



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**  
**INGENIERÍA ELÉCTRICA.**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**APLICACIÓN DE LA SIMULACIÓN MONTE CARLO EN LA PROYECCIÓN DE  
DEMANDA ELÉCTRICA EN UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN.**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico

**Autor:**

Yanchatipan Moposita Bryan Ivan

**Tutor Académico:**

Ing. MSc. Castillo Fiallos Jessica Nataly

**Latacunga – Ecuador**

**Febrero-2023**



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **YANCHATIPAN MOPOSITA BRYAN IVAN** declaro ser autor del presente proyecto de investigación: “**APLICACIÓN DE LA SIMULACIÓN MONTE CARLO EN LA PROYECCIÓN DE DEMANDA ELÉCTRICA EN UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN**”, siendo la Ing. **CASTILLO FIALLOS JESSICA NATALY** la autora del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

.....  
**Yanchatipan Moposita Bryan Ivan**

**C.C. 185061580-6**



## **AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN**

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

**“APLICACIÓN DE LA SIMULACIÓN MONTE CARLO EN LA PROYECCIÓN DE DEMANDA ELÉCTRICA EN UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN”**, de **YANCHATIPAN MOPOSITA BRYAN IVAN**, de la carrera de Ingeniería Eléctrica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Facultad de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, febrero 2023

La Tutora

**Ing. Castillo Fiallos Jessica Nataly**

**C.C. 0604590216**



## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, el postulante **YANCHATIPAN MOPOSITA BRYAN IVAN** con el título de Proyecto de titulación **“APLICACIÓN DE LA SIMULACIÓN MONTE CARLO EN LA PROYECCIÓN DE DEMANDA ELÉCTRICA EN UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, febrero 2023

Para constancia firman:

.....  
**Ing. Salazar Achig Edgar Roberto**  
**Lector 1 (Presidente)**  
**CC: 0502847619**

.....  
**Ing. Quinatoa Caiza Carlos Ivan**  
**Lector 2**  
**CC: 0503287864**

.....  
**Ing. Jiménez Jiménez Diego Leonardo**  
**Lector 3**  
**CC: 0503493702**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis padres Carlos y Flora a mis hermanas Vanessa y Erika por el cariño, apoyo moral y económico que me han brindado durante todos estos años. A los docentes por sus enseñanzas, comentarios e interés mostrado para el desarrollo de este trabajo y a todas las personas que de una u otra manera siempre me animaban a seguir con mi formación universitaria.

También agradezco a la Universidad Técnica de Cotopaxi, por haberme abierto sus puertas para poder formarme profesionalmente.

De igual forma, agradezco a la Ing. Jessica Castillo tutora de tesis, que gracias a sus consejos, paciencia y correcciones hoy puedo culminar este trabajo.

*Bryan Yanchatipan*

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto de titulación quiero dedicárselo a mis padres Carlos Fabian y Flora Sandra, que han sido el pilar fundamental para lograr una meta más en mi vida y que me han apoyado en cada paso a lo largo de estos años.

A mis hermanas Vanessa Marisol y Erika Gabriela, que al igual que mis padres han permanecido a mi lado para no rendirme, y también por brindarme el ejemplo de que todo esfuerzo vale la pena.

Y también a todas esas personas que creyeron en mí y que a lo largo de los años me han brindado grandes experiencias, y a pesar de no estar presentes me han dejado grandes enseñanzas.

*Bryan Yanchatipan*

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
1 INFORMACIÓN GENERAL .....	1
2 INTRODUCCIÓN.....	2
2.1 EL PROBLEMA.....	2
2.1.1 Situación Problemática.....	2
2.1.2 Formulación del problema.....	2
2.2 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN.....	3
2.2.1 Objeto. ....	3
2.2.2 Campo de acción. ....	3
2.3 BENEFICIARIOS .....	3
2.3.1 Beneficiarios directos: .....	3
2.3.2 Beneficiarios indirectos: .....	3
2.4 JUSTIFICACIÓN .....	3
2.5 HIPÓTESIS .....	4
2.6 OBJETIVOS .....	4
2.6.1 General: .....	4
2.6.2 Específicos:.....	4
2.7 SISTEMAS DE TAREAS .....	5
3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	6
3.1 ANTECEDENTES .....	6
3.2 SECTOR ENERGÉTICO EN ECUADOR .....	10
3.2.1 Energía eléctrica .....	10
3.2.2 Realidad del sector energético en el ecuador.....	12
3.2.3 Ahorro energético .....	13

