

Estudio comparativo de los parámetros eléctricos establecidos en la NTC 2050 y un modelo propuesto con parámetros no lineales para el cálculo de las acometidas de los diferentes servicios presentes en una unidad residencial multifamiliar.

Andrés Felipe Alvarez Gelvez y Juan Pablo Jaimes Sandoval

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero electricista

Director

José David Cortés Torres

Magister en ingeniería eléctrica

Codirector

Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga

PhD. En tecnología

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas

Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Ingeniería Eléctrica

Bucaramanga

2023

Dedicatoria

Quiero agradecer a mi madre Clara que ha estado conmigo toda la vida, ha sido y siempre será la persona más especial y querida que puedo tener, doy gracias todos los días por haberme dado una madre tan especial y a mi padre Numael por todo el apoyo incondicional que he recibido, desde el primer y hasta el último día estuvieron ahí para mí, a mi Tía Libia Alvarez QEPD que fue una persona que siempre estuvo orgullosa de mí, que siempre me tuvo como el sobrino de referencia para los demás, Tía bella te extraño y esto es para ti también lo logramos, a mi primo Tayde Gutiérrez que ha sido como un hermano para mí, aunque no hablemos tanto ni pasemos tanto tiempo como antes siempre recordare que aunque es una persona cerrada conmigo fue completamente diferente, a Ana María por ser alguien que estuvo conmigo en las buenas y en las malas, gracias a mis demás familiares que poco o mucho que dieron ánimos de seguir en este camino, a mis amigos con los que compartidos hermosos recuerdos y algunos otros no tanto y tengo que darle gracias a Dios, por darme la oportunidad de vivir y de estar aquí, en este plano terrenal compartiendo con tantas personas maravillosas que hay en el mundo.

Andrés Felipe Alvarez Gelvez

A mi familia, agradezco a mi Madre Amparo, gracias por brindarme su amor y apoyo incondicional durante esta etapa de mi vida siempre voy a valorar cada esfuerzo que realizaste y realizas por mí, a mi querida Hermana Yolanda, mi ejemplo a seguir, gracias por todos los esfuerzos que hiciste para permitirme tantas oportunidades, por todo el cariño y amor que brindaste, por ser mi hermanita y que sepas que no hay dedicatoria suficiente para poder expresar lo profundamente agradecido que estoy contigo por todas las valiosas cosas que me has aportado.

Gracias Madre y Hermana, sin su apoyo y esfuerzo que realizaron esto no hubiera sido posible y decirles que me esforzaré para hacerlas sentir lo más orgullosas de mí, las Amo. A mi Padrastro, Don Carlos, por sus consejos y apoyo en este proceso y por acompañar a mi madre durante estos años. A mi amada pareja Edna Dayana, por ser mi gran compañera de aventuras, por estar a mi lado, por compartir mis frustraciones y alegrías en lo llevado de esta etapa de mi vida, por todos los momentos felices y alegres que hemos compartido y compartiremos, gracias por tu apoyo incondicional, estás y estarás siempre en mi corazón.

Juan Pablo Jaimes Sandoval

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Industrial de Santander por todo mi desarrollo profesional a lo largo de este tiempo y por la guía que me han brindado los excelentes maestros que hacen parte de esta institución, para el profesor José David Cortes no me queda más que darle las gracias por confiar en nosotros y todo el apoyo que recibimos de su parte para realizar la escritura de este libro que a pesar de las dificultades, inconvenientes y demás cosas que se nos presentaron podemos decir aquí esta.

Tabla de Contenido

Introducción	16
1. Generalidades del Proyecto.....	19
1.1 Objetivo General	19
1.2 Objetivos Específicos.....	19
2. Antecedentes	20
2.1 Referencias Normativas de Diseño de las Instalaciones Eléctricas	20
2.2 Análisis de Diseño Actual de las Instalaciones Eléctricas	22
3. Marco Conceptual	23
3.1 Modelos de Cargas Eléctricas	23
3.2 Pérdidas en Conductores Eléctricos.....	25
4. Caso de Estudio.....	29
4.1 Análisis de Cargas en Instalaciones Eléctricas Residenciales.	29
4.2 Selección de las Cargas Típicas en un Ambiente Residencial para el Caso de Estudio.	35
4.3 Selección de las Características Geográficas y Sociales para el Caso de Estudio.....	36
5. Diseño de la Metodología.	37
5.1 Introducción	37
5.2 Planteamiento del Caso Base	37
5.3 Propuesta Metodológica con Parámetros No Lineales.	49
6. Desarrollo de la Metodología para el Caso de Estudio.....	63
6.1. Metodología NTC 2050	63
6.2 Metodología ESSA.	65

6.2 Desarrollo del Caso de Estudio Bajo la Metodología Propuesta.	68
7. Análisis de los Resultados.	78
7.1 Cuadro Comparativo.....	78
8. Conclusiones y Trabajos Futuros.....	84
8.1 Conclusiones.....	84
8.2 Trabajos Futuros.....	86
Referencias Bibliográficas.....	88
Apéndices.....	91

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Distribución de carga Tablero General</i>	39
Tabla 2 <i>Distribución de Tablero de Zonas Comunes</i>	39
Tabla 3 <i>Cargas Apartamento tipo A</i>	40
Tabla 4 <i>Cargas Apartamento tipo B</i>	42
Tabla 5 <i>Cargas Circuito 1 Apartamento tipo A</i>	44
Tabla 6 <i>Cargas Circuito 2 Apartamento tipo A</i>	44
Tabla 7 <i>Cargas Circuito 3 Apartamento tipo A</i>	44
Tabla 8 <i>Cargas Circuito 4 Apartamento tipo A</i>	44
Tabla 9 <i>Cargas Circuito 1 Apartamento tipo B</i>	45
Tabla 10 <i>Cargas Circuito 2 Apartamento tipo B</i>	45
Tabla 11 <i>Cargas Circuito 3 Apartamento tipo B</i>	45
Tabla 12 <i>Cargas Circuito 4 Apartamento tipo B</i>	46
Tabla 13 <i>Características de señales utilizadas para el modelo de las cargas.</i>	51
Tabla 14 <i>Impedancia representativa por armónico para cada carga modelada.</i>	52
Tabla 15 <i>Corrientes Lavadora calculada con una señal de tensión de 126.56 [V] rms</i>	54
Tabla 16 <i>Equipos considerados para el escenario de máxima demanda, con su equivalente en impedancia.</i>	57
Tabla 17 <i>Circuitos ramales apartamento tipo A y B NTC 2050</i>	63
Tabla 18 <i>Demanda máxima para apartamentos tipo A y B NTC 2050</i>	64
Tabla 19 <i>Demanda máxima diversificada NTC 2050</i>	64

Tabla 20 <i>Cuadro de carga Zonas Comunes NTC 2050</i>	65
Tabla 21 <i>Demanda máxima para apartamentos tipo A y B ESSA</i>	66
Tabla 22 <i>Demanda máxima diversificada ESSA</i>	66
Tabla 23 <i>Cuadro de Regulación NTC 2050</i>	67
Tabla 24 <i>Cuadro de Regulación ESSA</i>	68
Tabla 25 <i>Escenarios de demanda en las cargas agrupadas de los apartamentos Tipo A y Tipo B para condiciones de media/baja demanda.</i>	70
Tabla 26 <i>Modelado de la resistencia por armónico para los conductores seleccionados con la NTC Y ESSA.</i>	71
Tabla 27 <i>Resultados obtenidos del modelo para los conductores dimensionados en la NTC.</i>	72
Tabla 28 <i>Resultados obtenidos del modelo para los conductores dimensionados en la ESSA en condiciones de máxima demanda.</i>	73
Tabla 29 <i>Resultados obtenidos del modelo para los conductores dimensionados con la alternativa propuesta en condiciones de máxima demanda.</i>	75
Tabla 30 <i>Resultados obtenidos del modelo en los datos de corriente por el neutro con dimensionados en la NTC, ESSA y Alternativa propuesta.</i>	76
Tabla 31 <i>Cuadro comparativo metodología NTC 2050, ESSA y Propuesta parte 1</i>	78
Tabla 32 <i>Cuadro comparativo metodología NTC 2050, ESSA y Propuesta parte 2</i>	79
Tabla 33 <i>Explicación de diferencias en los resultados de las metodologías convencionales y la propuesta</i>	81
Tabla 34 <i>Ventajas y Desventajas</i>	82

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Calentamiento de un conductor debido al flujo de una corriente eléctrica.....</i>	26
Figura 2 <i>Imagen de la distribución de la densidad de corriente en un conductor macizo cuando es recorrido por a) corriente continua y b) corriente alterna</i>	27
Figura 3 <i>Electrodomésticos más consumidos durante la pandemia.....</i>	30
Figura 4 <i>Variación porcentual y contribución en las ventas reales del comercio minorista.....</i>	31
Figura 5 <i>Porcentaje de mención de los equipos residenciales en consultas e informes del DANE</i>	32
Figura 6 <i>Resultados sondeo de cargas</i>	33
Figura 7 <i>Equipos específicos del sondeo</i>	34
Figura 8 <i>Curva de Demanda de los sondeados.</i>	35
Figura 9 <i>Diagrama Unifilar General.....</i>	38
Figura 10 <i>Modelo apartamento tipo A.....</i>	40
Figura 11 <i>Modelo apartamento tipo B.....</i>	42
Figura 12 <i>Flujograma de la metodología para el modelamiento de la vivienda multifamiliar. .</i>	49
Figura 13 <i>Esquema del modelamiento de la vivienda multifamiliar</i>	51
Figura 14 <i>Espectro de las señales corrientes de la Lavadora señal original vs calculada por el modelo.....</i>	53
Figura 15 <i>Esquema del modelamiento de apartamento o cargas agrupadas</i>	56
Figura 16 <i>Corriente resultante del modelo para un apartamento tipo A</i>	57
Figura 17 <i>Esquema del modelamiento por fase o cargas concentradas</i>	58

Figura 18 <i>Esquema circuital del modelo general de la vivienda para la fase A</i>	59
Figura 19 <i>Espectro armónico señal de tensión de entrada para el modelo general de la vivienda</i>	70
Figura 20 <i>Regulación calculada en escenario de media/baja demanda.</i>	77

Lista de Apéndices

	pág.
Apéndice A <i>Código Modelado de Cargas</i>	91
Apéndice B <i>Código Modelado Cargas Agrupadas.</i>	92
Apéndice C <i>Código Modelado Vivienda Multifamiliar.</i>	96
Apéndice D <i>Código Modelado Conductores.</i>	100
Apéndice E <i>Cuadro de Comparación caso demanda media-baja 1</i>	101
Apéndice F <i>Cuadro de Comparación caso demanda media-baja 2</i>	103

Glosario

Acometida: Se refiere al conjunto de elementos y dispositivos utilizados para conectar un edificio o instalación a la red eléctrica pública. Esto incluye cables, conductores, interruptores y otros componentes que facilitan la distribución de la electricidad desde el suministro público hasta el lugar de consumo.

Armónicos: Son componentes de una onda de tensión o corriente que tienen frecuencias enteras múltiplos de la frecuencia fundamental. La presencia de armónicos en un sistema eléctrico puede causar distorsiones en las ondas de tensión y corriente.

Calibre: Se refiere al grosor o diámetro del conductor

Cargas: Se refiere a dispositivos o componentes eléctricos que consumen energía eléctrica. Las cargas pueden ser de dos tipos: resistivas (como las lámparas incandescentes, que convierten la electricidad en calor y luz) o inductivas/capacitivas (como motores o condensadores, que pueden almacenar y liberar energía eléctrica en forma de campo magnético o eléctrico).

Cargas no lineales: Se refieren a dispositivos eléctricos o componentes de un sistema que no siguen una relación lineal entre la tensión (voltaje) y la corriente eléctrica. En otras palabras, la corriente eléctrica a través de estos componentes no es directamente proporcional a la tensión aplicada. En lugar de eso, muestran una respuesta no lineal, lo que significa que su comportamiento eléctrico se desvía de una relación lineal simple, y pueden generar armónicos y distorsiones en la señal eléctrica, lo que puede afectar la calidad de la energía eléctrica en un sistema

Conductor Eléctrico: Es un material que permite el flujo de corriente eléctrica a través de él. Los conductores comunes incluyen metales como el cobre y el aluminio debido a su capacidad para transportar electrones.

Demanda: Se refiere a la cantidad de energía eléctrica que un consumidor o un conjunto de consumidores utiliza en un período de tiempo específico.

Distorsión: Se refiere a cualquier alteración no deseada en la forma de onda de la corriente o la tensión. Puede manifestarse como armónicos (componentes de frecuencia múltiplos de la frecuencia fundamental) u otras irregularidades que afectan la pureza de la señal eléctrica.

Regulación: Se refiere a la capacidad de un sistema, dispositivo o componente para mantener constante algún aspecto de su rendimiento frente a variaciones en las condiciones de entrada o carga

Valor RMS: Significa "valor eficaz" o "Root mean square" en inglés, es una medida estadística que se usa comúnmente en el ámbito de la electricidad y la ingeniería. Este valor se utiliza para representar la magnitud de una señal variable, como una señal de tensión o corriente alterna (AC), de una manera que se pueda comparar directamente con el equivalente en corriente continua (DC).

Resumen

Título: Estudio comparativo de los parámetros eléctricos establecidos en la NTC 2050 y un modelo propuesto con parámetros no lineales para el cálculo de las acometidas de los diferentes servicios presentes en una unidad residencial multifamiliar.*

Autor: Andrés Felipe Alvarez Gelvez y Juan Pablo Jaimes Sandoval**

Palabras Clave: Cargas no lineales, Armónicos, Acometidas, Instalaciones Eléctricas, NTC 2050, ESSA, RETIE, Unidad residencial, Factor de potencia, Pérdidas, Modelos.

Descripción: El diseño, cálculo o estimación de los conductores de alimentación de las viviendas multifamiliares que se plantea actualmente lleva a ineficiencias debido a las pérdidas adicionales, desgastes del conductor y como una probable errónea selección de los conductores debido a no considerar los armónicos producidos por las cargas no lineales presentes en el sector residencial. En este proyecto se busca determinar el impacto que tendría considerar las características no lineales de las diversas cargas en una vivienda multifamiliar en las pérdidas que suceden en los conductores por la presencia de diversas componentes armónicas y determinar su impacto a la hora de realizar los cálculos de potencia para la selección de los conductores de acometidas.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingeniería Físico-mecánica. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Ingeniería Eléctrica. Director: José David Cortés Torres. Magister en Ingeniería Eléctrica. Co-director: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga. PhD en Tecnología.

Abstract

Title: Comparative study of the electrical parameters established in NTC 2050 and a proposed model with non-linear parameters for the calculation of the connections of the different services present in a multi-family residential unit.*

Author(s): Andrés Felipe Alvarez Gelvez and Juan Pablo Jaimes Sandoval **

Key Words: Non-linear loads, Harmonics, Connections, Electrical Installations, NTC 2050, ESSA, RETIE, Residential Unit, Power Factor, Losses, Models.

Description: The design, calculation or estimation of the supply conductors of multi-family homes that is currently proposed leads to inefficiencies due to additional losses, conductor wear and a probable erroneous selection of conductors due to not considering the harmonics produced by the loads. non-linear lines present in the residential sector. This project seeks to determine the impact that considering the non-linear characteristics of the various loads in a multi-family home would have on the losses that occur in the conductors due to the presence of various harmonic components and determine their impact when performing the calculations of power for the selection of service conductors.

* Degree Work

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Electrical, Electronics and Telecommunications Engineering. Electric Engineering. Director: José David Cortés Torres. Master in Electric Engineering. Co-director: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga. PhD in Technology.

Introducción

La demanda de energía eléctrica en el país es una constante día a día y que aumenta según el crecimiento de la población y el desarrollo que tiene el país (UPME, 2021). Un sector importante de esta demanda se concentra en los sectores residenciales de todo el país los cuales han llevado una expansión con las diversas políticas del estado e ingresos de los habitantes a lo largo del tiempo. En las instalaciones de uso final es donde se concentra la demanda de energía y es aquí donde las instalaciones eléctricas juegan el papel fundamental de brindarle el acceso a la energía eléctrica a los usuarios. El diseño de las instalaciones eléctricas finales en viviendas multifamiliares se lleva a cabo actualmente mediante las diversas normativas vigentes en Colombia como lo son el Reglamento Técnico en Instalaciones Eléctricas (RETIE), la Norma Técnica Colombiana (NTC 2050) y las normativas vigentes del operador de red ESSA. Estas normativas proponen diversos métodos para la selección de circuitos, la selección de equipos, configuraciones propuestas, entre otros. En el análisis y/o proyección de las cargas en un sector residencial la normativa propone el uso de la potencia activa nominal de las cargas proyectadas y tensiones nominales de operación proporcionados por el operador de red para una determinación de la carga instalada de las viviendas, de las áreas comunes y de las zonas comerciales, que con la aplicación factores de demanda y factores de diversidad, se puede estimar la demanda máxima proyectada de consumo en el punto de alimentación de la red. La estimación de la carga y de la demanda máxima es un buen aproximado a la demanda real que puede presentarse en las instalaciones eléctricas de los sectores que componen a las viviendas multifamiliares. Sin embargo, debido al aumento de las cargas no lineales presentes en las mismas, como por ejemplo la

electrónica de potencia presente en electrodomésticos, control de ascensores, motores, rectificadores y otros elementos con características no lineales. La tensión y la corriente de características lineal es la información con la que se realiza la estimación de la carga de acuerdo con las normativas actuales, sin embargo, la presencia de cargas no lineales adiciona componentes de tensión y corriente a la componente fundamental. Por lo que la estimación de carga instalada con estas componentes adicionales no suele tenerse en cuenta en la normativa vigente, probablemente debido a la complejidad en la estimación del impacto de estos armónicos en los cálculos para alimentadores (conductores) y los equipos referentes. Dentro de las razones que se encuentran para no considerar la influencia de estas componentes en las normas del diseño de las instalaciones eléctricas multifamiliares es debido a la amplia variedad de elementos no lineales y la ausencia de especificaciones técnicas de diseño de los fenómenos armónicos de la carga por parte de los fabricantes. Los impactos presentados a la presencia de componentes armónicas y que son de interés en este estudio son las corrientes armónicas generadas por cargas representativas y que influyen en el dimensionamiento de los conductores de fase y neutro como se menciona en (Demoulias et al., 2007), (Yong y Xu, 2016) y (Mukhtaruddin et al., 2015) al verse una disminución de la capacidad de corriente de los mismos debido a las distorsiones, en las pérdidas de potencia adicionales en los conductores (Neagu et al., 2016) - (Patil y Gandhare, 2011) debido a efecto de las altas frecuencias con su interacción con el conductor también conocido como el efecto piel, en (Santiago et al., 2017) se puede observar una estimación de pérdidas en potencia y económicas en los conductores debido a electrodomésticos en España, y también se tiene los esfuerzos térmicos debido a estas pérdidas causadas por armónicos en la disminución de la vida útil de los materiales como se observa en (Patil y Gandhare, 2011). En este proyecto se plantea estudiar y comparar el impacto de los armónicos de corriente producidos y su impacto al momento

de dimensionar los alimentadores de un sistema eléctrico de una vivienda multifamiliar en donde se contemplen la influencia de cargas no lineales en contraste con lo planteado en el RETIE, NTC 2050 y la norma ESSA.

1. Generalidades del Proyecto

1.1 Objetivo General

Diseñar una metodología descriptiva de parámetros eléctricos lineales y no lineales usando la información de las cargas eléctricas residenciales típicas para realizar el dimensionamiento de las acometidas generales, sub-acometidas y circuitos alimentadores de una edificación de propiedad horizontal.

1.2 Objetivos Específicos

- Realizar un estudio de por lo menos dos de los principales modelos de cargas lineales y no lineales presentes en las diferentes instalaciones de una unidad residencial.
- Seleccionar un modelamiento de la literatura de cargas lineales y no lineales para los circuitos típicos de una vivienda multifamiliar.
- Proponer un modelo para el diseño eléctrico general en una vivienda multifamiliar teniendo en cuenta el dimensionamiento de las acometidas, sub-acometidas y circuitos alimentadores.
- Realizar el análisis comparativo entre los criterios de diseño establecidos en la NTC 2050 y los criterios de diseño establecidos en el modelo propuesto.

2. Antecedentes

2.1 Referencias Normativas de Diseño de las Instalaciones Eléctricas

En Colombia se tienen diversas normativas para el diseño de instalaciones eléctricas, especialmente en las áreas de atención de los operadores de red que hay en el país, se mencionan las normas referentes en el país y las normas técnicas establecidas por la Electrificadora de Santander (ESSA) con la que se desarrollará este trabajo.

2.1.1 Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE)

El reglamento Técnico de instalaciones Eléctricas (RETIE) establecido por el Ministerio de Minas y Energía contempla como objetivo principal el “garantizar la protección de la vida de las personas contra los riesgos que puedan provenir de los bienes y servicios relacionados con el sector a su cargo” (MinMinas,2013), estableciendo los requisitos mínimos que deben cumplirse tanto en normas de instalaciones, los requerimientos de los materiales, herramientas y equipos junto con el correcto análisis de riesgos asociados.

Si bien en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) no se trata de una guía de diseño eléctrico, establecen y abarca los parámetros fundamentales para garantizar la seguridad al momento de trabajar o diseñar instalaciones eléctricas, entre todo lo establecido en este reglamento y lo buscado en nuestro estudio “Estudio comparativo de los parámetros eléctricos establecidos en la NTC 2050 y un modelo propuesto con parámetros no lineales para el cálculo de las acometidas de los diferentes servicios presentes en una unidad residencial multifamiliar” hacemos referencia a lo mencionado en la sección 10.1 en lo mencionado en la sección con letra O de (MinMinas,2013) enfocando el estudio a un nivel detallado.

