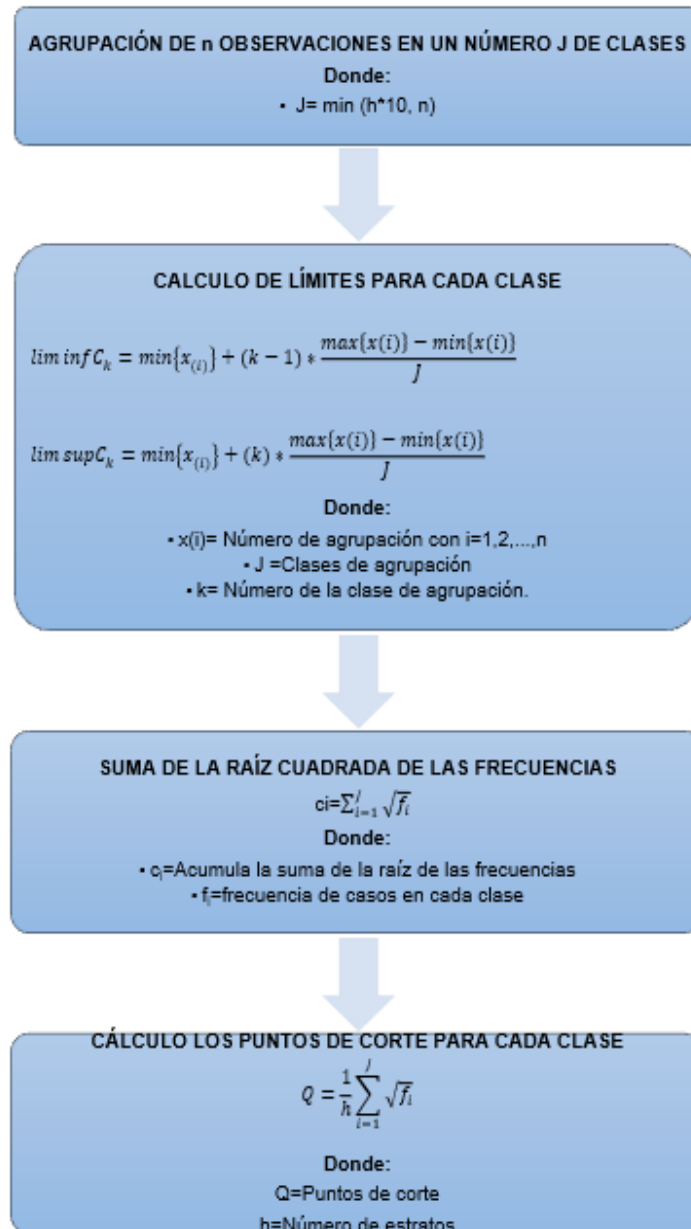


Figura 1.8. Método Dalenius – Hodges [16]

1.3.3.2 Clasificación de clientes industriales

Los clientes industriales se clasifican bajo un criterio que busca categorizar a las empresas de acuerdo con el sector económico al que pertenecen y a la actividad económica principal que desarrollan. La clasificación se basa en el documento emitido por la Unidad de Análisis de Síntesis del Instituto Nacional de Estadística y Censos INEC, donde se presenta la Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CIU Revisión 4.0), la cual está adaptada a la realidad económica del país considerando las normas de organismos internacionales [19].

1.3.3.2.1 Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CIIU REV. 4.0)

En el año 2012, el INEC pone a consideración de las autoridades estatales, organismos miembros del Sistema Estadístico Nacional SEN, intelectuales, estudiantes y público en general, la “Clasificación Nacional de Actividades Económicas CIIU Revisión 4.0”, que tiene su respaldo y sustento técnico en la “Clasificación Industrial Internacional Uniforme de Actividades Económicas CIIU Revisión 4.0”, desarrollada por las Naciones Unidas en el año 2009 y que permite clasificar las actividades económicas de las empresas y establecimientos [19].

La CIIU sirve para clasificar uniformemente las actividades económicas de producción dentro de un sector de la economía según la actividad económica principal que desarrolle. De esta manera se busca normar el desenvolvimiento estadístico nacional con la utilización de clasificaciones adaptadas a la realidad económica del país mediante la aplicación de una metodología que busca elaborar un clasificador nacional a través de diversas secciones, divisiones, grupos y clases [19].

La CIIU presenta una estructura jerárquica piramidal, se integra por seis niveles de categorías mutuamente excluyentes y exhaustivas. La CIIU expone una nomenclatura clara y coherente para distinguir cada sector económico principal con sus categorías. La Figura 1.9 muestra la manera en que se estructura la CIIU.



Figura 1.9. Estructura piramidal de la CIIU [19]

Las categorías del nivel superior de la pirámide corresponden a la clasificación de las actividades económicas en su forma más generalizada. Estas categorías se denominan secciones y se identifican a través de un código alfabético que va desde la Sección A, hasta la Sección U.

A continuación, se encuentran las categorías que a medida que ocupan los lugares más inferiores de la estructura jerárquica de la CIIU, más desagregadas se encuentran. Se las identifica por un código numérico: dos dígitos para las Divisiones, tres dígitos para los Grupos, cuatro dígitos para las Clases, cinco dígitos para las Subclases y seis dígitos para la actividad económica al nivel más desagregado [19].

Para tener más clara la manera en que la CIIU emplea la nomenclatura para las distintas secciones, divisiones, grupos, subgrupos y demás categorías, escogeremos una sección pequeña con un número de actividades menor, como lo es la sección D, para detallar cada una de sus categorías con su nomenclatura correspondiente. La Figura 1.10 muestra la nomenclatura que establece la CIIU para la Sección D, sección cuya actividad principal está asociada al “Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado”. Se presenta las diferentes categorías, logrando distinguir las divisiones, grupos, clases, subclases y las actividades económicas desagregadas a su máximo nivel.

Sección	D	Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado.
División	D35	Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado.
	D351	Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.
	D3510	Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.
	D3510.0	Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.
	D3510.01	Actividades de operación de instalaciones de generación de energía eléctrica, por diversos medios: térmica (turbina de gas o diésel), nuclear, hidroeléctrica, solar, mareal y de otros tipos incluso de energía renovable.
	D3510.02	Operación de sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica (que constan de postes, medidores y cableado), que transportan la energía eléctrica recibida desde las instalaciones de generación o transmisión hacia el consumidor final.
	D3510.03	Actividades de agentes de energía eléctrica que organiza la venta de electricidad vía sistemas de distribución de energía operados por otros. Gestión de intercambiadores eléctricos.
	D352	Fabricación de gas; distribución de combustibles gaseosos por tuberías.
	D3520	Fabricación de gas; distribución de combustibles gaseosos por tuberías.
	D3520.0	Fabricación de gas; distribución de combustibles gaseosos por tuberías.
	D3520.01	Producción de gas para su suministro mediante la destilación del carbón a partir de subproductos de la agricultura o a partir de desechos.
	D3520.02	Fabricación de combustibles gaseosos con un valor calorífico específico, mediante la purificación, la mezcla y otros procesos de gases de diversos tipos, incluido el gas natural.
	D3520.03	Actividades de transporte, distribución y suministro de combustibles gaseosos de cualquier tipo por medio de un sistema de tuberías, venta de gas a los usuarios por medio de tuberías, actividades de los agentes o corredores que venden gas a través de sistemas de distribución operados por otros y Actividades de bolsas de productos básicos y mercados de capacidad de transporte para combustibles gaseosos.
	D353	Suministro de vapor y de aire acondicionado.
	D3530	Suministro de vapor y de aire acondicionado.
	D3530.0	Suministro de vapor y de aire acondicionado.
	D3530.01	Producción, captación y distribución de vapor y agua caliente para calefacción, para la producción de energía y para otros fines.
	D3530.02	Producción y distribución de aire refrigerado.
	D3530.03	Producción y distribución de agua fría con fines de refrigeración. Incluye la producción de hielo, incluido hielo para la elaboración de productos alimenticios y para otros fines (p. ej., para refrigeración).

Figura 1.10. Nomenclatura de la Sección D según la CIIU [19]

Resumiendo, se tiene que la Sección D cuenta con 1 división, 3 grupos, 3 clases, 3 subclases y 9 actividades totales que describen y abarcan toda la sección.

La Tabla 1.2 muestra el número de agrupaciones que presenta cada nivel de la estructura jerárquica de la CIIU en cada una de las secciones (A-U). Con fines didácticos que buscan mostrar diversas tablas en capítulos posteriores, se ha designado como C2 al nivel de división, C3 al nivel de grupo, C4 al nivel de clase, C5 al nivel de subclase y C6 al nivel de actividad.

Tabla 1.2. Número de divisiones, grupos, clases, subclases y actividades de las secciones (A-U) de la CIIU

Sección	C2	C3	C4	C5	C6
	# DIVS	# GRS	# CLS	# SUBCL	# ACT
SECCIÓN A: Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca.	3	13	38	56	157
SECCIÓN B: Explotación de minas y canteras.	5	10	14	17	53
SECCIÓN C: Industrias manufactureras.	24	68	140	216	1012
SECCIÓN D: Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado	1	3	3	3	9
SECCIÓN E: Distribución de agua, alcantarillado, gestión de desechos y actividades de saneamiento.	4	6	8	3	14
SECCIÓN F: Construcción.	3	8	14	23	51
SECCIÓN G: Comercio al por mayor y menor, reparación de vehículos automotores y motocicletas.	3	20	43	76	202
SECCIÓN H: Transporte y almacenamiento.	5	11	20	21	58
SECCIÓN I: Actividades de alojamiento y servicios de comidas.	2	6	7	9	19
SECCIÓN J: Información y comunicación.	6	13	23	24	61
SECCIÓN K: Actividades financieras y de seguros.	3	10	18	18	26
SECCIÓN L: Actividades Inmobiliarias.	1	2	2	2	10
SECCIÓN M: Actividades profesionales, científicas y técnicas.	7	14	14	27	101
SECCIÓN N: Actividades de servicios administrativos y de apoyo.	6	19	26	36	105
SECCIÓN O: Administración pública y defensa, planes de seguridad social de afiliación obligatoria.	1	3	7	9	47
SECCIÓN P: Enseñanza.	1	5	8	10	43

SECCIÓN Q: Actividades de atención de la salud humana y de asistencia social.	3	9	9	12	41
SECCIÓN R: Artes, entretenimiento y recreación.	4	5	10	10	39
SECCIÓN S: Otras actividades de servicios.	3	6	17	17	53
SECCIÓN T: Actividades de los hogares como empleadores; actividades no diferenciadas de los hogares como productores de bienes y servicios para uso propio.	2	3	3	3	3
SECCIÓN U: Actividades de organizaciones y órganos extraterritoriales.	1	1	1	1	2

La CIIU cuenta con 21 secciones, 91 divisiones, 235 grupos, 425 clases, 593 subclases y 2106 actividades económicas desagregadas a su máximo nivel [19].

1.3.3.2.2 Segregación de las actividades económicas en grandes sectores económicos

Corresponde al agrupamiento de las actividades económicas por medio de la categoría secciones, para establecer los grandes sectores económicos. La agregación se realiza de acuerdo con la Tabla 1.3, que tiene como base la presentación de datos del Censo Nacional Económico, añadiéndose el área de la Construcción debido a la importancia del sector, lo que permite simplificar la estructura sectorial de una economía [20].

Tabla 1.3. Agrupación de actividades económicas en función de los grandes sectores económicos

Grande sector económico	Secciones
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	A
Explotación de minas y canteras	B
Industrias manufactureras.	C
Comercio	G
Construcción	F
Servicios	D, E, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U

1.3.3.2.3 Segregación de las actividades de la Industria Manufacturera

La Industria Manufacturera representa uno de los sectores más importantes para un país, cuenta con el mayor número de categorías de la CIIU. Producto de la diversidad de las actividades económicas que representa, es un sector muy importante en la economía. La participación de este sector en el PIB del Ecuador en el año 2017 representó el 11% del empleo total del país, tal como lo muestra la Figura 1.11 [21].

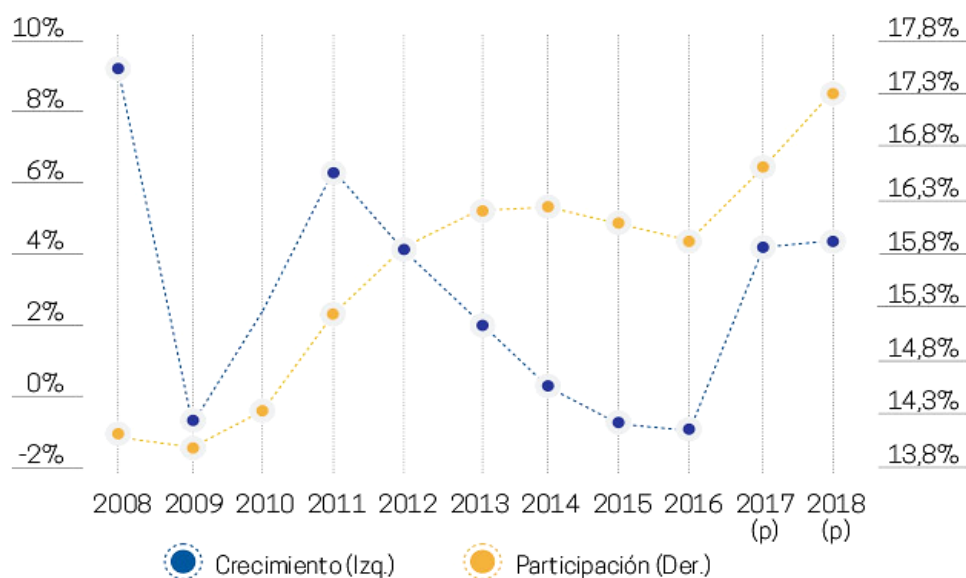


Figura 1.11. Evolución y participación en el PIB de la industria manufacturera [21]

Entre las actividades que tienen mayor producción y mayor peso, se encuentran las actividades de fabricación de alimentos y bebidas, le sigue la fabricación de productos químicos, en la elaboración de jabones y detergente. Luego se encuentra la refinación de productos de petróleo, se generan otras manufacturas como cemento, textil, madera, metálica, maquinaria, entre otras. Por tanto, es importante realizar una división interna de este sector pues su número y diversidad de categorías es extensa [21].

Según la metodología propuesta por McKinsey (2012) se puede clasificar a la Industria Manufacturera por macro sectores. Esta clasificación según Camino-Mogro (2017) da importancia a la innovación en industrias y es una clasificación útil para delimitar la intensidad en los factores de producción, dado que, con la clasificación habitual al ser un sector muy diverso, cada subsector puede ser intensivo en los factores de producción tradicionales, comercio, uso de energía y cadena de valor [22].

De esta manera la Tabla 1.4 muestra la clasificación de la Sección C en macro sectores, asignando distintas divisiones de la Sección a cada nueva categoría. Se ha designado como MF1 al macro sector que comprende los Sectores de innovación global en mercados locales, MF2 al macro sector que comprende los Sectores de fabricación orientada a mercados regionales, MF3 al macro sector que comprende los Sectores intensivos en energía y recursos naturales, MF4 al macro sector que comprende los Sectores de tecnología y mercados globales y finalmente MF5 al macro sector que comprende los Sectores intensivos del trabajo [22].

Tabla 1.4. Clasificación de los grupos de la Industria Manufacturera en macro sectores

Macro Sector	Descripción	Grupos considerados de la sección C
MF1	Sectores de innovación global en mercados locales	C20, C21, C28, C27, C29, C30
MF2	Sectores de fabricación orientada a mercados regionales	C22, C25, C10, C11, C12, C18
MF3	Sectores intensivos en energía y recursos naturales	C16, C17, C19, C23, C24
MF4	Sectores de tecnología y mercados globales	C31, C33, C26
MF5	Sectores intensivos de trabajo	C13, C14, C15, C32

1.3.4 TÉCNICAS DE MUESTREO

1.3.4.1 Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra corresponde al número de elementos o unidades mínimas que debe tener la muestra para que sea representativa [23].

Para el cálculo del tamaño de la muestra para poblaciones finitas se utiliza la Ecuación 1.8.

$$n = \frac{Z^2 N * p * q}{p * q * Z^2 + (N - 1) * e^2} \quad (1.8)$$

Donde:

n : Tamaño de la muestra. [u]

N : Tamaño de la población. [u]

p : Valor de aceptación. [%]

q : Valor de rechazo. [%]

Z : Coeficiente de confianza para un nivel de confianza determinado. [%]

e : Error máximo admisible. [%]

1.3.4.2 Métodos de muestreo

Los métodos para obtener muestras se clasifican en dos grandes grupos: muestreo probabilístico y muestreo no probabilístico.

Examinaremos rápidamente los métodos de muestreo que se usan para realizar la selección de la muestra. En el muestreo probabilístico, todos los elementos de la población tienen alguna oportunidad de ser incluidos en la muestra.

En cambio, en el muestreo no probabilístico, los elementos de la población se seleccionan sobre la base de disponibilidad o debido al juicio personal del investigador.

Para el presente estudio se aplicarán los métodos probabilísticos ya que la base de datos disponible en el Sistema de Telemedición de la Empresa Eléctrica Quito al tener gran cantidad de clientes se requerirá utilizar técnicas de muestreo que permitirán determinar de mejor manera resultados representativos en el análisis de ingeniería que se va a realizar. Dentro de los métodos de muestreo probabilístico encontramos los siguientes tipos:

1.3.4.2.1 Muestreo aleatorio simple

En este método cada elemento de la población tiene la misma probabilidad de selección. Una vez censado el marco de la población, se asigna un número a cada elemento y se elige aleatoriamente. Se caracteriza por ser sencillo y de fácil comprensión.

1.3.4.2.2 Muestreo aleatorio estratificado

En este tipo de muestreo, la población a investigar se divide en grupos que poseen una gran similitud con respecto a una característica de estudio. Estos grupos se denominan estratos, donde el elemento investigado tiene cierta característica que únicamente le permite estar dentro de un estrato. Este método se caracteriza porque tiende a asegurar la representatividad de la población para las variables de estratificación. Para aplicar el muestreo aleatorio estratificado, se analiza el coeficiente de variación, si el coeficiente de variación es mayor al 30% se debe aplicar muestreo aleatorio estratificado, caso contrario se aplica muestreo aleatorio simple [23].

La distribución del tamaño muestral entre los diferentes estratos se denomina afijación. Entre los tipos de afijación más importantes se encuentran la afijación simple, la afijación proporcional y la afijación de Neyman.

Afijación simple: Se da cuando los elementos quedan asignados o repartidos por igual en cada estrato muestral [23].

Afijación proporcional: Consiste en asignar a cada estrato un número de unidades muestrales proporcional a su tamaño.

El cálculo del número de muestras por afijación proporcional queda expresado a través de la Ecuación 1.9.

$$n_h = n \frac{N_h}{N} \quad (1.9)$$

Donde:

n_h : Número de muestras calculadas. [u]

n : Tamaño de la muestra. [u]

N : Total de la población. [u]

N_h : Total de muestras en cada estrato. [u]

Afijación de Neyman: Es conocida también como afijación de mínima varianza. Este método permite determinar los valores de manera que, para un tamaño de muestra fijo igual a n (número de muestras), la varianza de los estimadores sea mínima.

1.3.4.2.3 Muestreo aleatorio sistemático

Consiste en dividir el tamaño de la población y el tamaño de la muestra obteniendo la constante de sistematización (k). Esta constante permite determinar cada cuántos elementos o cada cuánto tiempo se debe elegir el siguiente; para esto el primer elemento se escoge al azar y debe estar entre 1 y k .

Este método se caracteriza porque es de fácil aplicación, y si la población está ordenada asegura una cobertura de las unidades de todos los tipos.

1.3.4.2.4 Muestreo aleatorio por conglomerados

En este tipo de muestreo la unidad muestral es un grupo de elementos de la población que forman una unidad, a la que denominamos conglomerado. Consiste en seleccionar aleatoriamente un cierto número de conglomerados y en investigar después todos los elementos pertenecientes a los conglomerados elegidos.

1.3.5 MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA

En la rama de ingeniería de distribución de energía eléctrica, se han difundido varios procedimientos para la estimación de la demanda, los cuales, se detallan a continuación:

1.3.5.1 Método Empírico

Este método se encarga de aproximar los consumos de las cargas que estén instaladas por el número de horas de utilización para determinar el consumo de energía mensual (kWh) [24]. Como su nombre lo indica es un método práctico que nos permite obtener un valor muy cercano al consumo real [24].

1.3.5.2 Método REA (Rural Electrification Administration)

La Rural Electrification Administration (REA) con base en registros históricos y varias investigaciones de campo, estableció que la demanda máxima coincidente de un grupo de

clientes se puede calcular con el producto de dos factores. El factor A relaciona la energía consumida por mes y por cliente, mientras que el factor B refleja el factor de coincidencia [25]. El método REA se establece mediante la Ecuación 1.10.

$$D_{max} = \text{factorA} * \text{factorB} \quad (1.10)$$

Donde:

D_{max} : Demanda máxima. [kW]

factorA : Factor del consumidor.

factorB : Factor de kWh.

Para el cálculo del factor A y el factor B, se establecen las Ecuaciones 1.11 y 1.12.

$$\text{factorA} = n[1 - (0,4 * n) + 0,4 * (n^2 + 40)^{0,5}] \quad (1.11)$$

$$\text{factorB} = 0,005925 * (C_e)^{0,885} \quad (1.12)$$

Donde:

n : Número de usuarios. [u]

C_e : Consumidor específico. [u]

Para el cálculo del consumidor específico se establece la Ecuación 1.13.

$$C_e = \frac{\sum \frac{\text{kWh}}{\text{mes}}}{n} \quad (1.13)$$

Donde:

$\sum \frac{\text{kWh}}{\text{mes}}$: Consumo mensual de cada usuario.

1.3.5.3 Método de la Empresa Eléctrica Quito

La metodología descrita en la parte A de la “Guía para diseño de redes de distribución” establece las normas técnicas para el cálculo de la demanda máxima unitaria de los usuarios del área de concesión de la Empresa Eléctrica Quito. La Figura 1.12, muestra la planilla para la determinación de demandas de diseño para usuarios industriales y comerciales que dispone la empresa EEQ para proyectistas e interesados.

Con base en la planilla de la Figura 1.12, se realiza el siguiente procedimiento [3]:

- a) *Determinación de la carga instalada del usuario comercial o industrial con los máximos requerimientos*: Establecer una lista de artefactos, maquinarias y equipos

de utilización del consumidor comercial o industrial con los máximos requerimientos y establecer un listado de estos con el número de referencia, columna 1; en la columna 2 la descripción, en la columna 3 la cantidad y en la columna 4 la potencia nominal (Pn) [3].

PLANILLA PARA LA DETERMINACIÓN DE DEMANDAS DE DISEÑO PARA USUARIOS COMERCIALES INDUSTRIALES				REVISIÓN:				
				FECHA:				
NOMBRE DEL PROYECTO _____ N° DEL PROYECTO _____ LOCALIZACIÓN _____ USUARIO TIPO _____								
REGLÓN	APARATOS ELÉCTRICOS Y DE ALUMBRADO			CI(W)	FFUn (%)	CIR(W)	FSn(%)	DMU (W)
	DESCRIPCIÓN	CANT	Pn (W)					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
TOTALES								
FACTOR DE POTENCIA DE LA CARGA FP = 0,85 FACTOR DE DEMANDA FDM $\frac{DMU}{CIR} =$ (*1)								
DMU (kVA) = N = FD = DD(kVA) =								
NOTA: (*1): El factor de demanda FDM para el usuario comercial representativo debe ser máximo 0.60								

Figura 1.12. Planilla para la determinación de demandas de diseño para usuarios comerciales e industriales [3]

b) *Carga Instalada del Consumidor Comercial o Industrial Representativo:* Para cada una de las cargas individuales anotadas en la columna 4, se establece un factor denominado “Factor de Frecuencia de Uso (FFUn)”, que determina la incidencia en porcentaje de la carga correspondiente al consumidor comercial o industrial de máximas posibilidades sobre aquel que tiene condiciones promedio y que se adopta como representativo del grupo para propósitos de estimación de la demanda de diseño [3].

El FFUn, expresado en porcentaje, será determinado para cada una de las cargas instaladas en función del número de usuarios que se considera que disponen del equipo correspondiente dentro del grupo de consumidores; vale decir, que aquellos equipos de los cuales dispondrán la mayor parte de los usuarios comerciales o

industriales tendrán un factor cuya magnitud se ubicará en el rango superior y aquellos cuya utilización sea limitada tendrán un factor de magnitud media y baja. El factor se anota en la columna 6 [3].

Generalmente para el caso de usuarios industriales el FFUn es 100%.

En la columna 7, se anota para cada Renglón el valor de la Carga Instalada por Consumidor Representativo (CIR), computada de la expresión $CIR = CI \times FFUn \times 0,01$ (Columna 7 = Columna 5 x Columna 6 x 0,01) [3].

- c) *Determinación de la Demanda Máxima Unitaria (DMU)*: Definida como el valor máximo de la potencia que en un intervalo de tiempo de 15 minutos es requerida de la red por el consumidor comercial o industrial individual [3].

La Demanda Máxima Unitaria (Columna 9) se determina a partir de la Carga Instalada del Consumidor Comercial o Industrial Representativo (CIR), obtenida en la columna 7 y la aplicación del Factor de Simultaneidad (FSn) para cada una de las cargas instaladas, el cual determina la incidencia de la carga considerada en la demanda coincidente durante el período de máxima solicitud [3].

El Factor de Simultaneidad, expresado en porcentaje, será establecido por el Proyectista para cada una de las cargas instaladas, en función de la forma de utilización de aparatos, artefactos, equipos, maquinarias, etc. para una aplicación determinada [3].

Registrar, para cada renglón en la Columna 8 el Factor de Simultaneidad FSn establecido y en la columna 9 el valor de la Demanda Máxima Unitaria (DMU), computada de la expresión $DMU = CIR \times FSn$ (Columna 9 = Columna 7 x Columna 8) [3].

El Factor de Demanda FDM definido por la relación entre la Demanda Máxima Unitaria (DMU) y la Carga Instalada Representativa (CIR) indica la fracción de la carga instalada que es utilizada simultáneamente en el período de máxima solicitud y permite evaluar los valores adoptados por comparación con aquellos en instalaciones existentes similares. Para el usuario comercial representativo, el Factor de Demanda FDM debe ser máximo de 0,6 [3].

- d) La Demanda Máxima Unitaria obtenida, expresada en Vatios, es convertida a kW y kVA, mediante la reducción correspondiente y la consideración del factor de potencia que, en general, para instalaciones comerciales e industriales es del 0,8 [3].

