

Caracterización de carga y consumo energético del Edificio de Ingeniería Eléctrica

Jose Eugenio Vargas Vargas, Cristian Fernando Jaimes Valbuena y Emily Isabel Alvarado Ching

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Electricista

Director

Alejandra Martínez Peñaloza

MSc. Ingeniería Eléctrica

Codirector

Germán Alfonso Osma Pinto

Doctor en Ingeniería - Área Ingeniería Eléctrica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Ingeniería eléctrica

Bucaramanga

2024

## Tabla de Contenido

Introducción	9
1 Objetivos	11
1.1 Objetivo general	11
1.2 Objetivos específicos	11
2 Marco de referencia	12
2.1 Carga eléctrica	12
2.2 Edificio de Ingeniería Eléctrica	12
2.3 Medidores de energía y potencia eléctrica	14
2.4 Simulación cuasidinamica	15
2.5 Error relativo	15
3 Monitorización tableros y cargas eléctricas específicas	16
3.1 Registro de variables y parámetros eléctricos	16
3.2 Recolección de datos de los tableros	16
3.2.1 Tratamiento de datos	17
3.3 Cargas específicas	20
3.4 Gráficas de los datos recolectados	20
4 Actualización de modelado de la red eléctrica del EIE en PowerFactory	21
4.1 Actualización de planos de la red eléctrica del EIE en AutoCAD	21

4.2 Actualización del diagrama unifilar de la red eléctrica del EIE en PowerFactory	22
5 Simulación cuasidínamica de la red eléctrica del EIE	24
5.1 Escenarios para la simulación	24
5.2 Puntos claves en la simulación	25
5.3 Archivos de la simulación	26
6 Análisis de comportamiento del consumo energético de tableros y CE específicas	27
6.1 Barras	27
6.1.1 Barra BGBT	27
6.1.2 Barra de emergencia	29
6.2 Líneas	30
6.2.1 Línea BGBT-Transformador	30
6.2.2 Línea piso 4	32
6.3 Cargas eléctricas	34
6.3.1 Ascensor	35
6.3.2 Aires acondicionados centro de estudios individuales	36
6.4 Distorsión armónica de tensión	37
7 Conclusiones	39
Referencias Bibliográficas	40

**Lista de Figuras**

Figura 1	Fotografía frontal del EIE, tomada por Comunicaciones de la UIS	13
Figura 2	Fotografía superior del EIE, tomada por Comunicaciones de la UIS	14
Figura 3	Red eléctrica actualizada en PowerFactory	22
Figura 4	Magnitud del valor eficaz de la tensión por cada una de las fases <i>vs</i> tiempo, obtenidas por simulación en Power Factory en el BGBT.	28
Figura 5	Magnitud del valor eficaz de la tensión por cada una de las fases <i>vs</i> tiempo, medidas en el BGBT	28
Figura 6	Magnitud del valor eficaz de la tensión por cada una de las fases <i>vs</i> tiempo, obtenidas por simulación en Power Factory en la Barra de emergencia.	29
Figura 7	Magnitud del valor eficaz de la tensión por cada una de las fases <i>vs</i> tiempo, medidas en la Barra de emergencia	30
Figura 8	Potencia activa <i>vs</i> tiempo, medida en la Línea BGBT-Transformador.	31
Figura 9	Potencia activa de la fase C <i>vs</i> tiempo, simulada en Power Factor en la Línea BGBT-Transformador.	31
Figura 10	Potencia activa <i>vs</i> tiempo, medida en la Línea al Piso 4.	33
Figura 11	Potencia activa de la fase A <i>vs</i> tiempo, simulada en PowerFactory en la Línea al Piso 4	34

Figura 12	Potencia activa de la fase A vs tiempo, simulada en Power Factor en el ascensor	35
Figura 13	Potencia activa vs tiempo, medida en la fase A vs tiempo, en el ascensor.	36
Figura 14	Potencia activa vs tiempo, medida en la fase A vs tiempo, en los aires acondicionados de las salas individuales del centro de estudios.	37
Figura 15	Potencia activa vs tiempo, simulada en Power Factor en la fase A vs tiempo, en los aires acondicionados de las salas individuales del centro de estudios.	37

**Lista de Tablas**

Tabla 1	Ubicación de medidores los medidores en los tableros del sistema eléctrico del EIE	17
Tabla 2	Inicio captura de datos	17
Tabla 3	Discontinuidad de los datos	18
Tabla 4	Tipos de posibles escenarios	25
Tabla 5	Escenarios de operación en la instalación eléctrica conforme a las actividades desarrolladas para seis meses	25
Tabla 6	Error relativo en Línea BGBT-Transformador entre potencia activa medida vs potencia activa simulada en Fase C	32
Tabla 7	Error relativo en Línea piso 4 entre potencia activa medida vs potencia activa simulada en Fase A	34

## Resumen

**Título:** CARACTERIZACIÓN DE CARGAS Y CONSUMO ENERGÉTICO DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA \*

**Autor:** Jose Eugenio Vargas Vargas, Cristian Fernando Jaimes Valbuena y Emily Isabel Alvarado Ching. \*\*

**Palabras Clave:** Caracterización, Monitorización, E3T

**Descripción:** La escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander (UIS) busca ser una instalación didáctica en el campo de la medición eléctrica. Por esta razón, se han realizado diversos trabajos en pro de construir un modelo en PowerFactory de la red del edificio. Debido a los cambios en la instalación, es necesario actualizar el diagrama unifilar en el software PowerFactory, de manera que las investigaciones que se realicen sobre este modelo cuenten con una base fiable de su funcionamiento actual. En este trabajo de grado, se realiza la actualización de los inventarios de las cargas eléctricas, los planos eléctricos y el diagrama unifilar de la instalación. Paralelamente, se recopilan datos de tensiones eficaces, corrientes eficaces, potencia activa, potencia reactiva, factor de potencia, distorsión armónica en tensión, entre otras variables eléctricas durante seis meses del funcionamiento usando el sistema de medición con el que cuenta el edificio. Posteriormente, se lleva a cabo una simulación cuasi-dinámica, se comparan los resultados obtenidos en la simulación con el comportamiento de los datos medidos con la finalidad de determinar la cercanía del modelo con la red eléctrica de la instalación. La validación del modelo de simulación arroja en los análisis un error aceptable.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: Alejandra Martínez Peñaloza, MSc. Ingeniería Eléctrica. Codirector: Germán Alfonso Osma Pinto, Doctor en Ingeniería - Área Ingeniería Eléctrica

## Abstract

**Title:** Characterization of Loads and Electrical Consumption of the Electrical Engineering Building \*

**Author:** Jose Eugenio Vargas Vargas, Cristian Fernando Jaimes Valbuena y Emily Isabel Alvarado Ching \*\*

**Keywords:** Characterization, Monitoring, E3T

**Description:** The Electrical, Electronic, and Telecommunications Engineering School (E3T) at the Industrial University of Santander (UIS) aims to be an didactical facility in the field of electrical measurement. For this reason, various investigations had been made to build a PowerFactory model of the building's network. Due to changes in the installation, it is necessary to update the single-line diagram in the PowerFactory software, so that research conducted on this model has a reliable basis for its current operation. In this thesis, the inventories of electrical loads, electrical plans, and the single-line diagram of the installation are updated. Simultaneously, data on effective voltages, effective currents, active power, reactive power, power factor, harmonic distortion in voltage, among other electrical variables, are collected over six months of operation using the building's measurement system. Subsequently, a quasi-dynamic simulation is carried out, and the results obtained in the simulation are compared with the behavior of the measured data to determine the model's closeness to the building's electrical network. The validation of the simulation model yields an acceptable error in the analyses.