2.1.2 Código Eléctrico Colombiano (NTC2050)

El Código Eléctrico Colombiano (NTC2050) tiene el objetivo de “Salvaguardia de las personas y los bienes contra los riesgos que puede surgir por el uso de la electricidad.” (ICONTEC,1998)

, si bien esta norma no se considera en si como un manual para el diseño de instalaciones eléctricas ni de obligatorio cumplimiento de forma general debido a su definición como norma, sin embargo, se considera como una guía de buenas prácticas para el área del diseño de instalaciones eléctricas y adicionalmente por lo establecido en la sección 27.1 APLICACIÓN DE NORMAS TECNICAS del RETIE (MinMinas,2013) hace obligatorio el cumplimiento de los primeros 7 capítulos de la NTC 2050, los cuales son mencionados a continuación;

- Cap. 1. Definiciones y requisitos generales para instalaciones eléctricas.
- Cap. 2. Los requisitos de alambrado y protecciones.
- Cap. 3. Los métodos y materiales de las instalaciones.
- Cap. 4. Los requisitos de instalación para equipos y elementos de uso general.
- Cap. 5. Los requisitos para ambientes especiales.
- Cap. 6. Los requisitos para equipos especiales.
- Cap. 7. Las condiciones especiales de las instalaciones.

Parte de estos capítulos son muy importantes para el estudio y son los que se usarán para ayudar al diseño eléctrico como guía para los cálculos estimados por los conductores.

2.1.3 Norma Electrificadora de Santander (ESSA)

La Electrificadora de Santander (ESSA) es el operador de red que brinda el servicio de energía eléctrica en el departamento de Santander. Establece su norma (ESSA,2021) en concordancia con el objetivo establecido en el RETIE y está pensado para presentar los cálculos y diseños en sistemas de distribución de energía en su zona de influencia. Presenta las exigencias mínimas para la aprobación de proyectos en el sistema de distribución y el enfoque utilizado para el cálculo de las acometidas se tratan en las secciones 2.1, 2.2 y 2.3 de la (ESSA,2021).

2.2 Análisis de Diseño Actual de las Instalaciones Eléctricas

Los diseños actuales para instalaciones eléctricas suelen destacar por su practicidad en términos de la facilidad con la que se pueden dimensionar. Sin embargo, carecen de precisión al modelar las cargas principalmente debido al aumento de la presencia de cargas no lineales en las unidades residenciales como se menciona en (Demoulias et al., 2007), esto dificultaría el cálculo del calibre óptimo del conductor y, por ende, a un incremento innecesario de los costos.

3. Marco Conceptual

3.1 Modelos de Cargas Eléctricas

Los modelos de cargas eléctricas desempeñan un papel esencial al caracterizar y simular el comportamiento de los dispositivos y equipos conectados a una red eléctrica. Estos modelos, en esencia, son representaciones matemáticas o computacionales que describen cómo los diferentes dispositivos y sistemas eléctricos demandan energía en función de diversos factores, como el tiempo, la tensión, la corriente y las condiciones de operación.

3.1.1 Principales Modelos de Cargas Eléctricas.

3.1.1.1 Modelo ZIP. Este modelo representa la relación entre la magnitud de la tensión y la potencia en una ecuación polinomial que combina componentes de impedancia constante (Z), corriente (I) y potencia (P) (Arif et al., 2018).

3.1.1.2 Modelo Exponencial. El modelo exponencial relaciona la potencia y la tensión en un bus de carga mediante ecuaciones exponenciales. Este modelo tiene menos parámetros y generalmente se usa para representar cargas mixtas. En estas ecuaciones se pueden incluir más componentes con diferentes exponentes (Arif et al., 2018).

3.1.1.3 Modelo Dependiente de la Frecuencia. Este modelo se obtiene multiplicando el modelo exponencial o ZIP por un factor que depende de la frecuencia del bus. El factor se representa según la Ecuación 1.

$$Factor = [1 + a_f(f - f_0)] \quad (1).$$

Donde f es la frecuencia de la tensión del bus, f_0 es la frecuencia nominal y a_f es el parámetro de sensibilidad de frecuencia. Agregar el término de frecuencia al modelo ZIP no tiene significado físico, ya que el componente relacionado con la impedancia constante pasa a depender de la frecuencia (Arif et al., 2018).

3.1.1.4 Modelo Norton. El modelo Norton tratado en (Henao-Munoz y Saavedra-Montes, 2016), (Bello et al., 2019), y (Arismendy-Mira et al., 2018) nos permite encontrar una aproximación del comportamiento de cargas no lineales basándose en las señales de tensión de entrada y la corriente de respuesta de las cargas para un estado de operación y que quedan ligadas a este. Este modelo describe el comportamiento de la carga como la relación entre el voltaje de Thévenin y la corriente de Norton.

3.1.2 Selección del Modelo de Cargas Eléctricas.

Basándose en el objetivo del estudio se selecciona para el modelamiento de las cargas eléctricas el modelo Norton que se basa en la relación de la corriente de respuesta de la carga y la tensión aplicada a esta, similar al modelo CCS (Constant current source model - Modelo de fuente de corriente constante) visto en (Bello et al., 2019) pero utilizaremos la impedancia resultante de esta como factor que representa el comportamiento de respuesta por armónico de la carga a modelar, esta impedancia se calcula según la Ecuación 2.

$$Z_{Th} = Z_{No} = \frac{V_{Th}}{I_{No}} \quad (2).$$

Donde V_{Th} es la tensión de entrada a la carga y I_{No} es la corriente de respuesta de la carga.

La selección de este modelo se basa en la información disponible para ejecutar el modelo donde en la mayoría de los casos se cuentan con información para solo un estado de operación de las cargas dificultando el modelo propuesto en (Henao-Munoz y Saavedra-Montes, 2016). Adicionalmente la facilidad de la implementación del modelo y la opción de trabajar con impedancia son algunos de los criterios tomados para la selección.

3.2 Pérdidas en Conductores Eléctricos.

Las pérdidas de energía eléctricas en conductores se presentan por una amplia variedad de fenómenos como lo son el efecto Joule, efecto corona, efecto “Skin”, efectos por tensión disruptiva, etc.

Los efectos de pérdidas en conductores que se estudian en este documento son los asociados a niveles de baja tensión, con los cuales varios de los efectos presentados anteriormente se descartan. A continuación, se presentan los efectos de pérdidas que se toman en cuenta para el análisis de este estudio.

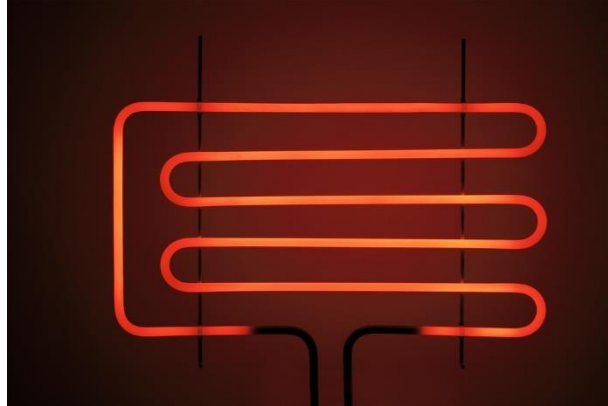
3.2.1 Principales Efectos que Inciden en la Pérdida de Energía en Conductores.

De los principales efectos de pérdidas en conductores mencionados en la sección 3.2 se destacan los que mayor impacto tienen al momento del análisis para el diseño de una instalación eléctrica residencial.

Se tienen pérdidas por el efecto Joule, consideradas la más común ya que por el flujo de una corriente eléctrica por cualquier conductor convencional se presentan pérdidas en forma de calor debido a que parte de la energía transportada por los electrones ocasionando que el conductor se caliente, como se muestra en la Figura 1.

Figura 1

Calentamiento de un conductor debido al flujo de una corriente eléctrica

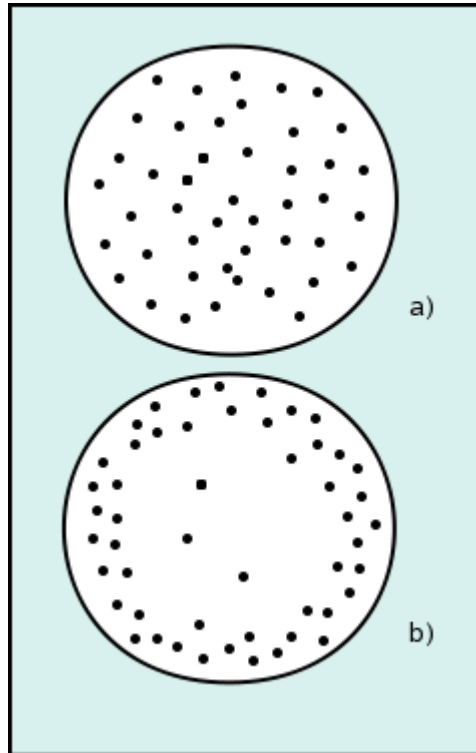


Fuente: <https://hipertextual.com/2015/05/efecto-joule>

También se tiene el efecto Skin, Kelvin o Peculiar es un fenómeno que se presenta en corriente alterna debido a que se observa una mayor densidad de corriente en la superficie externa de los conductores eléctricos a diferencia de la densidad de corriente que se presenta en corriente continua la cual se distribuye por toda el área efectiva del conductor, esto causa que la resistencia efectiva al paso de la corriente alterna sea mayor que la de corriente continua debido a que la corriente fluye por una menor área, con esto se tiene que la resistencia eléctrica en corriente alterna varíe dependiendo de la frecuencia, se observa este fenómeno en la Figura 2.

Figura 2

Imagen de la distribución de la densidad de corriente en un conductor macizo cuando es recorrido por a) corriente continua y b) corriente alterna



Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_pelicular

3.2.2 Selección del Modelo de Conductores con sus Pérdidas Eléctricas por Efecto Joule.

Para el modelamiento de las pérdidas de energía por el efecto joule se realiza usando la Ley de Ohm donde se evaluarán las pérdidas de potencia activa según la Ecuación 3.

$$P = I^2 * R [W] \quad (3).$$

Donde I es la corriente que circula por el conductor y donde R es la resistencia del conductor, la unidad de resistencia puede estar expresada en resistencia por unidad de longitud.

De igual forma se puede evaluar las pérdidas de potencia aparente como lo mostrado en la Ecuación 4:

$$S = I^2 * Z \text{ [VA]} \quad (4).$$

Donde I es la corriente que circula por el conductor y donde Z es la impedancia del conductor, la unidad de impedancia puede estar expresada en impedancia por unidad de longitud.

3.2.3 Selección del Modelo de Conductores.

El modelo de conductores se selecciona con base en las ecuaciones 14, 15 y 16 expuestas en (Manusov & Khripkov, 2018) donde se proyecta los valores de resistencia para cada frecuencia armónica y donde asumiremos la linealidad del valor de la impedancia.

$$\frac{R_0(v)}{R_0} = k_{sv} + k_{pv} \quad (5).$$

$$k_{pv} = 0.59 \cdot \frac{k_{sv} - 1}{k_{sv} - 0.73} \quad (6).$$

$$k_{sv} = 1 + \frac{x^4}{3} \text{ para } x \leq 1 ; k_{sv} = x + 0.25 + \frac{0.47}{x} \text{ para } x \geq 1 \quad (7).$$

Donde;

$$x = 0.128 \cdot \sqrt{\frac{n}{Rdc}} \quad (8).$$

Para el modelo son necesarios dos valores que caracterizan el conductor como lo son la resistencia en Corriente Directa (DC) y donde los factores k_{sv} y k_{pv} representan factores de efecto piel y factores de proximidad respectivamente y donde x es un parámetro intermedio para aproximar los factores de la ecuación (5) que considera la frecuencia a analizar y el valor de la resistencia en corriente continua para el conductor que se desea modelar.

4. Caso de Estudio.

4.1 Análisis de Cargas en Instalaciones Eléctricas Residenciales.

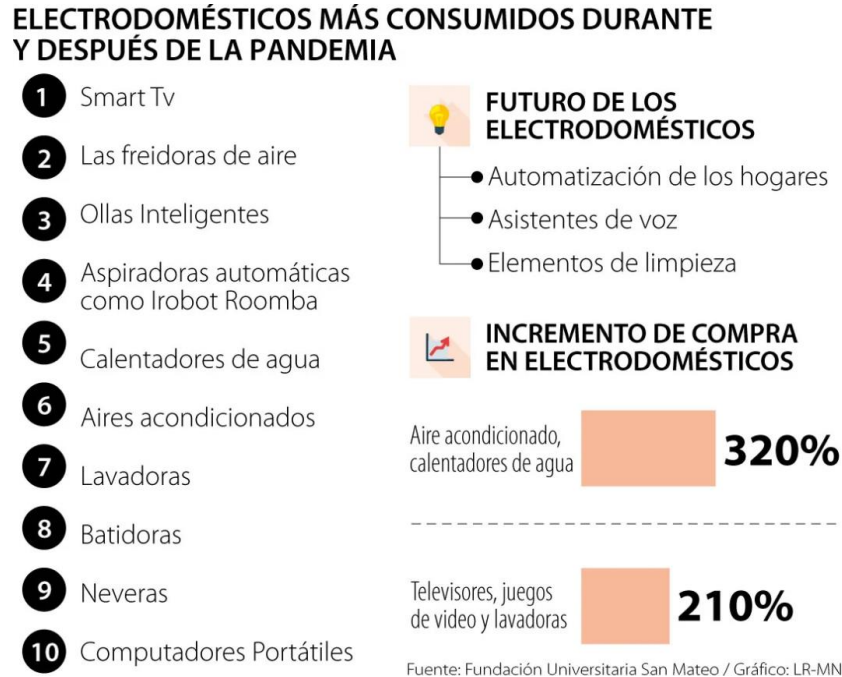
Para el desarrollo del estudio es necesario conocer qué tipo de cargas o coloquialmente equipos / electrodomésticos se usan comúnmente en los ambientes residenciales colombianos para así realizar un modelamiento acorde a la realidad. Se hace la observación que en la determinación de las cargas en los ambientes residenciales es muy variado y depende de factores económicos, sociales y geográficos.

4.1.1 Investigación Inventario de Cargas Típicas Residenciales.

En una consulta de noticias e informes de medios de comunicación se busca sondear de forma general que cargas o electrodomésticos adquieren los colombianos, en donde se presenta la información en la Figura 3.

Figura 3

Electrodomésticos más consumidos durante la pandemia



Fuente: <https://www.larepublica.co/consumo/estos-son-los-electrodomesticos-mas-buscados-durante-y-despues-de-la-pandemia-3342364>

En el informe del DANE se expresa la variación porcentual y contribución en las ventas reales del comercio minorista según grupos de mercancía (DANE, 2022). Donde se observa un aumento en los electrodomésticos y muebles en el hogar, equipos de informática y telecomunicaciones para uso doméstico, equipos y aparatos de sonido y video, esto se observa en la Figura 4.

Figura 4*Variación porcentual y contribución en las ventas reales del comercio minorista*

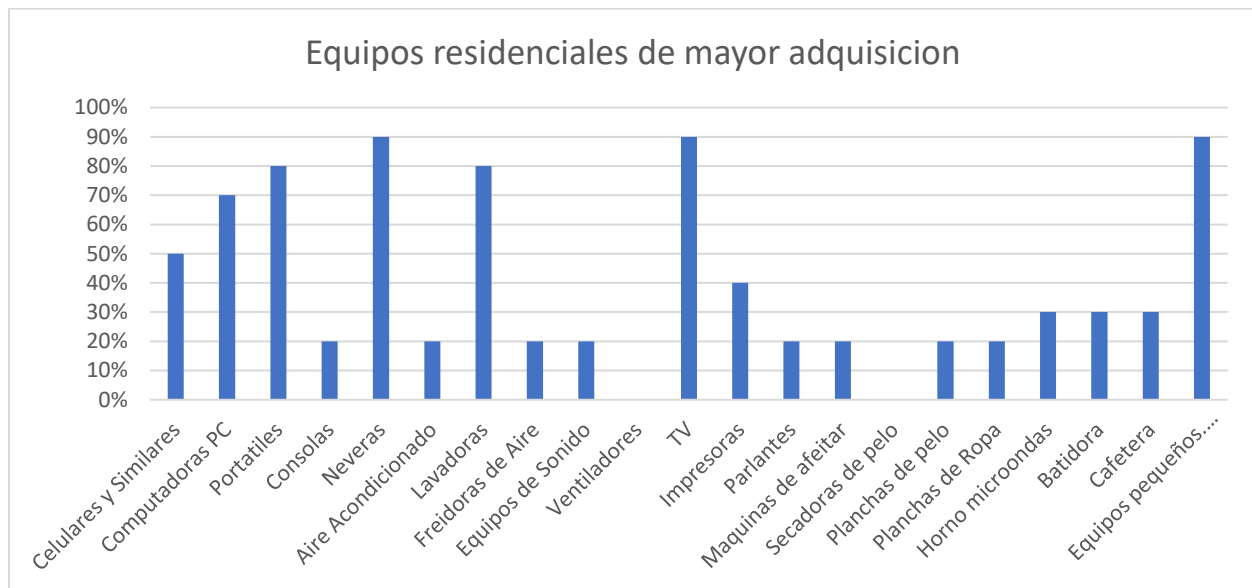
Líneas de mercancías	Marzo de 2022 / marzo de 2021		Marzo de 2022 / marzo de 2019	
	Variación %	Contribución PP	Variación %	Contribución PP
Total comercio minorista	12,0	12,0	28,2	28,2
Combustibles para vehículos automotores	11,8	2,4	30,5	6,1
Equipo de informática y telecomunicaciones para uso personal o doméstico	58,9	2,3	138,7	4,1
Otros vehículos automotores y motocicletas***	18,8	1,4	29,0	2,3
Electrodomésticos, muebles para el hogar	32,2	1,2	71,5	2,3
Prendas de vestir y textiles	31,3	1,2	35,8	1,5
Equipos y aparatos de sonido y video	66,5	1,1	86,6	1,5
Repuestos, partes, accesorios y lubricantes para vehículos	15,2	1,0	28,4	1,9
Calzado, artículos de cuero y sucedáneos del cuero	39,4	0,5	27,6	0,4
*Otras mercancías para uso personal o doméstico, no especificadas anteriormente	12,3	0,4	28,9	0,9
Productos de aseo personal, cosméticos y perfumería	8,7	0,3	11,5	0,5
Artículos de ferretería, vidrios y pinturas	6,1	0,3	38,5	1,5
Bebidas alcohólicas, cigarros, cigarrillos y productos del tabaco	11,4	0,2	30,6	0,5
Bebidas no alcohólicas	15,2	0,2	9,2	0,1
Libros, papelería, periódicos, revistas y útiles escolares	19,3	0,1	9,8	0,1
Artículos y utensilios de uso doméstico	6,7	0,1	28,4	0,4
Productos farmacéuticos y medicinales	2,2	0,1	8,0	0,2
Vehículos automotores y motocicletas principalmente de uso de los hogares**	-0,2	0,0	26,6	2,5
Productos para el aseo del hogar	-2,5	-0,1	31,8	0,8
Alimentos (víveres en general)	-2,5	-0,5	3,7	0,8

Fuente: Informe DANE (DANE, 2022) página 5.

De forma general y basándose en 10 fuentes consultadas que constan de 8 artículos de noticias, 2 Artículos científicos y un reporte de la DANE podemos resumir la información en el porcentaje de adquisición de los equipos residenciales en estas fuentes en la Figura 5.

Figura 5

Porcentaje de mención de los equipos residenciales en consultas e informes del DANE



Fuente: Autores.

Con esta breve información se puede observar que los colombianos adquieren una gran cantidad de productos electrónicos domésticos como lo son televisores, computadores, neveras celulares, etc. Información clave para poder delimitar que equipos serían necesarios para representar de la forma más acertada las selecciones de equipos que son usados para llevar a cabo el análisis.

4.1.2 Sondeo Cargas Típicas Residenciales.

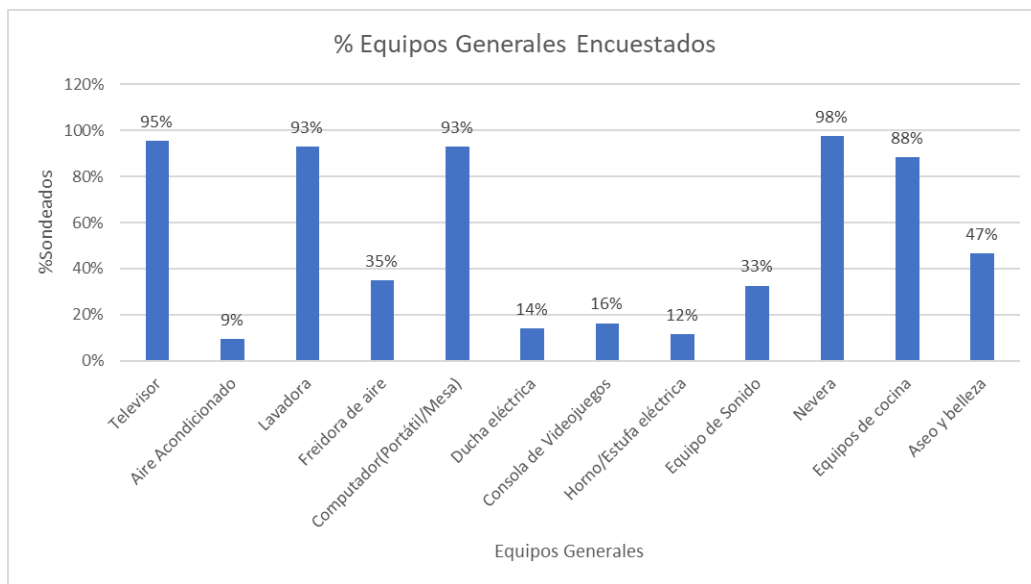
En la búsqueda de las cargas típicas residenciales se realizó un sondeo en las cuales se pregunta de forma general por los electrodomésticos de mayor tenencia junto con un consumo eléctrico de potencia considerablemente elevado y electrodomésticos específicos. Adicionalmente

incluye la solicitud de información como lo son, ubicación, estrato, integrantes, información de uso de ciertos equipos con el objetivo de realizar una estimación de curvas de demanda, etc.