1.3.6 TÉCNICAS DE MINERÍA DE DATOS

1.3.6.1 Técnicas de aprendizaje supervisadas

Cuando se tiene la existencia de irregularidades en los datos, y se tiene el conocimiento de dichos datos, las técnicas usadas se denominan de clasificación supervisada. En este tipo de técnicas se tienen dos conjuntos de datos, uno de entrenamiento y otro de prueba. Dado que se cuenta con la información, los datos se muestran en función de si son anomalías o no. Con estos datos se construye un modelo que aprenda a distinguir entre un dato irregular y uno confiable [26].

Una situación muy común en este tipo de datos es que están desbalanceados. Existen muchos más datos legítimos que irregulares, lo cual sesga el resultado del modelo. Este tipo de problemas se conoce como clasificación desbalanceada. Principalmente existen dos métodos para lidiar con este problema, los métodos basados en Instancias y los métodos basados en algoritmos. El primero consiste en modificar los datos antes de pasarlos al algoritmo, mientras que el segundo usa los datos originales sobre un algoritmo modificado [26].

1.3.6.1.1 Métodos de partición

Los métodos de partición segregan a la población inicial de n elementos en un número de k grupos, de tal forma que cada grupo contendrá como mínimo un elemento. Cada elemento pertenecerá exclusivamente a un solo grupo. Se tienen técnicas complementarias, denominadas técnicas de partición difusa, que hacen que a cada elemento se le asigne un peso o una probabilidad de pertenecer a un determinado grupo, permitiendo de esta forma que aquellos que se encuentran en los límites entre dos o más grupos, puedan pertenecer simultáneamente a ellos, dependiendo del peso obtenido [4].

Los grupos formados bajo estos métodos tienen como propósito optimizar un criterio de partición objetivo, es decir, que haya similitud entre los elementos de cada grupo a partir de medidas de distancia de sus atributos. La similitud se obtiene haciendo menores estas distancias comparadas contra aquellas entre elementos de distinto grupo.

Los algoritmos de partición más conocidos son el k -means y el k -medoids, que se explican a continuación:

Algoritmo k -means: Divide el conjunto inicial de datos en un número k de grupos, tomando como punto representativo de cada grupo su respectivo centroide. El centroide indica el punto medio del grupo y se encuentra minimizando la sumatoria de los errores cuadrados entre cada uno de los elementos del grupo y éste [4].

El algoritmo comienza seleccionando arbitrariamente k elementos del total de la población, partiendo de que el número k es un parámetro de entrada. Cada uno de estos elementos los considera los centroides de los mismos k grupos que va a formar. Calcula luego las distancias de los elementos restantes a cada uno de los centroides iniciales, dejando en cada grupo aquellos más cercanos éstos. Con los grupos así conformados, encuentra un nuevo centroide y por último calcula la sumatoria de los errores cuadrados, E . A partir de los nuevos centroides se realiza nuevamente el proceso anterior, tantas veces como iteraciones se tengan indicadas. La selección final de grupos se determina entonces por aquellos donde E sea la menor [4].

Este método encuentra óptimos locales, más no globales, puesto que tendría que realizar un alto número de iteraciones, con su consecuente costo computacional. Tiene la ventaja de que su implementación es relativamente sencilla. Desde su creación en los años 1960 ha sufrido algunas variantes y mejoras, puesto que se sensible a valores extremos, lo cual hace que presente desventajas en la búsqueda de datos atípicos. De ahí que también es utilizado como método inicial en la aplicación de otros algoritmos más complejos [4].

Algoritmo *k-medoids*: Este método se basa en el mismo principio del *k-means*, cambiando el concepto de centroide del anterior algoritmo, que representa la media de cada grupo por un elemento del grupo que se va a ser el representativo. El inicio del algoritmo es igual al anterior, se seleccionan k elementos arbitrariamente, siendo cada uno de ellos los representativos de los mismos k grupos. Luego, se construyen los grupos a partir de las menores distancias de cada uno de los elementos restantes respecto a los elementos representativos iniciales [4].

Para la siguiente iteración se reemplaza uno de los elementos representativos por cualquier otro elemento de forma aleatoria, se realizan nuevamente las agrupaciones y se calcula el error absoluto. Este proceso se repite tantas veces como se considere el número de iteraciones o hasta que se cumpla una condición determinada, obteniendo las agrupaciones finales de acuerdo con aquella donde se produjo el menor valor de la sumatoria de errores absolutos [4].

Este algoritmo tiene la ventaja sobre el *k-means* de no dejarse influenciar por los valores extremos o atípicos, aunque tiene un costo computacional mucho más alto.

1.3.6.1.2 Métodos jerárquicos

Los métodos jerárquicos representan uno de los métodos más desarrollados; consisten en crear grupos de acuerdo con algún criterio que permita crear una secuencia de particiones anidadas a partir de descomposiciones jerárquicas. Estas descomposiciones pueden ser

entendidas mediante dendrogramas, donde en la raíz se tiene el conjunto con todos los elementos de la población y las hojas representan a cada elemento individualmente [4].

En este tipo de métodos, los individuos no hacen particiones bruscas, si no van haciendo particiones sucesivas a distintos niveles de agrupamiento. Son de tipo aglomerativos (ascendentes) y divisivos (descendentes). Los primeros parten de cada elemento individual y los van reuniendo en grupos de acuerdo con sus similitudes. Los segundos parten del total y van realizando divisiones sucesivas hasta llegar a cada elemento de la población [4].

Este método es rígido, puesto que luego de haber realizado un agrupamiento o división no puede regresarse. De ahí que éstos deben ser cuidadosos. Su rigidez va acompañada en tiempos de cómputo menores que otros métodos, de ahí que son usados como punto de partida para el empleo de métodos más exhaustivos [4].

1.3.6.1.3 Métodos basados en densidad

Estos tipos de métodos se basan en el principio de construir clústeres naturales, partiendo del grado de densidad que se tengan en los puntos. Tienen la propiedad de encontrar agrupaciones con diferentes formas o tendencias, a diferencia de los de partición o jerárquicos donde las formas obtenidas en cada grupo tienen tendencia elipsoidal, que pueden ocasionar el filtrado de datos atípicos o ruido. Por tanto, los métodos basados en densidad son empleados en la detección de valores atípicos. Entre los algoritmos más conocidos están: DBSCAN, OPTICS y DENCLUE [4].

Algoritmo DBSCAN: En este algoritmo no se requiere definir el número de grupos que se desean, ya que éstos se van formando de acuerdo con las densidades de puntos que se van formando alrededor de puntos centrales. Se basa en dos parámetros iniciales dados, el radio máximo de vecindad ϵ y el número mínimo de puntos que debe contener cada grupo, *MinPts* [4]. Es una función propia de MATLAB.

1.3.6.1.4 Métodos basados en cuadrículas

Estos métodos consisten en tomar la población y dividirla en cuadrículas. Dentro de cada cuadrícula se realizan las operaciones de agrupamiento, permitiendo disminuir los tiempos de ejecución del algoritmo. Estos métodos se integran generalmente con los jerárquicos y los basados en densidad [4].

1.3.6.1.5 Método B-spline

Es una técnica que permite generar curvas suavizadas a partir de un conjunto de puntos en un plano, que se consideran hacen parte de ella. Este método consiste en utilizar un

sistema de funciones base conformado por un conjunto de funciones base conocidas independientes entre sí [4].

1.3.6.2 Técnicas de aprendizaje no supervisadas

El aprendizaje no supervisado permite explorar un conjunto de datos e identificar patrones irregulares. Se emplea cuando se dispone de anomalías en el conjunto de datos, pero no conocemos a precisión qué dato es irregular y qué dato no lo es, es decir, tanto irregularidades como comportamientos confiables están mezclados.

El clustering es una técnica de agrupamiento de datos con características similares. Los algoritmos de clustering son muy usados en la minería de datos, los algoritmos más populares en este ámbito son k-nn y k-means [4].

Por otro lado, tenemos a Fuzzy C-Means, que es un algoritmo de agrupamiento donde, cada dato puede pertenecer a varios clústeres al mismo tiempo.

1.3.6.2.1 Fuzzy C-Means

El algoritmo Fuzzy C-Means, permite asociar un dato a varios clústeres a la vez. La Figura 1.13 ilustra el traslape de dos conjuntos de datos en un espacio bidimensional.

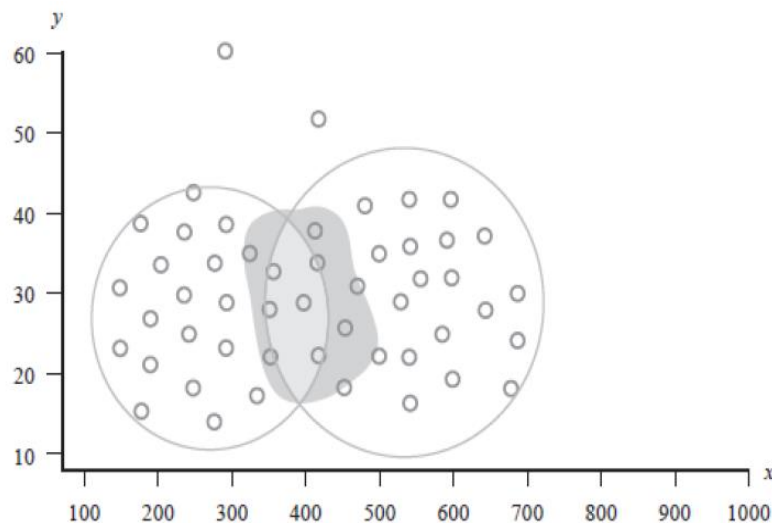


Figura 1.13. Traslape de conjuntos en Fuzzy C-Means [27]

En Fuzzy C-Means, cada dato está relacionado con cada clúster mediante una función de pertenencia. El grado de pertenencia para cada dato está dado por una distribución de probabilidad sobre los clústeres [26].

Un centroide es el dato que es capaz de representar las características de todos los datos pertenecientes a un conjunto. Para ilustrar esto, en la Figura 1.14 podemos observar 2

conjuntos de datos con características similares. Los cuadrados negros corresponden al dato que representa de mejor forma las características de los datos de su conjunto.

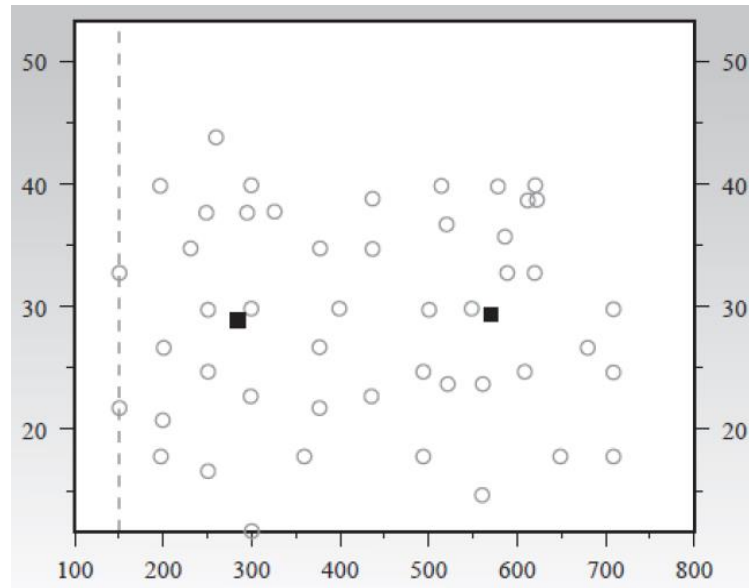


Figura 1.14. Centroides en un espacio bidimensional [27]

El grado de pertenencia de cada dato a cada clúster se define por la Ecuación 1.14.

$$u_{ij} = \frac{\left(\frac{1}{d_{ij}}\right)^{\frac{1}{m-1}}}{\sum_{k=1}^{cl} \left(\frac{1}{d_{ik}}\right)^{\frac{1}{m-1}}} \quad (1.14)$$

Donde:

u_{ij} : Grado de pertenencia del dato i y el clúster j . [u]

d_{ij} : Distancia del dato i al centroide del clúster j . [u]

d_{ik} : Distancia del dato i al centro k en el espacio n -dimensional. [u]

m : Coeficiente de fuzzyficación. [u]

cl : Número de clústeres. [u]

El coeficiente de fuzzyficación o de borrosidad determina cuanto traslape puede haber entre los conjuntos y sus límites se encuentran entre 1 e ∞ . En ese sentido, cuando $m=1$, los conjuntos son no difusos, para $m = \infty$ los conjuntos son completamente difusos. Cuanto mayor sea el valor de m , mayor será el solapamiento entre conjuntos.

Para entender esta expresión, se define la distancia entre un dato y un centroide en términos de la distancia euclidiana como se muestra en la Ecuación 1.15.

$$d_{ij} = \|x_i - c_j\|^2 \quad (1.15)$$

Esto para una dimensión, que se deriva en la siguiente Ecuación (1.16 definida para n dimensiones).

$$\|x_i - c_j\| = \sqrt{(x_{i1} - c_{j1})^2 + (x_{i2} - c_{j2})^2 + (x_{i3} - c_{j3})^2 + \dots + (x_{in} - c_{jn})^2} \quad (1.16)$$

Donde n representa el número de dimensiones.

Inicialmente, la posición de los centroides se establece de manera aleatoria. Se deben fijar tantos centroides como clústeres o grupos de datos que se desea obtener. Dado que el algoritmo se basa en iteraciones, este debe repetirse algunas veces hasta que la posición de los centroides se estabilice. Para calcular la nueva posición de un centroide en función de los datos que lo rodean, se utiliza la siguiente expresión establecida mediante la Ecuación 1.17 [27].

$$c_j = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_{ij}^m * x_i}{\sum_{i=1}^n \mu_{ij}^m} \quad (1.17)$$

Donde n representa el número de datos.

La variable c_j es la posición del centroide, obviamente, si estamos operando en un espacio n-dimensional, c_j existiría n veces y debe ser calculado en las n coordenadas. La variable x_i corresponde a la posición de cada dato, como se dijo antes, en cada una de las dimensiones del espacio. Es decir, para el plano 1 la posición de ese dato en ese plano, para el plano 2 la posición de ese dato en el plano 2, etc. [27].

Descripción del algoritmo

Dado que este algoritmo se basa en iteraciones. Estas iteraciones se hacen en un determinado orden definido bajo los siguientes pasos.

1. Fijar de manera aleatoria las coordenadas de los centroides [27].
2. Calcular las distancias de cada dato a cada centroide [27].
3. Calcular la pertenencia de cada dato a cada centroide [27].
4. Asignar el dato al clúster de mayor pertenencia [27].
5. Recalcular la posición de cada centroide [27].
6. Si se alcanza el criterio de parada terminar, sino volver al paso 2 [27].

El criterio de parada puede ser seleccionado como una ecuación de estabilidad o pueden hacerse tantas iteraciones como se haya predeterminado. El criterio de parada, matemáticamente hablando, se establece mediante la comparación de la posición anterior de los centroides con la nueva posición a partir de la siguiente expresión expuesta en la Ecuación 1.18.

$$\|U^{(k+1)} - U^{(k)}\| < \varepsilon \quad (1.18)$$

Donde:

U : Matriz de partición difusa. [u]

k : Número de clases difusas. [u]

ε : Valor de tolerancia de corrimiento de los centroides. [u]

El valor de épsilon tiene que ser mayor que cero y cuando se alcanza esta condición se puede saber que los centroides son estables y la clasificación de los clústeres se puede terminar.

Función Objetivo

Para poder ultimar este algoritmo es necesario conocer el valor ideal tanto del coeficiente de fuzzyficación (m) como el número de clústeres (cl) y minimizar la función objetivo (J_m) que se establece mediante la Ecuación (1.19).

$$J_m = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{cl} u_{ij}^m \|x_i - c_j\|^2 \quad (1.19)$$

Donde:

n : Número de puntos dato. [u]

cl : Número de clústeres. [u]

m : Coeficiente de fuzzyficación. [u]

x_i : Punto dato i -ésimo. [u]

c_j : Vector de centros para el clúster j . [u]

u_{ij} : Grado de pertenencia para el i -ésimo punto x_i al vector de centros c_j del clúster j . [u]

2 METODOLOGÍA

A partir de los registros de demanda del año 2018 de los clientes de telemedición de la Empresa Eléctrica Quito S.A., a través de medidores electrónicos que registran la lectura de diferentes variables eléctricas, siendo la principal la lectura de energía activa, se divide el presente capítulo en cuatro etapas principales.

En una primera etapa se sectorizará a los clientes de telemedición en clientes industriales y comerciales, mediante la información obtenida del Sistema de Medición Comercial y el Sistema ArcGIS que recopila, organiza y administra los datos de los usuarios que pertenecen al área de concesión de la Empresa Eléctrica Quito. A partir de esta primera sectorización, se buscará a través de técnicas de muestreo estratificar a los clientes comerciales por consumo de energía, mientras que para los clientes industriales se buscará categorizarlos por la actividad económica que ejecutan.

En una segunda etapa se buscará obtener las curvas de demanda diaria de cada cliente de telemedición, industrial como comercial, después de un tratamiento de datos y mediante la aplicación de técnicas de agrupamiento o clustering a través de algoritmos de densidad y partición, según sea el caso.

En una tercera etapa cada conjunto de curvas de carga se someterá a técnicas de agrupamiento difuso, para finalmente obtener curvas tipo de demanda diaria características, que representarán el comportamiento de la carga de cada sector establecido, comercial como industrial.

En la última parte se busca detallar la metodología para calcular la demanda máxima unitaria a partir del uso de las curvas tipo obtenidas en valores por unidad de los procesos anteriores.

Como se puede observar las tres primeras etapas constituyen el proceso más elaborado y complejo que busca obtener las curvas de demanda representativas de cada uno de los grupos establecidos para clientes comerciales como para clientes industriales. La carencia de metodologías específicas para este propósito conlleva a exponer un procedimiento lógico para la obtención de los resultados esperados.

La Figura 2.1. muestra de manera detallada la ejecución de estas tres primeras etapas a través de seis puntos fundamentales.

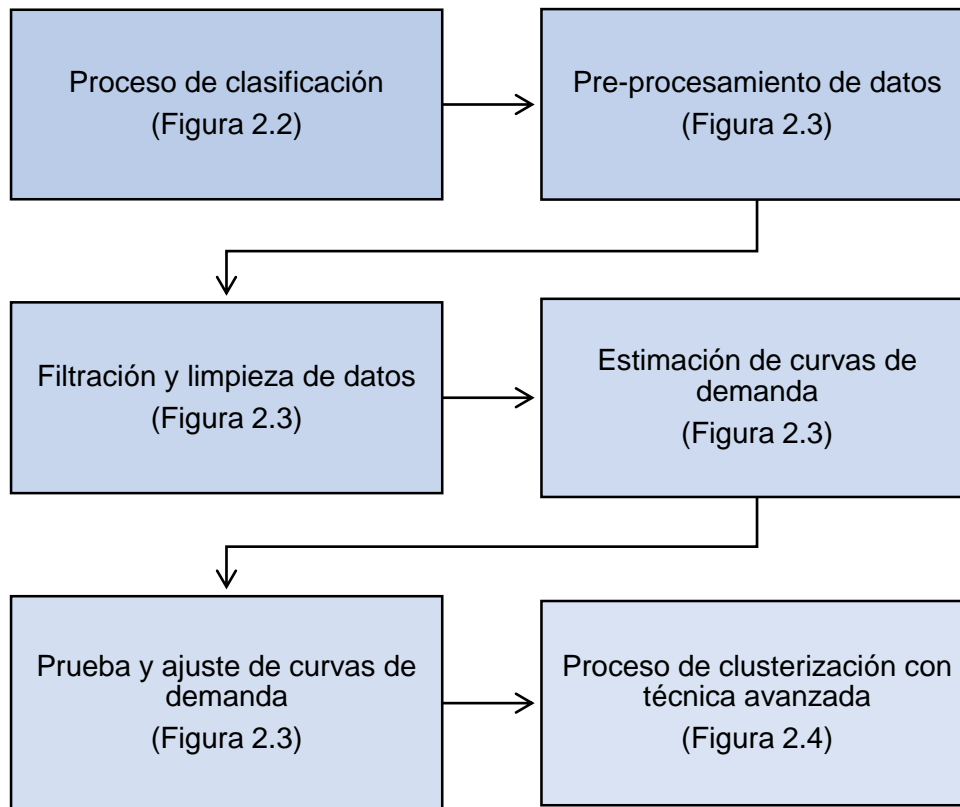


Figura 2.1. Proceso de estimación de curvas representativas

Cada etapa que se observa en la Figura 2.1. contiene procedimientos internos que se integran de forma acorde para el cálculo de curvas representativas de los grandes clientes. El procedimiento a detalle de cada etapa se presenta en los diagramas de flujo de las figuras siguientes.

La Figura 2.2 muestra el diagrama de flujo para el proceso de clasificación de clientes industriales y comerciales, en el que a partir de las bases de datos de los registros de demanda de los clientes especiales y de acuerdo a la categoría tarifaria se busca estratificar a los clientes comerciales de acuerdo al consumo de energía; mientras que a los clientes industriales se busca sectorizarlos de acuerdo a la actividad económica principal que desarrollan basados en el Código CIU.

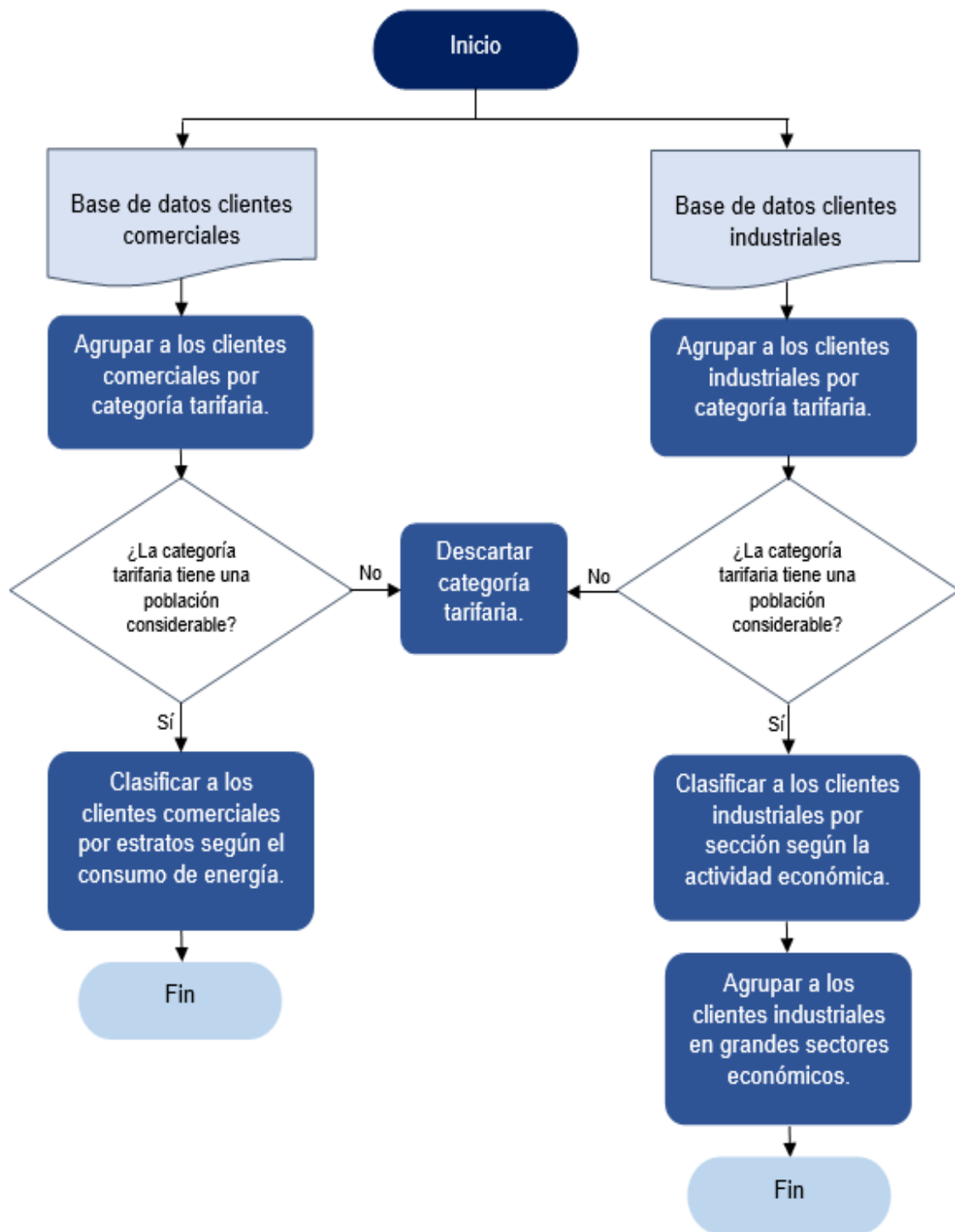


Figura 2.2. Diagrama de flujo del proceso de clasificación de clientes industriales y comerciales

La Figura 2.3 muestra el diagrama de flujo para realizar el preprocesamiento de los datos de demanda de cada cliente, la filtración y limpieza de dichos datos para la estimación de las curvas de demanda de cada cliente especial.