---

\* Degree Work

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: Alejandra Martínez Peñaloza, MSc. Ingeniería Eléctrica. Codirector: Germán Alfonso Osma Pinto, Doctor en Ingeniería - Área Ingeniería Eléctrica

## Introducción

El Edificio de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander se plantea como una edificación verde y sostenible, gracias a su buen sistema de medición en conjunto con un sistema de generación fotovoltaico on-grid, da la oportunidad de desarrollar diferentes estrategias que refuerzan la formación de los estudiantes en el área de las mediciones eléctricas (Osma Pinto & Ordoñez Plata, 2013). Desde la propuesta de la reforma estructural, el Edificio de Ingeniería Eléctrica ha experimentado varias actualizaciones. Entre los años 2015 y 2017, se adquirieron paneles fotovoltaicos mediante un proyecto con Colciencias (actualmente Miniciencias), lo que permitió alcanzar una potencia instalada de 9,63 kW (Parrado Duque et al., 2019) y actualmente la potencia instalada es de aproximadamente 12 kW (Martínez Peñaloza & Osma Pinto, 2021). Adicionalmente, se adquirieron equipos de cómputo y se habilitaron aulas para suplir la modalidad de educación híbrida tras el regreso a clases después de la pandemia de COVID-19. Finalmente, en el año 2023, se instaló un ascensor con el fin de garantizar la accesibilidad a personas con discapacidad. En base a su propósito como edificación verde y didáctica, la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones fomenta el desarrollo de trabajos de grado encaminados a fortalecer las dinámicas mencionadas anteriormente. En (Otero Quecho et al., 2015), se actualizan los planos eléctricos del EIE, se crean fichas técnicas de operación y se desarrolla una metodología de caracterización y diagnóstico a través del registro histórico del funcionamiento del sistema mediante la monitorización de parámetros eléctricos. En

(Cortes Cancelado & García Pinzón, 2018), se elabora un diagrama unifilar y un inventario que actualiza la información existente; además, se realiza un modelo de la red interna y una simulación para un periodo de un año día a día, utilizando el software PowerFactory. En Téllez Santamaria, 2020, se organiza una base de datos con los datos medidos, donde se determinan las curvas de potencia, la distorsión armónica, el factor de potencia y el desbalance en la corriente. Debido a los cambios realizados desde el año 2020, cuando se llevó a cabo la última actualización del modelo de la red del EIE, es necesario realizar una revisión con el fin de corregir e incluir los cambios en la red eléctrica del EIE. Esto es importante, ya que se incorporan nuevas dinámicas de consumo de energía, como la del ascensor. Además, a diferencia de los trabajos realizados anteriormente, el sistema de medición de las unidades de generación fotovoltaica ha sido actualizado en el modelo de su medidor avanzado. En este trabajo de grado se presenta una caracterización del consumo energético de cargas y tableros específicos del EIE, a partir de mediciones y simulaciones. Primero, se tomó datos de medición entre octubre de 2023 y marzo de 2024. Paralelamente, se actualizaron los planos en formato DWG, el diagrama unifilar en PowerFactory y el inventario que incluye cargas, tomacorrientes, aires acondicionados, tableros, extractores y luminarias. Posteriormente, se procedió a realizar un tratamiento de los datos de medición mediante el Criterio de similitud, que consiste en la comparación entre periodos de operación con datos faltantes y periodos de operación con datos medidos. Una vez realizado esto, se llevó cabo una simulación cuasi dinámica en PowerFactory del funcionamiento de la instalación. Luego, se compararán los resultados de la simulación con las mediciones, y finalmente, se calculan y analizan los porcentajes de error del modelo respecto a las medidas realizadas.

## 1. Objetivos

Se plantearon los siguientes objetivos con la finalidad de caracterizar el consumo de energía eléctrica de dispositivos y tableros específicos a partir de los parámetros de tensión eficaz y potencia activa obtenidos con medidores de energía y potencia eléctrica y simulaciones en PowerFactory, esto último previo a la actualización del modelo de diagrama unifilar de la red eléctrica de baja tensión.

### 1.1. Objetivo general

Realizar una caracterización del consumo energético de cargas y tableros específicos del Edificio de Ingeniería Eléctrica a partir de mediciones y simulaciones.

### 1.2. Objetivos específicos

- Actualizar el diagrama unifilar de la red eléctrica del Edificio de Ingeniería Eléctrica en PowerFactory
- Simular escenarios de operación en el Edificio de Ingeniería Eléctrica.
- Monitorizar tableros y cargas específicos usando los medidores de energía durante al menos un mes
- Analizar el comportamiento del consumo energético de tableros y cargas específicos a partir de los datos obtenidos de la monitorización y la simulación.

## **2. Marco de referencia**

Este capítulo contiene los conceptos necesarios para comprender el sistema de medición de energía eléctrica del Edificio de Ingeniería Eléctrica y lo que conforma el documento.

### **2.1. Carga eléctrica**

En términos de Ingeniería Eléctrica, una carga eléctrica se define como cualquier componente, aparato o sistema que consume energía eléctrica. Las cargas eléctricas (CE) convierten la energía eléctrica en otra forma de energía. Las CE son esenciales para el diseño y análisis de sistemas eléctricos y electrónicos, ya que determinan la cantidad de corriente que fluye a través de un circuito y la potencia que se consume.

### **2.2. Edificio de Ingeniería Eléctrica**

El Edificio de Ingeniería eléctrica (EIE) se encuentra ubicado en la Universidad Industrial de Santander (UIS), consta de cinco plantas, dos terrazas y un sótano, el cual se presenta en la Figura 1.

En la primera planta del edificio se encuentran dos centros de estudios para los estudiantes, una cafetería y aulas de clase; en la planta dos, tres y cuatro están las aulas de clase, y por último, en la planta cinco se ubican las oficinas administrativas de las E3T. Cada una de estas zonas cuenta con cargas eléctricas con un perfil de demanda diferente, unas de ellas se encuentran consumiendo permanentemente energía eléctrica y otras varían con el flujo de estudiantes, docentes y personal administrativo que hacen uso de las instalaciones. La terraza cuenta con tres sistemas fotovoltaicos



**Figura 1**

*Fotografía frontal del EIE, tomada por Comunicaciones de la UIS*

y un seguidor solar siendo un total de 43 paneles fotovoltaicos como se puede ver en la Figura 2, que juntos tienen una capacidad instalada de 11,53 kWp. Cuando en el edificio no hay consumo de una parte o el total de la energía que aporta esta fuente de generación, dicha energía es exportada a la red eléctrica de la UIS mediante la red eléctrica del EIE.

El sótano se encuentra dividido en una zona a la cual se accede por la parte interior del edificio y una zona que tiene acceso desde el exterior, las dos zonas independiente una de la otra. Adentro del edificio en el sótano está un área para que los docentes brinden atención a los estudiantes. Fuera del edificio en el sótano se encuentra el acceso a dos áreas, en una se encuentra un equipo dedicado transformador reductor 13,2 kV/132,2-229 V, 630 kVA, grupo conexión Dyn5, y en la otra está un grupo electrógeno de 260 kVA en su modo standby.



**Figura 2**

*Fotografía superior del EIE, tomada por Comunicaciones de la UIS*

### **2.3. Medidores de energía y potencia eléctrica**

Los medidores de energía y potencia eléctrica o también llamados analizadores de energía eléctrica, son dispositivos utilizados para medir, registrar y analizar diversos parámetros eléctricos en un sistema de distribución de energía eléctrica. Estos instrumentos son esenciales para monitorear el consumo de energía eléctrica, la calidad de la energía eléctrica y la eficiencia del sistema eléctrico. Los medidores de energía eléctrica cuantifican la cantidad total de energía eléctrica consumida o generada durante un período de tiempo.

#### 2.4. Simulación cuasidinamica

Una simulación estática permite ver el comportamiento de un sistema eléctrico con el hecho de que las CE siempre van a tener el mismo comportamiento de consumo energético, pero los sistemas eléctricos se conforman por CE que varían su consumo, se apagan o se encienden. Por esta variación en el consumo es útil la simulación cuasidinamica, que es una técnica que analiza el comportamiento de un sistema eléctrico sabiendo que este presenta variaciones en el consumo energético de las CE a lo largo del tiempo, permitiendo observar como varían los parámetros del sistema en diferentes momentos.

#### 2.5. Error relativo

Para realizar el análisis comparativo entre la información simulada con respecto a la información medida es utilizado el error relativo porcentual, donde el valor teórico es el valor de los parámetros entregados por la simulación y el valor experimental es el valor de los datos entregados por los medidores.

$$\text{Error relativo} = \frac{|ValorTeorico - ValorExperimental|}{ValorTeorico} \times 100 \quad (1)$$

### **3. Monitorización tableros y cargas eléctricas específicas**

Este capítulo explora la infraestructura implementada para el monitoreo de parámetros eléctricos en el EIE. Se describe la metodología empleada en la recolección de datos de variables eléctricas y ajustes que se realizaron.

#### **3.1. Registro de variables y parámetros eléctricos**

En el EIE, se ha establecido un conjunto de medidores de energía eléctrica esenciales para la supervisión continua de parámetros eléctricos. La Tabla 1 enumera los dispositivos utilizados, proporcionando una referencia de su ubicación y las cargas eléctricas que cada uno monitorea; para ver la información mas detallada revisar el Apéndice A.

Los medidores de energía eléctrica instalados permiten una monitorización adecuada de las CE del edificio, proporcionando datos requeridos para el registro y análisis del consumo energético.

#### **3.2. Recolección de datos de los tableros**

Durante el periodo de septiembre de 2023 y febrero de 2024, se realizó la descarga de datos de los medidores instalados en los tableros mediante una conexión física entre el computador y el módulo de comunicaciones de los medidores, se obtiene un archivo .csv con los parámetros eléctricos a los cuales se hará referencia como datos. Este procedimiento se realizó quincenalmente, obteniendo varios archivos, por lo cual se estableció un procedimiento para unificar los datos. Después de febrero los datos se empezaron a subir a un servidor por medio de una tarjeta Raspberry Pi para obtenerlos online, sin tener conexión física.