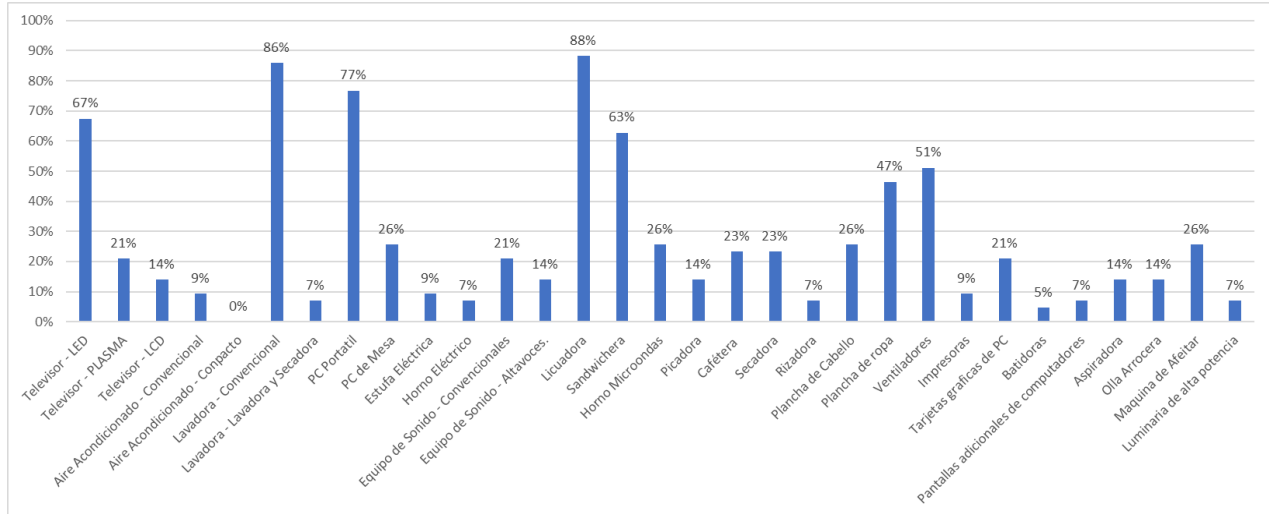
Se obtuvieron alrededor de 45 respuestas de personas que han sido preguntadas. En las Figuras 6 y 7, se muestran algunos de los resultados obtenidos donde se encuentra los equipos generales con el porcentaje de tendencia.

Figura 6

Resultados sondeo de cargas



Fuente: Autores.

Figura 7*Equipos específicos del sondeo*

Fuente: Autores.

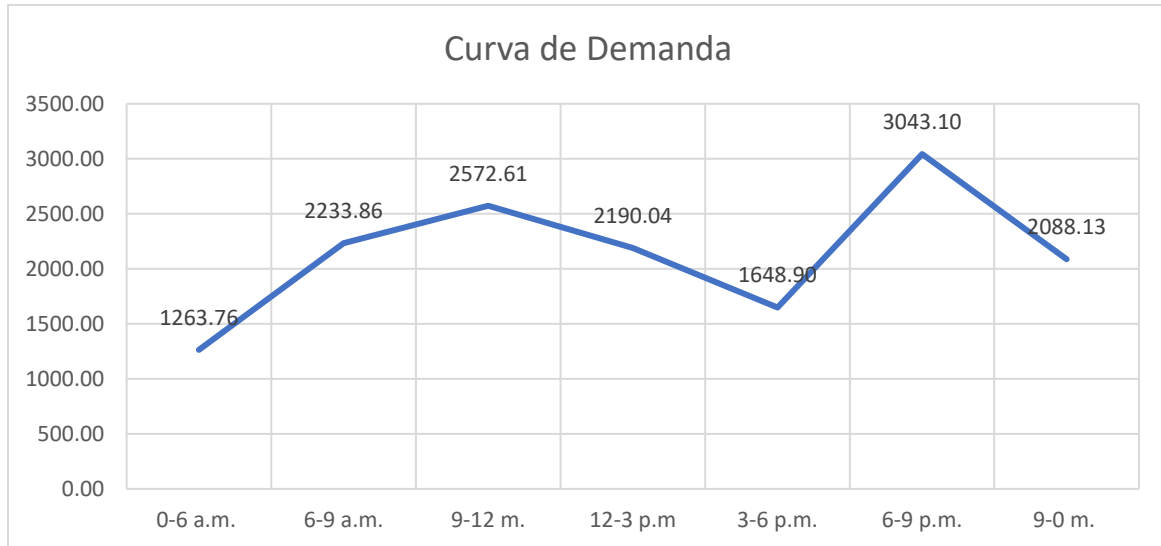
Como se observa en los resultados del sondeo se puede concluir que alrededor de más del 90% de los encuestados cuentan con televisores, lavadora, computador, nevera y equipos de cocina. También se puede destacar que alrededor de un 30% de las personas que respondieron el sondeo cuentan con equipos como freidoras de aire, equipos de sonido y equipos para aseo y belleza. Algo a mencionar es que se puede llegar a tener que el 10% de las personas que respondieron el sondeo cuentan con equipos especiales de alta potencia como duchas eléctricas, aires acondicionados y hornos o estufas eléctricas.

4.1.3 Curvas de Demanda.

A partir de la información recolectada mediante el sondeo se define un factor de demanda para las distintas franjas horarias, con base en este se obtiene una aproximación de la demanda estimada de los sondeos presentada en la Figura 8.

Figura 8

Curva de Demanda de los sondeados.



4.2 Selección de las Cargas Típicas en un Ambiente Residencial para el Caso de Estudio.

Para la selección de las cargas que son viables para incluir en el estudio se basa en la información mostrada en las secciones 4.1.1 y 4.1.2 con los criterios de los autores para el dimensionamiento eléctrico de una vivienda multifamiliar.

Como resultado se decidió tener en cuenta las siguientes cargas para el estudio:

1. Licuadora con las siguientes especificaciones: 450 [W], 120 [V], fp = 0.95.
2. Luminaria. con las siguientes especificaciones: 15 [W], 120 [V], fp = 0.95.
3. Ventilador con las siguientes especificaciones: 48 [W], 120 [V], fp = 0.95.
4. Nevera con las siguientes especificaciones: 1020 [W], 120 [V], fp = 0.95.
5. Computador Portátil con las siguientes especificaciones: 90 [W], 120 [V], fp = 0.95.
6. Plancha con las siguientes especificaciones: 700 [W], 120 [V], fp = 0.95.
7. Aire acondicionado con las siguientes especificaciones: 2950 [W], 120 [V], fp = 0.95.
8. Televisión con las siguientes especificaciones: 206 [W], 120 [V], fp = 0.95.

9. Lavadora con las siguientes especificaciones: 800 [W], 120 [V], $fp = 0.95$.

4.3 Selección de las Características Geográficas y Sociales para el Caso de Estudio.

Con base en los resultados obtenidos mediante el sondeo, se elige Bucaramanga, Santander, como el lugar geográfico de referencia. En este contexto, se procede a dimensionar una vivienda multifamiliar de estrato 4.

5. Diseño de la Metodología.

5.1 Introducción

Además del desarrollo de la metodología NTC 2050 se realizan los cálculos correspondientes a la metodología ESSA ya que es el Operador de Red que tiene jurisdicción en el departamento de Santander, lugar donde se ubica la vivienda multifamiliar. Con el fin de observar las diferencias en los resultados obtenidos a partir de esta metodología.

Para realizar el estudio comparativo se plantean tres alternativas, las cuales son: metodología NTC 2050, Metodología ESSA y la metodología propuesta con parámetros adicionales, esta última se apoya en la recopilación de datos reales de consumo eléctrico de equipos.

5.2 Planteamiento del Caso Base

Se inicia estableciendo las especificaciones del proyecto, esta etapa es crucial para recopilar todos los datos requeridos con el fin de llevar a cabo los cálculos correspondientes según las tres metodologías previamente elegidas.

Se aclara que para cuestiones de cálculos las canalizaciones se realizan en tubería Conduit y se selecciona en las tablas a partir de esto.

5.2.1 Especificaciones del Proyecto.

El edificio multifamiliar se encuentra ubicado en Bucaramanga, Santander en una localidad estrato 4 y consta de:

- Lobby y parqueadero con un área de 200 m.
- Ascensor de 12 HP, V=208 [V] Trifásico.
- Portón de 1 HP, V=120 [V] Monofásico.

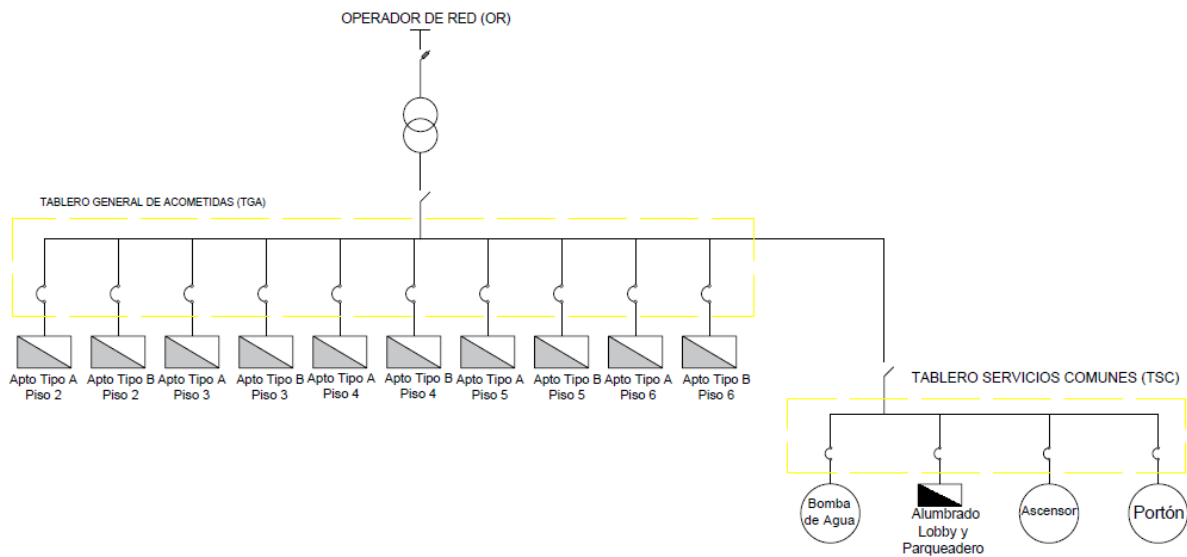
- Bomba de agua de 1/2 HP, 115[V] Monofásico.
- 10 apartamentos que se encuentran entre los pisos 2-6, en cada piso encontramos 2 apartamentos tipo (1A y 1B) para los cuales de ahora en adelante en este proyecto se llama apartamento A al apartamento 1 y el apartamento B al apartamento 2 de cada piso.

5.2.1.1 Diagrama Unifilar General. Se observa el diagrama unifilar general en la Figura

9.

Figura 9

Diagrama Unifilar General



5.2.1.2 Distribución de Cargas. Se toman las distribuciones de carga presentadas en la

Tabla 1 y 2.

Tabla 1*Distribución de carga Tablero General*

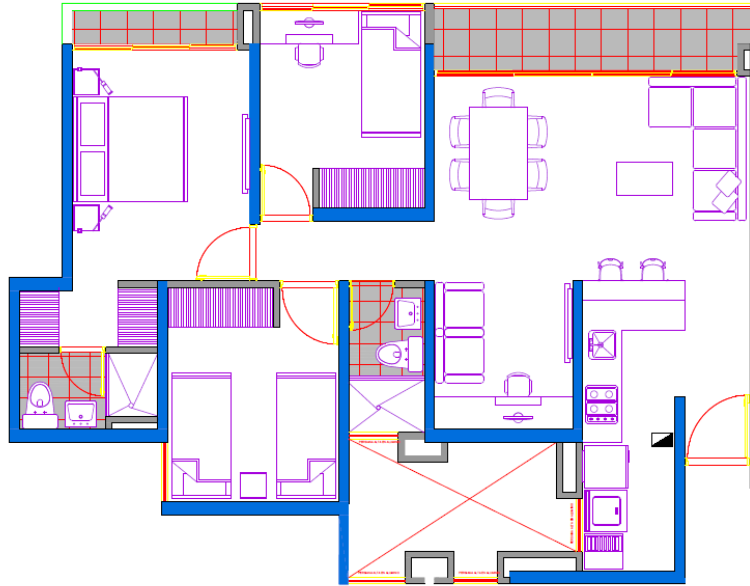
Distribución de carga para los apartamentos en el tablero general	Fase	Longitud hasta TGBT
Apartamento 201	A	7.8
Apartamento 202	B	11.4
Apartamento 301	C	10.8
Apartamento 302	A	14.4
Apartamento 401	B	13.8
Apartamento 402	C	17.4
Apartamento 501	A	16.8
Apartamento 502	B	20.4
Apartamento 601	C	19.8
Apartamento 602	A	23.4

Tabla 2*Distribución de Tablero de Zonas Comunes*

Distribución de Carga para tablero de Zonas Comunes	Fase	Longitud hasta TGZC
Lobby	B	1
Ascensor	Todas	18.5
Portón	C	12.7
Bomba de Agua	A	5.3

5.2.1.3 Cargas por Apartamento Tipo. Se definen las cargas para los dos apartamentos tipo planteados en la sección 5.2.1.

Primero se definen las cargas pertenecientes al apartamento tipo A, para este apartamento tipo se toma como base el modelo presentado en la Figura 10 que cuenta con área de 78.05 metros cuadrados.

Figura 10*Modelo apartamento tipo A*

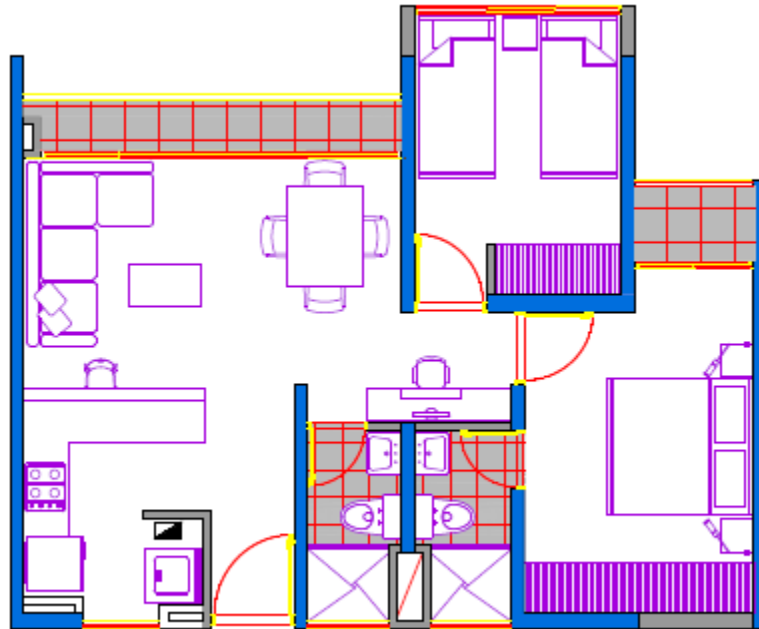
A partir de este se procede a definir las cargas que debe alimentar mostradas en la Tabla 3.

Tabla 3*Cargas Apartamento tipo A*

Apto Tipo A						
Ubicación	Cargas	Potencia	Cantidad	Potencia Total	Tensión	Circuito
Cocina	Luces	15	2	30	120	PG
Cocina	Nevera	1020	1	1020	120	PA
Cocina	Licuadaora	450	1	450	120	PA
Cuarto de Ropas	Luces	15	1	15	120	PG
Cuarto de Ropas	Lavadora	800	1	800	120	LYP
Cuarto de Ropas	Plancha	700	1	700	120	LYP
Sala-Comedor	Luces	15	9	135	120	PG

Sala-Comedor	Computador Portátil	90	1	90	120	PG
Sala-Comedor	Televisor	206	1	206	120	PG
Baño 1	Luces	15	1	15	120	PG
Baño 2	Luces	15	1	15	120	PG
Habitación 1	Luces	15	2	30	120	PG
Habitación 1	Televisor	206	1	206	120	PG
Habitación 1	Ventilador	48	1	48	120	PG
Habitación 2	Luces	15	2	30	120	PG
Habitación 2	Televisor	206	1	206	120	PG
Habitación 2	Computador Portátil	90	1	90	120	PG
Habitación 2	Ventilador	48	1	48	120	PG
Habitación 3	Luces	15	5	75	120	PG
Habitación 3	Televisor	206	1	206	120	PG
Habitación 3	Ventilador	48	1	48	120	PG
Habitación 3	Aire Acondicionado	2950	1	2950	120	CE
Carga Instalada					7413	

Luego se definen las cargas pertenecientes al apartamento tipo B, para este apartamento tipo se toma como base el modelo presentado en la Figura 11 que cuenta con área de 55.7 metros cuadrados.

Figura 11*Modelo apartamento tipo B*

A partir de este se procede a definir las cargas que debe alimentar mostradas en la Tabla 4.

Tabla 4*Cargas Apartamento tipo B*

Apto Tipo B						
Ubicación	Cargas	Potencia	Cantidad	Potencia Total	Tensión	Circuito
Cocina	Luces	15	3	45	120	PG
Cocina	Nevera	1020	1	1020	120	PA
Cocina	Licuadaora	450	1	450	120	PA
Cuarto de Ropas	Luces	15	1	15	120	PG
Cuarto de Ropas	Lavadora	800	1	800	120	LYP
Cuarto de Ropas	Plancha	700	1	700	120	LYP

Sala-Comedor	Luces	15	9	135	120	PG
Sala-Comedor	Computador Portátil	90	1	90	120	PG
Sala-Comedor	Televisor	206	1	206	120	PG
Baño 1	Luces	15	1	15	120	PG
Baño 2	Luces	15	1	15	120	PG
Habitación 1	Luces	15	3	45	120	PG
Habitación 1	Televisor	206	1	206	120	PG
Habitación 1	Ventilador	48	1	48	120	PG
Habitación 2	Luces	15	5	75	120	PG
Habitación 2	Televisor	206	1	206	120	PG
Habitación 2	Ventilador	48	1	48	120	PG
Habitación 2	Aire Acondicionado	2950	1	2950	120	CE
Carga Instalada					7069	

5.2.2 Metodología NTC 2050.

Se realizan los cálculos correspondientes al caso base mediante la metodología NTC 2050 para esto se agrupan las cargas en los diferentes circuitos ramales establecidos en la sección 210 (ICONTEC,1998).

5.2.2.1 Apartamentos. Para dimensionar la cantidad de circuitos necesarios para suplir la carga del apartamento tipo A se realizan las distribuciones de cargas presentadas en las Tablas 5,6,7 y 8.

Tabla 5*Cargas Circuito 1 Apartamento tipo A*

Circuito 1: Propósito General				
Cargas	Potencia	Cantidad	Potencia Total	Tensión
Luces	15	23	345	120
Computador Portátil	90	2	180	120
Televisor	206	4	824	120
Ventilador	48	3	144	120
Carga Instalada			1493	

Tabla 6*Cargas Circuito 2 Apartamento tipo A*

Circuito 2: Pequeños Aparatos				
Cargas	Potencia	Cantidad	Potencia Total	Tensión
Nevera	1020	1	1020	120
Licuadaora	450	1	450	120
Carga Instalada			1470	

Tabla 7*Cargas Circuito 3 Apartamento tipo A*

Circuito 3: Lavado y Planchado				
Cargas	Potencia	Cantidad	Potencia Total	Tensión
Lavadora	800	1	800	120
Plancha	700	1	700	120
Carga Instalada			1500	

Tabla 8*Cargas Circuito 4 Apartamento tipo A*

Circuito 4: Circuitos Especiales 1				
Cargas	Potencia	Cantidad	Potencia Total	Tensión
Aire Acondicionado	2950	1	2950	120
Carga Instalada			2950	

Ahora se hace lo mismo para las cargas del apartamento tipo B, se pueden observar las distribuciones mediante las Tablas 9,10,11 y 12.

Tabla 9

Cargas Circuito 1 Apartamento tipo B

Circuito 1: Propósito General				
Cargas	Potencia	Cantidad	Potencia Total	Tensión
Luces	15	23	345	120
Computador Portátil	90	1	90	120
Televisor	206	3	618	120
Ventilador	48	2	96	120
Carga Instalada			1149	

Tabla 10

Cargas Circuito 2 Apartamento tipo B

Circuito 2: Pequeños Aparatos				
Cargas	Potencia	Cantidad	Potencia Total	Tensión
Nevera	1020	1	1020	120
Licuada	450	1	450	120
Carga Instalada			1470	

Tabla 11

Cargas Circuito 3 Apartamento tipo B

Circuito 3: Lavado y Planchado				
Cargas	Potencia	Cantidad	Potencia Total	Tensión
Lavadora	800	1	800	120
Plancha	700	1	700	120
Carga Instalada			1500	

Tabla 12*Cargas Circuito 4 Apartamento tipo B*

Circuito 4: Circuitos Especiales 1				
Cargas	Potencia	Cantidad	Potencia Total	Tensión
Aire Acondicionado	2950	1	2950	120
Carga Instalada			2950	

Luego se realiza el cálculo de la demanda máxima según la metodología de la NTC 2050 utilizando los factores de demanda establecidos en la tabla 220-11 y 220-15 (ICONTEC,1998).

Para la demanda máxima diversificada según la NTC 2050 220-37 “se permite calcular la capacidad de un transformador, una acometida o un alimentador para edificaciones multifamiliares o grupo de viviendas, de acuerdo con las tablas o métodos establecidos por las empresas locales de suministro de energía.” (ICONTEC,1998). Por lo cual procedemos a realizar el cálculo de diversificación de carga para nuestro caso de estudio mediante la metodología de la ESSA.

Se realiza el cálculo del factor de diversidad y la demanda máxima diversificada para una vivienda estrato 4 mediante la tabla 2.16 (ESSA,2021) de la ESSA.

5.2.2.2 Zonas Comunes. Para zonas comunes se calculan corrientes y cargas de los diferentes motores y luminarias presentes en la instalación.

La carga del lobby se calcula a partir de la tabla 220-3 b (ICONTEC,1998) según la NTC 2050 donde se define la cantidad de VA por metro cuadrado, además se anexa un circuito de pequeños aparatos ya que este es un espacio donde las personas habitaran por cierto tiempo.

Luego se dimensiona el calibre del ascensor a partir de la corriente a plena carga que se encuentra en la tabla 430-150 (ICONTEC,1998) de la NTC 2050, en caso de no encontrarla

directamente se realiza una interpolación. A partir de esto se calcula de demanda máxima siguiendo la Ley de Ohm.

Después se establecen parámetros para el portón, por lo cual es necesario buscar su corriente a plena carga en la tabla 430-148(ICONTEC,1998) de la NTC 2050, en este caso que no se encuentra directamente es necesario realizar una interpolación entre el valor anterior y el siguiente establecido en la misma. A partir de esta se calcula su demanda máxima utilizando la ley de Ohm.

Por último, para la bomba de agua se sigue la misma metodología mencionada para el motor.