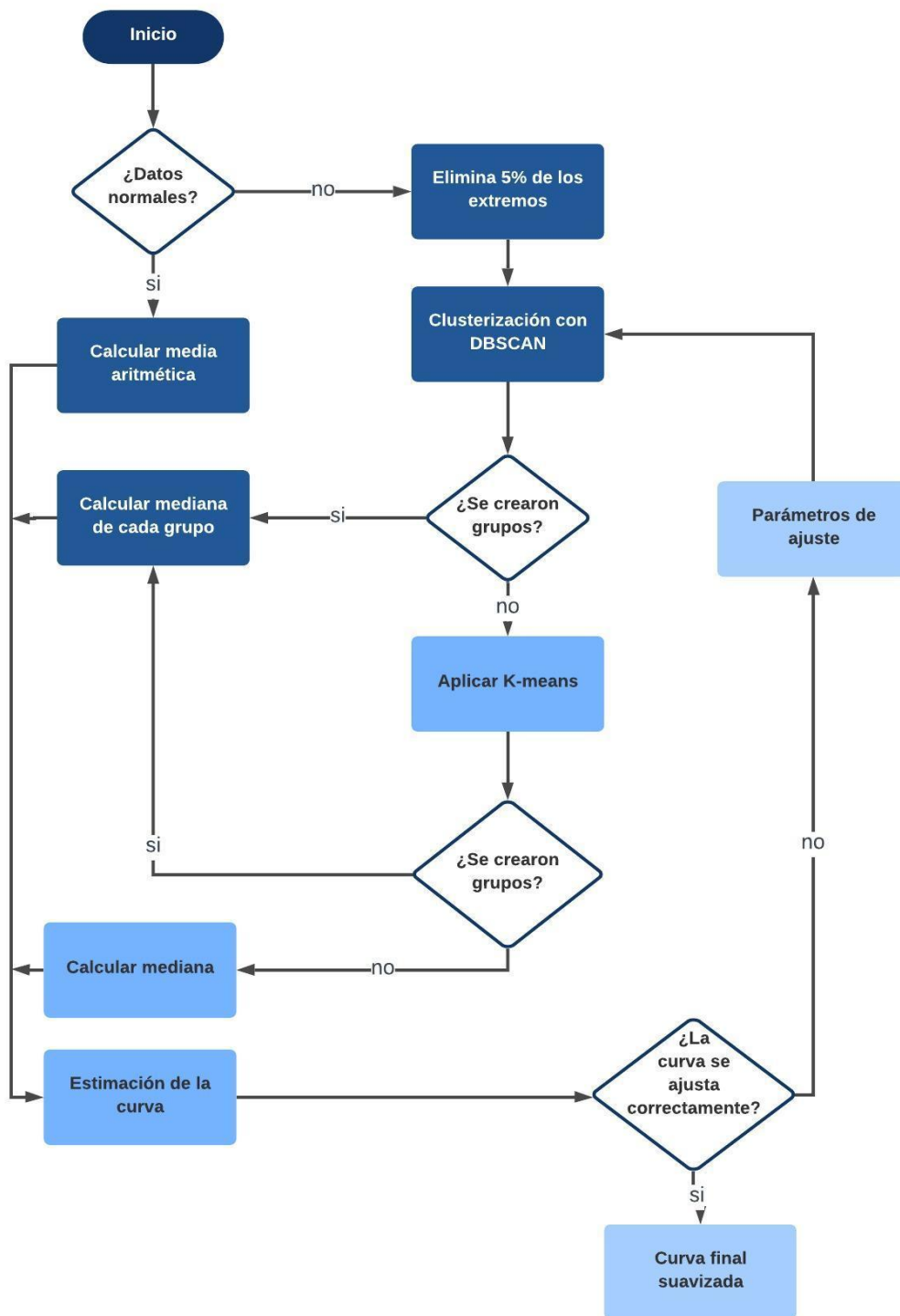


Figura 2.3. Diagrama de flujo proceso de estimación de curvas de demanda

La Figura 2.4 muestra el diagrama de flujo del proceso de clusterización con la técnica avanzada Fuzzy C-Means, que se aplica para formar conjuntos de curvas de demanda diaria de un grupo específico industrial o comercial y obtener una curva de demanda representativa de cada conjunto de curvas formado.

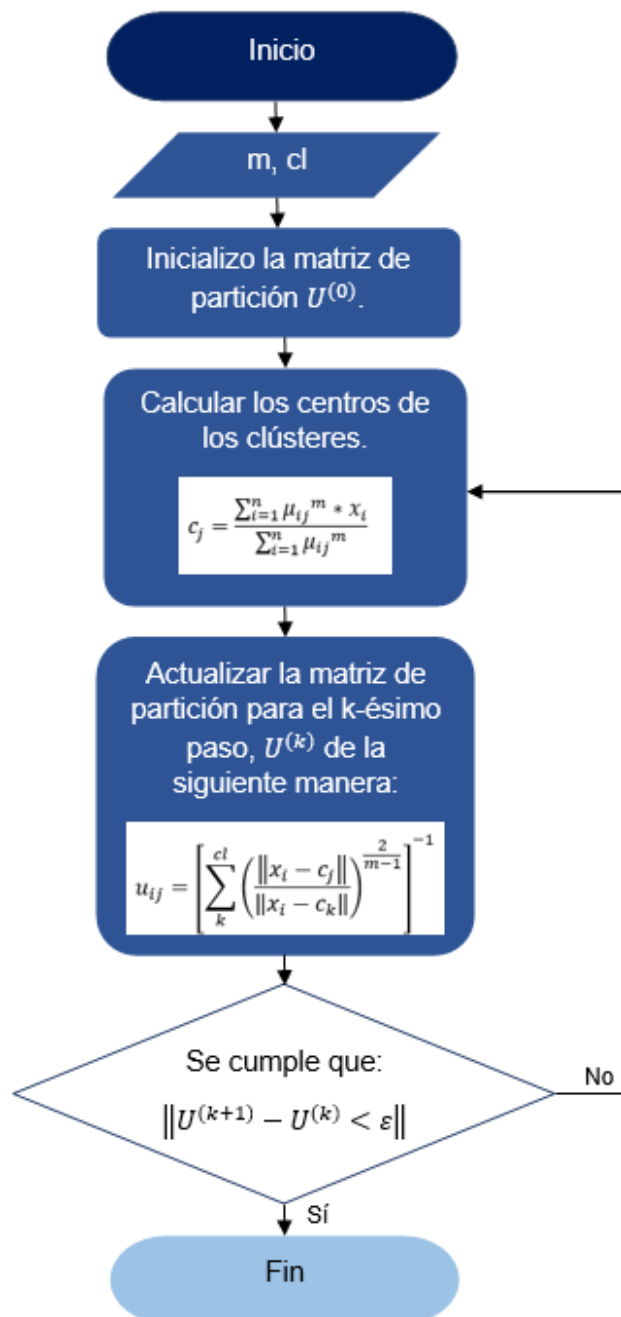


Figura 2.5. Diagrama de flujo proceso de clusterización con Fuzzy C-Means

2.1. CONSIDERACIÓN DE DATOS PARA DETERMINAR LA CURVA DE CARGA DIARIA

Para determinar la curva de carga de cada cliente comercial e industrial, se toman lecturas de demanda en intervalos de 15 minutos por día, para 7 días de cada semana, durante los 12 meses del año. Este tipo de configuración de medición es la forma más completa y la más usada para determinar precios en tarifas horarias [28]. En dichas tarifas se necesita

saber el comportamiento de la curva de carga por día, es decir, determinar curvas de carga diaria para días hábiles (lunes a viernes), días semihábiles (sábados y domingos) o feriados. Con esta información se determinan los precios por horas donde se produzca el mayor consumo de demanda. Otra de las utilidades que se le da a la información de la curva de carga diaria es que establece la tendencia predominante de las cargas del sistema, además nos ayuda escoger la capacidad máxima de sobrecarga adecuada para seleccionar los equipos de transformación [29].

Para el desarrollo de este proyecto se toman en cuenta los datos de demanda del año 2018 para cada cliente industrial y comercial, considerando que no representa un problema en el análisis, el no separar los datos de cada cliente por días hábiles, días semihábiles y feriados. Al contrario de diferenciar los datos bajo el criterio anterior, se considera que la curva de carga de un fin de semana o feriado no se diferencia considerablemente de la curva de carga que se estimaría en un día común. A manera de demostración, se ha escogido a la empresa comercial Argolds con # de suministro 1490002352, para graficar sus curvas de demanda dependiendo el tipo de día y compararla con la curva de carga diaria representativa para dicha empresa.

En la Figura 2.6 se muestra la curva de carga diaria representativa de un cliente comercial, se puede observar que el pico de demanda se produce entre las 13h00 y 14h30 y en la noche se produce otro pico de demanda entre las 19h00 y 21h00.

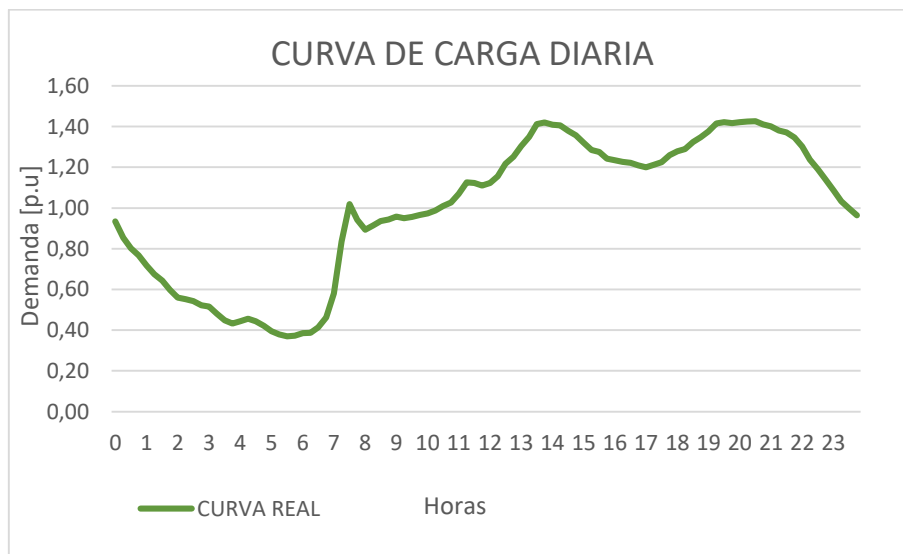


Figura 2.6. Curva de carga diaria representativa

De la misma manera, en la Figura 2.7 se muestra la curva de demanda en un día hábil, se observa que el pico de demanda se produce entre las 12h00 y 14h30 y en horas de la noche se produce entre las 19h00 y 21h00.



Figura 2.7. Curva de demanda en un día hábil

Finalmente, en la Figura 2.8 se muestra la curva de demanda en un día semi hábil, se observa que, en horas de la mañana, el pico de demanda se produce entre las 12h00 y 14h00 y en horas de la noche se produce entre las 19h00 y 20h00.



Figura 2.8. Curva de demanda en un día semihábil

Como se pudo observar en las tres curvas de demanda anteriores, las demandas máximas se producen a una hora similar, por tanto, se puede no considerar la separación de los datos de demanda bajo el criterio de día hábil, semihábil y feriado.

2.2. TRATAMIENTO DE DATOS

2.1.1 PREPROCESAMIENTO DE DATOS

El gran volumen de datos que se adquiere del Sistema de Medición Comercial de la EEQ nos da un indicio que la metodología a aplicarse será efectiva siempre que se cuente con una base de datos confiable, mediante un preprocesamiento de datos apropiado. El preprocesamiento de datos permite tratar la información proveniente de los clientes industriales y comerciales del sistema de telemedición de manera que se garantice la veracidad de los datos de demanda de energía eléctrica.

Los datos de demanda de energía eléctrica de cada cliente se encuentran distribuidos en doce ficheros de Excel, uno por cada mes del año 2018. Los datos están almacenados secuencialmente en períodos de quince minutos, de tal manera que el total de muestras de una empresa para un año completo corresponde a 35040 registros. Los datos de potencia obtenidos se asocian a un factor de multiplicación, que muestra la relación existente entre los transformadores de corriente o potencial, para, de esta manera obtener el consumo real de un cliente en un período de facturación determinada.

En la Tabla 2.1 se presenta el estilo de medición de potencia activa y reactiva de la empresa “Abrodesivos del Ecuador S.A” durante una hora.

Tabla 2.1. Datos de potencia activa y reactiva almacenados en fichero Excel

Orden	Fecha	Origen	Demanda activa DEL	Demanda reactiva DEL
1	1/1/2018 0:00	Lectura AMR	0.0064	0
2	1/1/2018 0:15	Lectura AMR	0.0066	0
3	1/1/2018 0:30	Lectura AMR	0.0068	0
4	1/1/2018 0:45	Lectura AMR	0.0068	0

La descripción de las columnas de la Tabla 2.1 es:

Orden: es el numero consecutivo de cada medición.

Fecha: es la fecha de obtención de la medición(día/mes/año).

Origen: es el medidor empleado para la obtención del dato.

Demanda activa DEL: es el valor de potencia activa registrada por el medidor en formato adimensional.

Demanda reactiva DEL: es el valor de potencia reactiva registrada por el medidor en formato adimensional.

La información descrita en la Tabla 2.1 es esencial para el análisis, pero es necesario conocer el suministro asociado a la empresa para obtener el factor de multiplicación correspondiente a la potencia, mismo que se obtiene de la hoja de mediciones como se presenta en la Figura 2.9.

	A	B	C	D	E
1	Id	1740			
2	Distribuidor:	EEQ S.A.			
3	Colectora	Distrocuyo			
4	Marca	ABB			
5	Modelo	Alpha II A1			
6	Serie	4408450			
7	Medidor	50000576			
8	Suministro	1815106			
9	Designación	ABRODESIVOS DEL ECUADOR S.A - (1815106)			
10					
11	DEMANDAS				
12	Orden	Fecha	Origen	Demanda activa DEL	Demanda reactiva DEL
13	1	1/1/2018 0:00	Lectura AMR	0.0064	0
14	2	1/1/2018 0:15	Lectura AMR	0.0066	0
15	3	1/1/2018 0:30	Lectura AMR	0.0068	0
16	4	1/1/2018 0:45	Lectura AMR	0.0068	0

Figura 2.9. Modelo de medición completa de una empresa

Al prestar atención a los datos de cada mes se evidencian algunos casos erróneos como:

- Mediciones faltantes.
- Valores sin delimitadores de miles y decimales.
- Valores en formato de texto.
- Meses con una cantidad limitada de datos.
- Meses sin mediciones.

Debido a la baja calidad de datos ocasionados por los errores descritos existe la necesidad de aplicar un proceso de filtrado y limpieza con el fin de ajustar los datos para facilitar la función de las etapas predecesoras.

En la Tabla 2.2 se presenta un resumen de los errores descritos en el párrafo anterior, los datos descritos corresponden a la medición de una hora del mes de junio de la empresa Admineli 2.

Tabla 2.2. Resumen de errores de medición

Orden	Fecha	Origen	Demanda activa DEL	Demanda reactiva DEL
1	5/1/2018 0:00	Lectura AMR	10044	5292
2	5/1/2018 0:15	Lectura AMR	7704	5112
3	5/1/2018 0:30	Lectura AMR	6336	3.78
4	5/1/2018 0:45	Lectura AMR	6552	3708

En la columna de potencia activa de la Tabla 2.2 se aprecia que las mediciones no contienen los delimitadores de decimales, lo que produce una baja calidad de los datos.

En la Figura 2.10 y Figura 2.11 se presenta los errores correspondientes a valores en formato de texto y meses sin mediciones.

2609	2597	5/28/2018 1:00	Lectura AMR	6732	4752
2610	2598	5/28/2018 1:15	Lectura AMR	6876	4716
2611	2599	5/28/2018 1:30	Lectura AMR	7092	4752
2612	2600	5/28/2018 1:45	Lectura AMR	6732	4932
2613	2601	5/28/2018 2:00	Lectura AMR	6732	4.86
2614	2602	5/28/2018 2:15	Lectura AMR	7128	5004

Figura 2.10. Errores de medición, valores sin delimitadores decimales y valores en formato de texto

	A	B	C	D	E	F
1	Id	234				
2	Distribuidor:	EEQ S.A.				
3	Colectora	Distrocuyo				
4	Marca	L+G				
5	Modelo	RXS4				
6	Serie	81152383				
7	Medidor	50000369				
8	Suministro	90001294				
9	Designación	EGAR S.A. - (90001294)				
10						
11	DEMANDAS					
12	Orden	Fecha	Origen	Demanda ac	Demanda reactiva	DEL
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						

monthly_load_profile-90001294-2

Figura 2.11. Errores de medición, mes sin mediciones

Al realizar un análisis sobre la baja calidad de algunos datos se comprobó que las inconsistencias se deben a la forma de capturar los datos desde los medidores AMR. El alcance del trabajo en curso no se involucra a fondo en ese tipo de errores, pero puede ser un tema bastante interesante para trabajos futuros.

2.1.1.1 Solución de errores de medición

El análisis visual de datos permitió descubrir que las inconsistencias de medición se presentan por lo general en el quinto mes de las empresas, por lo que los meses restantes

pueden servir como base para la reconstrucción de datos. Se plantea la programación de una macro en Excel detallada en el ANEXO A, con la finalidad de recopilar la información de los 12 ficheros de Excel correspondiente a los datos de demanda de los 12 meses del año de cada empresa. Una vez obtenidas las hojas de Excel consolidadas con los datos de demanda de un año por cada empresa, se ingresan al programa Matlab cuyo código de programación se encuentra en el ANEXO B, para comprobar la normalidad de los datos y de no ser así corregir las inconsistencias. En la Figura 2.12 se presenta a detalle el proceso descrito anteriormente.

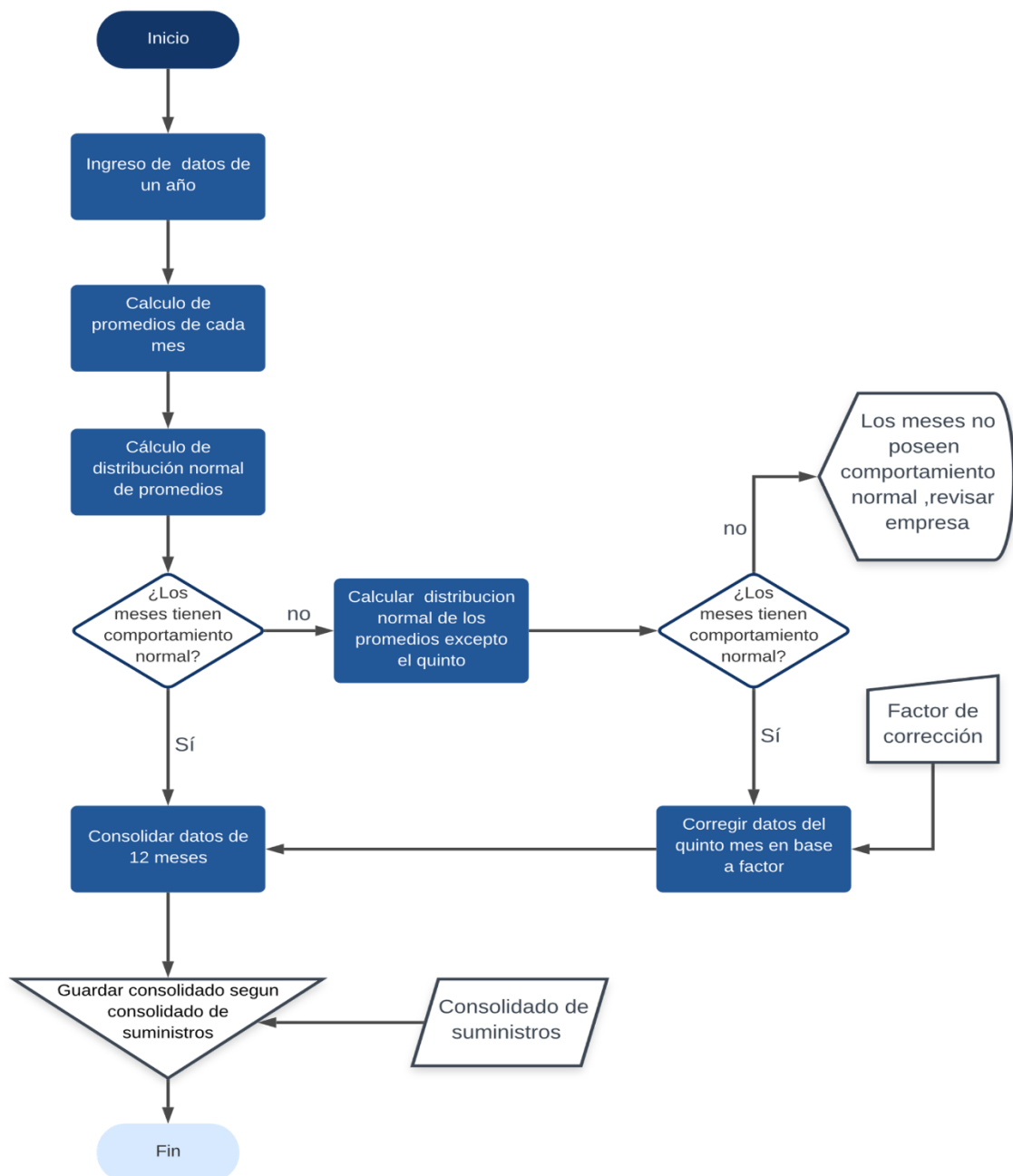



Figura 2.12. Proceso de corrección de errores

El proceso descrito en la Figura 2.12 soluciona la mayor parte de errores de formato y precisión, sin embargo, si existe algún caso en donde el mes con inconsistencias es diferente al quinto se deberá corregir de forma manual.

2.1.1.2 Importación de datos a MATLAB

Para empezar el proceso de limpieza es necesario disponer los datos de cada empresa de forma ordenada, para ello se importan los ficheros de Excel correspondiente a los consolidados resultantes de la macro expuesta en el ítem anterior “Solución de errores de medición”. Con la ayuda del software MATLAB 2019b los datos se importan en una matriz de tal forma que las filas corresponden a los días y las columnas corresponden a los intervalos de tiempo de captura de la medición (15 minutos), obteniendo una matriz de dimensiones 365x96. En la Figura 2.13 se presenta los valores de potencia activa correspondiente a las 3 primeras horas (12 columnas) de los 13 primeros días (13 filas) de la empresa Admineli 1.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	984	966	696	948	792	888	900	1044	1098	1092	978	1080
2	696	804	696	756	840	588	888	834	672	636	738	732
3	588	540	540	582	624	642	732	870	762	588	624	552
4	732	594	528	588	768	666	504	594	594	642	864	756
5	696	720	750	648	744	870	792	804	642	618	678	630
6	924	666	684	672	714	636	600	744	972	876	624	606
7	744	846	798	696	660	540	666	678	666	702	684	798
8	624	654	762	732	702	876	918	702	624	738	708	732
9	954	894	708	780	678	642	684	630	726	726	822	816
10	672	648	600	738	594	726	564	660	594	654	606	582
11	660	756	528	630	792	828	600	624	684	720	648	624
12	696	792	744	840	774	750	768	708	672	654	648	714
13	858	732	750	630	762	714	570	720	846	906	690	798

Figura 2.13. Matriz de potencias en MATLAB

Para empezar el proceso de clusterización se necesita obtener los factores de multiplicación para convertir las magnitudes adimensionales en kW, para ello se importa el fichero Excel denominado “Suministro”, este fichero contiene los nombres de todas las empresas, los suministros, el factor de multiplicación y otros parámetros. En la Figura 2.14 se presenta la base de datos en mención.

GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO 9											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
		No	EMPRESAS	FACTOR DE MULTIPLICACION	SUMINISTRO	MEDIDOR	COMENTARIO	CAPACIDAD	NOMBRE	#USUARIOS	VOLTAJE
1		1	ABRODESIVOS DEL ECUADOR S.A.	600.00	1815106	50000576		500	169215P	1	22800
2		2	ACABADOS DE FANTASIA PINTO AFAPIN CIA. LTDA	330.00	1379027	90001503		425	163738P - 125 164768P - 300	1	22800
3		3	ACERIA DEL ECUADOR CA	36,000.00	1507245	1001941643	USUARIO DE MEDIO VOLTAJE 138 kv CARGA SIN CONEXIÓN	125	1-45MVA 2-40/50 MVA 3-40/50 MVA	2	
4		4	ACERIA DEL ECUADOR CA ADELCA	12,000.00	1462932	90002647	USUARIO DE MEDIO VOLTAJE 46 kv CARGA SIN CONEXIÓN	17.5	1-7.5/9.25 MVA 2-10/12 MVA	2	
5		5	ACERIAS NACIONALES DEL ECUADOR SOCIEDAD ANONIMA A.N.D.E.C.	1,100.00	1773847	90000171		850	168481P - 250	1	22800
6		6	ACEROS BOEHLER DEL ECUADOR S.A. BOEHLER	60.00	90000466	90002329		90	15942P	1	22800
7		7	ACEROS INDUSTRIALES DEL ECUADOR ACINDECS.A.	600.00	90000488	50001005		362.5	106966P - 250	1	22800
8		8	ACOSTA TABANGO CARMEN DE LA DOLOROSA	120.00	1585202	90001120		225	22722P - 112.5	1	22800
9		9	ADMINELI CIA. LTDA.1	100.00	72665	90002494		150	166388	1	6300
10		10	ADMINELI CIA. LTDA.2	60.00	90002325	90000340		160	169678	1	6300
11		11	ADMINELI CIA. LTDA.3	1.00	1731123	75002161		100	37001P	1	6300
12		12	ADMINELI CIA. LTDA.4	60.00	1746460	90002686		100	72143	27	22800
13		13	AGENCIA DE REG. Y CONTROL HIDROCARBURIFERO ARCH.	160.00	1574031	90002133		300	169286P	1	6300
14		14	AGENCIA DE REGULACION Y CONTROL DE ELECTRICIDAD ARCONEL	60.00	90002471	90000958		225	16994P	1	22800
15		15	AGENCIA DE REGULACION Y CONTROL DE LAS TELECOMUNICACIONES ARCOTEL 1	40.00	1714969	90001873		100	12438	9	6300
16		16	AGENCIA DE REGULACION Y CONTROL DE LAS TELECOMUNICACIONES ARCOTEL 2	100.00	1545228	90001860		200	100163P	5	6300
17		17	AGENCIA DE REGULACION Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO	60.00	90001084	90000837		100	165961P	1	6300
18		18							115836P	1	22800
19		19							168049P - 750 22428P - 300 22429P - 75		

Figura 2.14. Base de datos general

Con la ayuda del software MATLAB 2019b los datos se importan en una matriz de tal forma que en filas se presentan la numeración consecutiva de cada empresa y las columnas corresponden a los nombres de las empresas, factor de multiplicación y suministro, obteniendo una matriz de dimensiones 1372x3 como se presenta en la Figura 2.15.

table_resum				
1372x3 cell				
	1	2	3	4
1	'Empresa'	'Factor'	'Suministro'	
2	'ABRODESI...	600	1815106	
3	'ACABADO...	330	1379027	
4	'ACERIA DE...	36000	1507245	
5	'ACERIA DE...	12000	1462932	
6	'ACERIAS N...	1100	1773847	
7	'ACEROS B...	60	90000466	
8	'ACEROS IN...	600	90000488	
9	'ACOSTA T...	120	1585202	
10	'ADMINELI ...	100	72665	
11	'ADMINELI ...	60	90002325	
12	'ADMINELI ...	1	1731123	
13	'ADMINELI ...	60	1746460	

Figura 2.15. Base de datos general MATLAB

2.1.2 FILTRADO Y LIMPIEZA DE DATOS

Los medidores inteligentes AMR capturan las mediciones de forma periódica empleando un sistema de comunicación que se encarga de guardar los datos en una base general, pero a causa de la mala configuración de software o la influencia de factores externos como apagones producen que los datos de potencia registrados queden en 0. Las curvas representativas se producen a través de toda la muestra de datos incluyendo los que

presentan inconvenientes, pero al momento de emplearlos para la reproducción de la curva se vuelven atípicos, lo que ocasiona un grado mayor de dificultad para su análisis. Con base en lo expuesto previamente es necesario llevar a cabo una limpieza y filtración de los mejores datos de la muestra con la finalidad que los resultados sean altamente confiables [4].

Existen varias formas para el análisis de datos, una de ellas es considerar la curva como una serie en el tiempo para observar patrones en un periodo determinado, revelando los datos que tienen un comportamiento atípico o erróneos para posteriormente ejecutar dos tareas necesarias: llenado de datos faltantes y limpieza de datos.

En la Figura 2.16 se muestra el comportamiento de la potencia activa durante un mes completo de la empresa Abrodesivos mientras que la Figura 2.17 presenta el comportamiento de un día específico.