**Tabla 1***Ubicación de medidores los medidores en los tableros del sistema eléctrico del EIE*

<b>Medidor</b>	<b>Nombre comercial</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Acometidas medidas</b>
1	Acuvim IIW	Sótano	Barraje general de baja tensión
2	AcuRev 2020	Sótano	Piso 1, Piso 2, Piso 3, Piso 4, TAA-2, TAA-1
3	AcuRev 2020	Sótano	TP5, Aire acondicionado RACS Tablero de automatización 5to piso TR regulado 5 piso Tablero de iluminación de emergencia 5to piso Tablero de bombas hidráulicas
4	AcuRev 2020	Cuarto técnico 5to piso	TAA-1
5	AcuRev 2020	CCTV 5to piso	TAA-2
6	Acuvim IIR	Sótano	Barraje de emergencia
PQube 3	PQube 3	Cuarto técnico 4to piso	Sistemas fotovoltaicos, Piso 4

**3.2.1. Tratamiento de datos**

La obtención de datos se realizó desde septiembre del 2023, donde se encontró que los medidores 4, 5 y PQube se configuraron para realizar captura de datos cada cinco minutos, mientras que los medidores 1, 2, 3 y 6, capturaban datos cada diez minutos. Los datos descargados se encuentran en el Apéndice B. En la memoria de los analizadores se tenían datos desde las fechas que se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2***Inicio captura de datos*

<b>Medidor</b>	<b>Fecha</b>
1;2;3;6	07/2023
4;5	08/2023
PQube	05/2023

Al realizar el tratamiento de datos, se encontró discontinuidad en los intervalos de tiempo

**Tabla 3***Discontinuidad de los datos*

<b>Medidor</b>	<b>Fecha de inicio</b>	<b>Fecha de finalización</b>	<b>Cantidad de datos</b>
N1 DATALOG 1	23/10/2023 00:20	23/10/2023 03:30	20
N2 DATALOG 1	20/10/2023 08:50	20/10/2023 08:50	1
N2 DATALOG 2	20/10/2023 09:30	20/10/2023 09:30	1
N2 DATALOG 2	17/11/2023 09:00	17/11/2023 20:50	72
N2 DATALOG 3	20/10/2023 10:10	20/10/2023 22:10	73
N3 DATALOG 1	17/11/2023 08:00	20/11/2023 10:30	448
N3 DATALOG 2	11/12/2023 12:50	11/12/2023 13:40	6
N3 DATALOG 3	29/09/2023 14:10	29/09/2023 21:00	42
N3 DATALOG 3	20/10/2023 11:00	20/10/2023 21:50	66
N4 DATALOG 1	18/01/2024 10:50	19/01/2024 10:15	283
N4 DATALOG 1	02/10/2023 08:35	02/10/2023 20:35	145
N4 DATALOG 1	20/10/2023 11:45	20/10/2023 11:45	1
N4 DATALOG 1	25/11/2023 04:30	14/12/2023 11:40	5559
N4 DATALOG 2	02/10/2023 10:30	02/10/2023 10:30	1
N4 DATALOG 2	20/11/2023 08:40	20/11/2023 20:35	144
N4 DATALOG 2	25/11/2023 04:30	15/12/2023 13:10	5865
N4 DATALOG 3	14/10/2023 03:55	15/10/2023 07:55	336
N5 DATALOG 1	31/01/2024 10:55	31/01/2024 10:55	1
N5 DATALOG 1	29/09/2023 08:50	29/09/2023 08:50	145
N5 DATALOG 1	17/11/2023 10:55	17/11/2023 22:45	143
N5 DATALOG 1	15/01/2024 08:30	15/01/2024 23:55	172
N5 DATALOG 1	17/01/2024 14:50	17/01/2024 15:35	10
N5 DATALOG 2	31/01/2024 10:55	31/01/2024 10:55	1
N5 DATALOG 2	29/09/2023 11:55	22/10/2023 11:15	6617
N5 DATALOG 2	20/11/2023 08:45	20/11/2023 20:35	143
N5 DATALOG 2	11/12/2023 10:25	17/12/2023 06:45	1685
N5 DATALOG 2	15/01/2024 10:40	15/01/2024 23:55	160
N5 DATALOG 2	17/01/2024 15:00	17/01/2024 15:35	8
N5 DATALOG 3	31/01/2024 10:55	31/01/2024 10:55	1
N5 DATALOG 3	29/09/2023 13:40	29/09/2023 13:40	1
N5 DATALOG 3	20/11/2023 10:35	20/11/2023 22:30	144
N5 DATALOG 3	15/01/2024 12:35	15/01/2024 23:55	148
N5 DATALOG 3	17/01/2024 15:10	17/01/2024 15:35	5
N6 DATALOG 1	23/10/2023 09:00	23/10/2023 10:40	21

mostrados en la Tabla 3. Las causas de las discontinuidades son:

- Error al introducir la fecha al hacer la descarga de datos: la descarga de datos con conexión física requiere ingresar manualmente la fecha desde el momento en que se quieren los datos, que en algunos casos se dígitó erróneamente.
- Interrupción del suministro eléctrico al medidor: cuando hay cortes del suministro eléctrico y el medidor no tiene un respaldo para alimentarse, este mismo se apaga y se suspende la captura de datos.
- Capacidad limitada de la memoria del medidor: los medidores cuentan con 8 GB de memoria interna y en tal caso de realizar descarga de datos por medio de conexión física, es necesario hacerlo antes de que los datos se sobrescriban y por ende pierda la información.

Para tratar la falta de datos, se decidió completar las lagunas teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Cuando falten datos en un periodo de mas de dos horas, llenar la discontinuidad con el dato final previo a la pérdida, bajo el criterio que las clases son de dos horas y se espera un comportamiento continuo de consumo.
- Para periodos mayores a dos horas de pérdida de información, se decidió traer datos del mismo día de la semana anterior y el mismo horario, esto teniendo en cuenta que se tienen horarios establecidos y se espera tener un patrón de consumo energético similar en todas las semanas.

- Si se encontró con un horario nocturno, las discontinuidades se completaron con el último dato previo a la pérdida; en las noches no hay presencia de personas por lo cual no hay variaciones de consumo significativas.

Adicionalmente se tuvo en cuenta que los datos insertados se encontrarán en el mismo periodo del calendario académico, sabiendo que en vacaciones el consumo no es el mismo.

Los medidores utilizados estiman datos que no son útiles para la simulación, por lo cual fue necesario eliminar algunos parámetros de los archivos, dejando los datos de tensiones, corrientes y potencias.

### **3.3. Cargas específicas**

Se realizó la instalación de equipos de medición portátiles con el objetivo de monitorizar CE específicas en el EIE y así complementar la información obtenida por los medidores instalados. Las CE específicas fueron el ascensor y aires acondicionados de la sala de estudio individual, con el medidor Fluke 1730, se monitorizó cada carga por un periodo de cinco días, recolectando parámetros de potencia, tensión, corriente y distorsión armónica cada cinco segundos.

### **3.4. Gráficas de los datos recolectados**

Con los datos recolectados se realizan gráficas de parámetros eléctricos vs tiempo, con el fin de contrastar consumos reales que vienen siendo los datos tomados de los medidores contra los datos de consumo que se simulan.

#### **4. Actualización de modelado de la red eléctrica del EIE en PowerFactory**

Este capítulo aborda el proceso de actualización del modelo de la red eléctrica del EIE en PowerFactory. A lo largo del capítulo, se describen las etapas de identificación de CE y tomacorrientes, la actualización de los planos eléctricos y la integración de nuevas CE en el modelo existente, con la finalidad de simular escenarios de operación lo más cercano a la realidad.