Luego de dimensionar todas las cargas de Zonas Comunes se procede a realizar el cálculo la demanda máxima según la tabla 220-11(ICONTEC,1998) de la NTC 2050.

5.2.3 Metodología ESSA.

Ahora se realizan los cálculos correspondientes al caso base mediante la metodología ESSA, en esta se refiere a la NTC 2050 para la definición de circuitos ramales, por lo cual se inicia agrupando las cargas en los diferentes circuitos ramales establecidos en la NTC 2050 en la sección 210 (ICONTEC,1998).

5.2.3.1 Apartamentos. Para dimensionar la cantidad de circuitos necesarios para suplir la carga de los apartamentos A y B se realiza la misma distribución de circuitos presentada en la sección 5.2.2.1.

Luego se procede a realizar el cálculo de la demanda máxima según la metodología de la ESSA utilizando los factores de demanda establecidos en la tabla 2.15 (ESSA,2021).

Por último, se realiza el cálculo del factor de diversidad y la demanda máxima diversificada para una vivienda estrato 4 mediante la tabla 2.16 (ESSA,2021) de la ESSA.

5.2.3.2 Zonas Comunes. Para zonas comunes iniciamos calculando corrientes y cargas de los diferentes motores y luminarias presentes en la instalación, estos valores se definen directamente en la NTC 2050 por lo cual se aplica la misma metodología planteada en la sección 5.2.2.2.

Para demanda máxima se realiza el cálculo según la tabla 2.15 (ESSA,2021) de la ESSA.

5.2.4 Cuadros de Regulación.

Se procede a realizar los cuadros de regulación según la NTC 2050 con el fin de establecer calibres de acometidas, pérdidas y caídas de tensión, esto se realiza tanto para valores obtenidos con la metodología ESSA como para valores obtenidos con la NTC 2050 con el fin de realizar el análisis comparativo.

Para el cálculo de la caída de tensión se define mediante la Ecuación 9.

$$\% \delta = \frac{M * Fc * Kg}{V^2} \quad (9)$$

Donde:

M: Es el momento y se calcula mediante la Ecuación 10.

$$M = Dmax * L \quad (10).$$

Fc= Factor de corrección establecido en la tabla 3.26 de la ESSA para sistemas distintos a sistemas tetra filares balanceados

Kg= Se refiere a la constante generalizada y se calcula mediante la Ecuación 11:

$$Kg = R \cos \theta + X \sin \theta \quad (11).$$

V= Tensión de línea para sistemas trifásicos y tensión de fase para sistemas monofásicos

Para el cálculo de pérdidas se utiliza la Ecuación 12 establecida en la NTC 2050:

$$Pp = C * I^2 * L * R \quad (12).$$

Donde:

C = Es una constante que depende de la naturaleza del sistema (Trifásico o monofásico).

I = Corriente calculada en el conductor en A.

L = Longitud del cable en Km.

R = Resistencia del cable en $\frac{\Omega}{m}$.

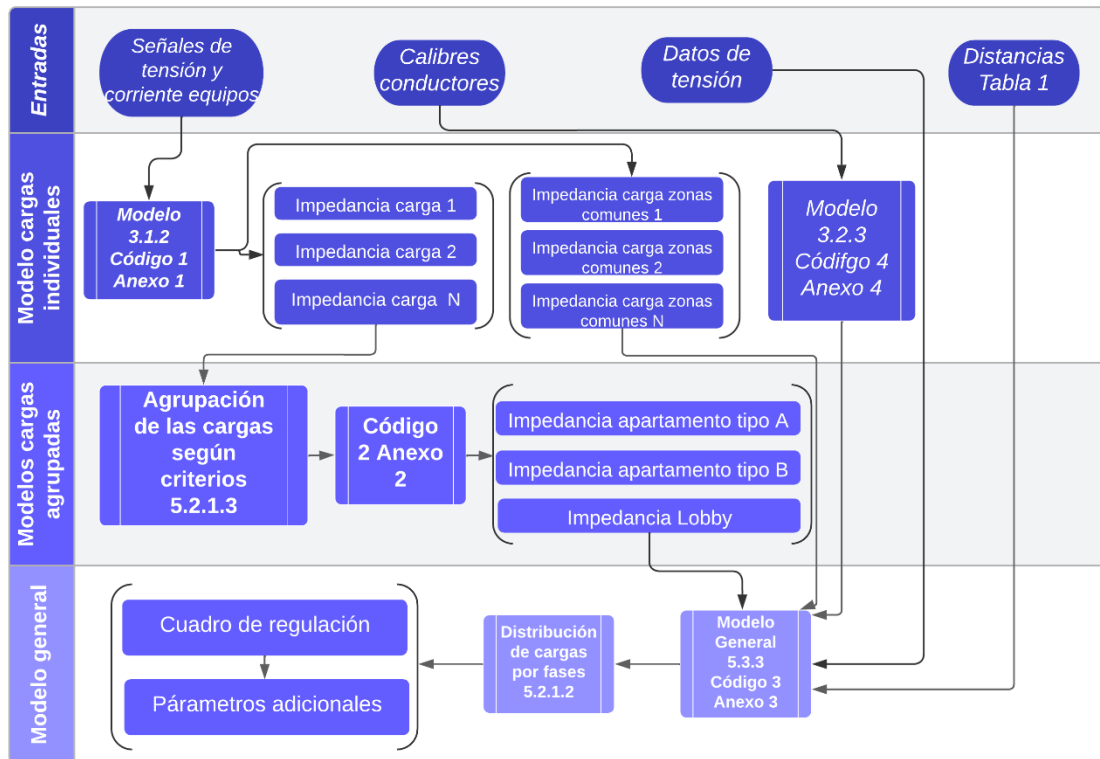
Por último, para la selección de los calibres se utiliza la Tabla 310-16 de NTC 2050.

5.3 Propuesta Metodológica con Parámetros No Lineales.

En el marco de la investigación propuesta se busca describir el comportamiento del edificio multifamiliar del caso de estudio planteado en la sección 5.2.1 y acorde con las características de diseño de las secciones 5.2.2 y 5.2.3. Las entradas para la metodología son las señales de tensión y corriente para la construcción de los modelos de cada una de las cargas, los calibres de los conductores para las secciones de la vivienda, las distancias establecidas de las secciones que componen la distribución de energía y una señal de baja tensión representando la salida de baja tensión del transformador que alimenta la vivienda. En la Figura 12 se muestra el diagrama del flujo de la metodología y en la Figura 13 se da un esquema la distribución para la vivienda multifamiliar.

Figura 12

Flujograma de la metodología para el modelamiento de la vivienda multifamiliar.

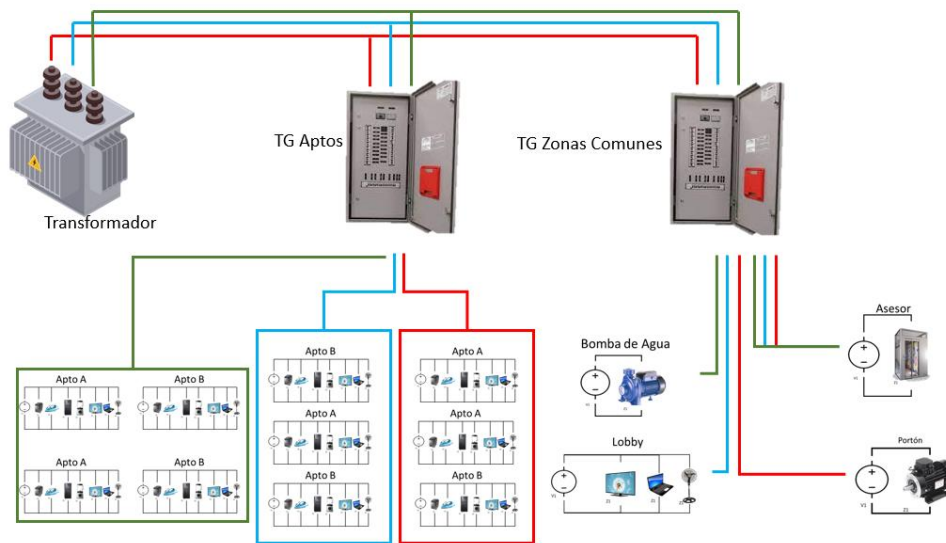


- En las entradas del modelo corresponde a la información inicial necesaria para el modelado de las cargas y las características de la vivienda multifamiliar.
- Modelo de cargas individuales de la sección 5.3.1 describe el proceso con el que se modelan las cargas individuales, se describe brevemente el comportamiento y se da un ejemplo del alcance que tiene el modelo seleccionado.
- En la sección 5.3.2 el modelo de cargas agrupadas diferencia las cargas que decide agrupar para establecer la demanda variable del modelo y se da una muestra del comportamiento de estos grupos de carga.
- La descripción del comportamiento de la vivienda multifamiliar como un conjunto se describe en la sección 5.3.3 donde se detallan las ecuaciones, relación y necesidad de

entradas y la agrupación de cargas y los une basándose en la distribución del modelo seleccionado para obtener los parámetros de salida del modelo.

Figura 13

Esquema del modelamiento de la vivienda multifamiliar



5.3.1 Modelado por Carga Individuales.

Para el modelado de las diferentes cargas se utiliza el modelo seleccionado en 3.1.2 donde las señales en el dominio del tiempo de entrada usadas para el modelado de cada carga se obtienen de muestras tomadas en laboratorios de la Universidad Industrial de Santander de proyectos y actividades anteriores e información de datos de corrientes de diversos artículos como lo son (Gheorghe et al., 2018). En la Tabla 13 se presentan algunas características de las señales usadas como entradas para la metodología.

Tabla 13

Características de señales utilizadas para el modelo de las cargas.

DATOS CARACTERISTICOS DE LAS SEÑALES

EQUIPOS	S [VA]	Vrms [V]	Irms [A]	THDv [%]	THDi [%]	N_Ciclos	Ciclos
Ascensor_FA	2307.1	126.9869	4.259	1.5668	126.9304	257	1
Ascensor_FB	2307.1	128.2761	10.3665	1.8091	133.4769	257	1
Ascensor_FC	2307.1	127.7169	11.9626	1.5633	87.82	257	1
Licuada	19.3377	126.5719	0.1767	1.8116	58.6996	835	1
Luminaria	73.447	119.8191	0.613	0.6655	0.7018	835	1
Ventilador	60.6323	120.1345	0.5048	0.6638	2.153	835	1
Refrigerador	270.3492	128.4916	2.1122	2.8446	11.0221	257	1
Laptop	57.6365	120.2515	0.6276	0.7395	84.8444	835	1
Plancha	1193.5	111.9191	10.6777	1.6276	5.8961	835	1
Aire Acondicionado	616.6305	126.5662	6.0281	1.7585	73.8215	NA	NA
TV	1.7706	120.3528	0.0256	1.0686	144.0933	835	1
Lavadora	207.3756	128.8475	1.6191	2.7034	12.7434	257	1

Para el análisis se toma un solo ciclo de las señales utilizadas.

Para el modelado de las cargas eléctricas de la vivienda se realiza mediante el código del Apéndice 1, las impedancias obtenidas para cada una de las cargas con el modelo seleccionado en 3.1.2 se muestran en la Tabla 14

Tabla 14

Impedancia representativa por armónico para cada carga modelada.

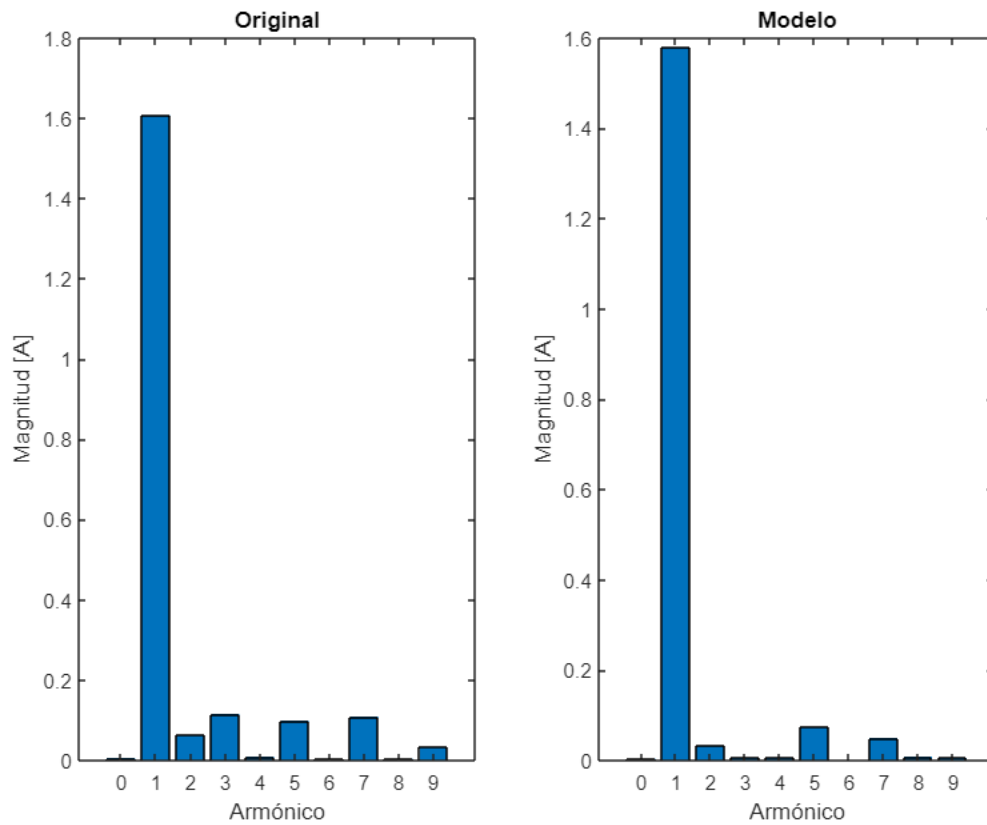
EQUIPOS	IMPEDANCIA REPRESENTATIVAS					
	DC	h1	h3	h5	h7	h9
Ascensor FA	0.46 + 0.00i	38.12 +29.46i	0.10 + 0.19i	1.55 + 1.14i	0.10 - 0.38i	0.08 - 0.06i
Ascensor FB	6.63 + 0.00i	15.0525 -14.1137i	0.13 - 0.12i	0.23 + 0.23i	0.03 + 0.13i	0.02 - 0.005i
Ascensor FC	2.39 + 0.00i	14.21 - 0.07i	0.03 + 0.09i	0.31 - 0.1i	0.05 - 0.08i	0.05 + 0.03i

Licuadora	366.52	4.75e+2 + 6.8e+2i	0.20 - 0.38i	46.8 +74.29i	4.23 -23.00i	0
Luminaria	296.31	1.96e+2 - 8.64e-1i	28.85 +19.57i	0	0	0
Ventilador	122.76	2.35e+2 + 4.0e+1i	2.82 + 6.16i	0	0	0
Refrigerador	1.99 + 0.00i	35.05 +50.14i	7.09 + 4.66i	19.50 -18.39i	5.21 - 1.6i	16.10 - 6.13i
Laptop	326.89	2.05e+2 - 1.45e+2i	0.46 - 0.02i	0.47 + 0.22i	0.64 + 0.27i	0.62 + 0.22i
Plancha	1.00 + 0.00i	10.5 + 0.04i	10.15 - 0.11i	10.77 - 0.05i	10.33 + 0.2i	10.35 + 0.94i
Lavadora	247.67	62.24 -50.57i	6.47 + 0.07i	27.09 - 4.82i	3.57 - 3.07i	13.00 + 4.99i
TV	0	7.97e+3 - 2.15e+3i	62.20 -54.70i	1.60 + 0.20i	1.20 + 6.90i	6.70 +10.60i
Aire acondicionado	0.00 + 0.00i	23.02 -12.28i	1.22 - 0.96i	1.23 - 0.97i	0.36 + 0.28i	0.26 + 0.35i

Un ejemplo para ver el comportamiento del modelo de impedancia se observa en la Figura 14 de lado izquierdo el espectro armónico de corriente de la señal original usada como entrada y a la derecha el espectro armónico de corriente que se obtiene con el modelo de impedancia de la Tabla 14 para el equipo Lavadora y donde su entrada es una señal de tensión de entrada de V_{rms} 120.225 [V] y THD = 0.7225 %.

Figura 14

Espectro de las señales corrientes de la Lavadora señal original vs calculada por el modelo.



Se observa que el modelo individual de la lavadora el comportamiento conserva parte de las características de la señal original. En la Tabla 15 se tiene una comparativa de los parámetros calculados para las cargas modeladas bajo la misma entrada de tensión utilizada, en esta tabla se tiene que para las potencias simuladas y las señales originales es bastante cercano, en términos de corriente los valores pueden variar para ciertas cargas como lo son el Televisor y la Laptop.

Tabla 15

Corrientes Lavadora calculada con una señal de tensión de 120.225 [V] rms

PARAMETROS SEÑALES MODELADAS	ERROR RESPECTO A LAS SEÑALES ORIGINALES
---------------------------------	--

EQUIPOS	Sin [VA]	Irms [A]	THDi [%]	Error Sin %	Error Irms %	Error THDi %
Licuada	17.36	0.39	247.66	11%	54%	76%
Luminaria	73.98	0.62	0.86	1%	0%	18%
Ventilador	60.76	0.51	4.76	0%	0%	55%
Refrigerador	236.57	2.01	21.74	14%	5%	49%
Laptop	57.59	0.63	84.16	0%	0%	1%
Plancha	1376.70	11.49	7.40	13%	7%	20%
Aire Acondicionado	554.17	4.62	5.47	11%	31%	1250%
TV	1.75	0.06	371.52	1%	54%	61%
Lavadora	180.33	1.50	2.56	15%	8%	397%

Con lo expuesto en esta sección se puede observar que el modelado permite realizar una estimación del comportamiento de las cargas individuales bajo una entrada diferente a la inicial y que permite para realizar una estimación limitada de su comportamiento.

5.3.2 Modelado de Cargas Agrupadas.

En el diseño de la vivienda multifamiliar se agrupan ciertos tipos de cargas para obtener sus equivalentes en impedancia. El primer bloque de cargas es el equivalente para los apartamentos Tipo A, Tipo B y el Lobby comentados en la sección 5.2.1.3, donde se realiza la sumatoria en paralelo por armónico de las impedancias obtenidas respectivas para cada carga que se considera y mediante el código desarrollado en Matlab presentado en el Apéndice 2. Esta forma de agrupar las cargas por armónico se presenta en la Figura 15 con un esquema representativo de cómo es el equivalente por armónico.

Figura 15

Esquema del modelamiento de apartamento o cargas agrupadas



Dado que la acometida definida para los apartamentos en el caso de estudio es monofásica, los modelos definidos para los apartamentos Tipo A, Tipo B y Lobby son circuitos monofásicos, la agrupación por cargas concentradas se realiza ya que la demanda varía dependiendo del número de cargas sumadas en paralelo. Para las cargas de las zonas comunes como lo son la bomba de agua, portón y el equivalente por fase del ascensor se considerarán cargas individuales ya que su distribución se realiza en distintas fases.

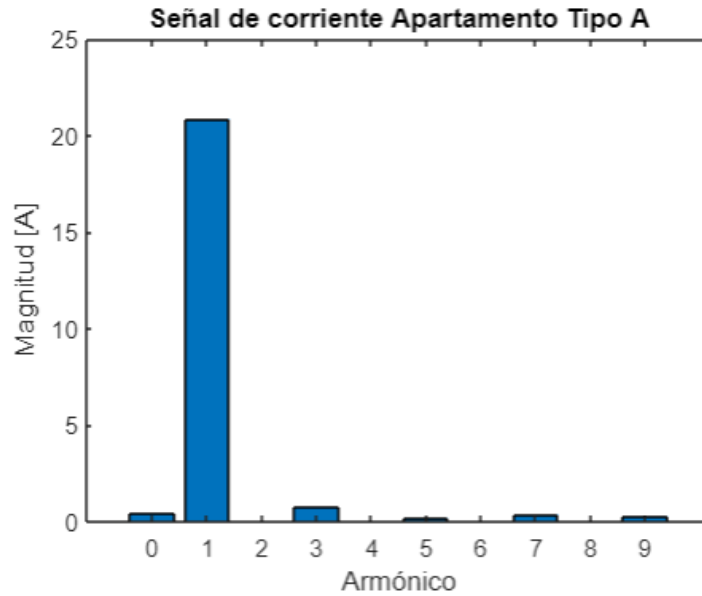
El aporte de las luminarias se calcula con base en la potencia instalada, para calcular el número de luminarias se utiliza el entero superior resultante mediante la Ecuación (13).

$$LucesModeladas = \frac{\#Lucesproyectadas \cdot 30}{70} \quad (13).$$

En la Figura 16 se muestra la corriente resultante del modelo de un apartamento tipo A considerando todas las cargas expuestas en la sección 5.2.2.1 y sus respectivos equivalentes para una señal de entrada de V_{rms} 120.2557 [V] y THD = 0.7439 %.

Figura 16

Corriente resultante del modelo para un apartamento tipo A



Podemos observar que la respuesta en el espectro de corriente del apartamento tipo A considera un importante aporte de la componente en continua junto con aportes del 3rd, 5to, 7mo y 9no armónico. En la Tabla 16 se muestran el modelo de cargas agrupadas para los apartamentos Tipo A y Tipo B y donde se observa la cantidad de equipos que se consideraron para esta agrupación.

Tabla 16

Equipos considerados para el escenario de máxima demanda, con su equivalente en impedancia.

Escenario Máxima		
Apartamento	Tipo A	Tipo B
TV	4	3
Ventilador	3	2

Laptop	2	1
Luminarias	5	5
Licuada	1	1
Nevera	1	1
Lavadora	1	1
Plancha	1	1
Aire acondicionado	1	1
Armónico	Impedancia Tipo A	Impedancia Tipo B
h0	0.6442 + 0.0000i	0.6488 + 0.0000i
h1	5.1345 - 0.3683i	5.3457 - 0.3524i
h2	2.6868 + 1.2665i	2.7432 + 1.4041i
h3	0.1378 - 0.0427i	0.1852 - 0.0892i
h4	2.3441 - 2.3517i	4.0455 - 1.8323i
h5	0.1427 + 0.0331i	0.2290 + 0.0343i
h6	1.4038 + 0.1939i	2.1817 + 0.4493i
h7	0.1530 + 0.0874i	0.2071 + 0.1220i
h8	0.3836 + 0.5300i	0.7835 + 0.8170i
h9	0.1488 + 0.1012i	0.1922 + 0.1564i

5.3.3 Modelado General Vivienda Multifamiliar por Fase

El modelo de la vivienda multifamiliar se lleva a cabo mediante un análisis por fase, se toma la distribución de cargas por fase realizada en el caso de estudio en la sección 5.2.1.2, en la Figura 17 se muestra un esquema general de la fase A de la vivienda multifamiliar y en la Figura 18 se muestra el mismo esquema visto en forma de circuito y con el cual se realiza la descripción de los cálculos.