3.2.4	Eficiencia energética.....	14
3.2.5	Formas de ahorrar energía eléctrica.....	15
3.3	<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LA CARGA .....</b>	<b>17</b>
3.3.1	Demanda.....	17
3.3.2	Demanda máxima .....	17
3.3.3	Factor de demanda.....	17
3.3.4	Factor de utilización .....	18
3.3.5	Factor de carga.....	18
3.3.6	Carga instalada .....	18
3.3.7	Capacidad instalada .....	19
3.3.8	Demanda pico .....	19
3.3.9	Curva de la demanda .....	20
3.4	<b>PROYECCIÓN DE LA DEMANDA .....</b>	<b>20</b>
3.4.1	Tasa de crecimiento de la demanda.....	21
3.5	<b>NORMATIVA .....</b>	<b>21</b>
3.5.1	Norma IEC 61000-4-30 .....	21
3.5.2	Norma IEEE 1159 .....	22
3.6	<b>DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO ANALIZADOR DE RED .....</b>	<b>22</b>
3.6.1	Características principales .....	22
3.6.2	Partes del equipo.....	22
3.6.3	Programación básica.....	23
3.6.4	Diagrama de conexión principal.....	24
3.7	<b>MÉTODO MONTE CARLO.....</b>	<b>25</b>
3.7.1	Como funciona .....	25
3.7.2	Ventajas .....	26
3.8	<b>SIMULACIÓN DE MONTE CARLO .....</b>	<b>26</b>
3.8.1	Datos de Entrada del Modelo de Monte Carlo .....	26



3.8.2	Modelo Matemático de Monte Carlo.....	27
3.8.3	VARIABLES DE SALIDA DEL MODELO DE MONTE CARLO.....	27
4	MODELADO DE SIMULACIÓN DE LOS LABORATORIOS Y CARACTERIZACIÓN DE LAS CARGAS .....	27
4.1	DESCRIPCIÓN DE LOS LABORATORIOS Y CONSUMO ENERGÉTICO .....	27
4.1.1	Ubicación y localización .....	27
4.1.2	Recopilación de información de consumo de energía eléctrica .....	28
4.2	Descripción de las etapas de simulación.....	30
4.2.1	Configuración del sistema eléctrico y caracterización de los equipos .....	32
4.3	Elaboración de los perfiles de consumo .....	34
4.3.1	Desarrollo del perfil de consumo de la iluminación.....	35
4.3.2	Desarrollo del perfil de consumo de los laboratorios de simulación.....	36
4.3.3	Desarrollo del perfil de consumo del laboratorio de control industrial.....	38
4.3.4	Comportamiento de las cargas eléctricas .....	40
4.3.5	Número de veces que se usa un equipo al día .....	40
4.3.6	Probabilidad de uso de los equipos durante el día.....	41
5	IMPLEMENTACIÓN Y SIMULACIÓN DEL MÉTODO MONTE CARLO.....	42
5.1	VARIABLES DE ENTRADA PARA LA SIMULACIÓN .....	42
5.2	Algoritmo de simulación .....	43
5.3	Enfoque probabilístico para determinar el uso de los equipos .....	44
5.4	Determinación de curvas de demanda por día .....	45
5.5	Simulación del método Monte Carlo .....	45
5.6	Determinación de las curvas diarias de demanda .....	46
5.7	Validación y verificación de la simulación.....	47
5.7.1	Cálculo de error cuadrático medio.....	48
5.8	Casos de estudio.....	49
5.8.1	Escenario 1 (aumento de lámparas).....	50