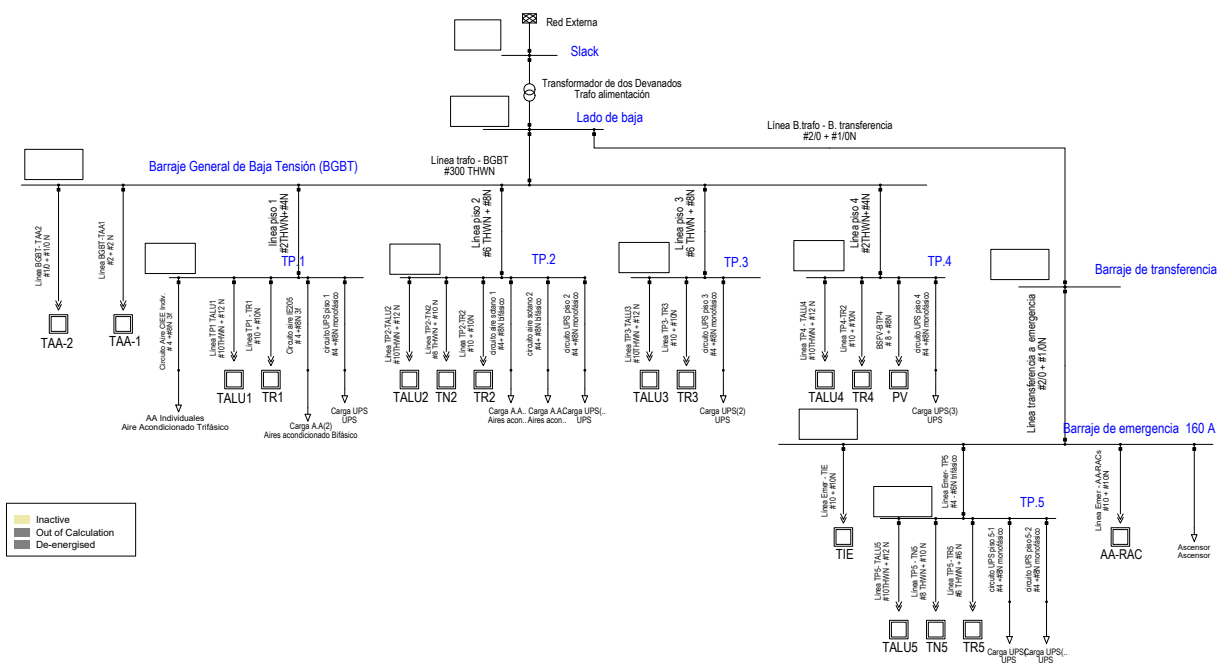
##### **4.1. Actualización de planos de la red eléctrica del EIE en AutoCAD**

La identificación de las cargas y tomacorrientes en el EIE fue un paso importante obtener un modelo representativo de la red eléctrica. Este proceso comenzó con la identificación de cada una de las CE y tomacorrientes, teniendo en cuenta sus valores de consumo energético y los momentos en los que posiblemente se presente dicho consumo, en el Apéndice C se relaciona un inventario de CE del EIE. Se determinó a qué circuitos de los tableros de distribución de cada piso se encuentran conectados, para después comparar con los planos existentes y añadir los hallazgos, generándose la versión actualizada de los planos en AutoCAD, los cuales se encuentran en el Apéndice D.

Cada piso del edificio cuenta con dos tipos de planos principales: uno para los tomacorrientes y otro para la iluminación. Además de estas correcciones técnicas, también se realizaron ajustes estéticos en los planos. El ajuste más relevante fue la reubicación del ascensor, puesto que se encontraba en una posición provisional que se consideró en el diseño del EIE. Con esta actualización se refleja el estado actual de la red eléctrica y se obtiene una base reciente para futuros proyectos.

## 4.2. Actualización del diagrama unifilar de la red eléctrica del EIE en PowerFactory

Actualizar el diagrama unifilar de la red eléctrica del EIE en PowerFactory requería información sobre la distribución de tomacorrientes y CE conectadas a cada circuito, por esa razón fue necesaria la actualización de planos eléctricos. Se tenía un modelo base en el software que fue diseñado en el trabajo de grado titulado (Cortes Cancelado & García Pinzón, 2018). Estudio del impacto de la inyección de energía de un generador fotovoltaico en el perfil de tensión y las pérdidas de energía en conductores de la red de baja tensión del EIE a partir de simulaciones computacionales, siendo este el punto de partida a actualizar.



**Figura 3**  
*Red eléctrica actualizada en PowerFactory*

Se agregaron elementos encontrados, en el Apéndice E se da información sobre como se realiza el modelado en PowerFactory, la actualización mas destacada fue la incorporación del ascensor, adicionalmente los aires acondicionados conectados al barraje general de baja tensión (BGBT) en el modelo del 2018, se encuentran físicamente en el barraje del piso 1 (TP1), se realiza la corrección. En la Figura 3, se observa el diagrama unifilar de la red eléctrica del EIE actualizado.

## 5. Simulación cuasidínamica de la red eléctrica del EIE

En este capítulo se definieron factores necesarios para ejecutar la simulación, como lo son definir escenarios para la simulación y los puntos claves del diagrama unifilar, la simulación arroja datos que se grafican para posteriormente ser analizados.

### 5.1. Escenarios para la simulación

Realizar una simulación cuasidínamica implica tener variaciones en consumo energético y esto en cierta parte se debe a el flujo de personas que usen las instalaciones del EIE, por esta razón fue necesario definir escenarios de operación, para ello se realizó un análisis de los diferentes eventos de los que se tiene registro. Tomando como referencia el acuerdo 377-2022 “Calendario Académico/Financiero del año 2023”, se identifican 4 tipos de escenarios de operación, dependientes de los grupos de usuarios que afectan el consumo de la edificación. Estos grupos son Estudiantes, Docentes y Planta administrativa. Siendo los dos estados posibles para cada grupo *estar* (identificado con “•”) o *no estar* (identificado con “○”), en la Tabla 4 se plantean los escenarios a simular de Tipo A, Tipo B, Tipo C y Tipo D.

Teniendo en cuenta los posibles escenarios, se analiza en la Tabla 5 los periodos de uso de la instalación conforme a lo establecido en el calendario académico, clasificando por tipo de escenario cada grupo de semanas conforme a las actividades definidas.

**Tabla 4***Tipos de posibles escenarios*

<b>Estudiantes</b>	<b>Docentes</b>	<b>Administrativos</b>	<b>Escenario</b>
•	•	•	Tipo A
○	•	•	Tipo C
•	○	•	No se presenta
○	○	•	Tipo B
•	•	○	No se presenta
○	•	○	No se presenta
•	○	○	No se presenta
○	○	○	Tipo D

**Tabla 5***Escenarios de operación en la instalación eléctrica conforme a las actividades desarrolladas para seis meses*

<b>Fecha inicio</b>	<b>Fecha fin</b>	<b>Número semanas</b>	<b>Escenario tipo</b>	<b>Actividad</b>
02/10/2023	17/12/2023	10	Tipo A	Actividades académicas 2023-2
18/12/2023	10/01/2024	12	Tipo D	Vacaciones estudiantes, docentes, administrativos 2023-2
11/01/2024	05/02/2024	3.5	Tipo C	Matrículas y preparación inicio semestre 2024-1
05/02/2024	07/04/2024	9	Tipo A	Actividades académicas 2024-1

## 5.2. Puntos claves en la simulación

Con los escenarios para la simulación definidos, se ingresaron las características de tiempo a cada una de las CE que conforman el diagrama unifilar. Dichas características son un archivo .csv que contiene el consumo energético hora a hora de cada carga eléctrica en el lapso estudiado, que se comprende desde el 01 de octubre de 2023 hasta el 31 de marzo de 2024.

Para la simulación se definieron puntos que dan información de flujos de potencia y tensiones en barras que son claves para determinar en el análisis si el modelo es cercano al real, dichos puntos claves son los siguientes:

- BGBT
  
- Barraje Piso 2( TP2)
  
- Barraje Piso 4 (TP4)
  
- T.A.A1 y T.A.A2
  
- Linea BSFV-BTP4
  
- Linea BGBT-TAA1
  
- Linea BGBT-Transformador

### **5.3. Archivos de la simulación**

Ejecutada la simulación, el software permite descargar archivos con parámetros eléctricos de cualquier elemento del sistema que se le solicite, para este caso de estudio se descarga información de los parámetros eléctricos de las señales de tensión, corriente, potencia en barras, cargas eléctricas y líneas de conexión mencionadas como puntos claves y otras adicionales.

Cada archivo cuenta con 4199 datos de cada parámetro eléctrico (tensiones, corrientes, potencias, entre otros); por lo que, para la preparación para el análisis fue necesario realizar una gráfica de cada parámetro *vs* tiempo.

## **6. Análisis de comportamiento del consumo energético de tableros y CE específicas**

En este capítulo se realiza la revisión de los parámetros eléctricos obtenidos por medio de la simulación en PowerFactory. Se realiza la comparación de elementos del sistema eléctrico simulado contra los elementos del sistema eléctrico obtenidos con medidas en cuanto a potencia activa, para poder determinar que tan cercano es el modelo de la red en PowerFactory respecto a la red del EIE.