Figura 2.16. Curva de potencia mensual Abrodesivos.

En la Figura 2.16 se aprecia que al incluir todos los datos disponibles en un mes el comportamiento de la curva es periódica, posee máximos y mínimos que se encuentran muy cerca entre sí, pero en algunos instantes se alejan del comportamiento normal por lo que podría ser tratada mediante series de tiempo. Además, al tomar una densidad de datos muy grande no es posible apreciar el comportamiento a detalle de la curva mensual de carga.

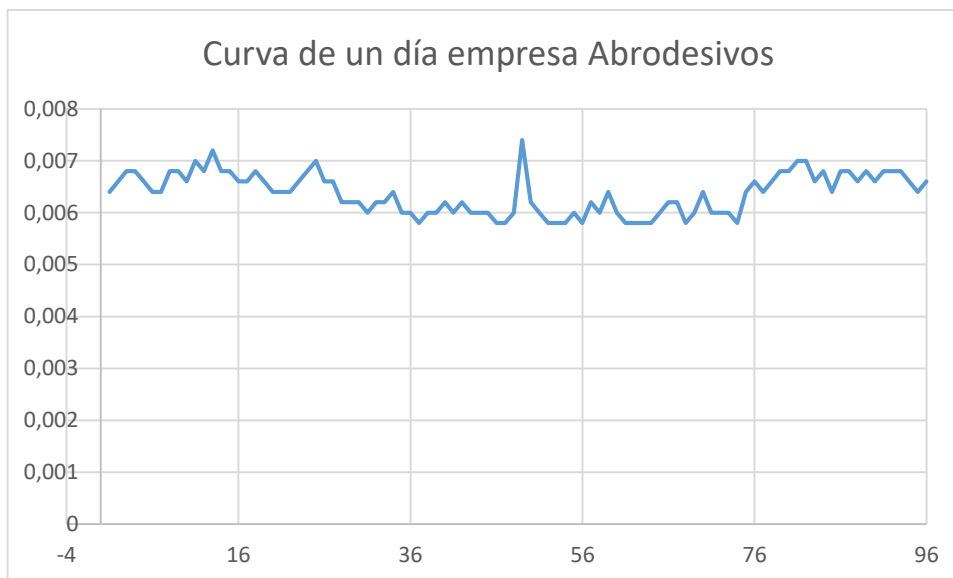


Figura 2.17. Curva de potencia diaria Abrodesivos.

En la Figura 2.17 se puede apreciar a detalle los cambios bruscos de la demanda, así como los máximos y mínimos que a diferencia de la Figura 2.16 no se podía observar, por lo que la curva diaria es propicia para hallar valores erróneos o atípicos.

Para el análisis de datos corruptos se emplea la Ecuación 2.1 correspondiente a una serie de tiempo.

$$\{(t_i, y_i)\}_{i=1}^n \quad (2.1)$$

Donde:

y_i : es el valor por analizar en el tiempo t_i . [u]

Se dice que el dato es corrupto si se desvía de forma significativa de los patrones de la serie de tiempo, por lo que no deben ser considerados para el análisis final que reproduce la curva de demanda representativa, debido a que si se los incluyen en el análisis pueden producir sesgos innecesarios en el resultado general. Se pretende que el resultado final sea una curva representativa de carga equivalente en un periodo determinado de forma que se compruebe la efectividad del análisis propuesto.

2.1.2.1 Eliminación de ceros

El criterio para eliminar los ceros es que en un circuito operativo siempre se presenta una demanda mínima mayor a 0, para ello cada columna de la matriz de potencias se ordena ascendentemente para que las magnitudes con un valor de cero se ubiquen al inicio de la matriz como se presenta en la Figura 2.18.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	474	476	462	444	444	438	420	444	426	432	432	450
9	504	486	462	456	462	438	462	444	456	474	456	486
10	504	498	474	462	474	480	504	462	456	486	468	486
11	522	510	474	486	486	492	510	474	474	492	468	510
12	522	516	498	504	486	504	522	492	492	498	468	510
13	534	528	498	504	510	516	522	492	504	522	504	516
14	534	528	510	522	516	522	534	504	516	540	510	516
15	546	534	516	528	516	528	534	516	522	540	510	516

Figura 2.18. Matriz de potencias ordenadas

2.1.2.2 Prueba de normalidad

Para realizar la prueba de normalidad se emplea la función de MATLAB denominada SPTTEST a la cual se la preconfiguro con un nivel de confianza del 5%. El resultado de la función en mención es un valor entero entre -1 y 1 como se presenta en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Resultados de prueba de normalidad

Valor resultante	Descripción
0	El comportamiento de datos no es normal
1	El comportamiento de datos está por encima de lo normal
-1	El comportamiento de datos está por debajo de lo normal.
null	El comportamiento de datos es normal

Posterior a la prueba de normalidad se aplica el criterio de eliminación de extremos, lo que consiste en recortar un 5% de los datos de cada extremo de la matriz.

2.1.3 ESTIMACIÓN DE CURVAS REPRESENTATIVAS

2.1.3.1 Aplicación de técnicas de aprendizaje no supervisado

Los datos corregidos y filtrados son sometidos a una técnica de aprendizaje no supervisado, específicamente al algoritmo DBSCAN, el cual se aplica para la detección de datos atípicos. El principio básico que emplea el algoritmo es detectar un conjunto de puntos muy densos separados de conjuntos de puntos poco densos para descartarlos dejando los puntos asociados al ruido sin clasificar. El algoritmo DBSCAN es una función

propia de MATLAB y para ejecutarlo es necesario parametrizar la distancia (ϵ) y el número mínimo de puntos (MinPts).

Para seleccionar la distancia ϵ se considera la precisión de la medida, las lecturas de demanda, en este caso, están en kW con precisiones de 0.01 y 0.001, por lo que la distancia inicial es igual a la mitad de la precisión de medida con un incremento proporcional a la razón de 0.01 y 2, hasta un máximo de 5 incrementos, en el caso de no formar la cantidad de agrupamientos establecidos.

Para la selección de la cantidad de puntos se emplea la Ecuación 2.2.

$$MinPts = \left(\frac{ndatos}{d} \right) * sm * d_{estandar} * n \quad (2.2)$$

Donde:

Ndatos: Matriz de datos de potencia posterior al proceso de limpieza y filtrado. [u]

D: Número de días de un mes. [u]

Sm: Cantidad de semanas de un mes. [u]

d_{estandar}: Desviación estándar elegida para las mediciones. [u]

N: Porcentaje de datos considerando datos atípicos restantes. [u]

El número de datos proviene del proceso de limpieza de datos, se divide para 30 puesto que es el número de días de un mes, posteriormente se multiplica por 4 debido a que es el número de semanas del mes, luego se multiplica por 0.683 debido a que es el perfil elegido para los datos restantes, por último, se elige un porcentaje de datos del 90% para considerar posibles datos atípicos que no se han eliminado aún.

La ejecución de DBSCAN genera automáticamente clústeres acordes a la distribución de datos, tomando en cuenta que los datos poco densos o ruido no debe superar el 10%. El parámetro de entrada MinPts se mantiene constante, mientras que la distancia ϵ se varía desde la mitad de la precisión de la medición hasta un máximo de cinco pasos. Existe la posibilidad de que no se genere clústeres mediante la técnica DBSCAN, para ello se emplea una técnica alternativa de aprendizaje no supervisado denominada k-Means, por último, si no es posible generar clústeres por ninguna de las dos técnicas se decide generar un solo clúster que contenga todos los datos.

2.1.3.2 Cálculo de potencia horaria

En cada grupo horario se establece un máximo de cuatro clústeres de los cuales se calcula la mediana como valor representativo de cada grupo, posteriormente se asocia la longitud del grupo sobre la cantidad total de datos para encontrar el peso representativo. La

potencia horaria es el producto entre magnitud representativa por grupo y el peso representativo por grupo. En la Tabla 2.4 se presenta a detalle el cálculo de la potencia horaria.

Tabla 2.4. Cálculo de potencia horaria

#	Longitud de datos	Peso del grupo	Potencia representativa (mediana del clúster)	Ponderación de potencia por clúster
Clúster 1	$g1$	$pg1 = \frac{g1}{G}$	$md1$	$pg1 * md1$
Clúster 2	$g2$	$pg2 = \frac{g2}{G}$	$md2$	$pg2 * md2$
Clúster 3	$g3$	$pg3 = \frac{g3}{G}$	$md3$	$pg3 * md3$
Clúster 4	$g4$	$pg4 = \frac{g4}{G}$	$md4$	$pg4 * md4$
Total, de clústeres	$\sum_{i=1}^4 g(i)$			

La Tabla 2.4 describe la potencia a cualquier hora del día, lo que se resume en la Ecuación 2.3.

$$P_j = \sum_i^4 pg_i * md_i \quad (2.3)$$

Donde:

j : Hora del día [1-24].

En los casos en donde la matriz de datos presenta un comportamiento normal el valor representativo corresponde a la media aritmética.

2.1.4 CLASIFICACIÓN DE CLIENTES ESPECIALES

La información disponible en la base de datos general revela que se tiene dos grandes grupos de consumidores correspondiente a 588 empresas industriales y 750 empresas comerciales. Para obtener las curvas de demanda representativa a partir de las curvas diarias de carga se aplica un proceso de clasificación. Para los usuarios industriales la clasificación será con base en la actividad mercantil que realice cada empresa, apoyada por el Código CIIU que establece la Clasificación Nacional de Actividades Económicas. Por otra parte, para los clientes comerciales se emplea el método desarrollado por T. Dalenius

y J. L. Hodges, a fin de estratificarlos por rangos o intervalos considerando como característica principal la demanda promedio anual de cada empresa.

2.1.4.1 Clasificación de Clientes Comerciales

2.1.4.1.1 Análisis exploratorio de datos

Con la información de clientes especiales facilitada por el Sistema de Medición Comercial de la Empresa Eléctrica Quito y conjuntamente con la información obtenida por el sistema de información geográfica ArcGIS, se realiza una primera clasificación a los clientes comerciales de acuerdo a la categoría tarifaria y nivel de tensión. Se obtuvo dos tarifas: comercial en baja tensión y comercial en media tensión.

A partir de la base de datos del consumo de energía mensual del año 2018 de los clientes comerciales que se especifica en el ANEXO C, se considera para el análisis, la variable de consumo de energía promedio anual de cada cliente. Con esta variable se realiza un análisis exploratorio de datos mediante el cual se descartaron los clientes con consumos de energía menores a 100 [kWh] por no ser representativos y los clientes con consumos de energía mayores a 180000 [kWh] debido a que la cantidad de clientes es poco relevante y a la alta desviación estándar que generan. En el ANEXO D se detallan las empresas que fueron excluidas debido a las condiciones anteriormente descritas.

Realizando todo el proceso de validación de datos, la base de datos para el presente estudio quedó establecida para 373 clientes comerciales.

Con la información final se realiza un análisis exploratorio para determinar cómo está distribuida la información, la Tabla 2.5 muestra los resultados.

Tabla 2.5 Análisis descriptivo

Media	29769,99323
Error típico	1434,399778
Mediana	20596,74217
Desviación estándar	27702,86114
Varianza de la muestra	767448515,3
Curtosis	6,521299496
Coficiente de asimetría	2,294574307
Rango	172797,3033
Mínimo	440,1666667
Máximo	173237,47
Suma	11104207,47
Cuenta	373
Coficiente de variación	0,930563233

2.1.4.1.2 Definición de los estratos

Para determinar los límites de cada estrato, se aplicó la regla de Dalenius y Hodges. La Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) propone que el número de estratos de consumo de energía para llevar un análisis de investigación se encuentre entre 5 como mínimo y como máximo 10 estratos [18], los resultados se muestran en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6. Resultados del coeficiente de variación para los distintos números de estratos

#	5 Estratos		6 Estratos		7 Estratos		8 Estratos		9 Estratos		10 Estratos	
1	0	1426 4	0	1196 0	0	1031 4	0	9080	0	8120	0	7352
2	1426 5	2463 2	1196 1	2060 0	1031 5	1772 0	9081	1556 0	8121	1580 0	7353	1426 3
3	2463 3	4536 7	2060 1	3212 0	1772 1	2759 4	1556 1	2204 0	1580 1	1964 0	1426 4	1771 9
4	4536 8	7647 1	3212 1	5227 9	2759 5	3993 7	2204 1	3284 0	1964 1	2732 0	1772 0	2290 3
5	7647 2	>	5228 0	8107 9	3993 8	5721 6	3284 1	4579 9	2732 1	3692 0	2290 4	3154 3
6			8108 0	>	5721 7	8437 0	4580 0	6091 9	3692 1	4843 9	3154 4	4018 3
7					8437 1	>	6092 0	8899 9	4844 0	6380 0	4018 4	5227 9
8							8899 9	>	6380 1	9067 9	5228 0	6783 1
9									>		6783 2	9029 4
10											9029 4	>
C.V.	0,22		0,19		0,16		0,14		0,10		0,14	

Para determinar el número de estratos óptimos se calcula el coeficiente de variación para cada grupo de estratos, donde se puede observar que el coeficiente de variación desde el grupo de 6 estratos en adelante son adecuados usar. Se establece usar 6 estratos dado que se asemejan al comportamiento de consumos de los clientes comerciales. [30]

En la Tabla 2.7 se muestra el rango del consumo promedio anual por estratos de los clientes comerciales.

Tabla 2.7. Rangos de consumo

Estratos	Rangos de consumo [kWh]	
1	0	11960
2	11961	20600
3	20601	32120
4	32121	52279
5	52280	81079
6	81080	MAYOR

2.1.4.1.3 Selección de muestreo aleatorio estratificado para clientes comerciales

Inicialmente se calcula el tamaño total de la muestra para poblaciones finitas, considerando un nivel de confianza y error de estimación adecuados, se aplica la Ecuación 1.8 y se obtiene el siguiente resultado:

$$n = \frac{(1,96)^2 (373)(0,5)(0,5)}{(0,5)(0,5)(1,96)^2 + (373-1)(0,05)^2} = 189 \quad (2.4)$$

Una vez obtenida la muestra se aplica uno de los métodos de muestreo aleatorio estratificado, de acuerdo a los resultados obtenidos al trabajar con 6 estratos, se escogió el método de afijación proporcional. Este método permite determinar el número de muestras para cada estrato a través de la Ecuación 1.9. La Tabla 2.8 muestra el número de muestras obtenidas para cada estrato.

Tabla 2.8. Número de muestras para cada estrato

Número de estrato	Nh	Número de muestras
1	72	37
2	115	58
3	75	38
4	57	29
5	32	16
6	22	11

2.1.4.2 CLASIFICACIÓN DE CLIENTES INDUSTRIALES

2.1.4.2.1 Descripción de la población inicial de clientes industriales

Con la ayuda de una base de datos de los grandes clientes proporcionada por el personal de la Empresa Eléctrica Quito y en conjunto con la información recopilada por medio del sistema de información geográfica ArcGIS, se consigue clasificar a los clientes industriales del sistema de medición comercial (SMC) a través de categorías tarifarias. Las tarifas que establece la EEQ para los clientes industriales se definen con base en el Pliego Tarifario para el Servicio Público de Energía Eléctrica, expuesto por el ARC en la Categoría Tarifaria General para niveles de baja, media y alta tensión. El ANEXO E describe la base de datos de los clientes industriales en estudio. La Tabla 2.9 muestra las tarifas aplicadas a los clientes industriales en estudio.

Tabla 2.9. Número de clientes industriales por región y categoría tarifaria

Tarifa Industrial	Costa Industrial	Sierra Industrial	Oriente Industrial	# Clientes por tarifa
Baja tensión con demanda horaria	1	319	4	324
Media tensión con demanda horaria dif.	0	253	7	260
Alta tensión con demanda horaria dif.	0	4	0	4
			Total	588

Se determina que las tarifas predominantes para los clientes industriales en estudio se establecen entre la tarifa de baja tensión con demanda horaria correspondiente a 324 clientes y la tarifa de media tensión con demanda horaria diferenciada correspondiente a 260 clientes. Por otro lado, se tiene que los clientes con tarifa en alta tensión con demanda horaria diferenciada representan una muestra poco relevante al registrarse únicamente 4 clientes en dicha tarifa. Por tanto, para el estudio se establece que los clientes industriales a ser considerados sean únicamente los de media y baja tensión.

De los clientes industriales de media y baja tensión se encuentra que algunas empresas cuentan con registros de demanda insuficientes para establecer un acertado análisis y posterior obtención de curvas diarias de demanda conforme el comportamiento de carga eléctrica de cada cliente. El planteamiento de curvas de demanda diaria confiables representa un factor fundamental para el desarrollo de la metodología; por lo cual manejar un apropiado número de datos de los registros de demanda en cada mes del año de estudio de cada cliente resulta imprescindible. En consecuencia, es necesario apartar del estudio a las empresas que no cuentan con registros de demanda del año completo. La Tabla 2.10 detalla el número de clientes industriales excluidos por los motivos expuestos anteriormente.

Tabla 2.10. Número de clientes industriales con tarifa de alta tensión, sin registros de demanda y con datos insuficientes de demanda

Descripción	# de clientes industriales excluidos
Cientes con tarifa de alta tensión	4
Cientes sin registros de demanda	7
Cientes con registros de demanda insuficientes	27
Total	38

Una vez ubicadas las empresas sin contribución al estudio de la carga industrial, se cuenta finalmente con una población de 550 clientes industriales.

2.1.4.2.2 Clasificación de Clientes Industriales por Actividad Económica basados en el CIU

Mediante plataformas que buscan conectar a las empresas con sus clientes como “Ekos” y “ecuadornegocios”, es posible la obtención de información de empresas, organizaciones, negocios e instituciones del Ecuador. La información que manejan dichas plataformas permite conocer los datos de numerosas empresas de su directorio, como el registro tributario, la ubicación y el sector económico principal al que pertenecen. La Tabla 2.11 muestra el número de empresas encontradas en cada sección, luego de definir y clasificar a cada cliente industrial acorde a la actividad económica principal que desarrolla.

La información del sector económico de cada una de las empresas industriales con sus respectivas secciones, divisiones, grupos, clases y subclases establecidas en la CIU se describe a detalle en el ANEXO F.

Tabla 2.11. Número de clientes industriales de acuerdo con su clasificación por actividad económica denotada por la CIU

Sección	Número de clientes	Porcentaje
Sección A	68	12,36 %
Sección B	3	0,55 %
Sección C	315	57,27 %
Sección D	1	0,18 %
Sección E	11	2,00 %
Sección F	6	1,09 %
Sección G	82	14,91 %
Sección H	7	1,27 %
Sección I	3	0,55 %
Sección J	15	2,73 %
Sección K	2	0,36 %
Sección L	17	3,09 %
Sección M	11	2,00 %
Sección N	4	0,73 %
Sección O	1	0,18 %
Sección R	1	0,18 %
Sección S	3	0,55 %
Total	550	100 %

Los clientes industriales de telemedición en estudio se encuentran representados por 17 de las secciones establecidas dentro de la CIU, siendo la sección de Industrias

Manufactureras (sección C) el sector predominante con 315 clientes, que representa el 57.27 % del total de clientes industriales. Próximo a este sector se encuentra las secciones de Comercio al por mayor y menor, Reparación de vehículos, automotores y motocicletas (Sección G) con un 14,91 % y la sección de Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Pesca (Sección A) con un 12,36 % del total de clientes industriales, conformando por tanto dos sectores con un considerable número de clientes.

Por contraste, los sectores económicos de las secciones B, D, E, F, H, I, J, K, L, M, N, O, Q, R, S disponen individualmente de un carente número de clientes por sección; pero en si representan el 16.00% del total clientes industriales.

2.1.4.2.3 Segregación de los clientes industriales en grandes sectores económicos

La Tabla 2.12 muestra el número de clientes industriales que se tienen en cada grande sector, luego de agrupar conforme la teoría del punto 1.3.3.2.2. Aplicando la técnica de muestreo aleatorio estratificado se obtiene el tamaño muestral con el que se trabajará en cada grande sector económico, para obtener las curvas de demanda diaria representativas de cada grupo característico.

Tabla 2.12. Clasificación de los clientes industriales por Grandes Sectores

Grandes sectores	Secciones	Población inicial	Tamaño muestral
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	A	68	55
Explotación de minas y canteras	B	3	3
Industrias Manufactureras	C	315	241
Comercio	G	82	63
Construcción	F	6	6
Servicios	D, E, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S	76	60
	Total	550	428

2.1.4.2.4 Segregación de clientes industriales del sector de Industrias Manufactureras

La Tabla 2.13 muestra el número de clientes industriales del grande sector de Industrias Manufactureras clasificados de acuerdo a la teoría del punto 1.3.3.2.3. Aplicando la técnica de muestreo aleatorio estratificado se obtiene el tamaño muestral con el que se trabaja en cada grupo (MF1, MF2, MF3, MF4, MF5), para obtener las curvas de demanda diaria representativas de cada grupo característico.

Tabla 2.13. Clasificación del sector de Industrias manufactureras en grupos

Sector	Grupo	Población inicial	Tamaño Muestral
Industrias Manufactureras	MF1	68	55
	MF2	129	88
	MF3	43	37
	MF4	5	5
	MF5	70	56
	Total	315	241

Considerando la ínfima población inicial que existe en los grandes sectores económicos de Explotación de Minas y Canteras, Construcción y el grupo MF4 de Industrias Manufactureras, se determina que dichos sectores no pueden ser considerados para la obtención de las curvas representativas de cada grupo, dado que su bajo tamaño muestral implica una gran imprecisión en la obtención de los resultados.

2.1.5 PROCESO DE CLUSTERIZACIÓN CON TÉCNICA AVANZADA

Una vez obtenidos los diferentes estratos de los clientes comerciales e industriales, se procede a la aplicación de técnicas de aprendizaje no supervisado con el fin de clusterizar las curvas de demanda diaria con base en los consumos de energía afines entre sí. Se espera obtener una curva representativa de carga de cada grupo de empresas estratificadas en el proceso previo, misma que describe el comportamiento de un grupo específico de grandes consumidores, por lo será de utilidad para el cálculo de la demanda máxima unitaria (DMU).

El algoritmo DBSCAN es útil para hallar posibles clústeres dentro de un conjunto de datos, agrupando aquellos puntos que son muy densos separados de conjuntos de datos menos densos, si se considera que las curvas diarias contienen datos de gran calidad se espera que no presente ruido o a su vez que se presente un porcentaje muy bajo del mismo, de forma que no existe margen de error para el objetivo deseado. DBSCAN es una función propia de MATLAB, para ejecutar el algoritmo es necesario parametrizar la distancia (ϵ) y el número mínimo de puntos (MinPts).

Para seleccionar la distancia ϵ se considera la herramienta de estimación óptima denominada clusterDBSCAN.estimateEpsilon, para la ejecución es necesario parametrizar los puntos máximos y mínimos bajo el criterio 2P, siendo P el número de características del conjunto de datos de entrada. Para grupos grandes (mayor a 100 empresas) la magnitud del mínimo número de puntos es de 6 con un incremento unitario hasta un máximo de 11. Para grupos medianos (entre 15 y 100 empresas) la magnitud del mínimo

número de puntos es de 15 con un incremento unitario hasta un máximo de 20. Por último, para grupos pequeños (menor a 15 empresas) la magnitud del mínimo número de puntos es de 4 con un incremento unitario hasta un máximo de 9. Si existiera casos en donde el grupo es menor a 5 se creará un solo clúster.

El criterio para seleccionar el mínimo de puntos (MinPts) fue la observación del comportamiento de las curvas de demanda diaria obtenidas, puesto que existe algunas empresas que presentan un consumo por debajo de las demás por lo tanto se considera que el valor debe ser una constante de 2, es decir que en un grupo debe existir al menos dos curvas de demanda diaria.

Posterior al análisis de posibles grupos con DBSCAN se aplica la técnica de aprendizaje no supervisado Fuzzy C-Means la cual es función propia de MATLAB, para ejecutar el algoritmo es necesario proporcionar la matriz de curvas diarias de cada estrato y el número de clústeres, valor que proviene de la estimación del algoritmo DBSCAN anteriormente descrito.

Se aplica el algoritmo FCM debido a que en muchas ocasiones un dato puede estar muy cerca a varios clústeres, de tal forma que resulta difícil agruparlo en un solo grupo, para lo cual FCM emplea una partición difusa, con el fin de encontrar clústeres, con la particularidad que cada dato puede pertenecer a varios clústeres con un grado de pertenencia entre 0 y 1.

A diferencia de k-meas, FCM realiza una partición suave, en donde la suma de todos los datos de pertenencia de cualquier dato a todos los clústeres es igual a 1 como se describe en la Ecuación 2.5.

$$J = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{cl} u_{ij}^m \|x_i - c_j\|^2 \quad (2.5)$$

Donde:

J : Función por minimizar. [u]

u_{ij} : Grado de pertenencia de dato i y el clúster j . [u]

n : Número de datos. [u]

cl : Número de clústeres. [u]

m : Peso que determina el grado en el que cada miembro de un clúster afecta al resultado, en general $m = 2$. [u]

La minimización de la función es posible si se cumple con las expresiones siguientes:

$$c_j = \frac{\sum_{i=1}^n u_{ij}^m * x_i}{\sum_{i=1}^n u_{ij}^m} \quad (2.6)$$

$$u_{ij} = \left[\sum_k^{cl} \left(\frac{\|x_i - c_j\|}{\|x_i - c_k\|} \right)^{\frac{2}{m-1}} \right]^{-1} \quad (2.7)$$

$$u_{ij} = \left[\left(\frac{\|x_i - c_j\|}{\|x_i - c_1\|} \right)^{\frac{2}{m-1}} + \left(\frac{\|x_i - c_j\|}{\|x_i - c_2\|} \right)^{\frac{2}{m-1}} + \dots + \left(\frac{\|x_i - c_j\|}{\|x_i - c_{cl}\|} \right)^{\frac{2}{m-1}} \right]^{-1} \quad (2.8)$$

Donde:

$\|x_i - c_j\|$ es la distancia entre el dato i y el clúster j. [u]

$\|x_i - c_k\|$ es la distancia entre el dato i y el centro k [3]. [u]

En la Figura 2.19 se presenta el diagrama de flujo que describe a detalle el proceso de clusterización.