Figura 17

Esquema del modelamiento por fase o cargas concentradas

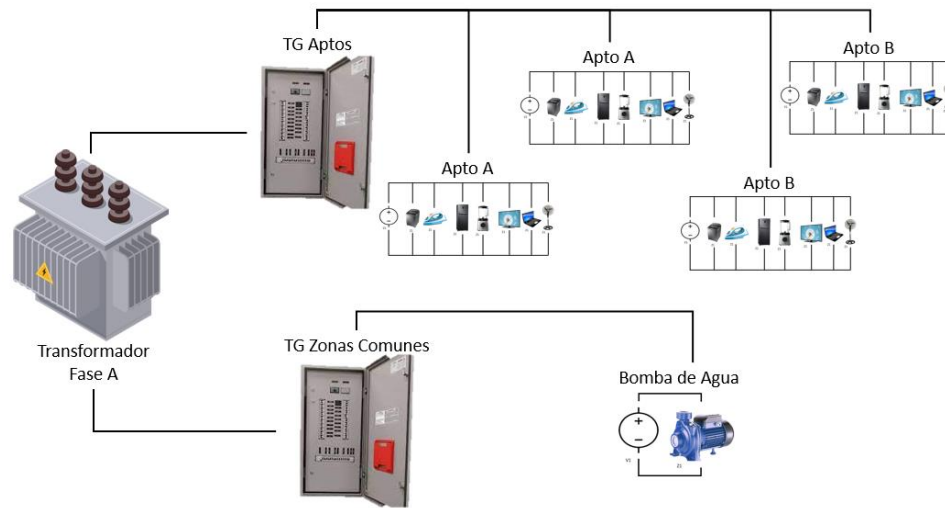
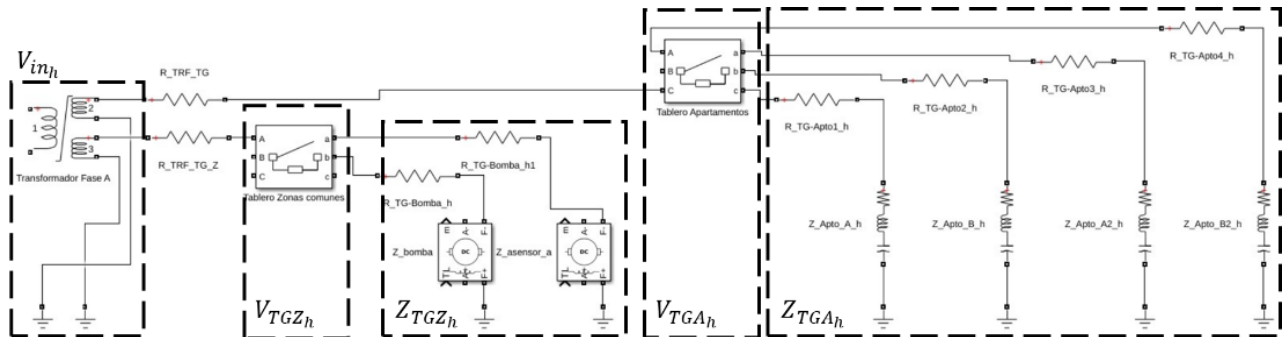


Figura 18

Esquema circuital del modelo general de la vivienda para la fase A



En el equivalente de la Figura 18 se suman las impedancias en paralelo de cada carga agrupada y que corresponden a la impedancia Z_{TGA} , para las cargas individuales de las zonas comunes se realiza el mismo procedimiento y el cual corresponde a la impedancia Z_{TGZ} , se procede a calcular la demanda general de cada fase correspondiente al valor de entrada de la tensión en BT del transformador mediante las ecuaciones 14, 15 y 16.

$$I_{TGA_h} = \frac{V_{in_h}}{Z_{TGA_h} + R_{TRT-TGA_h}} \tag{14}.$$

$$I_{TGZ_h} = \frac{V_{in_h}}{Z_{TGZ_h} + R_{TRT-TGZ_h}} \quad (15).$$

$$I_{TRF_h} = I_{TGZ_h} + I_{TGA_h} \quad (16).$$

Donde I_{TGA_h} y I_{TGZ_h} son las corrientes calculadas para los dos tableros generales, $R_{TRT-TGA_h}$ y $R_{TRT-TGZ_h}$ son las resistencias de los conductores que unen el transformador y los tableros generales y V_{in_h} es la tensión de entrada al modelo.

Teniendo las corrientes estimadas para cada tablero se procede a calcular la tensión respectiva de cada tablero utilizando las ecuaciones 17 y 18, con las tensiones en los tableros generales se calcula la corriente estimada para cada carga concentrada y cada carga individual mediante la ecuación 19.

$$V_{TGA_h} = I_{TGA_h} \cdot Z_{TGA_h} \quad (17).$$

$$V_{TGZ_h} = I_{TGZ_h} \cdot Z_{TGZ_h} \quad (18).$$

$$I_{Zload_h} = V_{TGA_h} \cdot Z_{load_h} \quad (19).$$

Con estos datos calculados de corriente demandada y a partir del modelo considerado en la sección en 3.2.3 se puede estimar las pérdidas de potencia en las diversas secciones de la vivienda.

Para del desarrollo y ejecución del modelado general de la vivienda multifamiliar se tiene el código del apéndice 3 donde se necesita las entradas de; tensión de entrada, distancias distribución, impedancia de cargas agrupadas e individuales y los modelos de resistencia de los conductores, el código entrega un cuadro de resultados con parámetros de valores de tensión y corriente promedio, potencias demandadas, pérdidas en los conductores, etc.

5.3.4 Cálculos para las Corrientes y Parámetros.

En el código del apéndice 3 se obtiene datos de corriente y tensión por fase equivalente de los tableros de zonas comunes y de distribución para los apartamentos que corresponden a la respectiva carga conectada, con estos valores en los códigos del apéndice 1, apéndice 2 y apéndice 3 se calcularían las corrientes de demanda respectivas para cada carga agrupada e individual conectada a cada fase, para el cálculo de ciertos parámetros se tiene lo siguiente:

THD (Total Harmonic Distortion) mediante la Ecuación 20.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_1^{10} |h|^2 - |h_1|^2}}{|h_1|} \quad (20).$$

valores RMS (Root Mean Square) mediante la Ecuación 21.

$$RMS = \sqrt{\sum_1^n |x|^2} \quad (21).$$

Regulación de tensión mediante la Ecuación 22.

$$\% \text{ Regulación} = \frac{V_{noLoad} - V_{Load}}{V_{Load}} \cdot 100 \quad (22).$$

Potencia consumida en VA mediante la Ecuación 23.

$$S = \sum_{h=1}^n V_h \cdot I_h \quad (23).$$

Para el cálculo de las pérdidas de potencia en los conductores se utiliza el modelo descrito en la sección 3.2.2 basados en los corrientes resultantes de aplicar la sección 5.3.3 donde la potencia armónica se obtiene mediante la Ecuación 24;

$$P = \sum_{h=1}^n V_h \cdot I_h - V_1 \cdot I_1 \quad (24).$$

Para el cálculo de la demanda de cada una de las secciones se utiliza la Ecuación 25;

$$S_{demanda} = \sum_{h=1}^n V_h \cdot I_h \quad (25).$$

Para el cálculo de desbalance tenemos la Ecuación 26;

$$\%Desbalance = \frac{\text{máximo}(|Ia|, |Ib|, |Ic|) - \text{mínimo}(|Ia|, |Ib|, |Ic|)}{\text{promedio}(|Ia|, |Ib|, |Ic|)} * 100 \quad (26).$$

En la sección 5 se ha presentado una detallada exposición de las metodologías empleadas para llevar a cabo los análisis y cálculos correspondientes a las normativas NTC, ESSA y la metodología propuesta. A lo largo de estas páginas, se ha proporcionado un minucioso examen paso a paso de cada procedimiento, destacando las particularidades y consideraciones específicas de cada metodología, mediante las cuales se realizan los análisis y cálculos pertenecientes a la sección 6.

6. Desarrollo de la Metodología para el Caso de Estudio.

6.1. Metodología NTC 2050

En esta sección se realizan los cálculos pertenecientes a la metodología NTC 2050 utilizando como guía la sección 5.2.2.

6.1.1. Apartamentos

Se realizan los cálculos siguiendo la metodología detallada en la sección 5.2.2.1 perteneciente a cálculos de apartamentos.

Mediante la Tabla 17 se observa la proyección de los circuitos ramales pertenecientes a los apartamentos tipo A y B.

Tabla 17

Circuitos ramales apartamento tipo A y B NTC 2050

Apartamento A NTC 2050							
Circuito	Cantidad	Potencia	Potencia Total	Tensión	Corriente	Calibre	Protección
Propósito General	1	1500	1500	120	12.5	14	15
Pequeños Aparatos	1	1500	1500	120	12.5	14	15
Lavado y Planchado	1	1500	1500	120	12.5	12	20
Circuitos Especiales 1	1	2950	2950	120	24.58	10	30
Carga Instalada						7450	
Apartamento B NTC 2050							
Circuito	Cantidad	Potencia	Potencia Total	Tensión	Corriente	Calibre	Protección
Propósito General	1	1500	1500	120	12.5	14	15
Pequeños Aparatos	1	1500	1500	120	12.5	14	15
Lavado y Planchado	1	1500	1500	120	12.5	12	20
Circuitos Especiales 1	1	2950	2950	120	24.58	10	30
Carga Instalada						7450	

Los calibres seleccionados en la Tabla 17 son AWG a 60 °C con aislamiento THHW.

Luego mediante la tabla 18 se observan los resultados de los cálculos de demanda máxima.

Tabla 18

Demanda máxima para apartamentos tipo A y B NTC 2050

Calculo Dmax según NTC 2050 Apartamento A	
Primeros 3000 al 100%	3000
de 3000 a 120000 al 35%	525
220-15. Calefacción eléctrica fija de ambiente.	2950
Dmax	6475
Dmax (kVA)	6.475
Calculo Dmax según NTC 2050 Apartamento B	
Primeros 3000 al 100%	3000
de 3000 a 120000 al 35%	525
220-15. Calefacción eléctrica fija de ambiente.	2950
Dmax	6475
Dmax (kVA)	6.475

Ahora se procede a realizar el cálculo de la demanda máxima diversificada mediante la

Tabla 19.

Tabla 19

Demanda máxima diversificada NTC 2050

Dmax Diversificada		
	Número de Usuarios	10.00
Para estrato 4	Factor de Diversidad	2.64
	Dmax Diversificada	24.51

6.1.2. Zonas Comunes

Se realizan los cálculos siguiendo la metodología detallada en la sección 5.2.2.2 pertenecientes al cálculo de zonas comunes, estas cargas se definen en la Tabla 20.

Tabla 20*Cuadro de carga Zonas Comunes NTC 2050*

Zonas Comunes					
Circuito	Cantidad	Potencia	Potencia Total	Tensión	Corriente
Propósito General	1	1500	1500	120	12.5
Iluminación	1	1500	1500	120	12.5
Carga Lobby y Parqueadero					3
Ascensor	1	14.7	14.7	208	40.96
Carga Ascensor					14.7
Portón	1	1.83	1.83	208	8.8
Carga Portón					1.83
Bomba de agua	1	1.078	1.078	110	9.8
Carga Bomba de Agua					1.078

Demanda Máxima

Siguiendo la metodología mencionada en sección 5.2.1 se calcula la demanda máxima de las zonas comunes que se observa en la Ecuación 25.

$$D_{max} = 21.11 [kVA] \quad (25).$$

6.2 Metodología ESSA.

En esta sección se realizan los cálculos pertenecientes a la metodología ESSA utilizando como guía la sección 5.2.3.

6.2.1 Apartamentos

Se realizan los cálculos siguiendo la metodología detallada en la sección 5.2.3.1. para viviendas según ESSA.

Se utilizan los mismos circuitos ramales establecidos en la Tabla 17 de la sección 6.1.1, a partir de estos se realizan los cálculos de demanda máxima presentados en la Tabla 21.

Tabla 21*Demanda máxima para apartamentos tipo A y B ESSA*

Calculo Dmax según ESSA Apartamento A	
Equipo mayor carga	2950
Resto 40% para estrato 4	1800
Dmax	4750
Dmax (kVA)	4.75
Calculo Dmax según ESSA Apartamento B	
Equipo mayor carga	2950
Resto 40% para estrato 4	1800
Dmax	4750
Dmax (kVA)	4.75

Ahora se procede a realizar el cálculo de la demanda máxima diversificada mediante la

Tabla 22.

Tabla 22*Demanda máxima diversificada ESSA*

Dmax Diversificada		
	Número de Usuarios	10.00
Para estrato 4	Factor de Diversidad	2.64
	Dmax Diversificada	17.98

6.2.2 Zonas Comunes

Se realizan los cálculos siguiendo la metodología detallada en la sección 5.2.3.2 para zonas comunes según ESSA, están cargas comunes se definen en la Tabla # presentada en la sección 6.1.2.

Luego siguiendo la metodología mencionada en sección 5.2.3.2 se calcula la demanda máxima de las zonas comunes que se observa en la Ecuación 26.

$$D_{max} = 19.708 [kVA] \quad (26).$$

6.1.3 Cuadros de Regulación.

En las Tablas 23 y 24 se presentan cuadros de regulación utilizando la metodología mencionada en la sección 5.2.4.

Tabla 23

Cuadro de Regulación NTC 2050

DESCRIPCIÓN	Demanda máxima [kVA]	Factor de potencia f.p.	NTC 2050					Regulación δ%	PP. (W)
			No. Fases	Corriente Máxima [A]	Fases	Neutro	Tierra		
					Calibre [AWG]	Calibre [AWG]	Calibre [AWG]		
TGBT-Tablero de medidores 1	24.51	0.95	3.00	68.03	4.00	4.00	8.00	0.47	114.05
Apartamento 201	6.48	0.95	1.00	53.96	6.00	6.00	10.00	0.83	23.16
Apartamento 202	6.48	0.95	1.00	53.96	6.00	6.00	10.00	0.99	33.85
Apartamento 301	6.48	0.95	1.00	53.96	6.00	6.00	10.00	0.96	32.07
Apartamento 302	6.48	0.95	1.00	53.96	6.00	6.00	10.00	1.13	42.76
Apartamento 401	6.48	0.95	1.00	53.96	6.00	6.00	10.00	1.10	40.98
Apartamento 402	6.48	0.95	1.00	53.96	6.00	6.00	10.00	1.27	51.67
Apartamento 501	6.48	0.95	1.00	53.96	6.00	6.00	10.00	1.24	49.89
Apartamento 502	6.48	0.95	1.00	53.96	6.00	6.00	10.00	1.40	60.58
Apartamento 601	6.48	0.95	1.00	53.96	6.00	6.00	10.00	1.38	58.80
Apartamento 602	6.48	0.95	1.00	53.96	6.00	6.00	10.00	1.54	69.49
TGBT-Tablero Zonas Comunes	21.11	0.95	3.00	58.59	4.00	4.00	8.00	0.50	105.04
Lobby	3.00	0.95	1.00	25.00	10.00	10.00	10.00	0.58	2.46
Ascensor	14.70	0.85	3.00	51.00	6.00	6.00	8.00	1.41	232.45
Portón	1.83	0.85	1.00	19.06	12.00	12.00	12.00	1.41	30.27
Bomba de Agua	1.08	0.85	1.00	11.23	12.00	12.00	12.00	0.72	4.38

Tabla 24*Cuadro de Regulación ESSA*

DESCRIPCIÓN	Demanda máxima [kVA]	Factor de potencia f.p.	ESSA					Regulación $\delta\%$	PP. (W)
			No. Fases	Corriente Máxima [A]	Fases	Neutro	Tierra		
					Calibre [AWG]	Calibre [AWG]	Calibre [AWG]		
TGBT-Tablero de medidores 1	17.98	0.95	3.00	49.90	6.00	6.00	10.00	0.66	120.29
Apartamento 201	4.75	0.95	1.00	39.58	8.00	8.00	10.00	1.30	31.29
Apartamento 202	4.75	0.95	1.00	39.58	8.00	8.00	10.00	1.59	45.73
Apartamento 301	4.75	0.95	1.00	39.58	8.00	8.00	10.00	1.54	43.32
Apartamento 302	4.75	0.95	1.00	39.58	8.00	8.00	10.00	1.84	57.76
Apartamento 401	4.75	0.95	1.00	39.58	8.00	8.00	10.00	1.79	55.35
Apartamento 402	4.75	0.95	1.00	39.58	8.00	8.00	10.00	2.08	69.79
Apartamento 501	4.75	0.95	1.00	39.58	8.00	8.00	10.00	2.03	67.39
Apartamento 502	4.75	0.95	1.00	39.58	8.00	8.00	10.00	2.33	81.83
Apartamento 601	4.75	0.95	1.00	39.58	8.00	8.00	10.00	2.28	79.42
Apartamento 602	4.75	0.95	1.00	39.58	8.00	8.00	10.00	2.58	93.86
TGBT-Tablero Zonas Comunes	19.71	0.95	3.00	54.70	6.00	6.00	10.00	0.72	144.54
Lobby	3.00	0.95	1.00	25.00	10.00	10.00	10.00	0.80	2.46
Ascensor	14.70	0.85	3.00	51.00	6.00	6.00	8.00	1.64	232.45
Portón	1.83	0.85	1.00	19.06	12.00	12.00	12.00	1.6	30.27
Bomba de Agua	1.08	0.85	1.00	11.23	12.00	12.00	12.00	0.95	4.38

Los calibres seleccionados en las Tablas 23 y 24 son AWG a 60 °C con aislamiento THHW.

6.2 Desarrollo del Caso de Estudio Bajo la Metodología Propuesta.

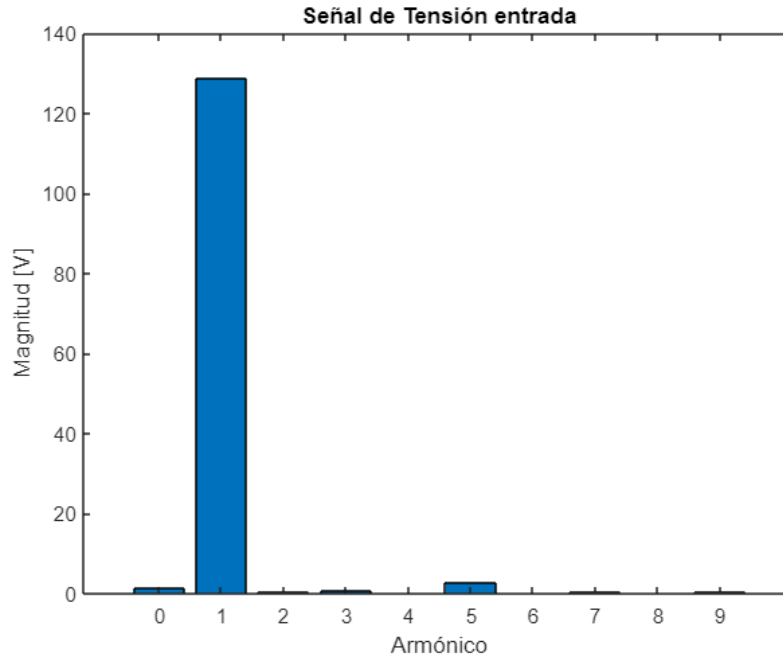
En esta sección se lleva cabo la metodología planteada en la sección 5.3 para el caso de estudio de la sección 5.21 para el desarrollo se definirán las siguientes entradas:

- Una señal de tensión de entrada con valores $V_{rms} = 128.8429$ y una THD = 2.568%, esta señal de entrada se desfasa tanto 120° como -120° eléctricos para las dos fases faltantes correspondientes, en la Figura 19 se muestra el espectro armónico de la señal con los 10 armónicos considerados para el análisis.
- Las distancias para cada una de las secciones de la vivienda multifamiliar expuestas en la sección 5.2.2 en la Tabla 1 y Tabla 2.

- Los modelos de impedancia de las cargas agrupadas se toman como escenarios de máxima demanda los equipos considerados en la Tabla 16 un escenario donde se consideran todos los equipos proyectados en la sección en la Tabla 3 y Tabla 4, también se tiene en cuenta los equipos para 3 combinaciones escenarios que se muestra en la Tabla 25 donde la demanda de es inferior al escenario de máxima demanda.
- Los modelos de impedancia de las cargas individuales de las zonas comunes que se mencionan en la sección 5.2.1, para las cargas de la bomba de agua y el portón se tomó el modelo de impedancia de la fase A y fase B del ascensor que se encuentran en la Tabla 14
- El resultado de aplicar el modelo seleccionado en la sección 3.2.3 a los conductores establecidos en la sección 6.1.3 para las diversas acometidas de la vivienda multifamiliar, el modelado de los conductores utilizados encuentra en la Tabla 19.

Figura 19

Espectro armónico señal de tensión de entrada para el modelo general de la vivienda

**Tabla 25**

Escenarios de demanda en las cargas agrupadas de los apartamentos Tipo A y Tipo B para condiciones de media/baja demanda.

ESCENARIOS	Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
	Tipo A	Tipo B	Tipo A	Tipo B	Tipo A	Tipo B
Apartamento						
TV	1	1	2	1	1	2
Ventilador	1	0	0	0	0	0
Laptop	2	1	0	0	0	2
Luces	3	2	4	2	1	4
Licuada	1	0	1	0	0	0
Nevera	1	1	1	1	1	1
Lavadora	0	0	0	1	1	1
Plancha	0	0	0	0	0	1
Aire acondicionado	0	1	1	1	1	1

Aplicando el modelo de la sección 3.2.3 para los conductores seleccionados en la sección

Tabla 26

Modelado de la resistencia por armónico para los conductores seleccionados con la NTC Y ESSA.