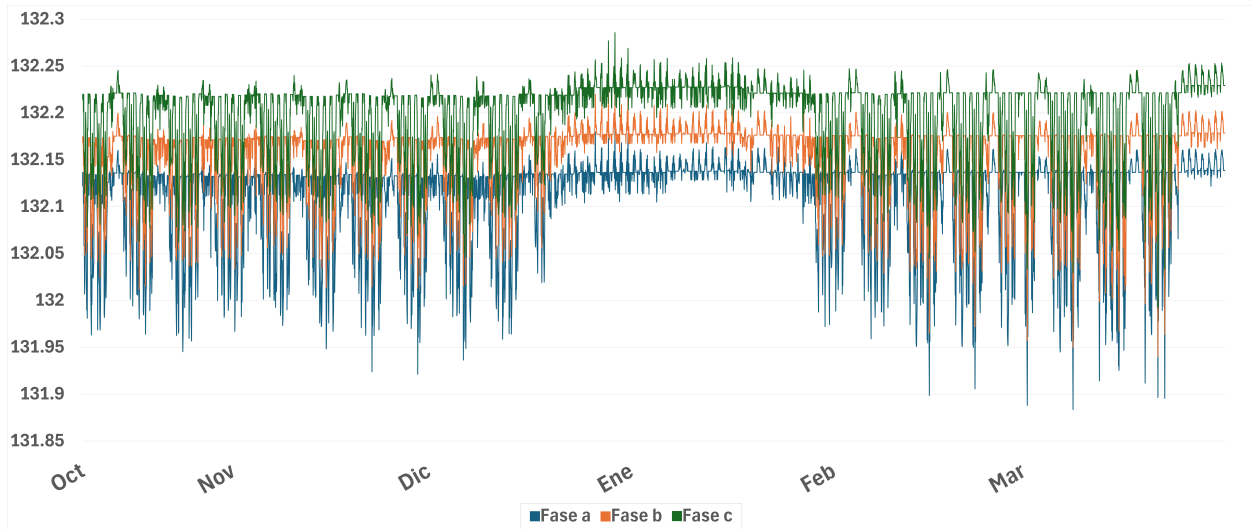
### **6.1. Barras**

Se identificaron dos barras claves a ser analizadas, BGBT y la barra de emergencia, donde se identifica el rango del valor eficaz de tensión, tanto en la simulación como en los datos obtenidos con los medidores.

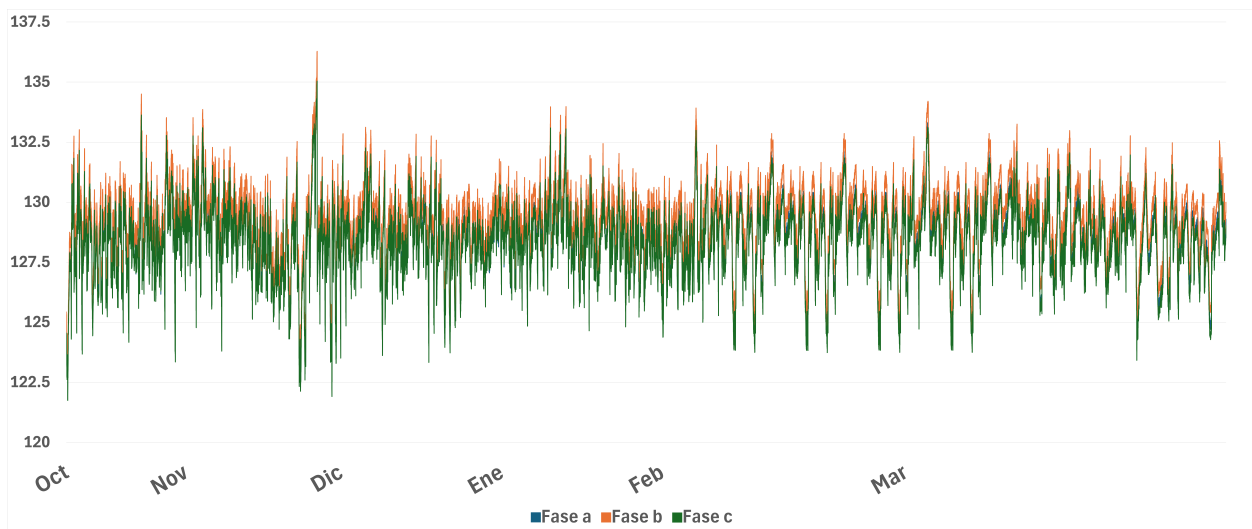
#### **6.1.1. Barra BGBT**

En la simulación se obtienen valores eficaces de la tensión entre 131,88 V y 132,28 V, se puede apreciar que a lo largo del periodo estudiado se presenta estable, variando en un rango corto como se observa en la Figura 4. En la medición realizada se tienen tensiones entre 122,56 V y 136,28 V, donde los datos simulados se encuentran en el rango de la medición. En la Figura 5 se observa la gráfica de los valores eficaces de las tensiones de fases medidos. *vs* tiempo.

Se conoce que la variación del valor eficaz de la tensión depende de factores externos como la tensión que suministra la empresa que vende la energía y factores internos como el aumento o la disminución de la carga eléctrica del EIE.

**Figura 4**

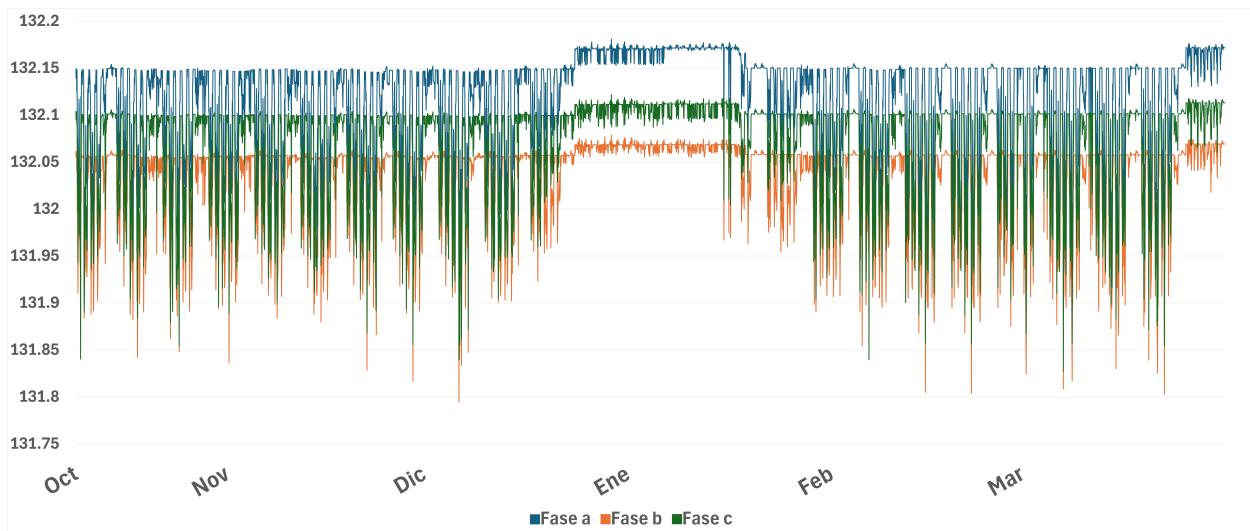
*Magnitud del valor eficaz de la tensión por cada una de las fases vs tiempo, obtenidas por simulación en Power Factory en el BGBT.*

**Figura 5**

*Magnitud del valor eficaz de la tensión por cada una de las fases vs tiempo, medidas en el BGBT*

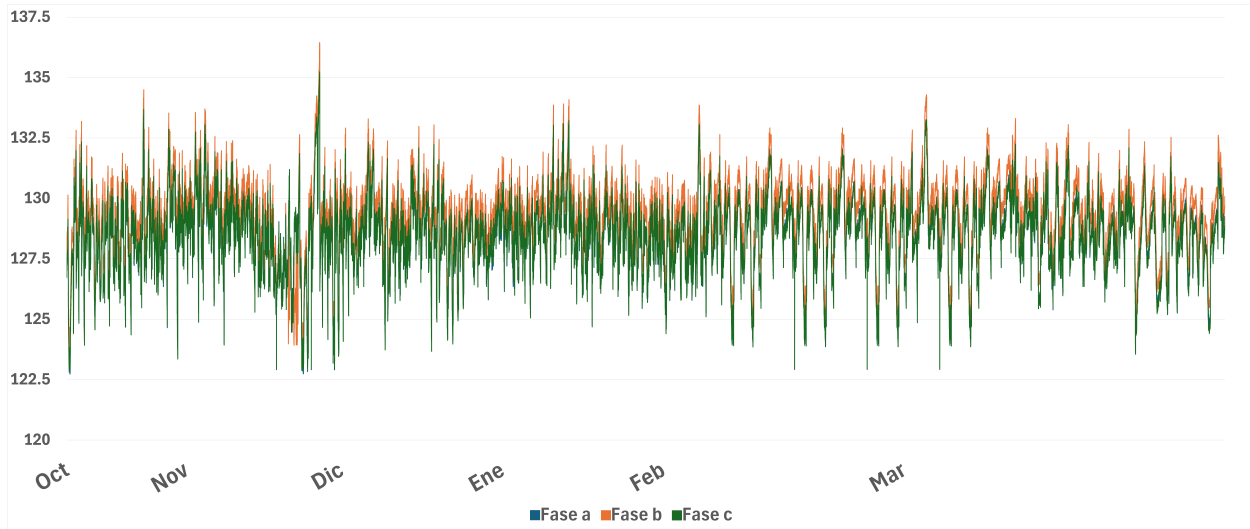
### 6.1.2. Barra de emergencia

La barra de emergencia se encuentra conectada a una transferencia que conecta al grupo electrógeno en caso de falta de suministro eléctrico por parte de la empresa que suministra la energía eléctrica. En la Figura 6, se muestran los valores eficaces de las tensiones de fase, obtenidos en simulación, se observan valores entre 131,79 V y 132,18 V, los valores eficaces de las tensiones se encuentran en un rango donde se opera de forma normal y no se presentan ausencias de tensión. En la Figura 7 se presentan los valores eficaces de las tensiones de fase medidos. Se encuentran en un rango de 122,6 V y 136,4 V. No se presentaron ausencias de tensión en el periodo; por lo tanto, el grupo electrógeno no operó en el lapso de estudio.