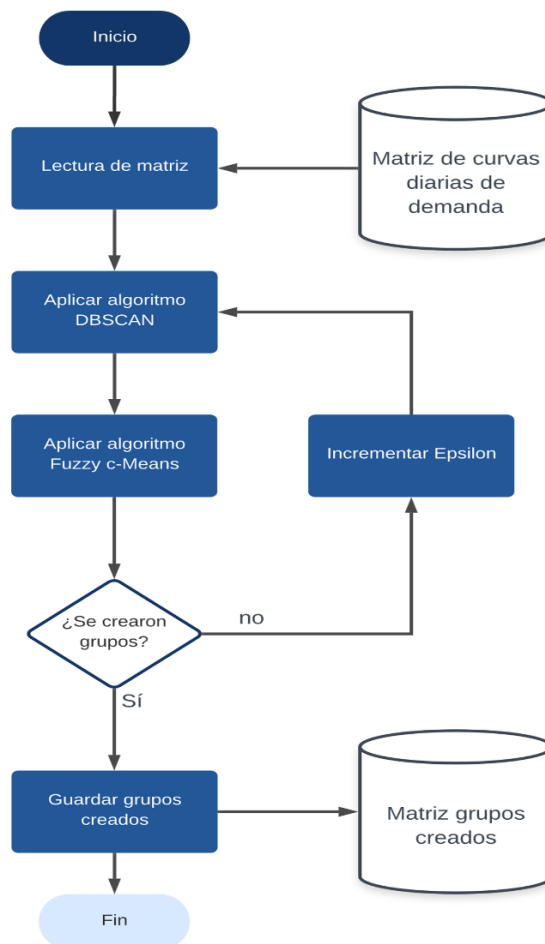


Figura 2.19. Proceso de clusterización de cada estrato

2.2 CÁLCULO DE LA DEMANDA MÁXIMA UNITARIA

La demanda máxima de un usuario se define por la Ecuación (2.9):

$$D_{max} = \frac{E}{Fc * T} \quad (2.9)$$

Donde:

D_{max} : Demanda máxima de un cliente. [kW]

E : Energía consumida. [kWh]

Fc : Factor de carga.

T : Período.

La Demanda Máxima Unitaria se define mediante la Ecuación (2.10).

$$DMU = \frac{D_{max}}{fp} \quad (2.10)$$

Donde:

DMU : Demanda Máxima Unitaria. [KVA]

fp : Factor de potencia.

El factor de potencia para clientes industriales y comerciales se establece en un valor de 0,9.

Lo que procede es el cálculo de la Demanda Máxima Unitaria Proyectada, pues para efectos de diseño se debe considerar el incremento en la demanda que se tendrá durante el período de vida útil de la instalación, para lo cual se emplea la Ecuación (2.11).

$$DMU_p = DMU * \left(1 + \frac{T_i}{100}\right)^n \quad (2.11)$$

Donde:

DMU_p : Demanda Máxima Unitaria Proyectada. [KVA]

T_i : Tasa de incremento anual.

n : Período en años.

3 RESULTADOS

En este capítulo se muestran y describen los resultados de las curvas de carga representativas obtenidas de cada grupo de clientes industriales y comerciales y sus subdivisiones.

3.1 CURVAS REPRESENTATIVAS DE DEMANDA POR ESTRATOS PARA CLIENTES COMERCIALES

Se presentan los resultados obtenidos mediante el algoritmo Fuzzy C-Means de las curvas representativas de demanda para los seis estratos en los que se ha clasificado a los clientes comerciales.

El ANEXO G muestra un resumen de los valores en por unidad de estas curvas, que más adelante servirán para el cálculo de la Demanda Máxima Unitaria de diferentes clientes comerciales.

3.1.1 CURVAS REPRESENTATIVAS DE DEMANDA - ESTRATO 1

En el estrato 1 se ubican los clientes comerciales cuyos consumos mensuales son menores a 11961 [kWh]. En este estrato se han obtenido 2 curvas representativas de demanda.

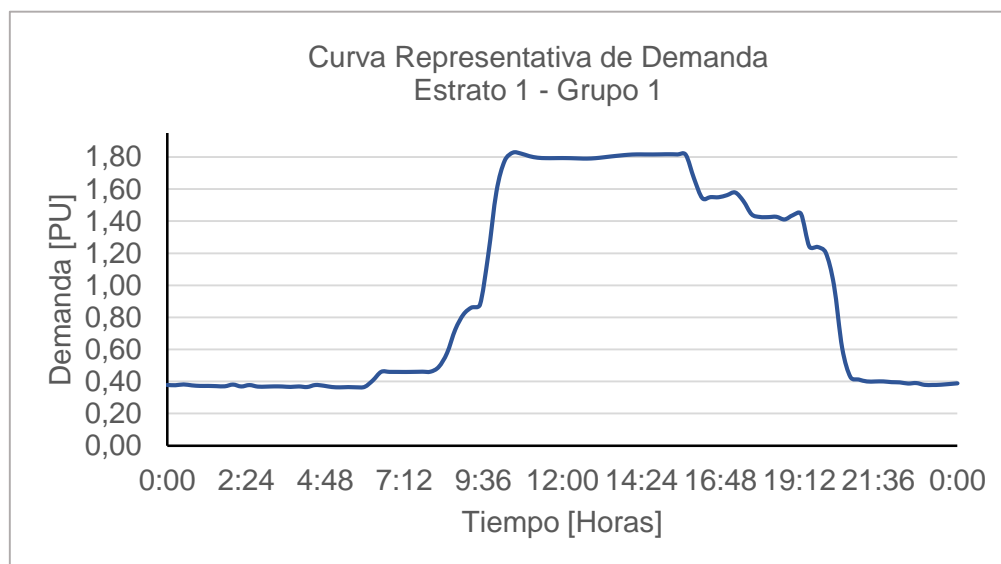


Figura 3.1. Curva Representativa de Demanda Estrato 1 - Grupo 1

La Figura 3.1 presenta la curva representativa de demanda del estrato 1 grupo 1 en valores en por unidad. En esta curva se puede observar que el pico de máxima demanda se produce a las 10:30 am., luego tiene un pequeño descenso a las 12:45 pm. y nuevamente se produce un pico de demanda a las 15:45 pm.

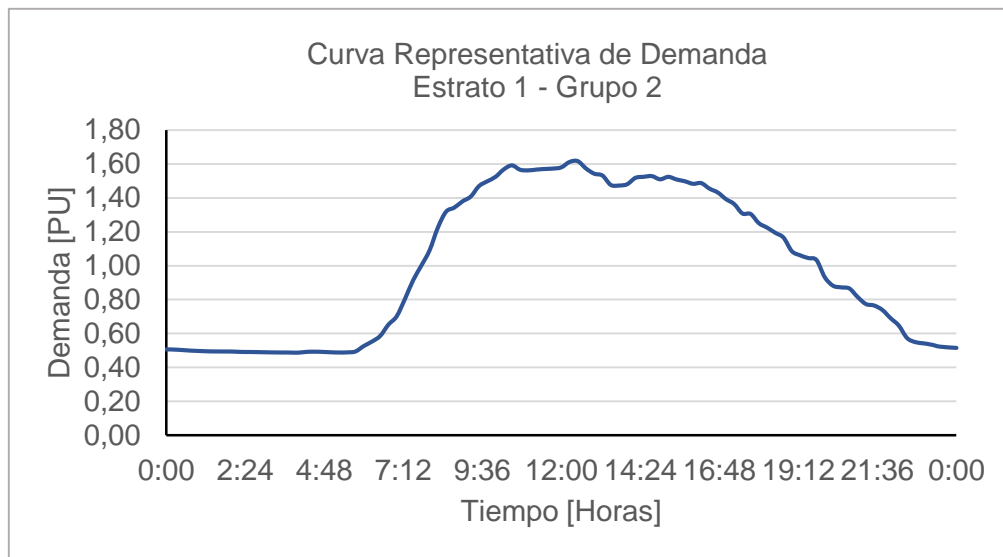


Figura 3.2. Curva representativa de demanda estrato 1 - grupo 2

La Figura 3.2 presenta la curva representativa de demanda del estrato 1 grupo 2 en valores en por unidad. Su demanda máxima se presenta a las 12:30 pm.

3.1.2 CURVAS REPRESENTATIVAS DE DEMANDA - ESTRATO 2

En el estrato 2 se ubican los clientes comerciales cuyos consumos mensuales están entre 11961 [kWh] y 20600 [kWh]. En este estrato se han formado 2 curvas representativas de demanda.

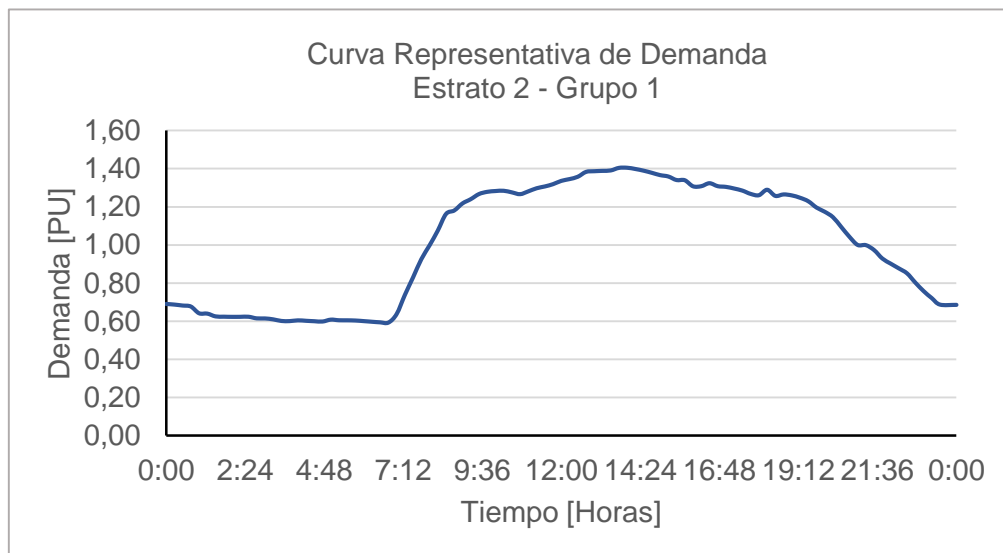


Figura 3.3. Curva representativa de demanda estrato 2 - grupo 1

La Figura 3.3 muestra la curva representativa de demanda del estrato 2 grupo 1 en valores en por unidad. En esta curva se puede observar que la mayor demanda se produce desde las 12:00 pm. hasta las 14:00 pm.

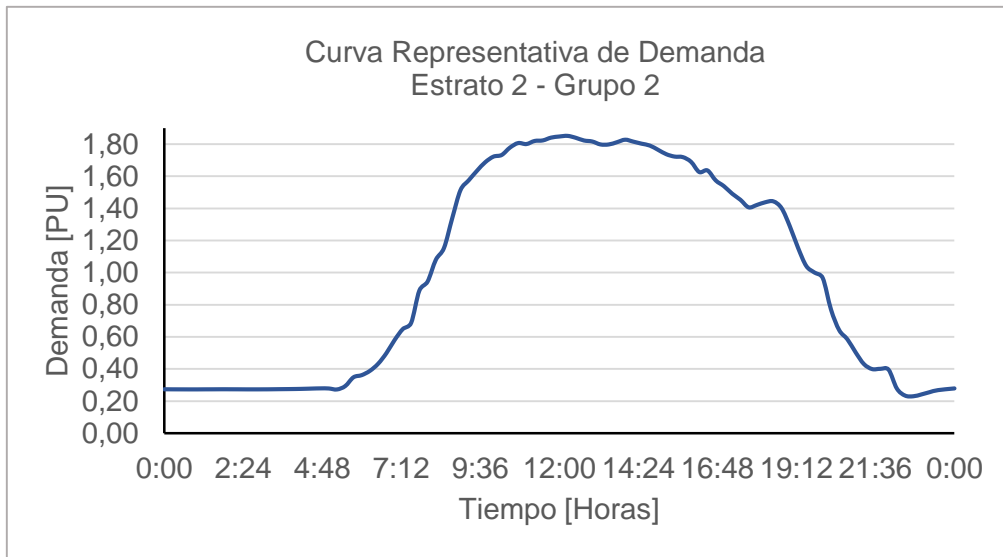


Figura 3.4. Curva representativa de demanda estrato 2 - grupo 2

La Figura 3.4 muestra la curva representativa de demanda del estrato 2 grupo 2 en valores en por unidad. En esta curva se puede observar que la mayor demanda se presenta entre las 10:45 am. hasta las 14:45 pm.

3.1.3 CURVAS REPRESENTATIVAS DE DEMANDA - ESTRATO 3

En el estrato 3 se ubican los clientes comerciales cuyos consumos mensuales están entre los rangos 20601 [kWh] y 32120 [kWh]. En este estrato se han formado 2 curvas representativas de demanda.

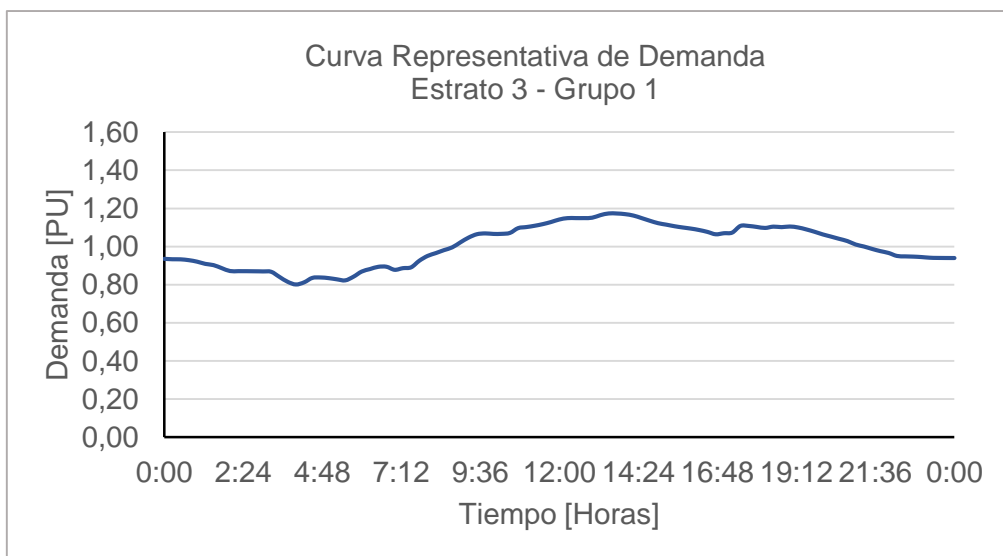


Figura 3.5. Curva representativa de demanda estrato 3 - grupo 1

La Figura 3.5 muestra la curva representativa de demanda del estrato 3 grupo 1 en valores en por unidad. Su máxima demanda se produce a las 13:30 pm.

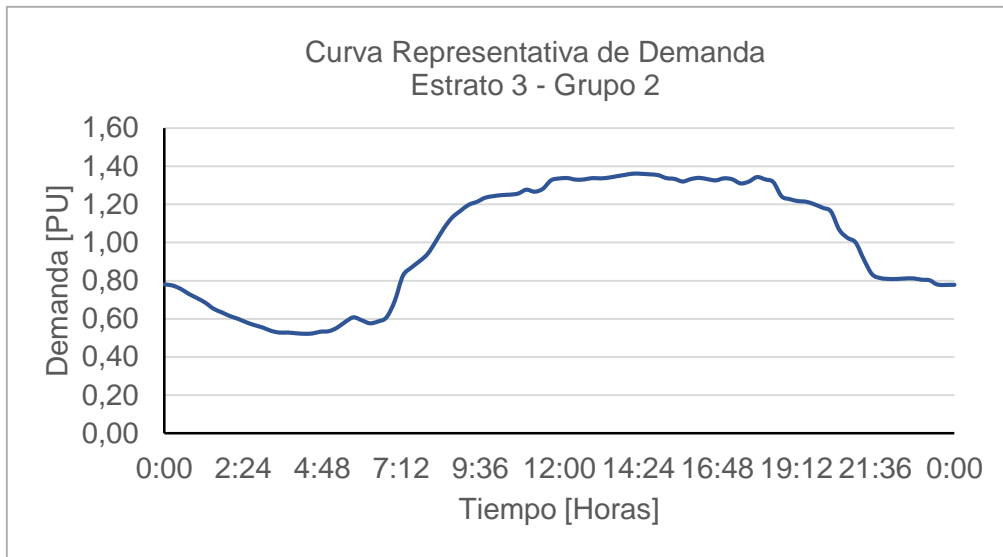


Figura 3.6. Curva Representativa de Demanda Estrato 3 - Grupo 2

La Figura 3.6 muestra la curva representativa de demanda del estrato 3 grupo 2 en valores en por unidad. Se puede observar que la mayor demanda se produce entre las 14:00 pm. y 15:00 pm.

3.1.4 CURVAS REPRESENTATIVAS DE DEMANDA - ESTRATO 4

En el estrato 4 se ubican los clientes comerciales cuyos consumos mensuales están entre los rangos 32121 [kWh] y 52279 [kWh]. En este estrato se han formado 2 curvas representativas de demanda.

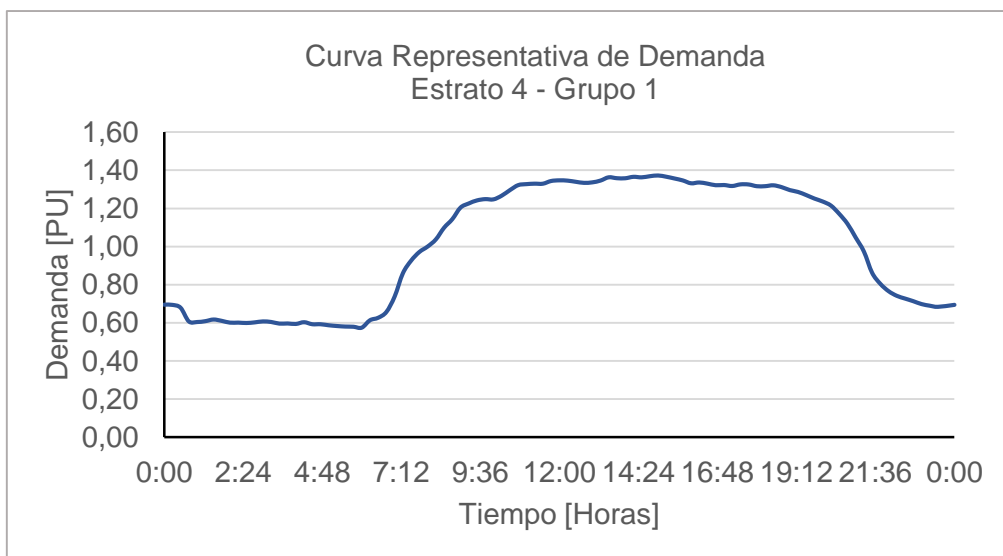


Figura 3.7. Curva representativa de demanda del estrato 4 - grupo 1

La Figura 3.7 muestra la curva representativa de demanda del estrato 4 grupo 1 en valores en por unidad. Su demanda máxima se produce a las 15:00 pm.

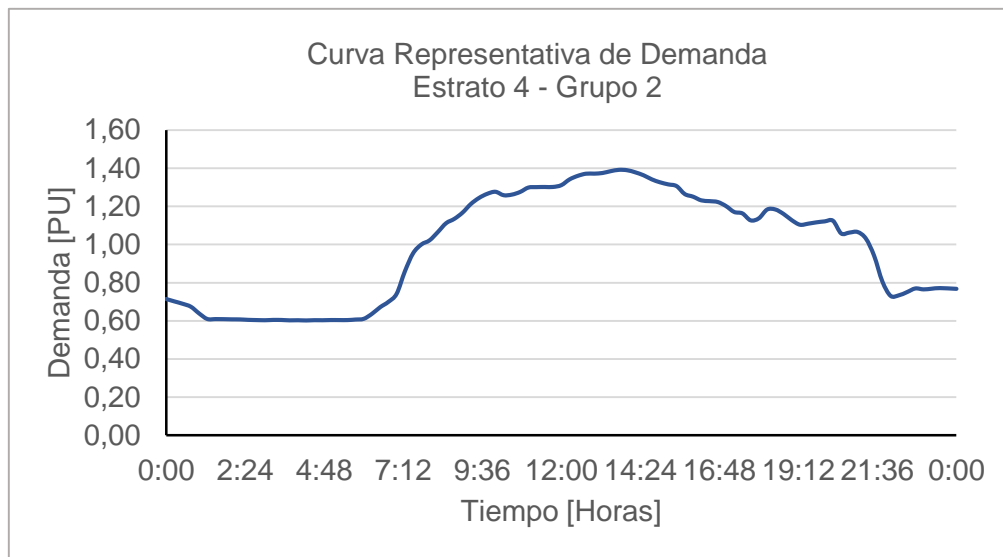


Figura 3.8. Curva representativa de demanda estrato 4 - grupo 2

La Figura 3.8 muestra la curva representativa de demanda del estrato 4 grupo 2 en valores en por unidad. Se puede observar que la mayor demanda se produce entre las 13:30 pm. y 14:30 pm.

3.1.5 CURVAS REPRESENTATIVAS DE DEMANDA - ESTRATO 5

En el estrato 5 se ubican los clientes comerciales cuyos consumos mensuales están entre el rango 52280 [kWh] y 81079 [kWh]. En este estrato se han formado 2 curvas representativas de demanda.

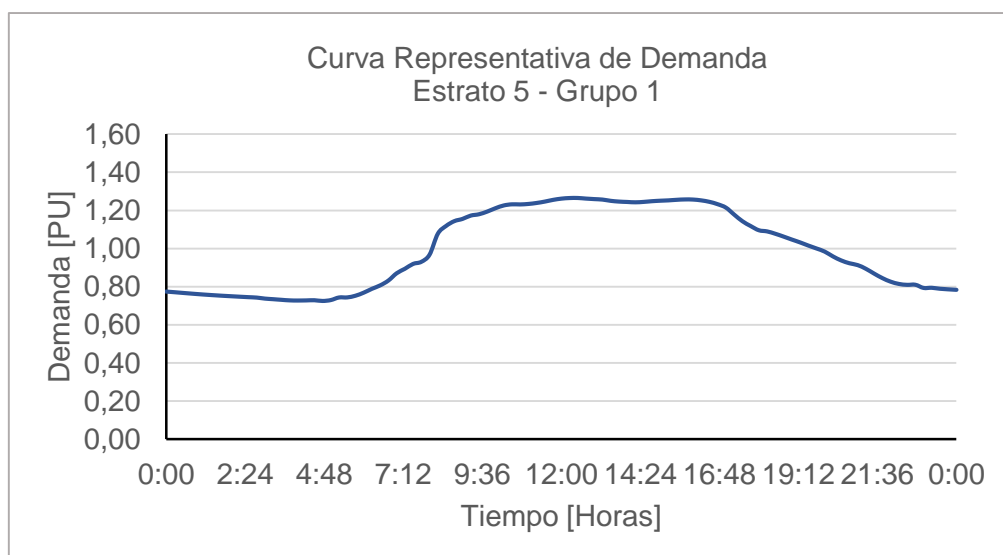


Figura 3.9. Curva representativa de demanda estrato 5 - grupo 1

La Figura 3.9 muestra la curva representativa de demanda del estrato 5 grupo 1 en valores en por unidad. Su máxima demanda se produce a las 12:30 pm.

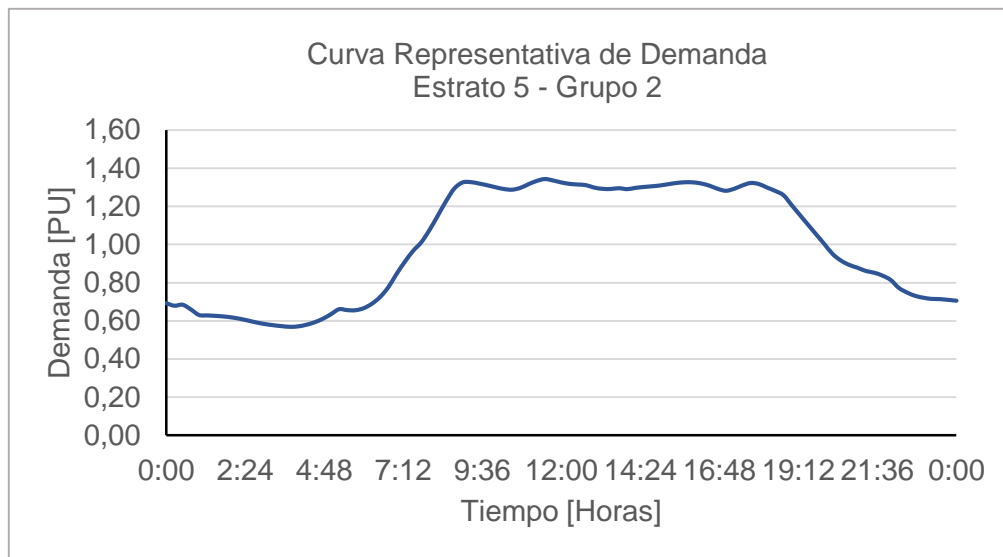


Figura 3.10. Curva representativa de demanda estrato 5 - grupo 2

La Figura 3.10 muestra la curva representativa de demanda del estrato 5 grupo 2 en valores en por unidad. Los picos de mayor demanda se producen a las 9:15 am., 11:30 am., 16:00 pm. y 17:45 pm.

3.1.6 CURVAS REPRESENTATIVAS DE DEMANDA - ESTRATO 6

En el estrato 6 se ubican los clientes comerciales cuyos consumos mensuales son superiores a 81080 [kWh]. En este estrato se han formado 2 curvas representativas de demanda.

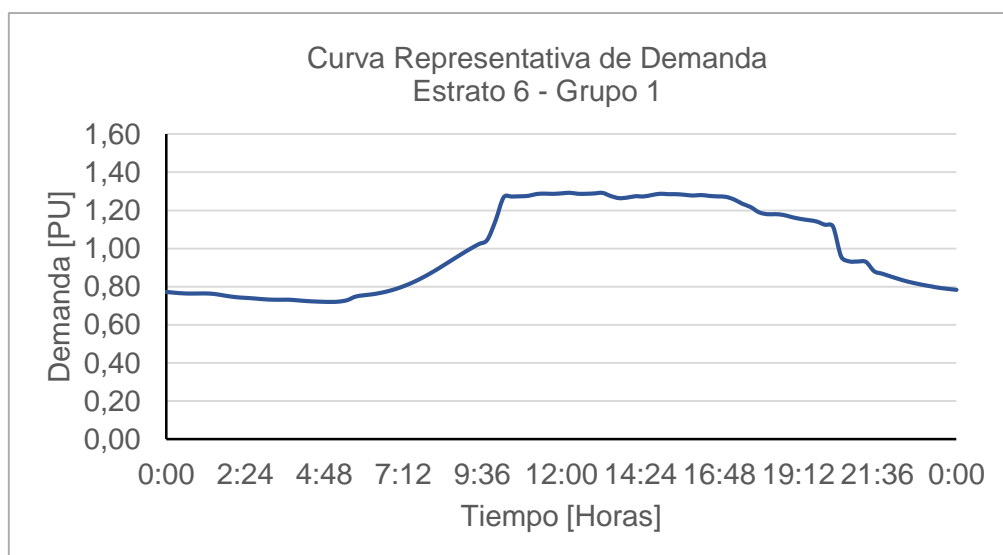


Figura 3.11. Curva representativa de demanda estrato 6 - grupo 1

La Figura 3.11 muestra la curva representativa de demanda del estrato 6 grupo 1 en valores en por unidad. Su máxima demanda se produce a las 12:15 pm.