5.8.2	Escenario 2 (aumento de computadoras).....	51
5.8.3	Escenario 3 (aumento de módulos didácticos) .....	52
5.8.4	Escenario 4 (curva de demanda total con los cambios).....	52
5.9	Análisis de los resultados obtenidos .....	53
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	54
6.1	Conclusiones .....	54
6.2	Recomendaciones .....	54
7	REFERENCIAS: .....	56
8	ANEXOS .....	61
8.1	Anexo A: INFORME ANTI PLAGIO PROYECTO DE TITULACION .....	61
8.2	Anexo B: Tabla de mediciones de potencia.....	63
8.3	Anexo C: Plantilla de Excel.....	64
8.4	Anexo D: Programa en Matlab y funciones.....	65

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Descripción de las partes del analizador Fluke 435 [36].	23
Tabla 4.1 Listado de categorías de equipos y características eléctricas.	33
Tabla 4.2 Franja horario de uso de la iluminación.	36
Tabla 4.3 Franja horario de uso de las computadoras.	37
Tabla 4.4 Franja horario de uso de los módulos didácticos.	38
Tabla 4.5 Parámetros estadísticos.	41
Tabla 5.1 Variables de entrada para la simulación.	43
Tabla 5.2 Algoritmo del método Monte Carlo.	43
Tabla 5.3 Parámetros de simulación en Matlab.	45
Tabla 5.4 Calculo de error.	48
Tabla 5.5 Valores de potencia real y simulada.	49
Tabla 5.6 Proyección del escenario 1.	50
Tabla 5.7 Proyección del escenario 2.	51
Tabla 5.8 Proyección del escenario 3.	52
Tabla 5.9 Energía de los escenarios.	53

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Diagrama general de producción eléctrica [20].	12
Figura 3.2 Consumo de energía eléctrica a nivel industrial [20].	12
Figura 3.3 Curva de carga diaria típica [28].	19
Figura 3.4 Curva de demanda pico [29].	20
Figura 3.5 Curva de carga [30].	20
Figura 3.6 Analizador Fluke 435 [36].	22
Figura 3.7 Partes del analizador de red Fluke.	23
Figura 3.8 Diagrama de conexión del analizador de red.	24
Figura 3.9 Diagrama fasorial de una conexión adecuada.	24
Figura 4.1 Universidad Técnica de Cotopaxi La Matriz [1].	28
Figura 4.2 Curvas de demanda diarias medidas en 5 días consecutivos.	29
Figura 4.3 Curva real de demanda diaria promediada.	30
Figura 4.4 Diagrama de estructura de la simulación.	31
Figura 4.5 Esquema general de la categorización de las cargas como entrada para la simulación.	32
Figura 4.6 Cantidad de dispositivos por grupo de carga.	34
Figura 4.7 Ejemplo del perfil de consumo de una lavadora [46].	35
Figura 4.8 Porcentaje de uso de iluminación.	36
Figura 4.9 Porcentaje de uso de las computadoras.	37
Figura 4.10 Perfil de consumo de las computadoras en un lapso de 2 horas.	38
Figura 4.11 Porcentaje de uso de módulos didácticos.	39
Figura 4.12 Perfil de consumo de módulos didácticos en un lapso de 2 horas.	39
Figura 4.13 Estructura general de la encuesta acerca de los hábitos de consumo de los equipos.	40
Figura 4.14 Gráficas de distribución de probabilidad y probabilidad acumulada de cada equipo.	42
Figura 5.1 Diagrama de flujo de obtención de curva simulada.	44
Figura 5.2 Curvas de demanda de cada grupo de dispositivos.	46
Figura 5.3 Demanda de grupos de dispositivos.	46
Figura 5.4 Curva de demanda promedio de los laboratorios.	47
Figura 5.5 Comparación de curvas de demanda simulada y real.	48
Figura 5.6 Comparación de curvas de demanda diaria promedio y simulada. Escenario 1.	50

Figura 5.7 Comparación de curvas de demanda diaria promedio y simulada. Escenario 2. ....	51
Figura 5.8 Comparación de curvas de demanda diaria promedio y simulada. Escenario 3. ....	52
Figura 5.9 Comparación de curvas promedio. Escenario 4. ....	53

**TEMA:** “APLICACIÓN DE LA SIMULACIÓN MONTE CARLO EN LA PROYECCIÓN DE DEMANDA ELÉCTRICA EN UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN”.