**Figura 6**

*Magnitud del valor eficaz de la tensión por cada una de las fases vs tiempo, obtenidas por simulación en Power Factory en la Barra de emergencia.*



**Figura 7**

*Magnitud del valor eficaz de la tensión por cada una de las fases vs tiempo, medidas en la Barra de emergencia*

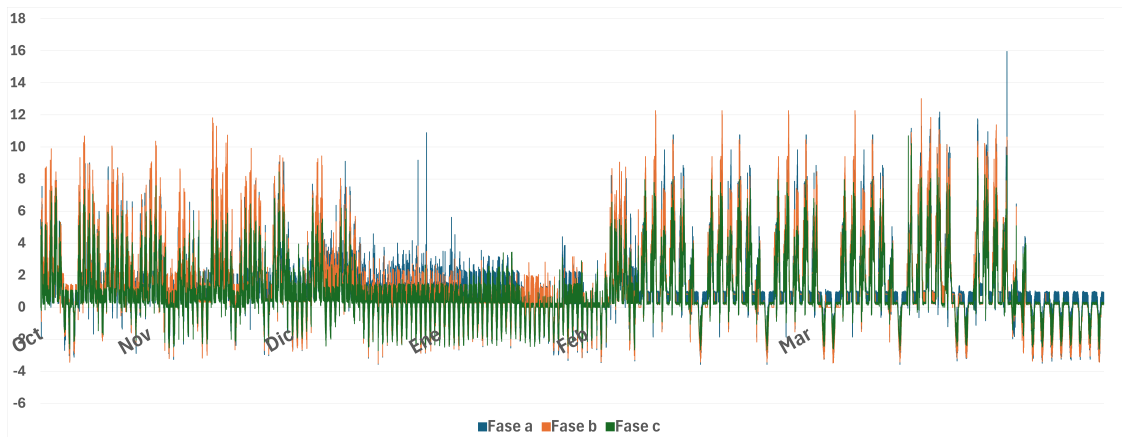
## 6.2. Líneas

Las líneas de conexión BGBT-Transformador y Piso 4 fueron seleccionadas para ser analizadas por estar ubicadas en puntos claves de flujo energético. Se verificó para el escenario real y el simulado la potencia activa por mes, para lo cual se obtuvo un valor promedio horario de la potencia activa por cada una de las fases; se calculó un error relativo para determinar la cercanía de la red modelada con las medidas realizadas. Las mediciones de las líneas BGBT-Transformador y la línea del piso 4 se realizaron con los medidores Acuvim IIW y AcuRev 2020 respectivamente.

### 6.2.1. Línea BGBT-Transformador

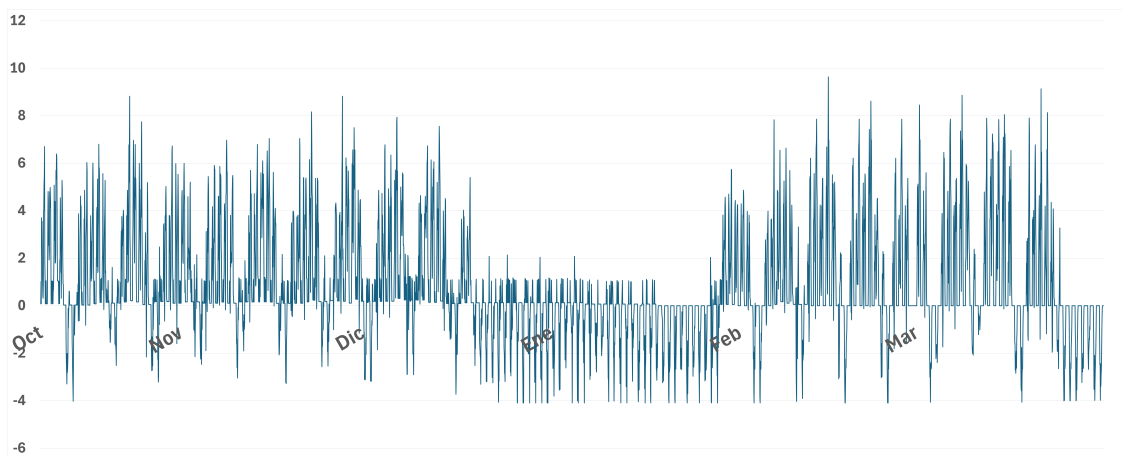
La línea BGBT al transformador reúne toda la potencia activa que fluye por el edificio, ya sea que se esté importando o exportando energía eléctrica. La Figura 8 muestra la gráfica de potencia activa de las tres fases vs el tiempo; con los datos medidos. Se identifican valores negativos,

que indican que se esta exportando potencia activa. Estos periodos de exportación corresponden a fines de semana y periodo de vacaciones. Adicionalmente considerando que el color verde corresponde a la Fase C es el que mas sobresale en la gráfica, por lo cual esta fase es la referencia para contrastar con la obtenida en simulación.



**Figura 8**

*Potencia activa vs tiempo, medida en la Linea BGBT-Transformador.*



**Figura 9**

*Potencia activa de la fase C vs tiempo, simulada en Power Factor en la Linea BGBT-Transformador.*

La Figura 9 representa la potencia activa de la Fase C vs el tiempo, con los datos simulados

por PowerFactory; se confrontaron los datos de potencia activa en la Tabla 6. Adicionalmente, se cotejó el periodo de estudio total, teniendo un error relativo de 5,5%. El mes de enero presenta un error relativo de 110%, donde en la simulación se exportó la potencia producida por los sistemas fotovoltaicos y se consideró que por ser periodo de vacaciones el edificio liberaba casi la totalidad de la carga. Comparándolo con la potencia activa medida, el consumo de potencia activa es bajo, lo que indica que se exporto potencia como se puede ver en la Figura 8, pero así mismo se importo potencia en el horario nocturno para alimentar la carga base del edificio.

**Tabla 6**

*Error relativo en Línea BGBT-Transformador entre potencia activa medida vs potencia activa simulada en Fase C*

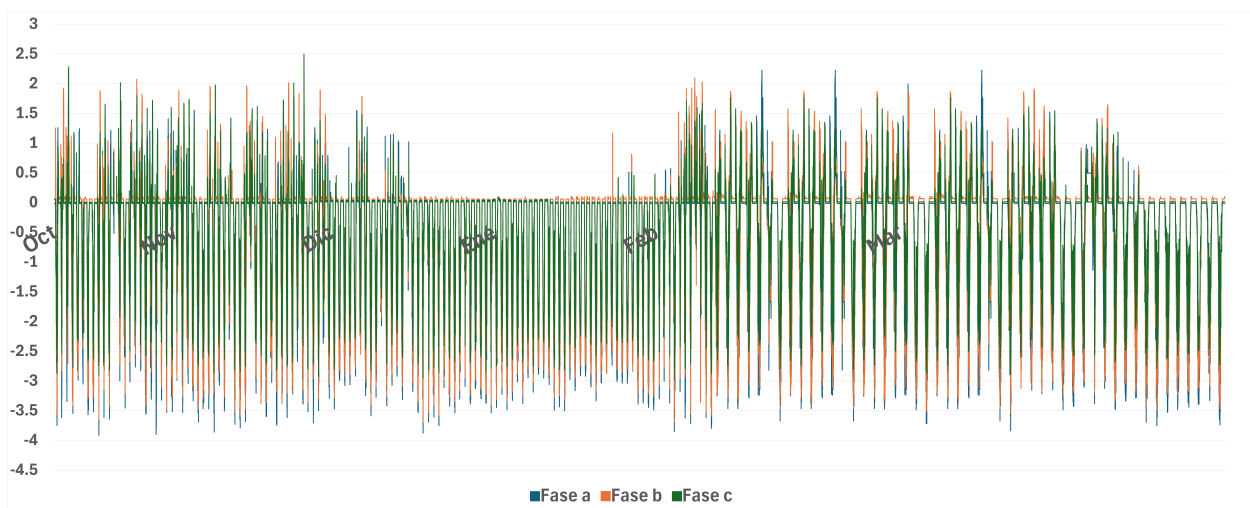
Mes	Potencia activa simulación [W]	Potencia activa medida [W]	% Error relativo
Octubre	1326,74	1315,78	0,8
Noviembre	1470,49	1124,56	23,5
Diciembre	537,11	449,97	16,2
Enero	-387,99	38,92	110
Febrero	1124,04	1283,15	14,2
Marzo	796,46	893,89	12,2
Total	780,22	823,02	5,5