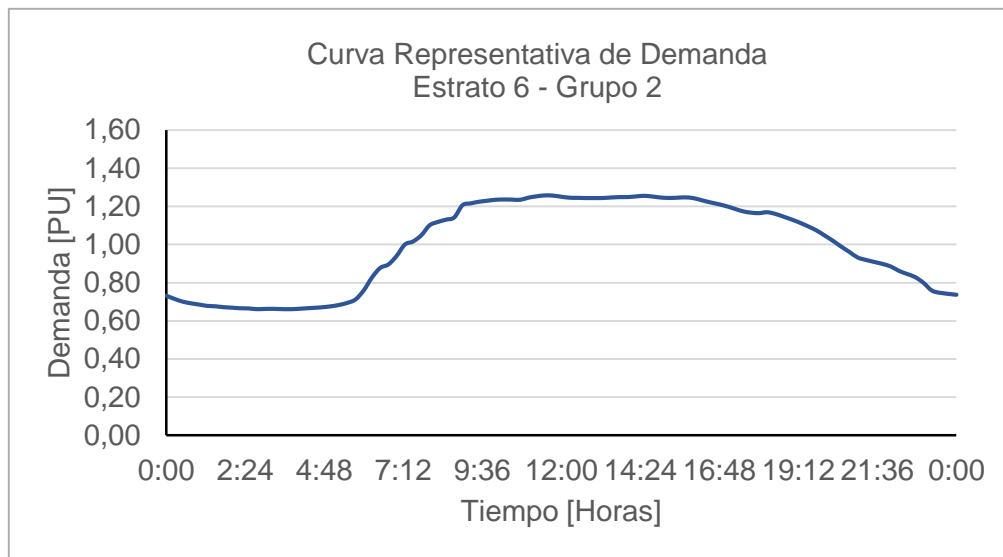


Figura 3.12. Curva representativa de demanda estrato 6 - grupo 2

La Figura 3.12 muestra la curva representativa de demanda del estrato 6 grupo 2 en valores en por unidad. Se puede observar que la mayor demanda se produce desde las 9:30 am. hasta las 16:00 pm.

3.2 CURVAS REPRESENTATIVAS DE DEMANDA POR SECTORES PARA CLIENTES INDUSTRIALES

Se presentan los resultados obtenidos mediante el algoritmo Fuzzy C-Means de las curvas representativas de demanda para los siete grandes sectores económicos en los que se ha clasificado a los clientes industriales.

El ANEXO H muestra un resumen de los valores en por unidad de estas curvas, que más adelante servirán para el cálculo de la Demanda Máxima Unitaria de diferentes clientes industriales.

3.2.1 CURVAS REPRESENTATIVAS DE DEMANDA - SECTOR AGRICULTURA, GANADERÍA, SILVICULTURA Y PESCA

Para el sector “Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca” se han obtenido dos tipos de curvas representativas de demanda, lo que implica que el algoritmo Fuzzy C-Means ha dividido a las empresas del Sector en dos grupos, Grupo 1 y Grupo 2.

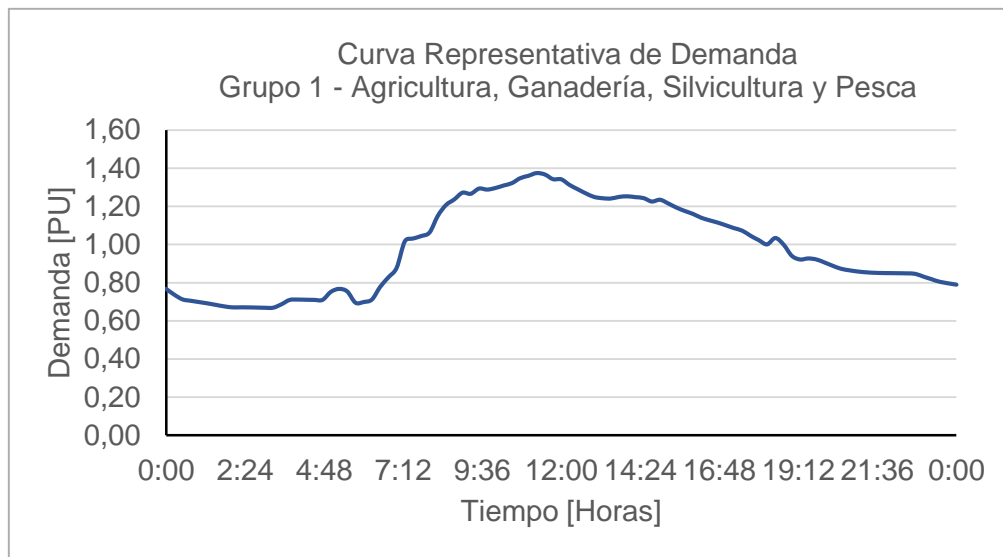


Figura 3.13. Curva Representativa de Demanda del Sector Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Pesca – Grupo 1

La Figura 3.13 muestra la curva representativa de demanda del Grupo 1 en valores por unidad. Esta curva de demanda representa a un grupo de empresas cuyos consumos diarios van desde los 25 [kWh] hasta los 9000 [kWh]. Su demanda máxima se presenta a las 11:15 am.

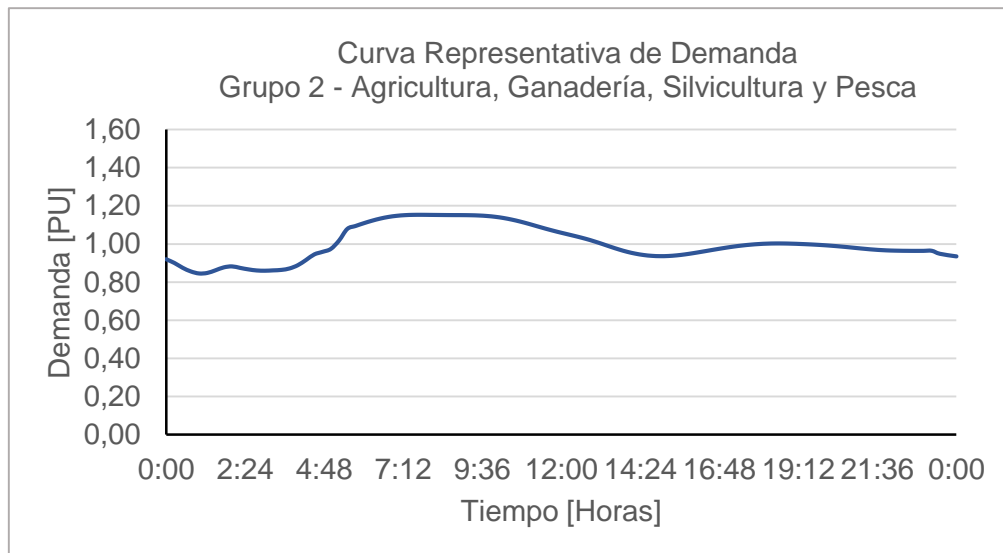


Figura 3.14. Curva Representativa de Demanda del Sector Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Pesca – Grupo 2

La Figura 3.14 muestra la curva representativa de demanda del Grupo 2 en valores por unidad. Esta curva de demanda representa a un grupo de empresas cuyos consumos diarios van desde los 9000 [kWh] hasta los 22000 [kWh]. Su demanda máxima se presenta a las 07:45 am.

3.2.2 CURVAS REPRESENTATIVAS DE DEMANDA - SECTOR COMERCIO

Para el sector “Comercio” se han obtenido dos tipos de curvas representativas de demanda, lo que implica que el algoritmo Fuzzy C-Means ha dividido a las empresas del Sector en dos grupos, Grupo 1 y Grupo 2.

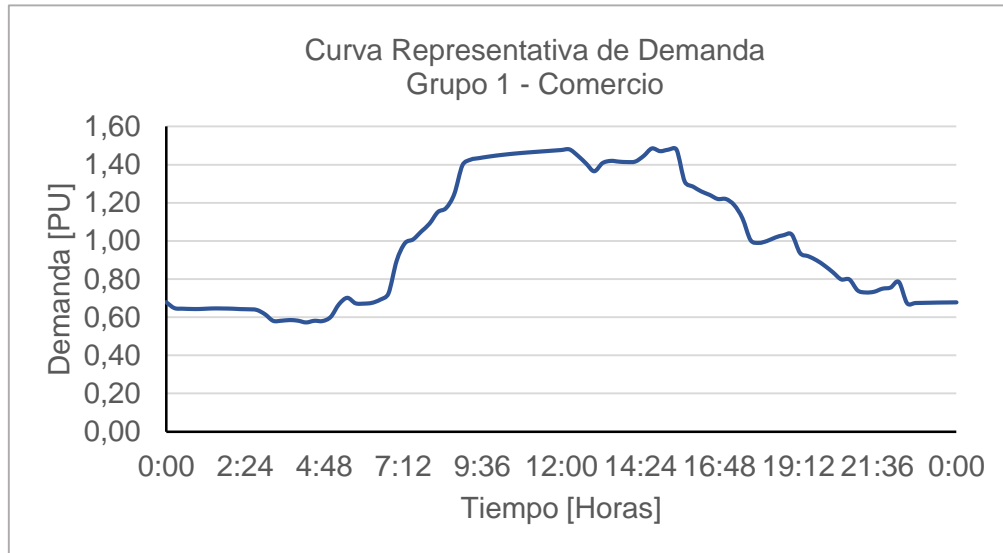


Figura 3.15. Curva Representativa de Demanda del Sector Comercio – Grupo 1

La Figura 3.15 muestra la curva representativa de demanda del Grupo 1 en valores por unidad. Esta curva de demanda representa a un grupo de empresas cuyos consumos diarios van desde los 50 [kWh] hasta los 5000 [kWh]. Su demanda máxima se presenta a las 02:45 pm.

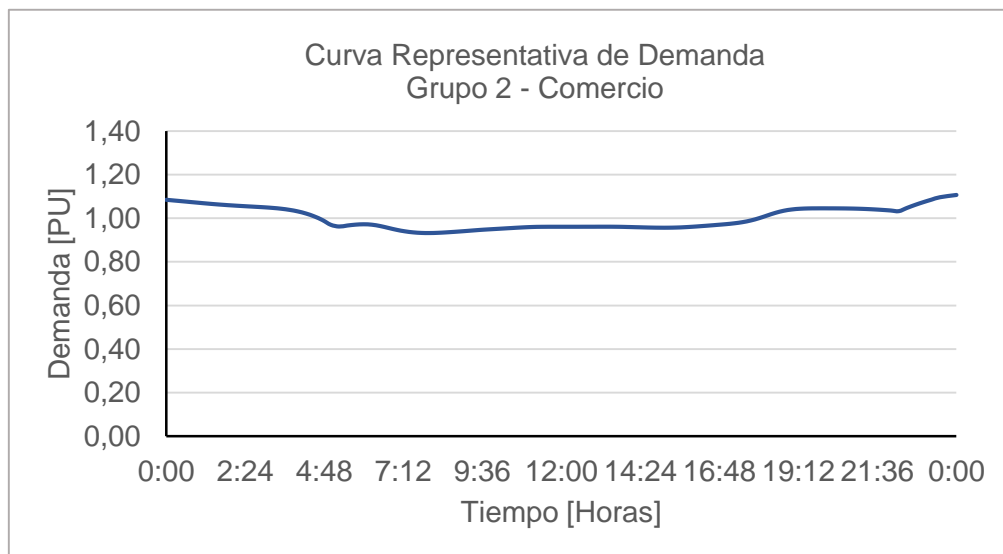


Figura 3.16. Curva Representativa de Demanda del Sector Comercio – Grupo 2

La Figura 3.16 muestra la curva representativa de demanda del Grupo 2 en valores por unidad. Esta curva de demanda representa a un grupo de empresas cuyos consumos diarios van desde los 5000 [kWh] hasta los 13000 [kWh]. Su demanda máxima se presenta a las 12:00 am.

3.2.3 CURVAS REPRESENTATIVAS DE DEMANDA - SECTOR SERVICIOS

Para el sector "Servicios" se han obtenido dos tipos de curvas representativas de demanda, lo que implica que el algoritmo Fuzzy C-Means ha dividido a las empresas del Sector en dos grupos, Grupo 1 y Grupo 2.

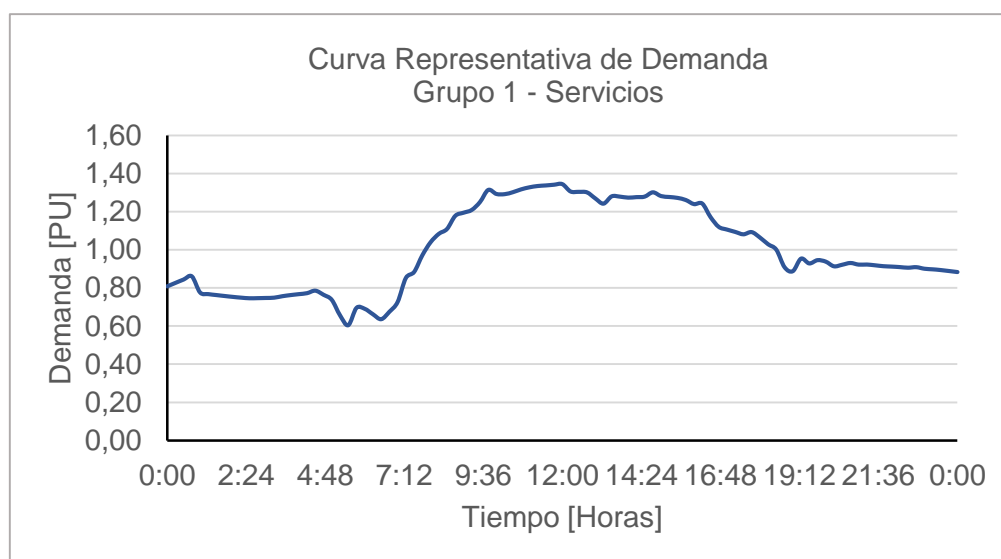


Figura 3.17. Curva Representativa de Demanda del Sector Servicios – Grupo 1

La Figura 3.17 muestra la curva representativa de demanda del Grupo 1 en valores por unidad. Esta curva de demanda representa a un grupo de empresas cuyos consumos diarios van desde los 70 [kWh] hasta los 1400 [kWh]. Su demanda máxima se presenta a las 12:00 pm.

La Figura 3.18 muestra la curva representativa de demanda del Grupo 2 en valores por unidad. Esta curva de demanda representa a un grupo de empresas cuyos consumos diarios van desde los 1400 [kWh] hasta los 4000 [kWh]. Su demanda máxima se presenta a las 11:00 am.

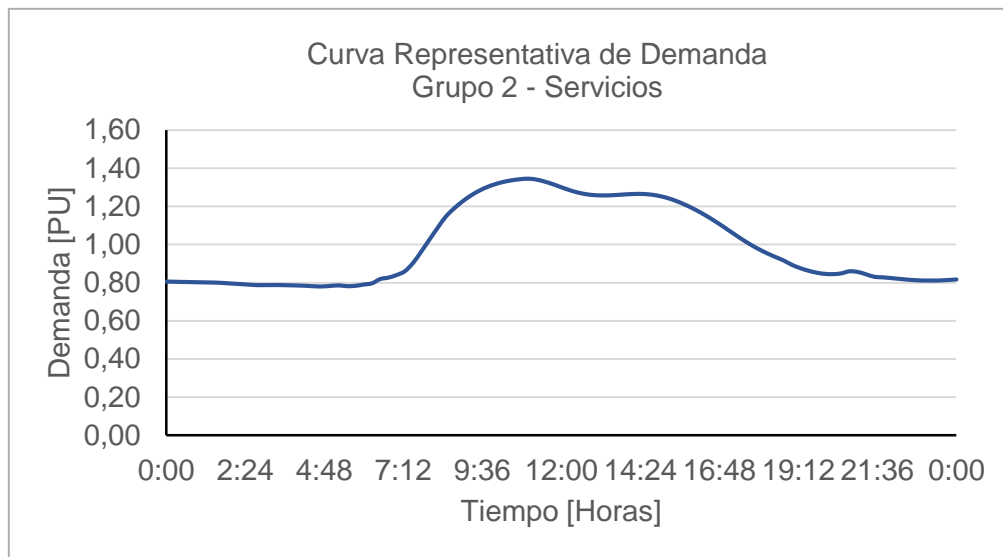


Figura 3.18. Curva Representativa de Demanda del Sector Servicios – Grupo 2

3.2.4 CURVAS REPRESENTATIVAS DE DEMANDA - SECTOR INDUSTRIAS MANUFACTURERAS - GRUPO MF1

Para el sector “Industrias Manufactureras – Grupo MF1” se han obtenido dos tipos de curvas representativas de demanda, lo que implica que el algoritmo Fuzzy C-Means ha dividido a las empresas del Sector en dos grupos, Grupo 1 y Grupo 2.

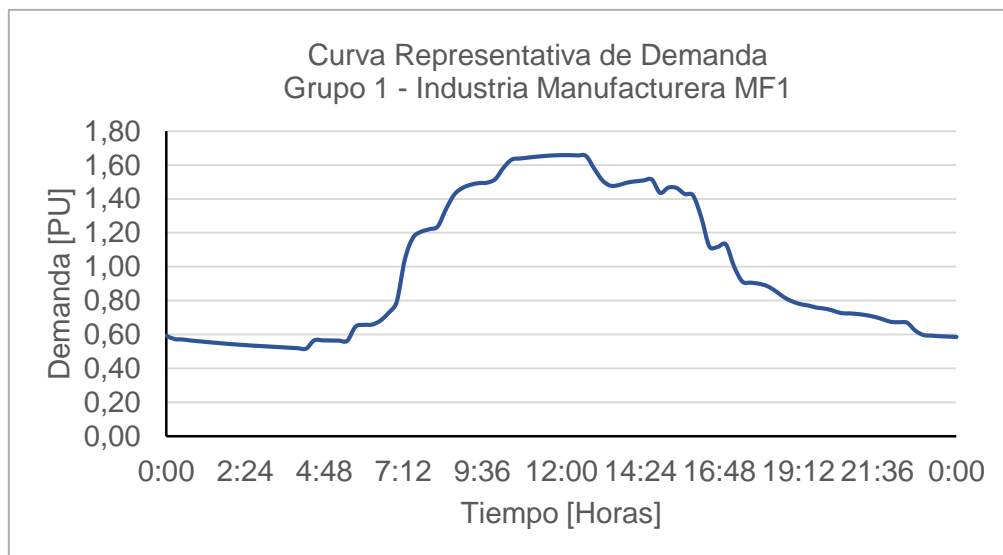


Figura 3.19. Curva Representativa de Demanda del Sector Industria Manufacturera MF1 – Grupo 1

La Figura 3.19 muestra la curva representativa de demanda del Grupo 1 en valores por unidad. Esta curva de demanda representa a un grupo de empresas cuyos consumos

diarios van desde los 75 [kWh] hasta los 5000 [kWh]. Su demanda máxima se presenta a las 12:00 pm.

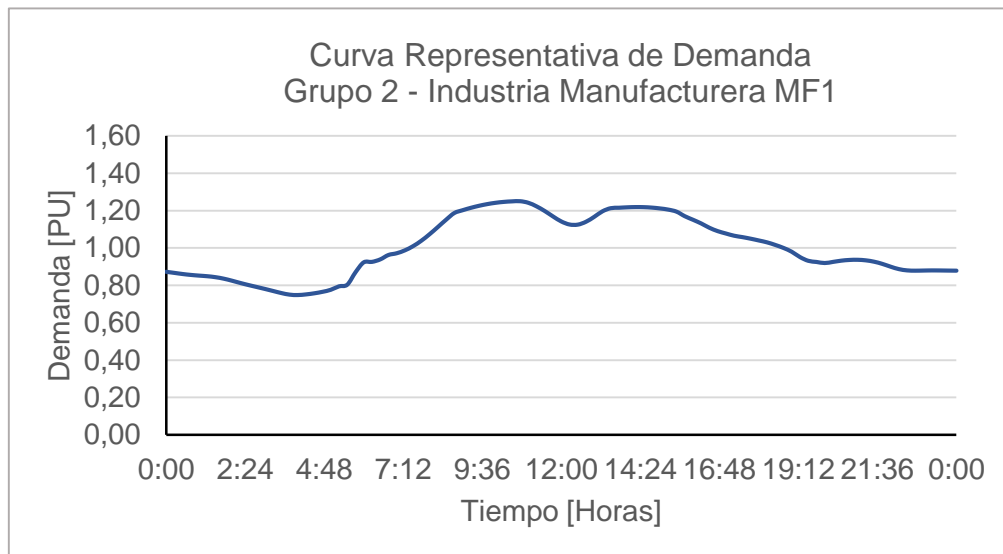


Figura 3.20. Curva Representativa de Demanda del Sector Industria Manufacturera MF1 – Grupo 2

La Figura 3.20 muestra la curva representativa de demanda del Grupo 2 en valores por unidad. Esta curva de demanda representa a un grupo de empresas cuyos consumos diarios van desde los 5000 [kWh] hasta los 20000 [kWh]. Su demanda máxima se presenta a las 10:45 am.

3.2.5 CURVAS REPRESENTATIVAS DE DEMANDA - SECTOR INDUSTRIAS MANUFACTURERAS - GRUPO MF2

Para el sector “Industrias Manufactureras – Grupo MF2” se han obtenido dos tipos de curvas representativas de demanda, lo que implica que el algoritmo Fuzzy C-Means ha dividido a las empresas del Sector en dos grupos, Grupo 1 y Grupo 2.

La Figura 3.21 muestra la curva representativa de demanda del Grupo 1 en valores por unidad. Esta curva de demanda representa a un grupo de empresas cuyos consumos diarios van desde los 30 [kWh] hasta los 8000 [kWh]. Su demanda máxima se presenta a las 11:00 am.

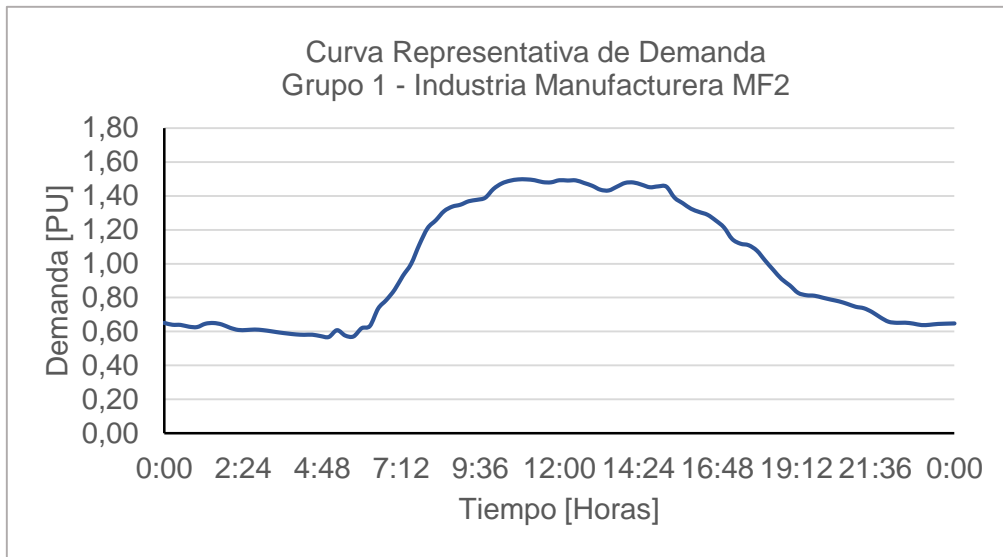


Figura 3.21. Curva Representativa de Demanda del Sector Industria Manufacturera MF2
– Grupo 1

La Figura 3.22 muestra la curva representativa de demanda del Grupo 2 en valores por unidad. Esta curva de demanda representa a un grupo de empresas cuyos consumos diarios van desde los 8000 [kWh] hasta los 28000 [kWh]. Su demanda máxima se presenta a las 21:30 pm.

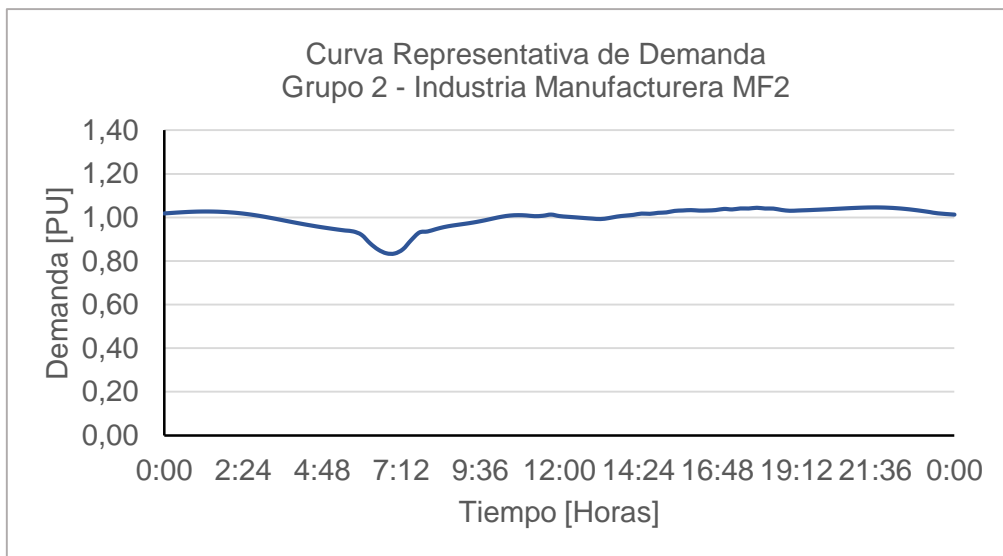


Figura 3.22. Curva Representativa de Demanda del Sector Industria Manufacturera MF2
– Grupo 2

3.2.6 CURVAS REPRESENTATIVAS DE DEMANDA - SECTOR INDUSTRIAS MANUFACTURERAS - GRUPO MF3

Para el sector “Industrias Manufactureras – Grupo MF3” se han obtenido dos tipos de curvas representativas de demanda, lo que implica que el algoritmo Fuzzy C-Means ha dividido a las empresas del Sector en dos grupos, Grupo 1 y Grupo 2.