DISEÑO NTC	AW G	Rdc	Resistencia (Ω/m)								
			60 Hz	120 Hz	180 Hz	240 Hz	300 Hz	360 Hz	420 Hz	480 Hz	540 Hz
Transformador - Tablero general Medidores	4	0.001	0.005	0.007	0.008	0.010	0.011	0.012	0.013	0.013	0.014
Tablero general medidores - Apartamentos	6	0.001	0.007	0.010	0.012	0.013	0.015	0.016	0.017	0.018	0.019
Transformador - Tablero general zonas comunes	4	0.001	0.005	0.007	0.008	0.010	0.011	0.012	0.013	0.013	0.014
Tablero general zonas comunes - Ascensor	6	0.001	0.007	0.010	0.012	0.013	0.015	0.016	0.017	0.018	0.019
Tablero general zonas Comunes - Lobby	10	0.004	0.012	0.016	0.019	0.022	0.024	0.026	0.028	0.030	0.031
Tablero general zonas comunes - Bomba / Portón	12	0.006	0.017	0.022	0.025	0.029	0.032	0.034	0.036	0.039	0.041
DISEÑO ESSA											
Transformador - Tablero general Medidores	6	0.001	0.007	0.010	0.012	0.013	0.015	0.016	0.017	0.018	0.019
Tablero general medidores - Apartamentos	8	0.002	0.009	0.013	0.015	0.017	0.019	0.021	0.022	0.023	0.025
Transformador - Tablero general zonas comunes	6	0.001	0.007	0.010	0.012	0.013	0.015	0.016	0.017	0.018	0.019
Tablero general zonas comunes - Ascensor	6	0.001	0.007	0.010	0.012	0.013	0.015	0.016	0.017	0.018	0.019

Tablero general zonas Comunes - Lobby	10	0.004	0.012	0.016	0.019	0.022	0.024	0.026	0.028	0.030	0.031
Tablero general zonas comunes - Bomba / Portón	12	0.006	0.017	0.022	0.025	0.029	0.032	0.034	0.036	0.039	0.041

Con las entradas definidas se ingresan al programa del apéndice 3 y se obtiene el cuadro de regulación resultante de la ejecución del código.

Los resultados obtenidos para condiciones de demanda máxima agrupando las cargas establecidas en la Tabla 16 con los conductores seleccionados para el modelo de la NTC y ESSA (estos calibres cuentan con las características descritas en la metodología convencional AWG a 60 °C con aislamiento THHW) se presentan en las Tablas 27 y 28.

Tabla 27

Resultados obtenidos del modelo para los conductores dimensionados en la NTC.

Sección	Irms[A]	Vrms[V]	THDi (%)	THDv (%)	Distancia (m)	Calibre (AWG)	Regulación (%)	Pérdidas por Armónicos (%)	Pérdidas [VA]	Demanda [VA]
Tablero General - fase A	94.16	124.14	18.24	1.64	10.00	4	3.78	5.01	456.66	11505.0
Tablero General - fase B	71.03	125.30	19.71	1.78	10.00	4	2.82	6.03	261.27	8736.8
Tablero General - fase C	71.89	125.26	19.90	1.76	10.00	4	2.86	6.19	267.89	8821.90
Tablero Zonas Comunes - fase A	10.39	128.49	105.7	2.14	10.00	4	0.27	65.88	7.56	911.0
Tablero Zonas Comunes - fase B	17.12	128.22	87.51	1.84	10.00	4	0.49	61.44	21.77	1646.3
Tablero Zonas Comunes - fase C	13.04	128.27	60.40	2.18	10.00	4	0.44	36.39	9.90	1428.5
Apartamento 201	24.55	122.82	24.27	1.35	7.80	6	4.91	9.45	34.88	2931.6

Apartamento 302	23.06	121.81	16.87	1.33	14.40	6	5.77	4.00	55.17	2771.0
Apartamento 501	23.93	121.33	17.68	1.26	16.80	6	6.19	4.62	69.61	2860.8
Apartamento 602	22.70	120.40	14.36	1.26	23.40	6	7.01	2.54	86.27	2707.1
Apartamento 202	23.52	123.43	20.49	1.42	11.40	6	4.38	6.46	46.02	2845.3
Apartamento 401	24.45	122.96	21.96	1.32	13.80	6	4.79	7.64	60.64	2938.4
Apartamento 502	23.09	122.00	16.72	1.32	20.40	6	5.61	3.91	78.32	2779.5
Apartamento 301	24.66	123.42	24.07	1.35	10.80	6	4.40	9.29	48.69	2955.8
Apartamento 402	23.20	122.43	17.47	1.34	17.40	6	5.24	4.38	67.61	2794.8
Apartamento 601	24.07	121.93	18.20	1.26	19.80	6	5.67	4.96	83.15	2884.8
Bomba	8.21	128.08	86.69	1.71	5.30	12	0.60	58.31	8.26	790.1
Ascensor - Fase A	4.44	128.21	133.5	1.92	18.50	6	0.49	55.18	2.08	346.0
Lobby	10.84	128.12	105.9	1.74	1.00	10	0.56	68.39	2.17	953.7
Ascensor - Fase B	7.10	127.61	56.47	1.44	18.50	6	0.96	39.28	8.29	788.2
portón	4.14	127.81	120.03	1.84	12.70	12	0.81	51.16	3.09	337.2
Ascensor - Fase C	10.02	127.08	50.40	1.54	18.50	6	1.39	33.31	15.79	1136.5

Tabla 28

Resultados obtenidos del modelo para los conductores dimensionados en la ESSA en condiciones de máxima demanda.

Sección	Irms [A]	Vrms [V]	THDi (%)	THDv (%)	Distancia (m)	Calibre (AWG)	Regulación (%)	Pérdidas por Armónicas (%)	Pérdidas [VA]	Demanda [VA]
Tablero General - fase A	91.79	122.37	15.48	1.56	10.00	6	5.29	3.30	605.50	11106.00
Tablero General - fase B	69.46	123.95	16.79	1.70	10.00	6	3.94	4.06	347.99	8494.70
Tablero General - fase C	70.24	123.90	16.83	1.69	10.00	6	3.99	4.12	356.01	8572.60
Tablero Zonas Comunes - fase A	10.00	128.35	98.28	2.02	10.00	6	0.38	61.49	9.40	910.75
Tablero Zonas Comunes - fase B	16.18	127.97	76.26	1.71	10.00	6	0.68	54.15	25.68	1642.20

Tablero Zonas Comunes - fase C	12.80	128.04	56.63	2.07	10.00	6	0.62	32.49	13.08	1423.50
Apartamento 201	23.92	120.65	20.45	1.27	7.80	8	6.79	6.47	43.17	2828.90
Apartamento 302	22.51	119.35	14.56	1.24	14.40	8	7.95	2.70	69.22	2660.00
Apartamento 501	23.31	118.73	14.77	1.19	16.80	8	8.52	2.90	86.73	2739.30
Apartamento 602	22.11	117.54	12.43	1.19	23.40	8	9.62	1.65	107.93	2579.80
Apartamento 202	23.03	121.52	17.74	1.33	11.40	8	6.03	4.56	57.91	2757.50
Apartamento 401	23.87	120.90	18.31	1.24	13.80	8	6.57	5.02	75.52	2840.80
Apartamento 502	22.56	119.66	14.38	1.24	20.40	8	7.67	2.60	98.47	2673.90
Apartamento 301	24.08	121.50	20.25	1.27	10.80	8	6.05	6.32	60.52	2864.60
Apartamento 402	22.69	120.22	15.08	1.26	17.40	8	7.17	2.98	85.10	2694.90
Apartamento 601	23.49	119.57	15.24	1.20	19.80	8	7.76	3.16	103.95	2774.40
Bomba	7.93	127.94	79.73	1.64	5.30	12	0.71	54.16	7.49	789.45
Ascensor - Fase A	4.33	128.07	128.57	1.82	18.50	6	0.60	50.93	1.90	345.14
Lobby	10.11	127.88	92.29	1.63	1.00	10	0.76	62.14	1.80	950.47
Ascensor - Fase B	6.88	127.37	49.29	1.39	18.50	6	1.16	32.96	7.48	785.57
portón	4.06	127.59	116.06	1.75	12.70	12	0.98	47.92	2.88	335.94
Ascensor - Fase C	9.85	126.85	46.74	1.49	18.50	6	1.57	30.04	15.00	1132.40

De los resultados en condiciones de máxima demanda establecido se ve que las pérdidas en los conductores por armónicos en las acometidas de los apartamentos representan aproximadamente entre el 2 % y 9 % de las pérdidas en condiciones de máxima demanda estimada. También se observa que la distorsión armónica que calculada en el modelo para las acometidas de los apartamentos no supera el 20.5%, uno de los problemas que se presentan son los valores de regulación de tensión superiores a un 5% bajo los cálculos de la metodología propuesta en algunas secciones de la vivienda que se obtienen en condiciones de máxima demanda, una solución para este problema consiste aumentar el calibre de los conductores de forma razonable en las secciones para disminuir la caída de tensión, para esto se propone aumentar el calibre de las secciones de los

tablero general a 3 AWG y el de los apartamentos a un calibre 4AWG respecto a los estimados para la NTC y ESSA, para el tablero general de las zonas comunes se dejara un calibre 4 AWG, el Ascensor un calibre 6 AWG, Lobby un 10 AWG y para el portón y bomba de agua un calibre 12 AWG, estos calibres cuentan con las características descritas en la metodología convencional AWG a 60 °C con aislamiento THHW.

Tabla 29

Resultados obtenidos del modelo para los conductores dimensionados con la alternativa propuesta en condiciones de máxima demanda.

Sección	Irms[A]	Vrms[V]	THDi (%)	THDv (%)	Distancia (m)	Calibre (AWG)	Regulación (%)	Pérdidas por Armónicas (%)	Pérdidas [VA]	Demanda [VA]
Tablero General - fase A	95.25	124.48	19.80	1.61	10.00	3	3.51	6.10	432.86	11635.00
Tablero General - fase B	71.86	125.56	21.59	1.75	10.00	3	2.62	7.42	248.12	8823.10
Tablero General - fase C	72.78	125.52	21.92	1.72	10.00	3	2.65	7.71	254.95	8912.40
Tablero Zonas Comunes - fase A	10.39	128.49	105.70	2.14	10.00	4	0.27	65.88	7.56	911.02
Tablero Zonas Comunes - fase B	17.12	128.22	87.51	1.84	10.00	4	0.49	61.44	21.77	1646.30
Tablero Zonas Comunes - fase C	13.04	128.27	60.40	2.18	10.00	4	0.44	36.39	9.90	1428.50
Apartamento 201	24.79	123.53	26.03	1.39	7.80	4	4.30	11.08	25.53	2965.50
Apartamento 302	23.29	122.81	18.05	1.37	14.40	4	4.92	4.79	40.17	2816.30
Apartamento 501	24.24	122.45	19.69	1.30	16.80	4	5.22	6.04	51.14	2914.30
Apartamento 602	23.01	121.79	15.61	1.31	23.40	4	5.79	3.23	63.16	2769.70
Apartamento 202	23.73	124.22	21.91	1.47	11.40	4	3.72	7.61	33.53	2881.60
Apartamento 401	24.78	123.87	24.56	1.37	13.80	4	4.01	9.83	44.79	2982.50
Apartamento 502	23.37	123.18	18.33	1.37	20.40	4	4.60	4.98	57.37	2833.80

Apartamento 301	24.95	124.20	26.39	1.39	10.80	4	3.74	11.38	35.85	2993.10
Apartamento 402	23.46	123.49	18.92	1.39	17.40	4	4.34	5.39	49.39	2843.10
Apartamento 601	24.41	123.12	20.50	1.31	19.80	4	4.65	6.63	61.31	2941.50
Bomba	8.21	128.08	86.69	1.71	5.30	12	0.60	58.31	8.26	790.14
Ascensor - Fase A	4.44	128.21	133.53	1.92	18.50	6	0.49	55.18	2.08	346.03
Lobby	10.84	128.12	105.94	1.74	1.00	10	0.56	68.39	2.17	953.72
Ascensor - Fase B	7.10	127.61	56.47	1.44	18.50	6	0.96	39.28	8.29	788.15
portón	4.14	127.81	120.03	1.84	12.70	12	0.81	51.16	3.09	337.17
Ascensor - Fase C	10.02	127.08	50.40	1.54	18.50	6	1.39	33.31	15.79	1136.50

Con los nuevos calibres se tiene que se podría cumplir parcialmente con los requisitos de regulación de tensión.

En la Tabla 30 se dan los resultados obtenidos para el neutro de las acometidas del tablero general y el tablero de zonas comunes para los 3 escenarios planeados en las Tablas 27, Tabla 28 y Tabla 29, y donde se puede observar que los valores obtenidos de corriente por en neutro en demanda máxima son valores de aproximadamente 30 [A] para los tableros, también se tiene que las mayores pérdidas en el neutro se tienen con la metodología ESSA

Tabla 30

Resultados obtenidos del modelo en los datos de corriente por el neutro con dimensionados en la NTC, ESSA y Alternativa propuesta.

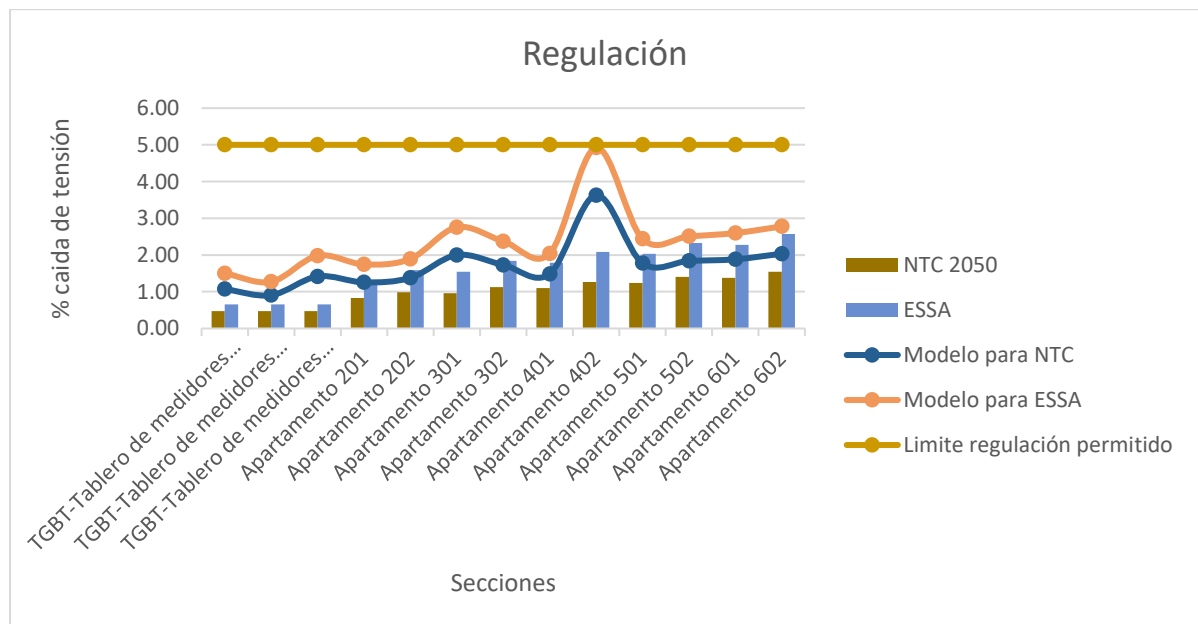
NTC	Irms [A]	Pérdidas [VA]	Desbalance (%)
Tablero General	31.3	27.8	29.3
Tablero Zonas comunes	13.2	5.1	49.8
ESSA	Irms [A]	Pérdidas [VA]	Desbalance (%)
Tablero General	30.0	37.5	28.9
Tablero Zonas comunes	12.9	7.6	47.5

Alternativa Propuesta	Irms [A]	Pérdidas [VA]	Desbalance (%)
Tablero General	31.8	26.0	29.3
Tablero Zonas comunes	13.2	5.1	49.81

Se realizó un análisis para un escenario de media baja demanda especificado en la Tabla 25 los cuadros de comparación de estos escenarios se encuentran en el Apéndice 5 y Apéndice 6 donde se cuenta con un promedio estimado de demanda de 8.93 [A] para los apartamentos Tipo donde se observa el comportamiento del modelo utilizando los conductores seleccionados para la metodología NTC y ESSA y donde se observa que para las acometidas del tablero general de apartamentos y la acometida de los apartamentos de la vivienda no se presentan problemas de regulación de tensión en la Figura 20 se observa la regulación para cada metodología y la regulación calculada a partir del modelo con los conductores seleccionados.

Figura 20

Regulación calculada en escenario de media/baja demanda.



7. Análisis de los Resultados.

7.1 Cuadro Comparativo

Se realiza la Tabla 31 mediante la cual se observan las diferencias en los resultados de los cálculos realizados para cada metodología, esto con el fin de visualizar las disparidades entre ambos desarrollos, evaluar sus resultados y analizar sus respectivas ventajas y desventajas.

Tabla 31

Cuadro comparativo metodología NTC 2050, ESSA y Propuesta parte 1

	Demanda (kVA)						Calibre (AWG)		
	NTC 2050	Propuesta	%Error	ESSA	Propuesta	%Error	NTC 2050	ESSA	Propuesta
TGBT- Tablero de medidores 1 A	24.51	11.51	53%	17.98	11.11	38%	4	6	2
TGBT- Tablero de medidores 1 B	24.51	8.74	64%	17.98	8.49	53%	4	6	2
TGBT- Tablero de medidores 1 C	24.51	8.82	64%	17.98	8.57	52%	4	6	2
Apartamento 201	6.48	2.93	55%	4.75	2.83	40%	6	8	12
Apartamento 202	6.48	2.85	56%	4.75	2.76	42%	6	8	12
Apartamento 301	6.48	2.96	54%	4.75	2.86	40%	6	8	12
Apartamento 302	6.48	2.77	57%	4.75	2.66	44%	6	8	12
Apartamento 401	6.48	2.94	55%	4.75	2.84	40%	6	8	12
Apartamento 402	6.48	2.79	57%	4.75	2.69	43%	6	8	12
Apartamento 501	6.48	2.86	56%	4.75	2.74	42%	6	8	12

Apartamento 502	6.48	2.78	57%	4.75	2.67	44%	6	8	12
Apartamento 601	6.48	2.88	55%	4.75	2.77	42%	6	8	12
Apartamento 602	6.48	2.71	58%	4.75	2.58	46%	6	8	12
TGBT-Tablero Zonas	21.11	0.91	96%	19.71	0.91	95%	4	6	12
Comunes A TGBT-Tablero Zonas	21.11	1.65	92%	19.71	1.64	92%	4	6	12
Comunes B TGBT-Tablero Zonas	21.11	1.43	93%	19.71	1.42	93%	4	6	12
Comunes C Lobby	3.00	0.95	68%	3.00	0.95	68%	10	10	14
Ascensor A	14.70	0.35	98%	14.70	0.35	98%	6	6	14
Ascensor B	14.70	0.79	95%	14.70	0.79	95%	6	6	14
Ascensor C	14.70	1.14	92%	14.70	1.13	92%	6	6	14
Portón	1.83	0.34	82%	1.83	0.34	82%	12	12	14
Bomba de agua	1.08	0.79	27%	1.08	0.79	27%	12	12	14

Tabla 32

Cuadro comparativo metodología NTC 2050, ESSA y Propuesta parte 2

	Regulación (%)						Pérdidas de Potencia (W)					
	NTC 2050	Propuesta	%Error	ESSA	Propuesta	%Error	NTC 2050	Propuesta	%Error	ESSA	Propuesta	%Error
TGBT-Tablero de medidores 1 A	0.47	3.78	707%	0.66	5.29	704%	114.05	456.66	300%	120.29	605.50	403%
TGBT-Tablero de medidores 1 B	0.47	2.82	502%	0.66	3.94	500%	114.05	261.27	129%	120.29	347.99	189%
TGBT-Tablero de medidores 1 C	0.47	2.86	509%	0.66	3.99	507%	114.05	267.89	135%	120.29	356.01	196%

Apartament o 201	0.83	4.91	494%	1.30	6.79	424%	23.16	34.88	51%	31.29	43.17	38%
Apartament o 202	0.99	4.38	342%	1.59	6.03	279%	33.85	46.02	36%	45.73	57.91	27%
Apartament o 301	0.96	4.40	356%	1.54	6.05	292%	32.07	48.69	52%	43.32	60.52	40%
Apartament o 302	1.13	5.77	411%	1.84	7.95	333%	42.76	55.17	29%	57.76	69.22	20%
Apartament o 401	1.10	4.79	335%	1.79	6.57	267%	40.98	60.64	48%	55.35	75.52	36%
Apartament o 402	1.27	5.24	314%	2.08	7.17	244%	51.67	67.61	31%	69.79	85.10	22%
Apartament o 501	1.24	6.19	400%	2.03	8.52	319%	49.89	69.61	40%	67.39	86.73	29%
Apartament o 502	1.40	5.61	300%	2.33	7.67	229%	60.58	78.32	29%	81.83	98.47	20%
Apartament o 601	1.38	5.67	312%	2.28	7.76	240%	58.80	83.15	41%	79.42	103.95	31%
Apartament o 602	1.54	7.01	355%	2.58	9.62	273%	69.49	86.27	24%	93.86	107.93	15%
TGBT- Tablero Zonas Comunes A	0.50	0.27	45%	0.72	0.38	47%	105.0 4	7.56	93%	144.5 4	9.40	93%
TGBT- Tablero Zonas Comunes B	0.50	0.49	2%	0.72	0.68	5%	105.0 4	21.77	79%	144.5 4	25.68	82%
TGBT- Tablero Zonas Comunes C	0.50	0.44	10%	0.72	0.62	13%	105.0 4	9.90	91%	144.5 4	13.08	91%
Lobby	0.58	0.56	3%	0.80	0.76	6%	2.46	2.17	12%	2.46	1.80	27%
Ascensor A	1.41	0.49	65%	1.64	0.60	63%	232.4 5	2.08	99%	232.4 5	1.90	99%
Ascensor B	1.41	0.96	32%	1.64	1.16	29%	232.4 5	8.29	96%	232.4 5	7.48	97%
Ascensor C	1.41	1.39	2%	1.64	1.57	4%	232.4 5	15.79	93%	232.4 5	15.00	94%
Portón	1.41	0.81	43%	1.64	0.98	40%	30.27	3.09	90%	30.27	2.88	90%

Bomba de agua	0.72	0.60	17%	0.95	0.71	25%	4.38	8.26	88%	4.38	7.49	71%
---------------	------	------	-----	------	------	-----	------	------	-----	------	------	-----

A partir de la Tabla 32 se observan cambios significativos en los resultados, para lo cual se realiza una explicación del motivo de estos mediante la Tabla 33.