**Autor:**

Yanchatipan Moposita Bryan Ivan

## **RESUMEN**

Para la realización de proyectos eléctricos, es importante elaborar una proyección de demanda eléctrica, ya que si no se ejecuta de una forma adecuada se puede sobreestimar la demanda.

En este proyecto se realizó la aplicación de la simulación Monte Carlo en la proyección de demanda eléctrica en un transformador de distribución. Primero, se realizó un estado del arte referente a la simulación Monte Carlo. Luego se determinaron los parámetros de cargabilidad, a través de mediciones y encuestas, las cuales fueron aplicadas al personal a cargo de los laboratorios de la facultad de CIYA. Se levantó la información del número de equipos y sus características, se desarrolló una clasificación de cargas por grupos de acuerdo a características comunes, y se estableció la cantidad de utilidad de cada uno de los equipos en un día normal. Se determinó una distribución normal, con una media de 4 que correspondió al número de clases que se desarrollaron durante un día laborable, una desviación estándar de 0,5 que correspondió al promedio de horas de cada clase dividido por la media y una varianza de 0,25 que correspondió a la variabilidad de los datos. La simulación del método Monte Carlo se desarrolló en el software Matlab, y se utilizaron las cargas más representativas existentes correspondientes a iluminación, computadoras y módulos didácticos. Se crearon un total de 4 escenarios, mediante los cuales se validó la aplicación del método Monte Carlo. Dentro de estos escenarios se desarrolló la proyección de la demanda. En el escenario 1 se alcanzó una demanda pico de 48,72 kW, en el escenario 2 se obtuvo una demanda pico de 59,54 kW, en el escenario 3 la demanda pico llegó a un valor de 46,96 kW y el escenario 4 consolidó los tres escenarios mencionados, donde la demanda pico alcanzó un valor de 64,87 kW. Con estos escenarios se verificó que la eficiencia de la simulación Monte Carlo fue bastante aceptable, ya que cuando se analizó el error en la hora más representativa, se obtuvo un valor de 5% al momento de comparar la curva de demanda real con la curva simulada.

**Palabra Clave:** Simulación Monte Carlo, proyección de demanda, distribución probabilística, demanda pico.

**TOPIC:** "MONTE CARLO SIMULATION APPLICATION IN THE ELECTRICITY DEMAND PROJECTION INTO A DISTRIBUTION TRANSFORMER".

**Author:**

Yanchatipan Moposita Bryan Ivan

### **ABSTRACT**

For the electrical projects making, it is important to elaborate a electrical demand projection, since if it is not executed properly, it can be over estimated the demand. This project, it was made the Monte Carlo simulation application in the electrical demand projection into a distribution transformer. First, it was performed an art state regarding the Monte Carlo simulation. Then, it was determined the chargeability parameters, through measurements and surveys, which were applied to the responsible staff from CIYA Faculty laboratories. It was collected the information about the equipment number and their characteristics, it was developed a loads classification by groups, according to common characteristics, and it was established the utility quantity each one of equipment into a normal day. It was determined a normal distribution with a 4 mean, what corresponded to the classes number that developed during a working day, a 0.5 standard deviation, which corresponded to the average number of hours each class divided by the mean, and a 0.25 variance that corresponded to the data variability. It was developed the Monte Carlo method simulation in the Matlab software, and it was used the most representative existing loads corresponding to lighting, computers and didactic modules. It was created a 4 scenarios total, through which, it was validated the Monte Carlo method application. Within these scenarios, they were developed the demand projection. Into scenario 1, it was reached a 48.72 kW peak demand, into scenario 2, it was got a 59.54 kW peak demand, into scenario 3, it reached the peak demand a 46.96 kW value and scenario 4, it was consolidated the three aforementioned scenarios, where the peak demand reached a 64.87 kW value. With these scenarios, they were verified, what the Monte Carlo simulation efficiency was quite acceptable, since when analyzing the error in the most representative hour, it was got a 5% value, at comparing the real demand curve with the simulated curve.