### 6.2.2. Línea piso 4

Por la línea piso 4 fluye la potencia activa generada por los sistemas fotovoltaicos, por lo cual se considero analizarla para determinar si la potencia activa generada en la simulación es un modelo cercano al sistema fotovoltaico. La Figura 10 presenta la gráfica de potencia activa vs tiempo con medidas, donde se puede observar que los mayores valores de potencia inyectada a la red son de la Fase A, por lo cual se realizara una confrontación del valor promedio horario de

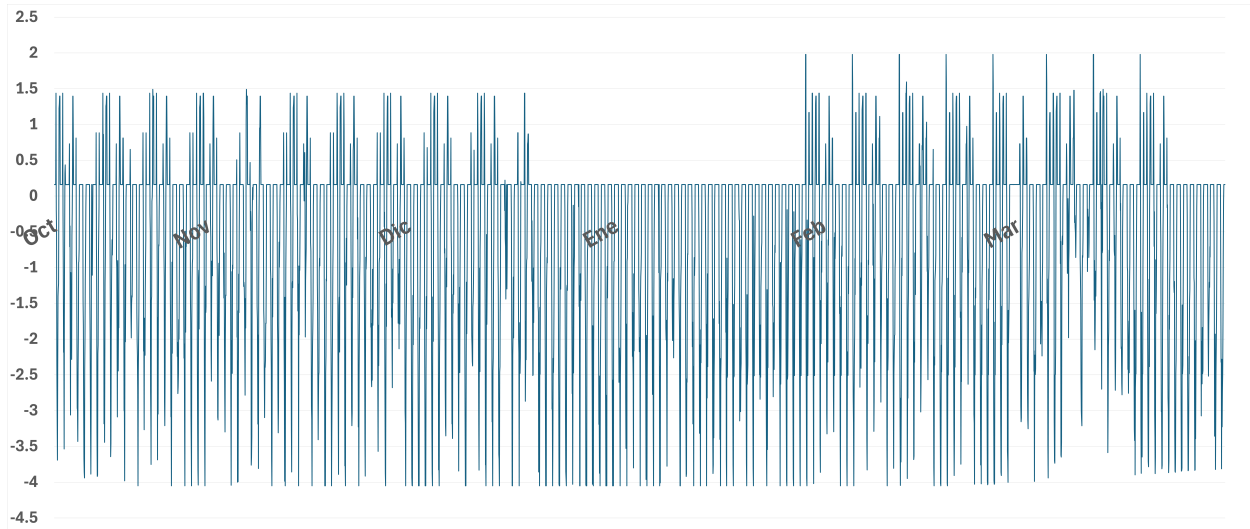
potencia activa con respecto a esta fase.

En la Figura 11 se observa la gráfica de potencia activa vs tiempo con datos simulados, al observar ambas gráficas, los rangos de valores de potencia activa son similares; en la Tabla 7 se realiza la comparación de la potencia activa mes a mes, se encontró un error relativo de 7,7% para el periodo estudiado, lo que indica cercanía del modelo de PowerFactory con las mediciones realizadas en el flujo de potencia activa.



**Figura 10**

*Potencia activa vs tiempo, medida en la Línea al Piso 4.*

**Figura 11**

*Potencia activa de la fase A vs tiempo, simulada en PowerFactory en la Línea al Piso 4*

**Tabla 7**

*Error relativo en Línea piso 4 entre potencia activa medida vs potencia activa simulada en Fase A*

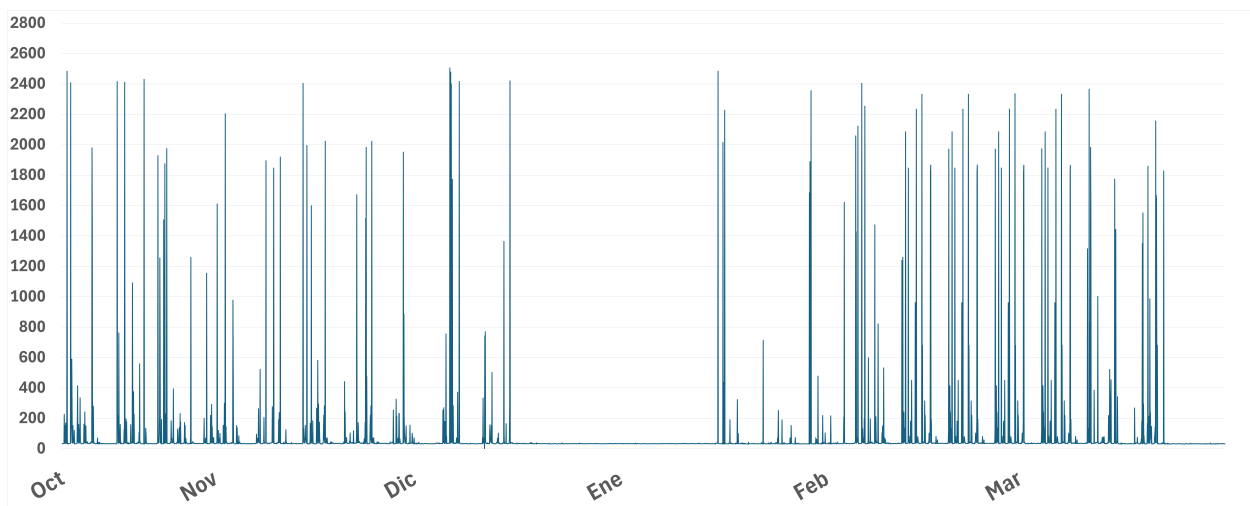
Mes	Potencia activa simulación [W]	Potencia activa medida[W]	% Error relativo
Octubre	-505,21	-407,13	19,4
Noviembre	-523,24	-434,21	17
Diciembre	-717,08	-620,37	13,5
Enero	-700,53	-764,98	9,2
Febrero	-497,98	-401,60	19,4
Marzo	-530,11	-555,55	4,8
Total	-583,65	-538,42	7,7

### 6.3. Cargas eléctricas

Se monitorizaron dos CE específicas, con distintos perfiles de uso, el ascensor y los aires acondicionados del centro de estudios individuales puesto que fueron las únicas cargas que se monitorizaron de forma discriminada.

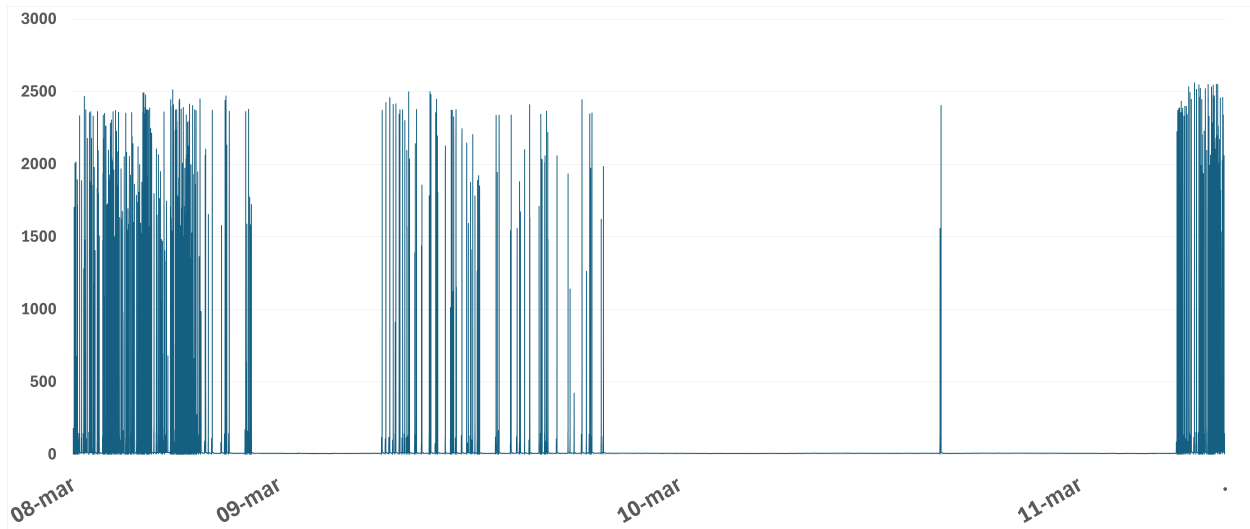
### 6.3.1. Ascensor

Se monitorizó el ascensor por un periodo de 5 días, capturando datos cada 5 segundos, el consumo de esta carga varia según su uso. En la Figura 12 se puede observar el comportamiento del ascensor en la simulación durante el periodo de estudio, donde se observan picos de potencia activa en el rango de 1500 W y 2500 W. La Figura 13 presenta los datos de potencia activa medida, se observan valores de potencia activa en el mismo rango. En este rango la carga máxima puede ser un factor importante en la potencia activa máxima consumida, pero también lo son la aceleración, la altura del recorrido y la eficiencia del ascensor.