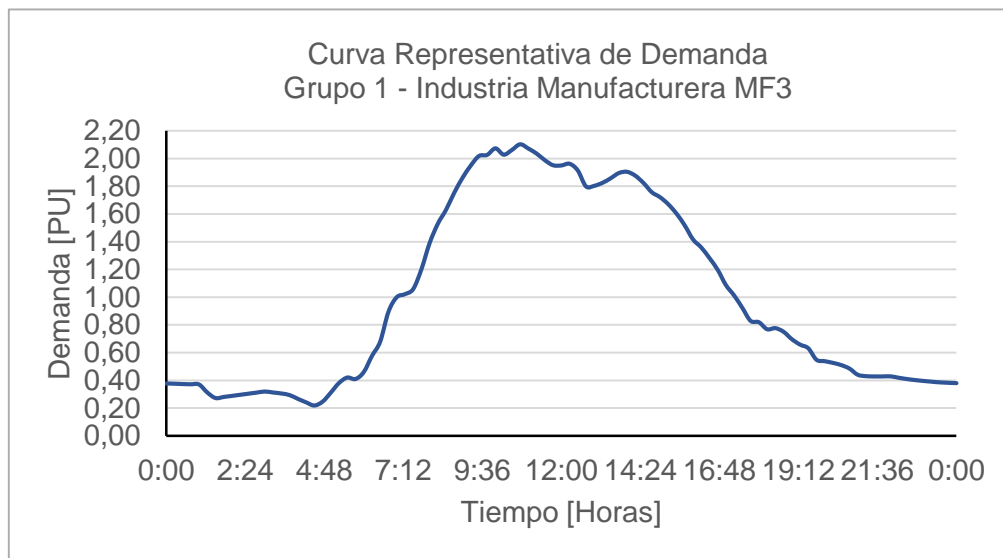


Figura 3.23. Curva Representativa de Demanda del Sector Industria Manufacturera MF3 – Grupo 1

La Figura 3.23 muestra la curva representativa de demanda del Grupo 1 en valores por unidad. Esta curva de demanda representa a un grupo de empresas cuyos consumos diarios van desde los 25 [kWh] hasta los 10000 [kWh]. Su demanda máxima se presenta a las 10:45 am.

La Figura 3.24 muestra la curva representativa de demanda del Grupo 2 en valores por unidad. Esta curva de demanda representa a un grupo de empresas cuyos consumos diarios van desde los 20000 [kWh] hasta los 40000 [kWh]. Su demanda máxima se presenta a las 11:00 am.

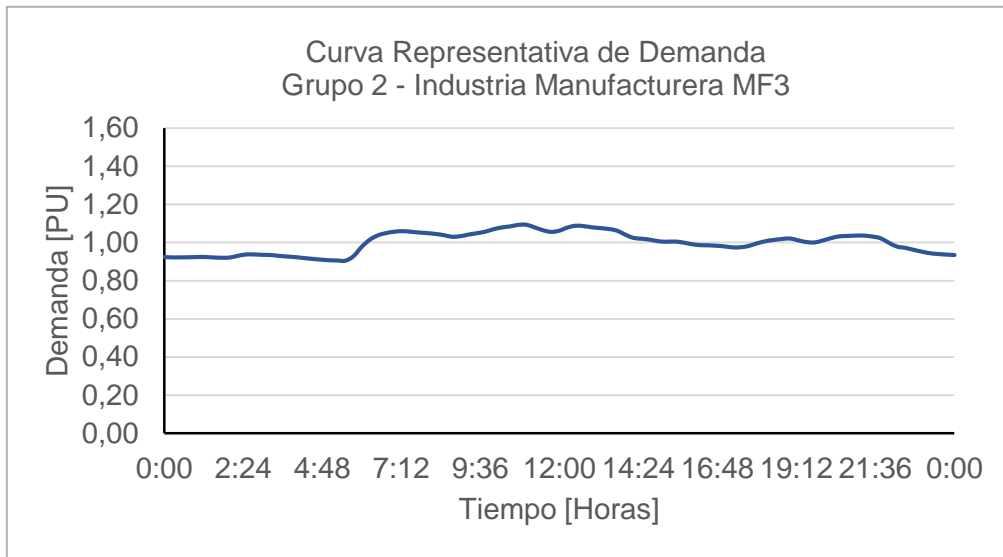


Figura 3.24. Curva Representativa de Demanda del Sector Industria Manufacturera MF3
– Grupo 2

3.2.7 CURVAS REPRESENTATIVAS DE DEMANDA - SECTOR INDUSTRIAS MANUFACTURERAS - GRUPO MF5

Para el sector “Industrias Manufactureras – Grupo MF5” se han obtenido dos tipos de curvas representativas de demanda, lo que implica que el algoritmo Fuzzy C-Means ha dividido a las empresas del Sector en dos grupos, Grupo 1 y Grupo 2.

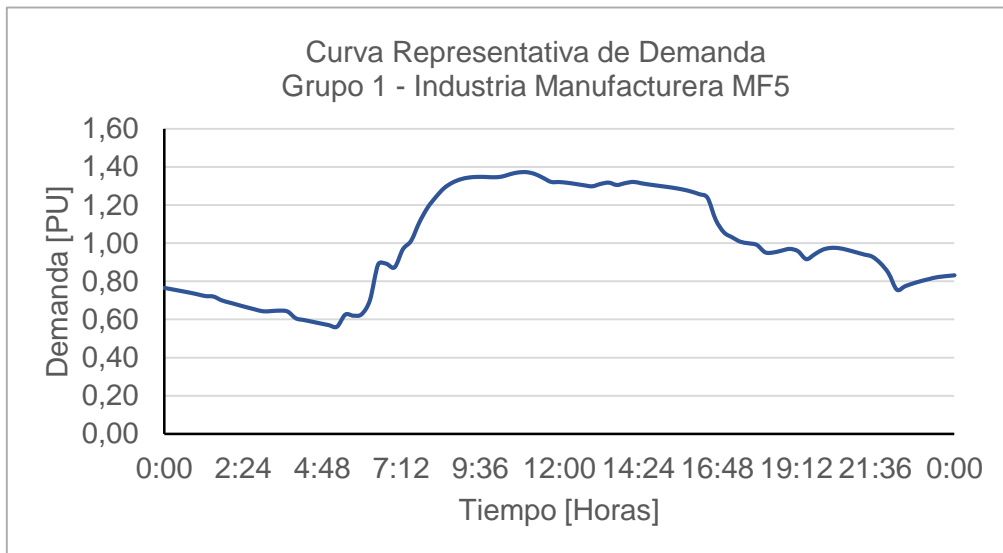


Figura 3.25. Curva Representativa de Demanda del Sector Industria Manufacturera MF5
– Grupo 1

La Figura 3.25 muestra la curva representativa de demanda del Grupo 1 en valores por unidad. Esta curva de demanda representa a un grupo de empresas cuyos consumos diarios van desde los 100 [kWh] hasta los 5000 [kWh]. Su demanda máxima se presenta a las 11:00 am.

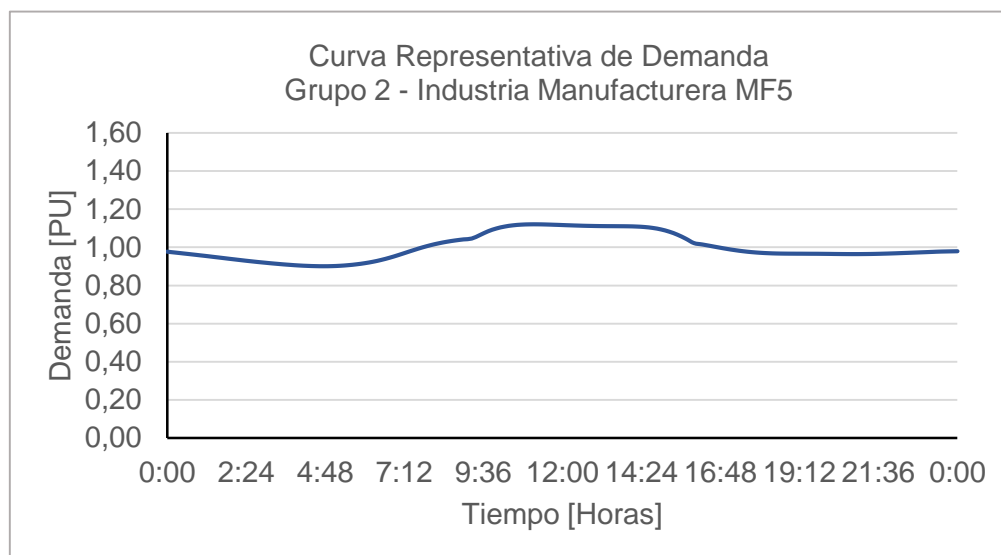


Figura 3.26. Curva Representativa de Demanda del Sector Industria Manufacturera MF5 – Grupo 2

La Figura 3.26 muestra la curva representativa de demanda del Grupo 2 en valores por unidad. Esta curva de demanda representa a un grupo de empresas cuyos consumos diarios van desde los 5000 [kWh] hasta los 15000 [kWh]. Su demanda máxima se presenta a las 11:15 am.

3.3 CÁLCULO DEL ERROR DE LAS CURVAS

Para analizar qué tan precisos son los resultados alcanzados, se calcula el error de las curvas obtenidas, comparando las curvas de demanda diaria de algunos clientes industriales y comerciales con las curvas representativas de demanda adquiridas en el punto anterior de acuerdo al grupo al que el cliente pertenezca.

La Figura 3.27 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra la curva de demanda diaria de la empresa comercial Mega Santa María S.A. – Centro Histórico, junto a la curva de demanda representativa, que, de acuerdo a su consumo de energía, pertenece al estrato 3 grupo 2. Al comparar la curva representativa de demanda para dicho estrato con la curva de demanda obtenida de mediciones reales de la empresa analizada, el error que se presenta es del 7%. Tiene un error aceptable que permite dar una idea de que los datos tienen coherencia.

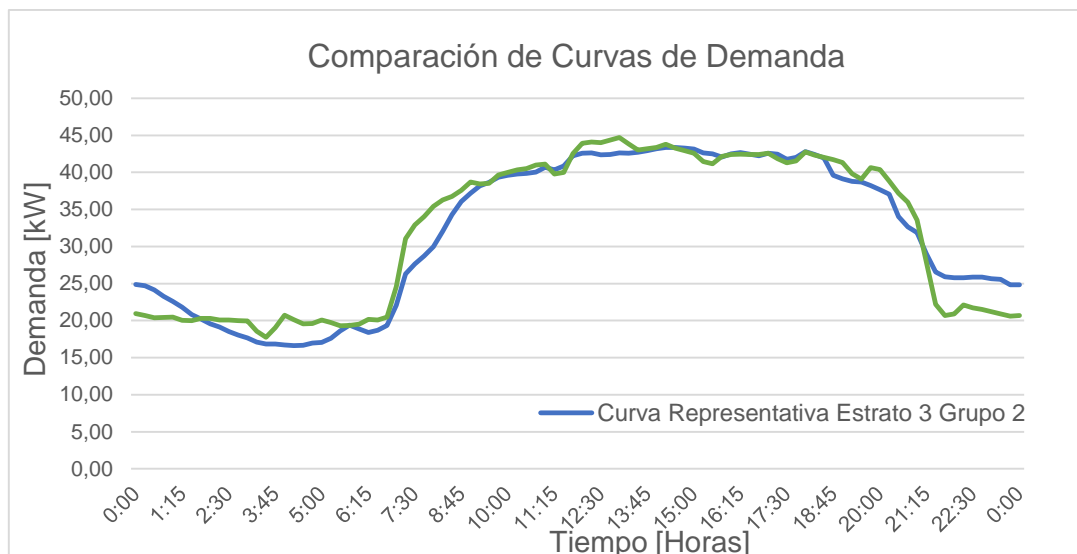


Figura 3.27. Comparación de Curvas de demanda de la Empresa Mega Santa María S.A.

La Figura 3.28 muestra la curva de demanda diaria de la empresa comercial Arasha S.A., junto a la curva de demanda representativa, que, de acuerdo a su consumo de energía, pertenece al estrato 2 grupo 1. Al comparar la curva representativa de demanda para dicho estrato con la curva de demanda obtenida de mediciones reales de la empresa analizada, el error que se presenta es del 14%, mostrando que existe un mayor error debido a que los datos de estas curvas se encuentran algo dispersos.

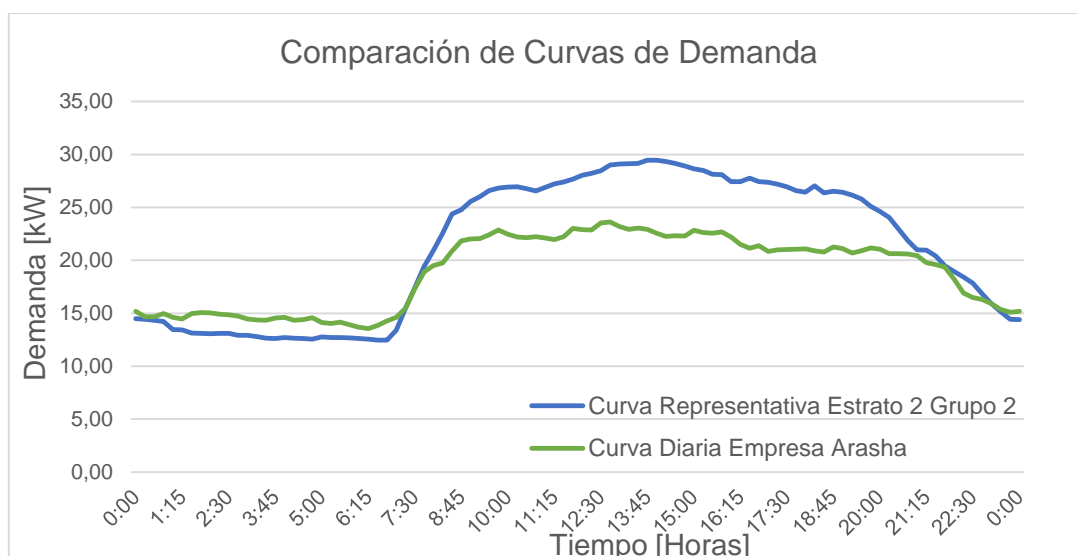


Figura 3.28. Comparación de Curvas de Demanda de la Empresa Arasha S.A.

La Figura 3.30 muestra la curva de demanda diaria de la empresa industrial Inmobiliaria Inmapapel S.A. junto a la curva de demanda representativa, que, de acuerdo a su actividad económica que realiza esta empresa, se ubica en el sector Servicios grupo 1. Se compara la curva representativa de demanda para dicho sector con la curva diaria de demanda

obtenida de mediciones reales realizadas a esta empresa. El error que presenta es del 4%. Al no superar el 10% de error, se puede determinar que para esta empresa existe similitud en los resultados obtenidos.

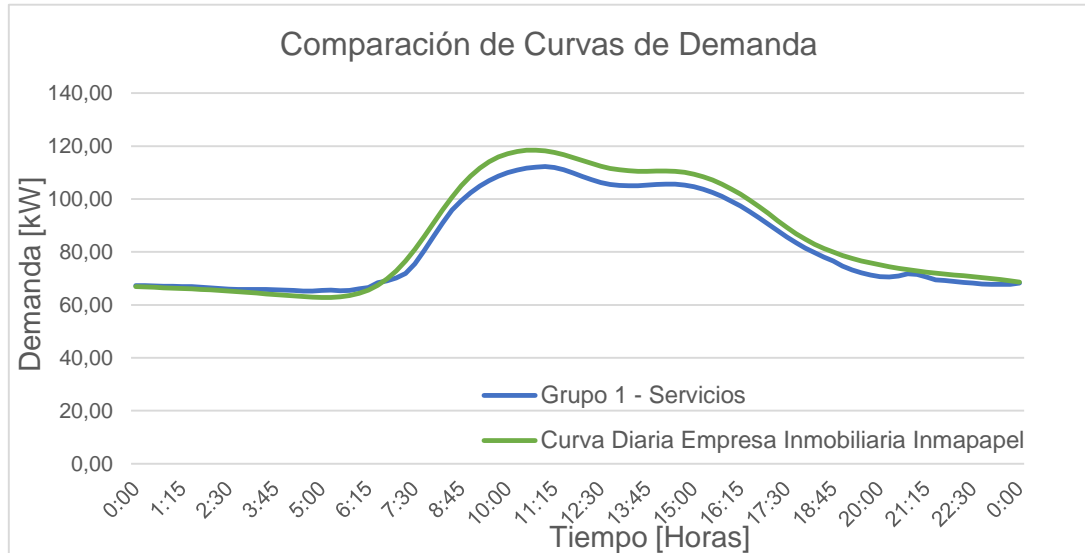


Figura 3.29. Comparación de Curvas de Demanda de la Empresa Inmobiliaria Inmapapel

La Figura 3.30 se muestra la curva de demanda de la empresa industrial Limpiatec CIA. LTDA., junto a la curva de demanda representativa, que, de acuerdo a su actividad económica que realiza esta empresa, se ubica en el sector Servicios grupo 2. Se compara la curva representativa de demanda para dicho sector con la curva diaria de demanda obtenida de mediciones reales realizadas a esta empresa. El error que presenta es del 11%.

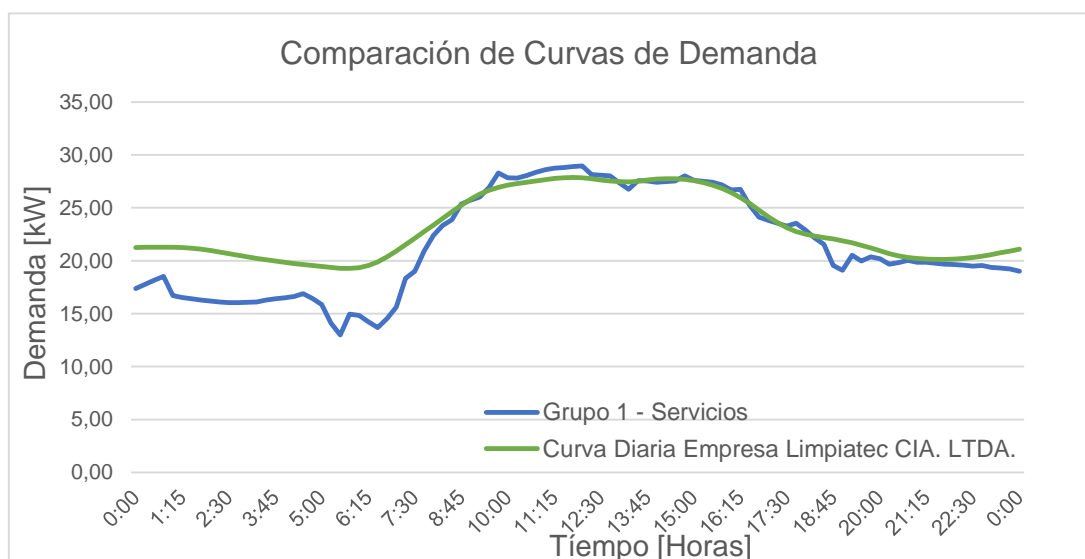


Figura 3.30. Comparación de Curvas de Demanda de la Empresa Limpiatec CIA. LTDA.

3.4 CÁLCULO DE LA DEMANDA MÁXIMA UNITARIA EN DISTINTAS EMPRESAS

3.4.1 CÁLCULO DEL DMU PARA LA EMPRESA ARGOLDS DEL ECUADOR S.A.

3.4.1.1 DMU con el método propuesto

De acuerdo al consumo de energía que presenta la empresa comercial “Arcgolds del Ecuador S.A.”, se la clasifica en el Estrato 3 - Grupo 2; por lo cual, se utiliza la curva representativa de demanda de la Figura 3.6.

Con los valores en por unidad de la curva representativa y conociendo que la empresa presenta una demanda media de 33,53 [kW]; se multiplica este valor por cada uno de los valores en por unidad de la curva representativa en cada intervalo de tiempo. Obteniendo de esta manera la curva de demanda diaria para la Empresa Arcgolds del Ecuador, que se presenta en la Figura 3.31.

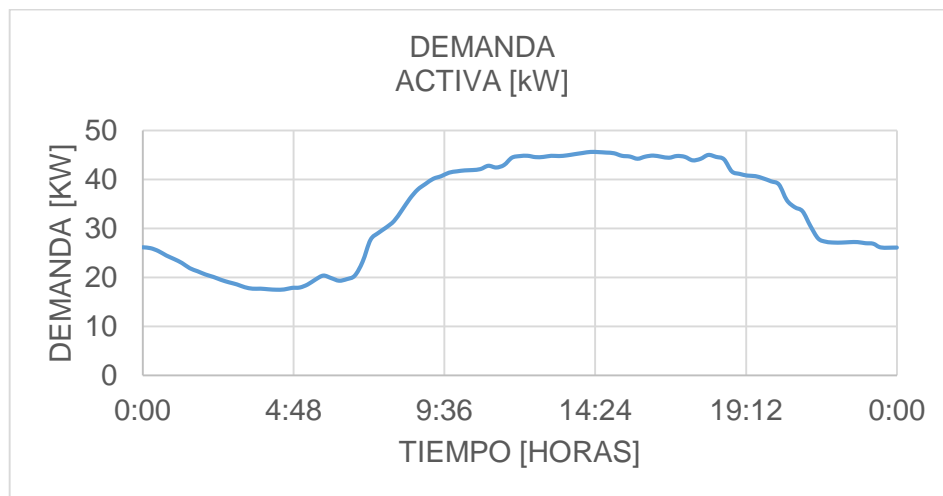


Figura 3.31. Curva de demanda diaria de la Empresa Arcgolds del Ecuador S.A. utilizando el método propuesto

A partir de esta curva de demanda diaria, se busca el valor de la demanda máxima, obteniendo como resultado:

$$D_{max} = 45,65 [kW]$$

Con este valor se calcula la Demanda Máxima Unitaria a partir de la Ecuación (2.10), obteniendo lo siguiente:

$$DMU = \frac{45,65}{0,9} = 50,72 \text{ [kVA]}$$

Finalmente, calculamos la demanda máxima unitaria proyectada a partir de la Ecuación (2.11), asumiendo un valor de la tasa de incremento anual del 2,5% y un valor n de 10 años.

$$DMU_p = 50,72 * \left(1 + \frac{2,5}{100}\right)^{10} = 64,92 \text{ [kVA]}$$

3.4.1.2 DMU con los registros de calidad del producto

A partir del registro de carga de la empresa Arcgolds del Ecuador, que se encuentra especificado en el ANEXO I, se determina la demanda máxima unitaria, obteniendo el siguiente resultado:

$$DMU = 68,72 \text{ [kVA]}$$

3.4.1.3 DMU con el método de la REA

Adicionalmente se calcula la demanda máxima unitaria por el método de la REA. Aplicando la Ecuación (1.11 para el cálculo del factor A, asumiendo un valor de n = 1 se obtiene que:

$$\text{factorA} = 1 * [1 - (0,4 * 1) + 0,4 * (1^2 + 40)^{0,5}]$$

$$\text{factorA} = 3,16$$

Aplicando la Ecuación (1.12 para el cálculo del factor B y asumiendo un consumo mensual de $C_e = 25848$ [kWh] se obtiene que:

$$\text{factorB} = 0,005925 * (25848)^{0,885}$$

$$\text{factorB} = 47,61$$

Finalmente, se obtiene el valor de la Demanda Máxima Unitaria aplicando la Ecuación (1.10), obteniendo el siguiente resultado:

$$D_{\max} = 3,16 * 47,61$$

$$D_{\max} = 150,50 \text{ [kVA]}$$

3.4.1.4 DMU con el método de la EEQ

Para el cálculo de la demanda máxima unitaria por el método de la EEQ, se utiliza el valor de la capacidad del transformador de 225 [kVA], conociendo que este valor se deriva del cálculo de la Demanda Máxima Unitaria proyectada.

3.4.1.5 Resumen de los métodos

La Tabla 3.1 muestra un resumen de los resultados obtenidos del cálculo de la demanda máxima unitaria por los distintos métodos.

Tabla 3.1 Comparación de los valores obtenidos de la DMU por los diferentes métodos

Método propuesto	Mediciones reales calidad del producto	Método REA	Método EEQ
64,92 [kVA]	68,72 [kVA]	150,50 [kVA]	225 [kVA]

3.4.2 CÁLCULO DEL DMU PARA LA EMPRESA EL ROSADO

3.4.2.1 DMU con el método propuesto

De acuerdo al consumo de energía que presenta la empresa comercial “El Rosado”, se la clasifica en el Estrato 2 - Grupo 2; por lo cual, se utiliza la curva representativa de demanda de la Figura 3.4.

Con los valores en por unidad de la curva representativa y conociendo que la empresa presenta una demanda media de 23,62 [kW]; se multiplica este valor por cada uno de los valores en por unidad de la curva representativa en cada intervalo de tiempo. Obteniendo de esta manera la curva de demanda diaria para la Empresa El Rosado, que se presenta en la Figura 3.32.

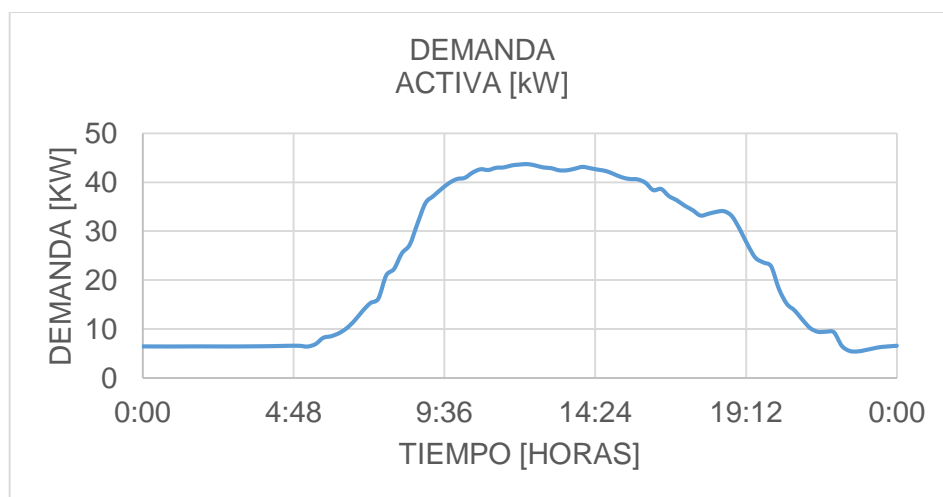


Figura 3.32. Curva de demanda diaria de la empresa El Rosado utilizando el método propuesto

A partir de esta curva de demanda diaria, se busca el valor de la demanda máxima, obteniendo como resultado:

$$D_{max} = 43,72 [kW]$$

Con este valor se calcula la Demanda Máxima Unitaria a partir de la Ecuación (2.10), obteniendo lo siguiente:

$$DMU = \frac{43,72}{0,9} = 48,58 [kVA]$$

Finalmente, calculamos la demanda máxima unitaria proyectada a partir de la Ecuación (2.11, asumiendo un valor de la tasa de incremento anual del 2,5% y un valor n de 10 años.

$$DMU_p = 48,58 * \left(1 + \frac{2,5}{100}\right)^{10}$$

$$DMU_p = 62,19 [kVA]$$

3.4.2.2 DMU con los registros de calidad del producto

A partir del registro de carga de la empresa El Rosado, que se encuentra especificado en el ANEXO I, se determina la demanda máxima unitaria, obteniendo el siguiente resultado:

$$DMU = 65,49 [kVA]$$

3.4.2.3 DMU con el método de la REA

Adicionalmente se calcula la demanda máxima unitaria por el método de la REA. Aplicando la Ecuación (1.11 para el cálculo del factor A y asumiendo un valor de n = 1, se obtiene que:

$$\text{factorA} = 1 * [1 - (0,4 * 1) + 0,4 * (1^2 + 40)^{0,5}]$$

$$\text{factorA} = 3,16$$

Aplicando la Ecuación (1.12 para el cálculo del factor B y asumiendo un consumo mensual de $C_e = 19310 [kWh]$ se obtiene que:

$$\text{factorB} = 0,005925 * (19310)^{0,885}$$

$$\text{factorB} = 36,78$$

Finalmente, se obtiene el valor de la Demanda Máxima Unitaria aplicando la Ecuación (1.10, obteniendo el siguiente resultado:

$$D_{max} = 3,16 * 36,78$$

$$D_{max} = 116,22 [kVA]$$

3.4.2.4 DMU con el método de la EEQ

Para el cálculo de la demanda máxima unitaria por el método de la EEQ, se utiliza el valor de la capacidad del transformador de 150 [kVA], conociendo que este valor se deriva del cálculo de la Demanda Máxima Unitaria proyectada.