Tabla 33

Explicación de diferencias en los resultados de las metodologías convencionales y la propuesta.

Metodología convencional y Propuesta	
Demanda	Se presentan diferencias ya que la metodología convencional realiza el cálculo para cargas lineales en uso simultaneo mientras que la metodología propuesta representa de una manera aproximada el comportamiento de cada carga identificando la linealidad, distorsión armónica y el número de cargas conectadas.
Calibre	Se observa diferencias en las metodologías ya que al momento de conocer las cargas podemos pronosticar una demanda máxima aproximada de las viviendas multifamiliares y de esta manera escoger el calibre con el mejor rendimiento.
Regulación	Se observa que para los conductores seleccionados en la metodología NTC y ESSA al aplicar el modelo general utilizando estos conductores y en condiciones de máxima demanda la regulación obtenida para las acometidas de los apartamentos es superior al 5%. Al momento de proponer aumentar los calibres para las secciones de las acometidas de los apartamentos a un 4AWG y la acometida del tablero general a un calibre 3AWG se mejora la regulación de tensión obteniendo valores menores del 5% en la mayoría de las secciones calculadas.

Pérdidas de Potencia	<p>Se observa que las pérdidas de potencia establecidas para la NTC y ESSA varían para algunas cargas individuales de las zonas comunes ya que la demanda de algunas de estas cargas es bastante inferior al de las cargas modeladas, se tiene que para estas secciones el porcentaje de pérdidas tiene un valor considerable según las cargas proyectadas.</p> <p>Para las acometidas generales de los apartamentos en condiciones de demanda máxima se observa que las pérdidas se ajustan de mejor forma con lo establecido en la NTC y ESSA y se tiene que las pérdidas calculadas para esta sección son un 20% superiores.</p> <p>Las pérdidas de energía calculada son mayores para la acometida del tablero de medidores debido a que en condiciones de demanda máxima de los apartamentos no se considera un equivalente de factor de diversidad para la acometida del tablero general causando que toda la demanda de los apartamentos se sume y aumenten sus pérdidas totales por fase.</p>
----------------------	---

Con base en estas explicaciones se plantean ventajas y desventajas de la metodología propuesta las cuales se observan en la Tabla 34.

Tabla 34

Ventajas y Desventajas de la metodología propuesta

Ventajas	Desventajas
<p>Permite observar el comportamiento no lineal de los equipos y el comportamiento de las componentes armónicas en las secciones de la vivienda.</p>	<p>Necesidad de señales de electrodomésticos comunes en estados de operaciones precisos.</p> <p>La variabilidad de la cantidad total de las cargas que puede haber en un espacio es muy incierta.</p>
<p>Permite variar el calibre del conductor que se quiera analizar y observar el comportamiento aproximado que se tendría tanto para las pérdidas de potencia como para la regulación de tensión y poder tomar una decisión acerca del calibre seleccionado.</p>	<p>En los resultados se tiene que para cumplir un criterio de regulación de tensión menor al 5% se debe seleccionar un calibre superior a los propuestos en la NTC y ESSA para las condiciones de demanda máxima expuesto, con los resultados que se obtienen se podría llegar a sobredimensionar el conductor para la acometida de los tableros generales.</p>

Nos permite estudiar y calcular la regulación en las diversas secciones en condiciones de la demanda que se considere.	El modelo de los conductores representa un factor importante para el cálculo de regulación.
Calcular la regulación de tensión en las diversas secciones.	Las pérdidas de potencia dependen del modelo del conductor seleccionado. Sin embargo, la aproximación de las pérdidas en las acometidas de los apartamentos puede sugerir que el modelo es una buena alternativa.

En esta sección, se ha realizado un análisis detallado en cuanto a las diferencias que presentan las metodologías clave que sustentan nuestro estudio: la normativa NTC, la metodología ESSA y la metodología propuesta. A través de las Tablas 31 y 32 se realiza el desglose de los resultados para cada estudio correspondiente a Demanda, Calibres, Regulación y Pérdidas. Además, mediante las Tablas 33 y 34 se realiza una explicación de las diferencias de los resultados y las ventajas y desventajas entre las distintas metodologías.

Por último, se observa que el modelo permite profundizar en el análisis específico de diversas secciones, especialmente en las acometidas de los apartamentos.

8. Conclusiones y Trabajos Futuros.

8.1 Conclusiones

- Bajo la metodología propuesta se destaca la importancia de seguir un enfoque estructurado, lo que permite llevar a cabo un análisis de impedancia por componente armónico en el contexto del caso de estudio. Al seguir esta metodología, se facilita la obtención de corrientes y tensiones resultantes específicas para las entradas ingresadas, lo que, a su vez, contribuye a la toma de decisiones en un modelo de vivienda multifamiliar. Los resultados de esta metodología se observan en las Tablas 14 y Tabla 16 secciones 5.3.1 y 5.3.2 junto como en las Tablas de la 26 a la Tabla 30 de la sección 6.2.
- Se realiza un estudio de cuatro modelos de cargas lineales y no lineales presentes en unidades residenciales, cada uno con diferentes parámetros y metodologías de cálculo, pero presentando un buen desempeño al momento de seguir el comportamiento de las cargas que se modelan. Los modelos mencionados anteriormente se encuentran en la sección 3.1.1.
- El modelo seleccionado para la representación de las cargas que sirven como entrada al modelo general de la vivienda multifamiliar desarrollado permitió realizar una estimación del comportamiento de los electrodomésticos que se seleccionaron. Si bien este modelo de impedancia de Norton está intrínsecamente relacionado a un estado de operación específico, de las señales utilizadas se observa que, bajo tensiones diferentes a la señal original, la respuesta del modelo de

impedancia en valores de potencia y corriente eficaz continúa siendo acertado en su modelado. En términos de distorsión armónica se observa que es dependiente de la señal de tensión en su entrada y la magnitud de sus componentes armónicas considerados, sin embargo, permite realizar una estimación del impacto de las componentes armónicas de cada carga que tienen en su respuesta de corriente. La selección del modelo se encuentra en la sección 3.1.2.

- El modelo general de la vivienda multifamiliar fue planteado con base en la metodología propuesta y para las características especiales del caso de estudio trabajado. El modelo general nos permite obtener un cuadro de regulación con la información para las diversas acometidas entre las secciones de la vivienda multifamiliar, donde permite ver la variación de parámetros como regulación, pérdidas, demanda y distorsión armónica de las señales eléctricas para cada ajuste de entrada que se desea analizar permitiendo variar la demanda estimada para cada apartamento, el calibre del conductor de cada sección, la señal de tensión que se quiera tomar como entrada y las distancias de cada una de las secciones descritas. La propuesta del modelo se realiza en la sección 5.3 y se muestran resultados en la sección 6.2.
- Mientras que los parámetros establecidos en la NTC 2050 son muy generales en el modelo propuesto se consideran entre otras cosas pérdidas por armónicos, que son unos valores que no se tienen presente y que con base en los resultados se observa que van desde un 2% a un 9% que poco a poco suman, adicionalmente vemos afectaciones en la comparación de los resultados obtenidos mediante las

metodologías de la NTC y ESSA en las condiciones de máxima demanda con el modelo propuesto para la vivienda se tiene que es bastante probable que se presente problemas en la regulación de tensión y una posibilidad de que las pérdidas netas en los conductores sean mayores a las calculadas por las metodologías convencionales para diversas secciones de la vivienda debido tanto a la presencia de armónicos por el comportamiento no lineal de las cargas modeladas en las viviendas como por el comportamiento del efecto skin en los conductores, sin embargo en escenarios donde la demanda fuese menor los cálculos de estos parámetros de regulación son más cercanos a los estimados con el modelo diseñado y las pérdidas calculadas podrían tener un aumento en el aporte de pérdidas por armónicos ya que aunque la demanda de la componente fundamental disminuya, los aportes de los armónicos siguen presentes. El análisis comparativo se encuentra en la sección 7.1 para demanda máxima y en el apéndice 5 y 6 para demanda media-baja.

8.2 Trabajos Futuros

- Estudio de cálculo de acometidas para otro tipo de instalaciones eléctricas (Centros comerciales, Industrias, etc).
- Modelado detallado para las diversas cargas para ambientes residenciales que permitan describir su comportamiento de una forma más dinámica bajo diversas entradas de tensión.

- Una propuesta de modelado general de vivienda multifamiliar, no solo basado en un caso de estudio si no un algoritmo o programa basado en la metodología propuesta que permita variar la configuración de las cargas y tener el cuadro de regulación.
- Un modelo de conductores donde se considere la variabilidad de no solo la componente resistiva sino también las componentes inductivas y / o capacitivas que se puedan presentar.
- Una propuesta para representar la diversificación de la demanda bajo la metodología propuesta.

Referencias Bibliográficas

- Ministerio de Minas y energías [MinMinas]. (2013). *Reglamento técnico de instalaciones eléctricas* - *RETIE*.
https://www.minenergia.gov.co/documents/3809/Apéndice_General_del_RETIE_vigente_actualizado_a_2015-1.pdf
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas [ICONTEC]. (1998). *Norma Técnica Colombiana 2050 – NTC 2050*.<https://medicert.com.co/docs/NTC-2050.pdf> (ICONTEC,1998)
- Electrificadora de Santander [ESSA]. (2021). *NTG-02 Marco General Norma Urbana*.
<https://www.essa.com.co/site/Portals/proveedores/ntg-02%20marco%20general%20norma%20urbana%20%20.pdf?ver=2022-05-02-130335-283>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2022). *Boletín Técnico*.
https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/emc/bol_emc_mar22.pdf
- Autores. (2023). *Sondeo de Cargas Eléctricas Residenciales*.
<https://forms.office.com/Pages/ResponsePage.aspx?id=TFfVLrr5JkSWWOR3rXQ528H6y6V1ht5FvtI3sD7nPdBUQkExSSdYOEdQUE5aSzZQTFRHUkpUQIBKWC4u>
- Unidad de Planeacion minero energetica [UPME]. (2021). *Proyeccion Demanda Energia Electrica y Gas Natural 2021-2035*.
https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/UPME_Proyeccion_Demanda_Energia_Junio_2021.pdf

- Arif, A., Wang, Z., Wang, J., Mather, B., Bashualdo, H., & Zhao, D. (2018). Load Modeling—A Review. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9(6), 5986-5999. <https://doi.org/10.1109/TSG.2017.2700436>
- Arismendy-Mira, J. E., Henao-Muñoz, A. C., & Saavedra-Montes, A. J. (2018). *Modelado de un Computador Utilizando el Modelo Norton para Análisis Armónico*. 23(03).
- Bello, J., Malagon-Carvajal, G., Ordonez-Plata, G., & Duarte, C. (2019). Comparison of results in the estimated Norton equivalent model with measurements within the limits of distortion on IEEE 519 and EN 50160. *2019 FISE-IEEE/CIGRE Conference - Living the energy Transition (FISE/CIGRE)*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/FISECIGRE48012.2019.8984970>
- Demoulias, C., Labridis, D. P., Dokopoulos, P. S., & Gouramanis, K. (2007). Ampacity of Low-Voltage Power Cables Under Nonsinusoidal Currents. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 22(1), 584-594. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2006.881445>
- Gheorghe, A. G., Constantinescu, F., Marin, M. E., Stefanescu, V., & Vataselu, G. (2018). Frequency Domain Models for Nonlinear Home Appliance Devices. *2018 International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/ISFEE.2018.8742469>
- Henao-Munoz, A. C., & Saavedra-Montes, A. J. (2016). Comparison of two mathematical models for nonlinear residential loads. *2016 17th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICHQP.2016.7783436>
- Manusov, V. Z., & Khripkov, V. V. (2018). Comparative Analysis of Mathematical Models for the Coefficient of Conductor Resistance Increase Due to Higher Harmonics. *2018 XIV International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE)*, 133-136. <https://doi.org/10.1109/APEIE.2018.8545749>

- Mukhtaruddin, A., Syed Hasan, S. I., Isa, M., Mokhzaini Azizan, M., & Ismail, B. (2015). Neutral Conductor Size Selection for Electrical Supply with Harmonic. *Applied Mechanics and Materials*, 793, 54-59. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.793.54>
- Neagu, B. C., Georgescu, G., & Ivanov, O. (2016). The impact of harmonic current flow on additional power losses in low voltage distribution networks. *2016 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE)*, 719-722. <https://doi.org/10.1109/ICEPE.2016.7781433>
- Patil, K. D., & Gandhare, W. Z. (2011). Effects of harmonics in distribution systems on temperature rise and life of XLPE power cables. *2011 International Conference on Power and Energy Systems*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICPES.2011.6156680>
- Santiago, I., Palacios-Garcia, E. J., Moreno-Garcia, I. M., Gil De Castro, A., & Moreno-Munoz, A. (2017). Appliances in the residential sector: Economic impact of harmonic losses. *2017 11th IEEE International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG)*, 620-625. <https://doi.org/10.1109/CPE.2017.7915244>
- UPME_Proyeccion_Demanda_Energia_Junio_2021.pdf*. (2021). Recuperado 9 de octubre de 2023, de https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/UPME_Proyeccion_Demanda_Energia_Junio_2021.pdf
- Yong, J., & Xu, W. (2016). A Method to Estimate the Impact of Harmonic and Unbalanced Currents on the Ampacity of Concentric Neutral Cables. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 31(5), 1971-1979. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2014.2331852>

Apéndices

Apéndice 1

Código Modelado de Cargas

```

clc
clear all
%% Datos generales
recorte=20; % recorte de la FFT
rango=0.002; % Rango de corriente para la seleccion de armonicos
armonicos=10;
%% Cargamos datos
load('DatosSeñales2.mat')
load('DatosLavadora.mat')
vdate=Measure_Voltage(n:n+ciclos*ncont);
idate=Measure_Current(n:n+ciclos*ncont);
s=[vdate idate];
%% Aplicamos Transformada
sfft=fft(s)*sqrt(2)/(ciclos*ncont);
sfft(1,:)=sfft(1,:)*sqrt(2);
sfft=sfft(1:recorte,:);
magf=abs(sfft);anglef=angle(sfft)*180/pi;
Harmonicos=1:ncont*ciclos/2;Harmonicos=Harmonicos-1;Harmonicos=Harmonicos(1:recorte);
%% Filtro armonicos representativos
%Seleccion de armonicos representativos, criterio = corriente
for h=1:length(sfft(:,2))
if abs(sfft(h,2))>= rango
    armonicos(h)=h;
    Harmonicos(h)=Harmonicos(h);
    if h==1 && Harmonicos(h)==0
        Harmonicos(h)=8;
    end
elseif abs(sfft(h,2)) < rango
    armonicos(h)=0;
    Harmonicos(h)=0;
end
end
armonicos(armonicos==0)=[]; % se eliminan los ceros y se dejan las posiciones de los
armonicos.
Harmonicos(Harmonicos==0)=[];
if Harmonicos(1)==8
    Harmonicos(1)=0;
end
%% Ejecutamos el modelo
znh=sfft(armonicos,1)./sfft(armonicos,2);
rnh=real(znh);
xnh=imag(znh);
for c=1:length(znh)
    if rnh(c)<0
        znh(c)=-znh(c);
    end
end

```

```

end
%% Comparamos el modelo
vcom=sfft(armonicos,1);
icomparacion=vcom./znh;
% bar(magf(:,2))
% % hold on
% % bar(armonicos,abs(icomparacion))
% % hold off
% title('Señal de corriente Lavadora')
% xlabel('Armónico')
% ylabel('Magnitud [A]')
%% Ajustamos la Z para guardarla
% C=zeros(1,10);
% C(armonicos(1:8))=znh(1:8);
% ZBlender=transpose(C(1:10));
% % save("ZBlender.mat",'ZFridge')
%% Calculos Parametros
pequipo=sum(abs(sfft(:,1).*sfft(:,2)));
THD=100*sqrt(sum(abs(sfft.^2))-abs(sfft(2,:)).^2)./abs(sfft(2,:));
srms=sqrt(sum(abs(sfft.^2)));
%% Ploteamos Parametros
Datos=["Potencia de prueba","VrmsA","IrmsA","THDv","THDvI","N_ciclos"];
Valor=[pequipo srms THD, length(idate)];
Tabla=table(Datos,Valor)
Tabla2=table(Harmonicos',znh)

%% COMAPRACION
load("V_127.mat")
imodel=vfft(1:10)./znh(1:10);
subplot(1,2,1)
bar([1:10],magf(1:10,2))
title('Original')
xlabel('Armónico')
ylabel('Magnitud [A]')
subplot(1,2,2)
bar(abs(imodel))
title('Modelo')
xlabel('Armónico')
ylabel('Magnitud [A]')

```

Apéndice 2

Código Modelado Cargas Agrupadas.

```

clc
clear all
%% ----- DATOS -----
armonicos=10;
%% ----- IMPEDANCIAS EQUIPOS-----
armonicos=10;
load("ZTV.mat")

```

```

load("ZLavadora.mat")
load("Zlaptop.mat")
load("ZIron.mat")
load("ZFridge.mat")
load("ZFan.mat")
load("ZBulb.mat")
load("ZBlender.mat")
load("ZAsensorA.mat")
load("ZAsensorB.mat")
load("ZAsensorC.mat")
ZAsensorA=ZAsensorA(1:10);
ZAsensorB=ZAsensorB(1:10);
ZAsensorC=ZAsensorC(1:10);
Zaire = [0.0000
 23.0226 - 12.2813i
 0
 (-0.0041 + 0.0118i)+(1.2276 - 0.9711i)
 0
 1.2276 - 0.9711i
 0
 -0.3563 - 0.2764i
 0
 -0.2634 - 0.3521i];
Z=[ZAsensorA ZAsensorB ZAsensorC ZBlender ZBulb ZFan ZFridge ZIron ZLavadora ZTV
Zaire Zlaptop(1:armonicos)];
for u=1:armonicos
  for k=1:12
    if real(Z(u,k))<0
      Z(u,k)=-Z(u,k);
    end
  end
end
ZAsensorA=Z(:,1);
ZAsensorB=Z(:,2);
ZAsensorC=Z(:,3);
ZBlender=Z(:,4);
ZBulb=Z(:,5);
ZFan=Z(:,6);
ZFridge=Z(:,7);
ZIron=Z(:,8);
ZLavadora=Z(:,9);
ZTV=Z(:,10);
Zaire=Z(:,11);
Zlaptop=Z(:,12);
%% -----SEÑAL DE TENSION-----
load("V_120.mat")

%% Sumatoria en Paralelo.

%carga_agrupada=[ZBlender ZBulb ZFan ZFridge Zlaptop(1:10) ZIron Zaire ZTV
ZLavadora];
% Escenario Maxima demanda
%APTO_A

```

```

%zcarga_agrupada = [Zaire(1:armonicos) ZBlender(1:armonicos) ZBulb(1:armonicos)
ZBulb(1:armonicos) ZBulb(1:armonicos) ZBulb(1:armonicos) ZBulb(1:armonicos)
ZFan(1:armonicos) ZFan(1:armonicos) ZFan(1:armonicos) ZFridge(1:armonicos)
ZIron(1:armonicos) Zlaptop(1:armonicos) Zlaptop(1:armonicos) ZLavadora(1:armonicos)
ZTV(1:armonicos) ZTV(1:armonicos) ZTV(1:armonicos) ZTV(1:armonicos)];
% APTO_B
%zcarga_agrupada = [Zaire(1:armonicos) ZBlender(1:armonicos) ZBulb(1:armonicos)
ZBulb(1:armonicos) ZBulb(1:armonicos) ZBulb(1:armonicos) ZBulb(1:armonicos)
ZFan(1:armonicos) ZFan(1:armonicos) ZFridge(1:armonicos) ZIron(1:armonicos)
Zlaptop(1:armonicos) ZLavadora(1:armonicos) ZTV(1:armonicos) ZTV(1:armonicos)
ZTV(1:armonicos)];

%Escenarios Adicionales
%1_A
%zcarga_agrupada = [ZBlender(1:armonicos) ZBulb(1:armonicos) ZBulb(1:armonicos)
ZBulb(1:armonicos) ZFridge(1:armonicos) Zlaptop(1:armonicos) Zlaptop(1:armonicos)
ZTV(1:armonicos)];
% 1_B
%zcarga_agrupada = [Zaire(1:armonicos) ZBulb(1:armonicos) ZBulb(1:armonicos)
ZFridge(1:armonicos) Zlaptop(1:armonicos) ZTV(1:armonicos)];

%2_A
%zcarga_agrupada = [Zaire(1:armonicos) ZBlender(1:armonicos) ZLavadora(1:armonicos)
ZBulb(1:armonicos) ZBulb(1:armonicos) ZBulb(1:armonicos) ZBulb(1:armonicos)
ZFridge(1:armonicos) ZTV(1:armonicos) ZTV(1:armonicos)];
% 2_B
%zcarga_agrupada = [Zaire(1:armonicos) ZLavadora(1:armonicos) ZBulb(1:armonicos)
ZBulb(1:armonicos) ZFridge(1:armonicos) ZTV(1:armonicos)];

%3_A
%zcarga_agrupada = [Zaire(1:armonicos) ZLavadora(1:armonicos) ZBulb(1:armonicos)
ZFridge(1:armonicos) ZTV(1:armonicos)];
% 3_B
% zcarga_agrupada = [Zaire(1:armonicos) ZIron(1:armonicos) ZLavadora(1:armonicos)
ZBulb(1:armonicos) ZBulb(1:armonicos) ZBulb(1:armonicos) ZBulb(1:armonicos)
ZFridge(1:armonicos) Zlaptop(1:armonicos) Zlaptop(1:armonicos) ZTV(1:armonicos)
ZTV(1:armonicos)];

% ZLOBBY
zcarga_agrupada = [Zlaptop(1:armonicos) Zlaptop(1:armonicos) ZTV(1:armonicos)
ZTV(1:armonicos) ZBulb(1:armonicos) ZBulb(1:armonicos) ZBulb(1:armonicos)
ZBulb(1:armonicos) ZBulb(1:armonicos) ZBulb(1:armonicos) ZBulb(1:armonicos)
ZBulb(1:armonicos) ZBulb(1:armonicos) ZBulb(1:armonicos)];

zequ_0=1./zcarga_agrupada;
for l=1:armonicos
    for g=1:length(zcarga_agrupada(1,:))
        if abs(zequ_0(l,g))==Inf
            zequ_0(l,g)=0;
        end
    end
end
end