**Figura 12**

*Potencia activa de la fase A vs tiempo, simulada en Power Factor en el ascensor*



**Figura 13**

*Potencia activa vs tiempo, medida en la fase A vs tiempo, en el ascensor.*

### **6.3.2. Aires acondicionados centro de estudios individuales**

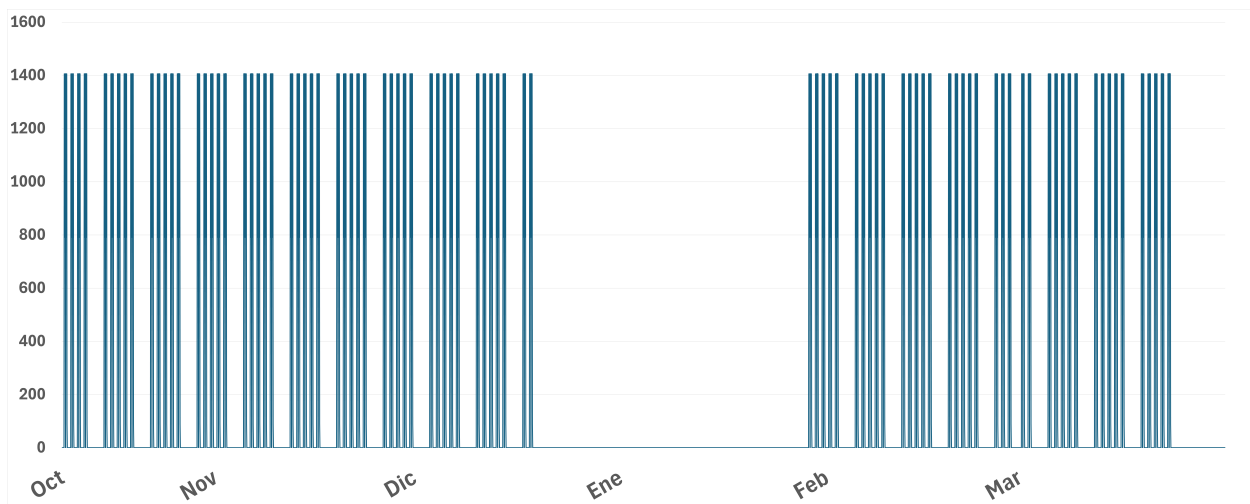
Es una carga trifásica que presenta un consumo habitual, ya que funciona de lunes a viernes de 8 a.m. a 6 p.m., que es el horario que se tiene habilitado en el centro de estudios para los estudiantes. En la Figura 14 se muestran los datos medidos de potencia activa de la fase A vs el tiempo, donde se observa que en un día hay valores de potencia en un rango entre 1000 W y 1500 W. La Figura 15 presenta los datos simulados, se encuentran valores de potencia en sus horas activas de aproximadamente 1400 W que se encuentran en el rango de las mediciones reales.

El consumo de potencia que se observa en las mediciones reales presenta una variación que se debe al control de temperatura que deben hacer los aires acondicionados, porque cuando se abren las puertas del centro de estudios se aumenta la temperatura; por lo tanto, también aumenta el consumo de energía para poder enfriar la sala, esto no lo tiene en cuenta la simulación, siendo esta la razón por la cual se ve un consumo constante de energía.



**Figura 14**

*Potencia activa vs tiempo, medida en la fase A vs tiempo, en los aires acondicionados de las salas individuales del centro de estudios.*



**Figura 15**

*Potencia activa vs tiempo, simulada en Power Factor en la fase A vs tiempo, en los aires acondicionados de las salas individuales del centro de estudios.*

#### 6.4. Distorsión armónica de tensión

Se revisaron las principales cargas del sistema y se encontró que la distorsión armónica total de tensión (THDv) en el barraje general BGBT, el barraje TP4, el ascensor y los aires acondiciona-

dos de la sala individual están dentro de los límites establecidos por la norma NTC 5001. El 3%, el 2,46%, el 1,37% y el 1,4% fueron los valores máximos registrados respectivamente. La Tabla 4 de la norma NTC 5001 (ICONTEC, 2008, p. 24) confirma que todas estas cargas cumplen con la normativa, ya que el límite máximo permitido es del 5% y el IEEE 519 del 2014 lo estableció en el 8% y es lo que la resolución CREG 016 del 017 establece como reglamentación en Colombia.

Este comportamiento indica que las cargas no lineales del sistema no generan distorsiones de tensión significativas, lo que sugiere una buena calidad de energía. Por tanto, no se esperan impactos negativos, ya que los resultados obtenidos muestran un desempeño adecuado.

## 7. Conclusiones

- Se realizó la actualización del diagrama unifilar de la red eléctrica del EIE en PowerFactory y se monitorizaron tableros y CE específicas, lo cual permitió simular escenarios de operación en el software para realizar un análisis del comportamiento del consumo de energía eléctrica y determinar la cercanía de las medidas con la simulación.
- Al hacer la descarga de datos mediante una conexión física, se presentó pérdida de información por diversos factores que involucran la intervención humana; en el transcurso del trabajo de grado se hizo un cambio de sistema de descarga de datos que implica el almacenamiento de la información en un servidor, lo que resultó en menos intervención humana y una mayor confiabilidad al obtener la información.
- Existen oportunidades de mejora al incorporar características de tiempo en la simulación. Sin embargo, la tarea se complica debido a las situaciones de anormalidad académica, lo que hace que el consumo energético sea impredecible. Durante las vacaciones hay un consumo base, ya que ciertas cargas permanecen conectadas y no se consideraron de forma adecuada para este periodo.
- La comparación que se realizó para determinar si en la simulación se consumía la misma potencia activa que con las mediciones reales arrojó un error relativo de 5,5 % en la barra general de baja tensión en el periodo estudiado, lo que indica que el modelo está consumiendo

una potencia activa similar a la red. Se presentaron dos errores con un porcentaje elevado, esto se debe a que en el mes de noviembre no se tuvieron en cuenta jornadas de anormalidad académica, y en el mes de enero no se tuvo en cuenta que había mas carga conectada en vacaciones de la que se considero en la simulación, si se suprimen esos meses de la comparación, se obtiene un error relativo promedio de 4,2%, llegando a la conclusión que el modelo de PowerFactory es cercano al obtenido con las medidas realizadas.

### Bibliografía

- Cortes Cancelado, C. A., & García Pinzón, Y. F. (2018). *Estudio del impacto de la inyección de energía de un generador fotovoltaico en el perfil de tensión y las pérdidas de energía en conductores de la red de baja tensión del edificio de ingeniería eléctrica a partir de simulaciones computacionales* [Trabajo de grado]. Universidad Industrial de Santander.
- Martínez Peñaloza, A., & Osma Pinto, G. (2021). Analysis of the Performance of the Norton Equivalent Model of a Photovoltaic System Under Different Operating Scenarios. *Revista Internacional de Ingeniería Eléctrica*. [https://www.researchgate.net/publication/355163809\\_Analysis\\_of\\_the\\_Performance\\_of\\_the\\_Norton\\_Equivalent\\_Model\\_of\\_a\\_Photovoltaic\\_System\\_Under\\_Different\\_Operating\\_Scenarios](https://www.researchgate.net/publication/355163809_Analysis_of_the_Performance_of_the_Norton_Equivalent_Model_of_a_Photovoltaic_System_Under_Different_Operating_Scenarios)
- Osma Pinto, G. A., & Ordoñez Plata, G. (2013). Piloto de edificación verde como laboratorio vivo en la Universidad Industrial de Santander. <https://doi.org/10.26507/ponencia.1325>
- Otero Quecho, J. L., Pedrozo Celis, J. H., & Petit Suárez, J. F. (2015). *Caracterización de instalaciones eléctricas y cargas del edificio de ingeniería eléctrica de la Universidad Industrial de Santander* [Tesis doctoral, Trabajo de Grado UIS]. <https://noesis.uis.edu.co/handle/20.500.14071/32808>
- Parrado Duque, A., Osma Pinto, G. A., & Ordoñez Plata, G. (2019). Instalación de un sistema fotovoltaico en el edificio de ingeniería eléctrica de la Universidad Industrial de Santander

[(Original work published 5 de octubre de 2020)]. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada (RCTA)*, 1(33), 150-154. <https://doi.org/10.24054/rcta.v1i33.98>

Téllez Santamaria, N. E. (2020). Descripción del consumo energético del edificio de ingeniería eléctrica a partir de la monitorización de los tableros de baja tensión. <https://noesis.uis.edu.co/handle/20.500.14071/39802>