3.4.2.5 Resumen de los métodos

La Tabla 3.2 muestra un resumen de los resultados obtenidos del cálculo de la demanda máxima unitaria por los distintos métodos.

Tabla 3.2. Resumen de los valores obtenidos de la DMU por los diferentes métodos

Método propuesto	Mediciones reales calidad del producto	Método REA	Método EEQ
62,19 [kVA]	65,49 [kVA]	116,22 [kVA]	150 [kVA]

3.4.3 CÁLCULO DEL DMU EN LA EMPRESA PASTEURIZADORA QUITO S.A

3.4.3.1 DMU con el método propuesto

De acuerdo al consumo de energía que presenta la empresa industrial “Pasteurizadora Quito S.A.”, se la clasifica en el Sector de Industria Manufacturera MF2 - grupo 2; por lo cual, se utiliza la curva representativa de demanda de la Figura 3.22.

Con los valores en por unidad de la curva representativa y conociendo que la empresa presenta una demanda media de 384,10 [kW]; se multiplica este valor por cada uno de los valores en por unidad de la curva representativa en cada intervalo de tiempo. Obteniendo de esta manera la curva de demanda diaria para la Empresa Pasteurizadora Quito S.A., que se presenta en la Figura 3.33.

A partir de esta curva de demanda diaria, se busca el valor de la demanda máxima, obteniendo como resultado:

$$D_{max} = 401,56 [kW]$$

Con este valor se calcula la Demanda Máxima Unitaria a partir de la Ecuación (2.10), obteniendo lo siguiente:

$$DMU = \frac{401,56}{0,9} = 446,18 [kVA]$$

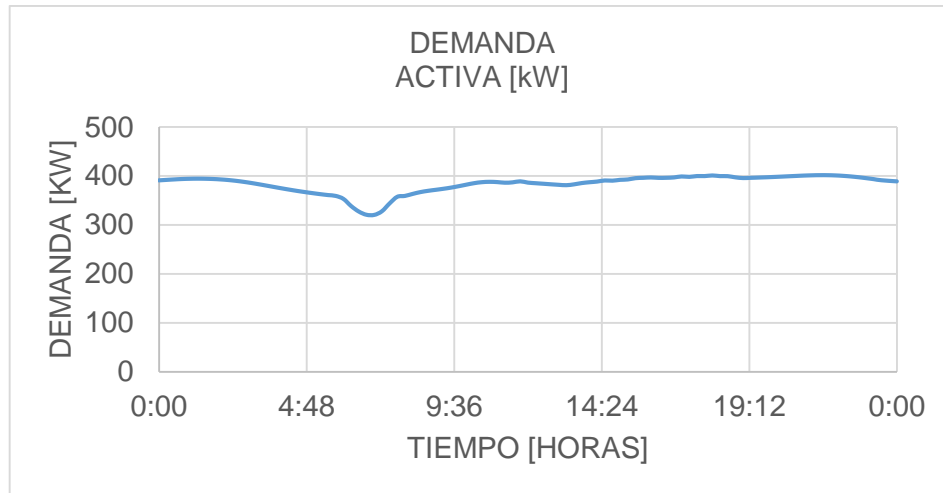


Figura 3.33. Curva de demanda diaria de la Empresa Pasteurizadora Quito S.A. 2 utilizando el método propuesto

Finalmente, calculamos la demanda máxima unitaria proyectada a partir de la Ecuación (2.11), asumiendo un valor de la tasa de incremento anual del 2,5% y un valor n de 10 años.

$$DMU_p = 446,18 * \left(1 + \frac{2,5}{100}\right)^{10}$$

$$DMU_p = 571,11 \text{ [kVA]}$$

3.4.3.2 DMU con los registros de calidad del producto

A partir del registro de carga de la empresa Pasteurizadora Quito S.A., que se encuentra especificado en el ANEXO I, se determina la demanda máxima unitaria, obteniendo el siguiente resultado:

$$DMU = 626,64 \text{ [kVA]}$$

3.4.3.3 DMU con el método de la REA

Adicionalmente se calcula la demanda máxima unitaria por el método de la REA. Aplicando la Ecuación (1.11 para el cálculo del factor A, asumiendo un valor de n = 1 se obtiene que:

$$\text{factorA} = 1 * [1 - (0,4 * 1) + 0,4 * (1^2 + 40)^{0,5}]$$

$$\text{factorA} = 3,16$$

Aplicando la Ecuación (1.12 para el cálculo del factor B y asumiendo un consumo mensual de $C_e = 269408 \text{ [kWh]}$ se obtiene que:

$$\text{factorB} = 0,005925 * (269408)^{0,885}$$

$$\text{factorB} = 378,97$$

Finalmente, se obtiene el valor de la Demanda Máxima Unitaria aplicando la Ecuación (1.10), obteniendo el siguiente resultado:

$$D_{\text{max}} = 3,16 * 378,97$$

$$D_{\text{max}} = 1197,54 \text{ [kVA]}$$

3.4.3.4 DMU con el método de la EEQ

Para el cálculo de la demanda máxima unitaria por el método de la EEQ, se utiliza el valor de la capacidad del transformador de 800 [kVA], conociendo que este valor se deriva del cálculo de la Demanda Máxima Unitaria proyectada.

3.4.3.5 Resumen de los métodos

La Tabla 3.3 muestra un resumen de los resultados obtenidos del cálculo de la demanda máxima unitaria por los distintos métodos.

Tabla 3.3. Comparación de los valores obtenidos de la DMU por los diferentes métodos

Método propuesto	Mediciones reales calidad del producto	Método REA	Método EEQ
571,11 [kVA]	626,64 [kVA]	1197,54 [kVA]	800 [kVA]

3.4.4 CÁLCULO DEL DMU EN LA EMPRESA SOCIEDAD DE HECHO AGROPAT

3.4.4.1 DMU con el método propuesto

De acuerdo al consumo de energía que presenta la empresa industrial “Sociedad de Hecho Agropat”, se la clasifica en el Sector de Comercio - grupo 1; por lo cual, se utiliza la curva representativa de demanda de la Figura 3.15.

Con los valores en por unidad de la curva representativa y conociendo que la empresa presenta una demanda media de 40,60 [kW]; se multiplica este valor por cada uno de los valores en por unidad de la curva representativa en cada intervalo de tiempo. Obteniendo de esta manera la curva de demanda diaria para la Empresa Sociedad de hecho Agropat, que se presenta en la Figura 3.34.



Figura 3.34. Curva de demanda diaria de la Empresa Sociedad de Hecho Agropat utilizando el método propuesto

A partir de esta curva de demanda diaria, se busca el valor de la demanda máxima, obteniendo como resultado:

$$D_{max} = 60,27 [kW]$$

Con este valor se calcula la Demanda Máxima Unitaria a partir de la Ecuación (2.10), obteniendo lo siguiente:

$$DMU = \frac{60,27}{0,9} = 66,97 [kVA]$$

Finalmente, calculamos la demanda máxima unitaria proyectada a partir de la Ecuación (2.11, asumiendo un valor de la tasa de incremento anual del 2,5% y un valor n de 10 años.

$$DMU_p = 66,97 * \left(1 + \frac{2,5}{100}\right)^{10}$$

$$DMU_p = 85,72 [kVA]$$

3.4.4.2 DMU con los registros de calidad del producto

A partir del registro de carga de la Empresa Sociedad de Hecho Agropat, que se encuentra especificado en el ANEXO I, se determina la demanda máxima unitaria, obteniendo el siguiente resultado:

$$DMU = 103,35 [kVA]$$

3.4.4.3 DMU con el método de la REA

Adicionalmente se calcula la demanda máxima unitaria por el método de la REA. Aplicando la Ecuación (1.11 para el cálculo del factor A, asumiendo un valor de $n = 1$ se obtiene que:

$$\text{factorA} = 1 * [1 - (0,4 * 1) + 0,4 * (1^2 + 40)^{0,5}]$$

$$\text{factorA} = 3,16$$

Aplicando la Ecuación (1.12 para el cálculo del factor B y asumiendo un consumo mensual de $C_e = 27493$ [kWh] se obtiene que:

$$\text{factorB} = 0,005925 * (27493)^{0,885}$$

$$\text{factorB} = 50,28$$

Finalmente, se obtiene el valor de la Demanda Máxima Unitaria aplicando la Ecuación (1.10, obteniendo el siguiente resultado:

$$D_{\max} = 3,16 * 50,28$$

$$D_{\max} = 158,88 \text{ [kVA]}$$

3.4.4.4 DMU con el método de la EEQ

Para el cálculo de la demanda máxima unitaria por el método de la EEQ, se utiliza el valor de la capacidad del transformador de 150 [kVA], conociendo que este valor se deriva del cálculo de la Demanda Máxima Unitaria proyectada.

3.4.4.5 Resumen de los métodos

La Tabla 3.4 muestra un resumen de los resultados obtenidos del cálculo de la demanda máxima unitaria por los distintos métodos.

Tabla 3.4. Comparación de los valores obtenidos de la DMU por los diferentes métodos

Método propuesto	Mediciones reales calidad del producto	Método REA	Método EEQ
85,72 [kVA]	103,35 [kVA]	158,88 [kVA]	150 [kVA]

3.4.5 CÁLCULO DEL ERROR DE LA DEMANDA MÁXIMA UNITARIA

Con los valores obtenidos de la demanda máxima unitaria de las empresas comerciales (Argolds y el Rosado) y de las empresas industriales (Pasteurizadora Quito y Sociedad de Hecho Agropat), se calcula el error porcentual existente entre el cálculo de la DMU con el método propuesto y el cálculo de la DMU con los demás métodos. La Tabla 3.5 muestra los resultados obtenidos de dichas comparaciones.

Tabla 3.5. Error porcentual de la DMU obtenida por el método propuesto y la DMU obtenida por los otros métodos.

Empresa	Mediciones reales Calidad del Producto	Método REA	Método EEQ
Argolds del Ecuador S.A.	5,53 %	56,86 %	70,00 %
El Rosado	5,04 %	46,49 %	58,54 %
Pasteurizadora Quito S.A.	8,86 %	52,31 %	28,61 %
Sociedad de Hecho Agropat	17,63 %	46,05 %	42,85 %

Se observa que el porcentaje de error que existe entre el método propuesto y los métodos de la EEQ y la REA, supera el 10%, lo que implica una diferencia considerable entre los valores obtenidos actualmente y los valores con los que se realizó el diseño de demanda años atrás para las distintas empresas. Por el contrario, el error porcentual obtenido al comparar el método propuesto con las mediciones reales de Calidad del Producto muestra errores porcentuales bajo el 10%, a excepción de la Empresa Sociedad de Hecho Agropat; lo que implica que hay una gran similitud entre los valores obtenidos.

Este alto porcentaje de error se debe a que los diseños de demanda de las empresas años atrás fueron calculados en base al método antiguo de la Empresa Eléctrica Quito, el cual considera el valor de la demanda máxima unitaria proyectada. Para el cálculo de esta demanda se determina la tasa de crecimiento anual, por tanto, para la estimación de este valor sería necesario conocer los registros de consumos de los clientes industriales y comerciales de al menos 2 años, para determinar un valor aproximado al valor con el que se realizó el diseño de demanda. Además, cabe destacar que los valores de la tasa de crecimiento fueron establecidos para clientes residenciales, por lo que considerarlos para el diseño de demanda de clientes industriales y comerciales sería un error, dado que presentan distintos tipos de comportamiento de carga [31].

Dados los altos valores de error porcentual se puede interpretar que el método propuesto no es adecuado; sin embargo, la obtención de estos resultados se ha visto afectada por la intervención de algunos factores; uno de ellos es que muchas de las empresas de la base de datos son antiguas y no existen los registros de la Demanda Máxima Unitaria con la que fueron diseñadas para poder realizar una comparación adecuada con los resultados obtenidos. Otro factor influyente es que apenas se están comparando los valores de la Demanda Máxima Unitaria de 4 empresas, de un total de 660 empresas en estudio, entre comerciales e industriales.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

La Industria manufacturera representa uno de los sectores más importantes para nuestro país, cuenta con el mayor número de actividades económicas de la CIIU. Es un sector muy importante en la economía, la participación de este sector en el PIB del Ecuador en el año 2017 representó el 11% del empleo total del país. Por tal motivo es importante subdividirla en sectores estratégicos para entender de mejor manera el comportamiento de sus clientes asociados.

Los valores de la demanda máxima unitaria obtenidos a través del método propuesto son menores a los valores de demanda obtenidos por el método de la Empresa Eléctrica Quito, esto se debe a que de acuerdo a las normas vigentes, estos valores se ven afectados por varios factores, como el factor de simultaneidad y el factor de frecuencia de uso; cuyos valores se determinan a criterio de los contratistas, lo cual hace que en ocasiones la DMU sea elevada y por ende en algunos casos los transformadores se sobredimensionen.

La clasificación de los clientes comerciales por estrato de consumo de energía no es suficiente para determinar curvas representativas óptimas, debido a que las actividades comerciales son diversas y dependen de la zona en la que estén ubicados, además el comportamiento del uso de energía es diferente para cada una de ellas.

De acuerdo a los grupos de estratos para los clientes comerciales, se concluye que en los estratos 1 y 2 se concentran la mayoría de los clientes de baja tensión, mientras que en el estrato 6 se encuentran pocos clientes de media tensión con altos consumos.

La clasificación de los clientes industriales por la actividad económica principal que desarrollan no es suficiente para establecer curvas de demanda diaria representativas óptimas, dado que si un nuevo cliente industrial ingresa a la red de distribución y dicho cliente cumple con las características que especifica cierto grupo, no implica que pueda pertenecer necesariamente a ese grupo; esto es porque el sector industrial presenta gran diversidad entre sus usuarios, tanto para consumo como para el desarrollo de las actividades económicas; además presentan horarios de producción variados y aunque se ubiquen en determinada sección, no se conoce exactamente la diversidad de cargas que tiene cada cliente. Para obtener mejores resultados sería necesario realizar una clasificación a la par de la que ya se realizó, tomando el criterio de consumo de energía, para tener grupos más específicos.

4.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda la revisión del sistema de telemedición, pues presenta errores de lectura de comas en varios de los archivos descargados del sistema con las medidas de los perfiles de carga. Además, se presentaron errores relacionados con el factor de multiplicación definido por la relación de los TC's y TP's, debido a que algunos perfiles de carga se multiplicaban automáticamente con dicho factor, mientras que para otros perfiles de carga se debía considerar multiplicar este factor por cada uno de sus puntos para no trabajar con mediciones erróneas.

Se recomienda implementar medidores electrónicos en el resto de los clientes especiales. Se estiman 6500 grandes clientes distribuidos en toda el área de concesión de la Empresa Eléctrica Quito, de los cuales, apenas 1350 clientes cuentan con el Sistema de Telemedición. Esto permitirá que se pueda hacer un análisis más acertado al contar con una población de estudio considerable, donde se puedan agrupar mayor cantidad de clientes con similitudes entre sus comportamientos de carga y consumo.

Se recomienda revisar desde el inicio las unidades en las que se encuentran todas las mediciones de los parámetros eléctricos con los cuales se va a trabajar en el proyecto, con la finalidad de evitar que los valores de las curvas de demanda resultantes sean erróneas e incoherentes.

Se recomienda realizar un estudio en función de los consumos de varios años de una población considerable de clientes para determinar los posibles valores a considerar para la tasa de incremento anual para el diseño de demanda de clientes comerciales e industriales.

Se recomienda que para mejorar la metodología desarrollada se combinen los criterios de clasificación que se emplearon tanto para estratificar a los clientes comerciales (estratos por consumo de energía), como para categorizar a los clientes industriales (actividad económica principal); es decir, la clasificación de clientes industriales por su actividad económica principal logró crear grupos donde las curvas de demanda diaria de los clientes son similares, sin embargo, se generaron también perfiles que si bien sus formas eran similares, presentaban un rango de consumo que diferían con el resto de elementos del grupo, consiguiendo de esta manera que el resultado final del grupo no sea del todo preciso. Es por esto que sería importante que además de clasificar al sector industrial por su actividad económica, se lo agrupe a su vez por consumos de energía, con el propósito que no existan estas brechas de dato a dato generando valores atípicos. De la misma manera se puede proponer que para el sector comercial a más de considerar el criterio de

consumo de energía, se busque clasificar a la par a cada grupo también por las actividades similares que ejecutan.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] P. Gavilema, Metodología para la estimación de demanda de grandes centros comerciales, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2011.
- [2] F. Santander, Estudio para la optimización del dimensionamiento de transformadores de distribución, utilizados en edificios del centro norte del Distrito Metropolitano de Quito, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2018.
- [3] Empresa Eléctrica Quito, «Normas para Sistemas de Distribución Parte A - Guía para Diseño de Redes para Distribución,» Quito, 2015.
- [4] J. Álvarez, Metodología para la estimación de curva diaria para un circuito de tensión (13,2kV) a partir de técnicas inteligentes, Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 2017.
- [5] J. Ruíz, Fuzzy C-Means distribuido en la nube, Barcelona: Universidad Oberta de Catalunya, 2017.
- [6] J. D. Juárez Cervantes, Sistemas de distribución de energía eléctrica, CDMX: Sans Serif Editores, Primera edición 1995.
- [7] J. Espina Alvarado, «Carga, demanda y energía eléctrica: Conceptos fundamentales para la distribución de electricidad,» 30 Abril 2017. [En línea]. Available: <http://www.sectorelectricidad.com/17597/carga-demanda-y-energia-electrica-conceptos-fundamentales-para-la-distribucion-de-electricidad/>. [Último acceso: 2020].
- [8] S. Ramírez Castaño, Redes de Distribución de Energía, Manizales: Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia, 2004.
- [9] C. Orellana y M. Pañi, Incidencia del programa 'Cocción eficiente' en la DMU en el sector residencial rural de la ciudad de Cuenca, Cuenca: Universidad de Cuenca, 2015.
- [10] Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán, «Curva de Carga o Demanda,» 2014. [En línea]. Available: <https://catedras.facet.unt.edu.ar/centraleselectricas/wp-content/uploads/sites/19/2014/10/Curvas-de-Carga-y-Generaci%C3%B3n.pdf>. [Último acceso: 2020].
- [11] D. Collaguazo, Metodología para estimar la demanda eléctrica en edificios con usuarios residenciales, de oficinas y comercios, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2015.
- [12] Empresa Eléctrica Quito, «Ficha Informativa de Proyecto 2019,» 6 Marzo 2019. [En línea]. Available:

<http://www.eeq.com.ec:8080/documents/10180/24600853/46.1015.pdf/b1bc8bf1-0b56-47de-a139-2a95682d7c15>. [Último acceso: 2020].

- [13] E. E. Quito, «EEQ, Clientes Especiales,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.eeq.com.ec:8080/servicios/clientes-especiales>. [Último acceso: 29 Mar 2020].
- [14] ARCONEL, Pliego Tarifario para Empresas Eléctricas de Distribución, 2018.
- [15] Empresa Eléctrica Quito, «Adquisición de 588 Módulos de Comunicación 3G para Medidores Electrónicos de Clientes Especiales con su respectivo Software/Hardware para Gestión de Módulos y Procesamiento de Datos de Telemedición y Servicio de Soporte Técnico y Mantenimiento.,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.eeq.com.ec/upload/concursos/20180621120018.docx>.
- [16] Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Nota Técnica. Estratificación Univariada, 2010.
- [17] N. U. N. V.K.G Unnithan, Minimum variance stratification, Kochi, Kerala, India: Cochin University of Science and Technology, Jun. 27, 2007.
- [18] I. A. Orellana Malavé y P. A. Ramón Pineda, Determinación de los factores de carga y pérdidas en transformadores de distribución por estratos de consumo en el área de concesión de la Empresa Eléctrica Regional del Sur. S. A., Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana, 2017.
- [19] Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), «Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CIIU Rev. 4.0),» Junio 2012. [En línea]. Available: <https://aplicaciones2.ecuadorencifras.gob.ec/SIN/metodologias/CIIU%204.0.pdf>.
- [20] Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), «Directorio de Empresas y Establecimientos 2018,» Quito, 2019.
- [21] B. culture, «Ekos,» 6 Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://www.ekosnegocios.com/articulo/industria-manufacturera-el-sector-de-mayor-aporte-al-pib>. [Último acceso: 2019].
- [22] Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros, Dirección Nacional de Investigación y Estudios, «Panorama de la Industria Manufacturera en el Ecuador, Período 2013-2017,» Septiembre 2018. [En línea]. Available: <https://investigacionyestudios.supercias.gob.ec/wp-content/uploads/2018/09/Panorama-de-la-Industria-Manufacturera-en-el-Ecuador-2013-2017.pdf>. [Último acceso: 2019].
- [23] C. Martínez, «Estadística y muestreo,» Bogotá, MacGraw-Hill, 2012, pp. 718-770.
- [24] R. Alvarado y J. Andrade, Metodología para le dimensionamiento de la demanda de energía en comunidades aisladas de la red eléctrica, Loja: Universidad Particular de Loja, 2016.

- [25] E. C. y. O. Proaño, Metodología para la estimación de la demanda de transformadores de distribución para usuarios comerciales e industriales artesanales, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2011.
- [26] A. Alcalde, «Aprendizaje no supervisado y detección de anomalías: ¿Qué es una anomalía?,» 3 Abril 2018. [En línea]. Available: <https://elbauldelprogramador.com/aprendizaje-nosupervisado-anomalias/>. [Último acceso: 2020].
- [27] F. Guerrero y P. Otero, «Clustering a partir de Fuzzy C-Means,» [En línea]. Available: https://www.academia.edu/12870446/Fuzzy_C-Means_Clustering.
- [28] C. Pérez, Zonificación del mercado de consumo eléctrico de la Empresa Eléctrica Guayaquil mediante técnica jerárquica de conglomerados (TCJ), Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2013.
- [29] C. T. J.A. Jardini, Daily Profiles for residential, commercial and industrial low voltage consumers, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. ED-1, no. 1, pp. 3-8, Feb. 2000, 10.1109/61.847276.
- [30] Y. L. G. Casillas, Método para estimación de la demanda residencial en la Empresa Eléctrica Quito S.A., Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2008.
- [31] J. Pilamunga, Análisis del factor de carga y del factor de diversidad para el diseño eléctrico de centros comerciales populares del Municipio de Quito, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2009.

ANEXOS

ANEXO A. Código de la macro de Excel para recopilar la información de los datos de carga de cada empresa en intervalos de 15 minutos para un año

ANEXO B. Código de Programación en Matlab

ANEXO C. Base de datos de los clientes comerciales de telemedición

ANEXO D. Lista de clientes comerciales excluidos por su tarifa de alta tensión, rangos de consumo de energía, análisis de diagramas de dispersión o por datos insuficientes de consumo de energía

ANEXO E. Base de datos de los clientes industriales de telemedición

ANEXO F. Actividades económicas de los clientes industriales de telemedición conforme a la Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CIIU Revisión 4.0)

ANEXO G. Valores en por unidad de las curvas representativas de demanda de los clientes comerciales

ANEXO H. Valores en por unidad de las curvas representativas de demanda de los clientes industriales

ANEXO I. Registros de carga de empresas comerciales e industriales

ORDEN DE EMPASTADO



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Campus Politécnico "J. Rubén Orellana R."

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
DECANATO

ORDEN DE EMPASTADO

De conformidad con el Artículo 101 del **REGLAMENTO DE RÉGIMEN ACADÉMICO DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL** aprobado por Consejo Politécnico en Octubre de 2017 y el **INSTRUCTIVO PARA EL PROCEDIMIENTO DE TRABAJOS DE TITULACIÓN DE LAS CARRERAS DE PRE-GRADO Y PROGRAMAS DE POSGRADO DE LA FIEE**, aprobado por Consejo de Facultad el 24 de enero de 2019 que establece que *"El Decano de la FIEE, remitirá los informes de calificación al Director del Trabajo de Titulación y le solicitará un informe de conformidad en relación a las observaciones planteadas, este informe será presentado al Decano en un plazo no mayor a diez días, quien a su vez emitirá la autorización de impresión y encuadernación final del Trabajo de Titulación o Tesis de Grado."*, una vez verificado el cumplimiento del formato de presentación establecido, autorizo la impresión y encuadernación final del Trabajo de Titulación presentado por la señorita:

SYLVIA PAOLA LAINES MAIGUA

Fecha de autorización: 06 de abril de 2021



M.Sc. Fabio González
Decano

Paola P.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Campus Politécnico "J. Rubén Orellana R."

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
DECANATO

ORDEN DE EMPASTADO

De conformidad con el Artículo 101 del **REGLAMENTO DE RÉGIMEN ACADÉMICO DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL** aprobado por Consejo Politécnico en Octubre de 2017 y el **INSTRUCTIVO PARA EL PROCEDIMIENTO DE TRABAJOS DE TITULACIÓN DE LAS CARRERAS DE PRE-GRADO Y PROGRAMAS DE POSGRADO DE LA FIEE**, aprobado por Consejo de Facultad el 24 de enero de 2019 que establece que *"El Decano de la FIEE, remitirá los informes de calificación al Director del Trabajo de Titulación y le solicitará un informe de conformidad en relación a las observaciones planteadas, este informe será presentado al Decano en un plazo no mayor a diez días, quien a su vez emitirá la autorización de impresión y encuadernación final del Trabajo de Titulación o Tesis de Grado."*, una vez verificado el cumplimiento del formato de presentación establecido, autorizo la impresión y encuadernación final del Trabajo de Titulación presentado por la señorita:

MILENA LIZBETH OVIEDO ROSERO

Fecha de autorización: 06 de abril de 2021



M.Sc. Fabio González
Decano

Paola P.