```

```

zequ_0=transpose(zequ_0);
abs(zequ_0);
zequ_0=sum(zequ_0);
zequ = 1./zequ_0;
for l=1:armonicos % Para cuando no se tenga datos de armonicos
    if abs(zequ(l))==Inf
        fprintf('Paso por aqui')
        zequ(l)=100;
    end
end
zequivalente=transpose(zequ)
%% GUARDAMOS DE SE NECESARIO LOS DATOS
% Z_A = zequivalente;
% save("Z_AptoA_maxima.mat", 'Z_A');
% Z_B = zequivalente;
% save("Z_AptoB_maxima.mat", 'Z_B');

%Z_A3 = zequivalente;
%save("Z_AptoA_E3.mat", 'Z_A3');
% Z_B2 = zequivalente;
% save("Z_AptoB_E2.mat", 'Z_B2');
%% Calculos de Corriente
I=vfft(1:10)./transpose(zequ);
Icargas=vfft(1:10)./zcarga_agrupada;
for l=1:armonicos
    for g=1:length(Icargas(1,:))
        if abs(Icargas(l,g))==Inf
            Icargas(l,g)=0;
        end
    end
end
end
%% Calculamos parametros
Pcargas=abs(sum(vfft(1:10).*Icargas));
THDi=(100*sqrt(sum(abs(Icargas.^2))-abs(Icargas(2,:)).^2)./(abs(Icargas(2,:))))';
Irms=sqrt(sum(abs(Icargas.^2)));
THDv=100*sqrt(sum(abs(vfft.^2))-abs(vfft(2)).^2)./(abs(vfft(2)));
vrm=sqrt(sum(abs(vfft.^2)));
%% Imprimir
bar([0:9],abs(I))
% title('Señal de corriente Apartamento Tipo A')
% xlabel('Armónico')
% ylabel('Magnitud [A]')
%
Equipos=["Licuadora";"Luminaria";"Ventilador";"Refrigerador";"Laptop";"Plancha";"Aire
Acondicionado";"TV";"Lavadora"];
% Tabla=table(Equipos,Pcargas,Irms,THDi)
%Tabla2=table((1:10)'-
1, zcarga_agrupada(:,1), zcarga_agrupada(:,2), zcarga_agrupada(:,3), zcarga_agrupada(:,4)
, zcarga_agrupada(:,5), zcarga_agrupada(:,6), zcarga_agrupada(:,7), zcarga_agrupada(:,8),
zcarga_agrupada(:,9), zcarga_agrupada(:,10), zcarga_agrupada(:,11), zcarga_agrupada(:,12)
))

```

Apéndice 3

Código Modelado Vivienda Multifamiliar.

```

clc
clear all
% Modelo general de la vivienda multifamiliar.
armonicos=10; % armonicos a considerar
%% ENTRADA N°1 - DINSTANCIAS DE LAS SECCIONES A CONSIDERAR.
dtrf_tg=10; % Distancia desde el Transformador al Tablero general en metros
dtrf_tgz=10;
d1_a=7.8;
d2_a=14.4;
d3_a=16.8;
d4_a=23.4;
d1_b=11.4;
d2_b=13.8;
d3_b=20.4;
d4_b=1; %Lobby
d1_c=10.8;
d2_c=17.4;
d3_c=19.8;
d4_c=12.7;%Porton
da1=18.5;
da2=18.5;
da3=18.5;
dbomb=5.3;%bomba de agua
distancias=[d1_a;d2_a;d3_a;d4_a;d1_b;d2_b;d3_b;d1_c;d2_c;d3_c;dbomb;da1;d4_b;da2;d4_c
;da3]';
%% ENTRADA N°2 y 3 - IMPEDANCIAS DE CARGAS AGRUPADAS Y INDIVIDUALES.
load("ZAsensorA.mat");
ZAsensorA=ZAsensorA(1:armonicos);
load("ZAsensorB.mat")
ZAsensorB=ZAsensorB(1:armonicos);
load("ZAsensorC.mat")
ZAsensorC=ZAsensorC(1:armonicos);

% Cargamos los datos de los apartamentos TIPO A y B
% load("Z_AptoA_maxima.mat")
% load("Z_AptoB_maxima.mat")
%
load("Z_AptoA_E1.mat")
load("Z_AptoB_E1.mat")

load("Z_AptoA_E2.mat")
load("Z_AptoB_E2.mat")

load("Z_AptoA_E3.mat")
load("Z_AptoB_E3.mat")

% Cargas Zonas comunes

```

```

load("Z_Lobby.mat")
Zporton = ZAsensorA;
Zbomba = ZAsensorB;
%% ENTRADA N°4 - MODELOS DE RESISTENCIA POR ARMONICO DE LOS CONDUCTORES.
load("R_N3.mat")
load("R_N4.mat")
load("R_N6.mat")
load("R_N8.mat")
load("R_N10.mat")
load("R_N12.mat")
%NTC 4 6 4 6 10 12
%ESSA 6 8 6 6 10 12
%PROPUESTOS MAXIMA DEMANDA 3 4 4 6 10 12
Rtrf_tg =R3;
Rtg_apto = R4;
Rtrf_tgz=R4;
Rtg_as=R6;
Rtg_lob=R10;
Rtg_POR=R12;
%% ENTRADA N°5 - TENSION DE BT DEL TRANSFORMADOR DE LA VIVIENDA
load("V3_127.mat")
vin_trafo=vfft(1:armonicos);
bar((1:10)-1,abs(vin_trafo))
title('Señal de Tensión entrada')
xlabel('Armónico')
ylabel('Magnitud [V]')
vin_trafo_a=vin_trafo;
vin_trafo_b=[vin_trafo(1);vin_trafo(2:end)*1*exp(j*120*(pi/180))];
vin_trafo_c=[vin_trafo(1);vin_trafo(2:end)*1*exp(-j*120*(pi/180))];
%Datos
vrmsrafo=sqrt(sum(abs(vin_trafo.^2))) % Valor RMS de la señal del transformador.
THD_trafo = sqrt((sum(abs(vin_trafo).^2)-abs(vin_trafo(2))^2)/abs(vin_trafo(2)) *
100

%% SE APLICA LA METODOLOGIA

% Calculos por fase
% Z de las cargas en paralelo 6 cargas fase A - 5 cargas fase -B 5 cargas fase -C
ZfaseAptos_abc=[Z_A1 Z_B2 Z_A3 Z_B1 Z_B1 Z_A3 Z_B2 Z_A2 Z_B3 Z_A1 Zbomba ZAsensorA
Z_Lobby ZAsensorB Zporton ZAsensorC];
%ZfaseAptos_abc=[Z_A Z_B Z_A Z_B Z_B Z_A Z_B Z_A Z_B Z_A Zbomba ZAsensorA Z_Lobby
ZAsensorB Zporton ZAsensorC];
RfaseAptos_abc=[Rtg_apto Rtg_apto Rtg_apto Rtg_apto Rtg_apto Rtg_apto Rtg_apto
Rtg_apto Rtg_apto Rtg_apto Rtg_POR Rtg_as Rtg_lob Rtg_as Rtg_POR Rtg_as].*distancias;
Zfas_abc=ZfaseAptos_abc+RfaseAptos_abc;
%sumamos las impedancias inversas (admitancias)
Zeqif_abc=1./Zfas_abc;
Zeqif_abc=transpose(Zeqif_abc);

%Equivalente por fase para los apartamentos
ZeqifA_a=sum(Zeqif_abc(1:4,:));
ZeqifA_b=sum(Zeqif_abc(5:7,:));
ZeqifA_c=sum(Zeqif_abc(8:10,:));

```

```

%Equivalente por fase para las zonas comunes
Zeqifz_a=sum(Zeqif_abc(11:12,:));
Zeqifz_b=sum(Zeqif_abc(13:14,:));
Zeqifz_c=sum(Zeqif_abc(15:16,:));

%Impedancias totales
ZeqifA_abc=[ZeqifA_a;ZeqifA_b;ZeqifA_c];
Zeqifz_abc=[Zeqifz_a;Zeqifz_b;Zeqifz_c];

% Impedancia equivalente para la fase ABC
ZeqiA_fABC= transpose(1./ZeqifA_abc);
Zeqiz_fABC= transpose(1./Zeqifz_abc);

% Corriente demandada para la fase A B y C de los apartamentos
IdA_a = vin_trafo_a./(ZeqiA_fABC(:,1)+Rtrf_tg*dtrf_tg);
IdA_b = vin_trafo_b./(ZeqiA_fABC(:,2)+Rtrf_tg*dtrf_tg);
IdA_c = vin_trafo_c./(ZeqiA_fABC(:,3)+Rtrf_tg*dtrf_tg);
IdA_abc=[IdA_a IdA_b IdA_c];
IdA_n=transpose(sum(transpose(IdA_abc)));

% Corriente demandada para la fase A B y C de las zonas comunes
Idz_a = vin_trafo_a./(Zeqiz_fABC(:,1)+Rtrf_tgz*dtrf_tgz);
Idz_b = vin_trafo_b./(Zeqiz_fABC(:,2)+Rtrf_tgz*dtrf_tgz);
Idz_c = vin_trafo_c./(Zeqiz_fABC(:,3)+Rtrf_tgz*dtrf_tgz);
Idz_abc=[Idz_a Idz_b Idz_c];
Idz_n=transpose(sum(transpose(Idz_abc)));

% Voltage de la fase A en el Tablero General fase A B y C
VtgA_abc = IdA_abc.*ZeqiA_fABC;
Vtgz_abc = Idz_abc.*Zeqiz_fABC;

%Cargas apartamentos
id_tg_cargas_a=VtgA_abc(:,1)./Zfas_abc(:,1:4);
id_tg_cargas_b=VtgA_abc(:,2)./Zfas_abc(:,5:7);
id_tg_cargas_c=VtgA_abc(:,3)./Zfas_abc(:,8:10);

%Cargas zonas comunes
id_tgz_cargas_a=Vtgz_abc(:,1)./Zfas_abc(:,11:12);
id_tgz_cargas_b=Vtgz_abc(:,2)./Zfas_abc(:,13:14);
id_tgz_cargas_c=Vtgz_abc(:,3)./Zfas_abc(:,15:16);

IdA_cargas=[id_tg_cargas_a id_tg_cargas_b id_tg_cargas_c];
Idz_cargas=[id_tgz_cargas_a id_tgz_cargas_b id_tgz_cargas_c];

% SE CALCULA EL VOLTAGE DE ENTRADA A LAS CARGAS
vin_tg_cargas_a=id_tg_cargas_a.*ZfaseAptos_abc(:,1:4);
vin_tg_cargas_b=id_tg_cargas_b.*ZfaseAptos_abc(:,5:7);
vin_tg_cargas_c=id_tg_cargas_c.*ZfaseAptos_abc(:,8:10);

vin_tgv_cargas_a=id_tgz_cargas_a.*ZfaseAptos_abc(:,11:12);
vin_tgv_cargas_b=id_tgz_cargas_b.*ZfaseAptos_abc(:,13:14);

```

```

vin_tgv_cargas_c=id_tgz_cargas_c.*ZfaseAptos_abc(:,15:16);
vin_cargas=[vin_tg_cargas_a vin_tg_cargas_b vin_tg_cargas_c vin_tgv_cargas_a
vin_tgv_cargas_b vin_tgv_cargas_c];

%% SE REALIZAN EL CALCULO DE LOS PARAMETROS DE LOS DATOS CALCULADOS
I=[IdA_abc Idz_abc IdA_cargas Idz_cargas];I_fun=abs(I(2,:));
Irms=sqrt(sum(abs(I.^2))); %---
V=[VtgA_abc Vtgz_abc vin_cargas];V_fun=abs(V(2,:));
Vrms=sqrt(sum(abs(V.^2))); %---
%Distancias
distancias_metros=[dtrf_tg dtrf_tg dtrf_tg dtrf_tgz dtrf_tgz dtrf_tgz distancias]';
% Calculos de distorcion armonica.
THDI=100*sqrt(sum(abs(I.^2))-I_fun.^2)./I_fun; %---
THDV=100*sqrt(sum(abs(V.^2))-V_fun.^2)./V_fun; %---
%Calculo de regulacion de tensión.
regulacion=(vrmstrafo-Vrms)./Vrms *100;
%Calculo de pérdidas de potencia.
per_a=(abs(I).^2).*[Rtrf_tg*dtrf_tg Rtrf_tg*dtrf_tg Rtrf_tg*dtrf_tg Rtrf_tgz*dtrf_tgz
Rtrf_tgz*dtrf_tgz Rtrf_tgz*dtrf_tgz RfaseAptos_abc];

pérdidastotales=abs(sum(abs(per_a)));
pérdidas0=per_a;
pérdidas0(2,:)=0;
pérdidasdelosarmonicos=abs(sum(abs(pérdidas0)));

per_armo_VA = sum(per_a)-per_a(2,:);
Pérdidas_armonicas_porcentaje=abs(per_armo_VA)./abs(sum(per_a)) * 100; %---
%Calculos de demanda general.
demanda_general = abs(sum(V.*I));

%PÉRDIDAS POR EL NEUTRO
In=[IdA_n Idz_n];Inrms=sqrt(sum(abs(In.^2)))';
Pérdidas_neutro=abs(sum((In.^2).*[Rtrf_tg*dtrf_tg Rtrf_tgz*dtrf_tgz]))';
desbalanceTG=(max(Irms(1:3))-min(Irms(1:3)))/mean(Irms(1:3)) * 100;
desbalanceTGz=(max(Irms(4:6))-min(Irms(4:6)))/mean(Irms(4:6)) * 100;
desbalance=[desbalanceTG desbalanceTGz]';

%% SE IMPRIME EL CUADRO DE REGULACION
seccion=["Tablero General - fase A"; "Tablero General - fase B"; "Tablero General -
fase C";"Tablero Zonas Comunes - fase A";"Tablero Zonas Comunes - fase B";"Tablero
Zonas Comunes - fase C";
"Apartamento 201";"Apartamento 302";"Apartamento 501";"Apartamento 602";"Apartamento
202";"Apartamento 401";"Apartamento 502";"Apartamento 301";"Apartamento
402";"Apartamento 601";"Bomba";"Asensor - Fase A";"Lobby";"Asensor - Fase
B";"Porton";"Asensor - Fase C"];
DatosNeutro=["Tablero General";"Tablero Zonas comunes"];
Pérdidas_armonicas_porcentaje=transpose(Pérdidas_armonicas_porcentaje);
per_armo_VA =transpose(abs(per_armo_VA));
THDV=transpose(THDV);
THDI=transpose(THDI);
Irms=transpose(Irms);
Vrms=transpose(Vrms);
regulacion=transpose(regulacion);

```

```

pérdidas_conductores_VA=transpose(abs(sum(per_a)));
demanda_general=transpose(demanda_general);
TablaReg=table(seccion,Irms,Vrms,THDI,THDV,distancias_metros,regulacion,Pérdidas_armo
nicas_porcentaje,per_armo_VA,pérdidas_conductores_VA, demanda_general)
TablaNeutro=table(DatosNeutro,Inrms,Pérdidas_neutro,desbalance)

```

Apéndice 4

Código Modelado Conductores.

```

clc
clear all
%% Datos Iniciales
f=60; % Frecuencia fundamental en Hz
himp=[1,2,3,4,5,6,7,8,9]; % Armonicos para los cuales se calculara su resistencia
equivalente
Rdc=0.00069; %Resistencia en corriente continua en Ohms/metro

%% Metodo Paper Comparative Analysis of Mathematical Models forthe Coefficient of
Conductor Resistance Increasedue to Higher Harmonics
x=0.128*sqrt(himp/Rdc);
for k=1:length(himp)
    if x(k)>=1
        ksv(k)=x(k)+0.25*x(k)+(0.47/x(k));
    elseif x(k)<1
        ksv(k)=1+(x(k)^4)/3;
    end
end
kpv=0.59*((ksv-1)./(ksv-0.73));
R=[Rdc Rdc*(ksv+kpv)]; % Resistencia del conductor para las frecuencias definidas
Relacion=R./Rdc; %Relación de
%% Imprimimos
Frecuencias = [0 himp*f]';
Tabla=table(Frecuencias,R)

```

Apéndice 5*Cuadro de Comparación caso demanda media-baja 1*

	NTC 2050	Modelo	Demanda (kVA)				Calibre (AWG)		
			%Error	ESSA	Modelo	%Error	NTC 2050	ESSA	Propuesta
TGBT-Tablero de medidores 1 A	24.51	3.41	86.08%	17.98	3.38	81.22%	4	6	2
TGBT-Tablero de medidores 1 B	24.51	2.93	88.04%	17.98	2.90	83.85%	4	6	2
TGBT-Tablero de medidores 1 C	24.51	4.48	81.72%	17.98	4.41	75.48%	4	6	2
Apartamento 201	6.48	0.54	91.60%	4.75	0.54	88.66%	6	8	12
Apartamento 202	6.48	0.92	85.73%	4.75	0.91	80.74%	6	8	12
Apartamento 301	6.48	1.20	81.50%	4.75	1.18	75.15%	6	8	12
Apartamento 302	6.48	1.03	84.03%	4.75	1.02	78.50%	6	8	12
Apartamento 401	6.48	0.96	85.20%	4.75	0.95	80.04%	6	8	12
Apartamento 402	6.48	2.72	58.00%	4.75	2.65	44.15%	6	8	12
Apartamento 501	6.48	0.95	85.28%	4.75	0.94	80.20%	6	8	12
Apartamento 502	6.48	1.03	84.06%	4.75	1.02	78.56%	6	8	12

Apartamento 601	6.48	0.54	91.74%	4.75	0.53	88.90%	6	8	12
Apartamento 602	6.48	0.91	85.91%	4.75	0.90	81.07%	6	8	12
TGBT-Tablero Zonas Comunes A	21.11	0.91	95.68%	19.71	0.91	95.38%	4	6	12
TGBT-Tablero Zonas Comunes B	21.11	1.65	92.20%	19.71	1.64	91.67%	4	6	12
TGBT-Tablero Zonas Comunes C	21.11	1.43	93.23%	19.71	1.42	92.78%	4	6	12
Lobby	3.00	0.95	68.21%	3.00	0.95	68.32%	10	10	14
Ascensor A	14.70	0.35	97.65%	14.70	0.35	97.65%	6	6	14
Ascensor B	14.70	0.79	94.64%	14.70	0.79	94.66%	6	6	14
Ascensor C	14.70	1.14	92.27%	14.70	1.13	92.30%	6	6	14
Portón	1.83	0.34	81.58%	1.83	0.34	81.64%	12	12	14
Bomba de agua	1.08	0.79	26.70%	1.08	0.79	26.77%	12	12	14

Apéndice 6*Cuadro de Comparación caso demanda media-baja 2*

	NTC 2050	Regulación (%)					Pérdidas de Potencia (W)					
		Modelo	%Error	ESSA	Modelo	%Error	NTC 2050	Modelo	%Error	ESSA	Modelo	%Error
TGBT- Tablero de medidores 1 A	0.47	1.07	128.50%	0.66	1.50	128.31%	114.05	49.32	0.57	120.29	62.71	0.48
TGBT- Tablero de medidores 1 B	0.47	0.91	93.43%	0.66	1.27	93.42%	114.05	33.51	0.71	120.29	44.02	0.63
TGBT- Tablero de medidores 1 C	0.47	1.42	202.24%	0.66	1.98	201.41%	114.05	74.72	0.34	120.29	97.60	0.19
Apartamento 201	0.83	1.26	52.11%	1.30	1.74	34.53%	23.16	4.22	0.82	31.29	4.16	0.87
Apartamento 202	0.99	1.38	39.20%	1.59	1.90	19.12%	33.85	7.13	0.79	45.73	8.25	0.82
Apartamento 301	0.96	2.00	107.64%	1.54	2.76	78.66%	32.07	8.11	0.75	43.32	10.20	0.76
Apartamento 302	1.13	1.73	53.32%	1.84	2.37	29.22%	42.76	7.50	0.82	57.76	9.56	0.83
Apartamento 401	1.10	1.49	35.13%	1.79	2.04	14.13%	40.98	6.49	0.84	55.35	8.22	0.85
Apartamento 402	1.27	3.63	186.66%	2.08	4.92	136.19%	51.67	63.98	0.24	69.79	80.52	0.15

Apartamento 501	1.24	1.78	43.57%	2.03	2.44	19.84%	49.89	7.49	0.85	67.39	9.53	0.86
Apartamento 502	1.40	1.84	31.10%	2.33	2.51	7.67%	60.58	10.75	0.82	81.83	13.67	0.83
Apartamento 601	1.38	1.88	36.95%	2.28	2.60	13.95%	58.80	6.34	0.89	79.42	6.42	0.92
Apartamento 602	1.54	2.03	32.09%	2.58	2.78	7.87%	69.49	10.98	0.84	93.86	13.21	0.86
TGBT- Tablero Zonas	0.50	0.27	45.28%	0.72	0.38	47.12%	105.04	7.56	0.93	144.54	9.40	0.93
Comunes A TGBT- Tablero Zonas	0.50	0.49	1.87%	0.72	0.68	5.36%	105.04	21.77	0.79	144.54	25.68	0.82
Comunes B TGBT- Tablero Zonas	0.50	0.44	10.47%	0.72	0.62	13.32%	105.04	9.90	0.91	144.54	13.08	0.91
Comunes C Lobby	0.58	0.56	2.54%	0.80	0.76	5.53%	2.46	2.17	0.12	2.46	1.80	0.27
Ascensor A	1.41	0.49	65.08%	1.64	0.60	63.21%	232.45	2.08	0.99	232.45	1.90	0.99
Ascensor B	1.41	0.96	31.84%	1.64	1.16	29.32%	232.45	8.29	0.96	232.45	7.48	0.97
Ascensor C	1.41	1.39	1.76%	1.64	1.57	4.20%	232.45	15.79	0.93	232.45	15.00	0.94
Portón	1.41	0.81	42.95%	1.64	0.98	39.78%	30.27	3.09	0.90	30.27	2.88	0.90
Bomba de agua	0.72	0.60	17.23%	0.95	0.71	25.38%	4.38	8.26	0.88	4.38	7.49	0.71