**Keyword:** Monte Carlo simulation, demand projection, probabilistic distribution, peak demand.

## ***AVAL DE TRADUCCIÓN***

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“APLICACIÓN DE LA SIMULACIÓN MONTE CARLO EN LA PROYECCIÓN DE DEMANDA ELÉCTRICA EN UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN”** presentado por: **Yanchatipan Moposita Bryan Ivan** egresado de la Carrera de: **Ingeniería Eléctrica** perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, Febrero del 2023.

Atentamente,

  
 CENTRO  
DE IDIOMAS

Mg. Marco Paul Beltrán Semblantes

**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC**

**CC: 0502666514**



## 1 INFORMACIÓN GENERAL

**Título:** Aplicación de la simulación Monte Carlo en la proyección de demanda eléctrica en un transformador de distribución.

**Fecha de inicio:** Octubre del 2022

**Fecha de finalización:** Febrero del 2023

**Lugar de ejecución:** Universidad Técnica de Cotopaxi.

**Facultad que auspicia:** Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

**Carrera que auspicia:** Carrera de Ingeniería en Electricidad.

**Proyecto de investigación vinculado:** Desarrollo de sistemas eficientes para el abastecimiento y el uso de energía eléctrica a nivel local, regional o nacional.

**Equipo de Trabajo:** Sistemas eléctricos de potencia.

**Tutor de Titulación:** Ing. MSc. Castillo Fiallos Jessica Nataly.

**Estudiante:** Yanchatipan Moposita Bryan Ivan.

**Área de Conocimiento:** 07 Ingeniería, Industria y Construcción / 071 Ingeniería y Profesionales Afines / 0713 Electricidad y Energía.

**Línea de investigación:** Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

**Sublíneas de investigación de la Carrera:**

Inteligencia artificial y modelación de sistemas.

## **2 INTRODUCCIÓN**

### **2.1 EL PROBLEMA**

#### **2.1.1 Situación Problemática**

A nivel global la energía eléctrica se ha convertido en un importante servicio para el ser humano, también en un factor determinante dentro del desarrollo y crecimiento económico de la sociedad. de esta forma predecir el consumo de energía eléctrica resulta valioso para la toma de decisiones, tanto para el sector de generación y los consumidores en general. En la actualidad el consumo de energía ha estado en constante crecimiento debido a la implementación de nueva tecnología, cambios en la economía y crecimiento demográfico, provocando una variación en la tendencia de su consumo y afectando la demanda existente.

La elaboración de una proyección del consumo eléctrico, es una actividad importante para la realización de proyectos eléctricos. Si no se ejecuta una adecuada predicción se puede sobreestimar la demanda, generar sobrecostos de operación dentro del despacho energético y en el peor de los casos no cubrir la demanda actual. Tomando en cuenta estos hechos, se identifica que el transformador “12970” perteneciente a la Universidad Técnica de Cotopaxi no cuenta con un estudio previo sobre el crecimiento de su demanda energética.

La Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC), con sede en la ciudad de Latacunga, es una de las instituciones más importantes dentro de la provincia y una de las mejores de la Sierra Central, está ubicada en el barrio El Ejido, en la parroquia Eloy Alfaro. La UTC forma profesionales de excelencia, humanistas e investigadores, genera ciencia y tecnología vinculada con la sociedad, [1], al considerar dichos antecedentes se puede evidenciar la importancia de realizar un estudio de la demanda generada en el transformador “12970”. Mediante este estudio se pretende identificar la proyección de la demanda del transformador “12970”, implementando la simulación de Monte Carlo y posibles mejoras dentro de la gestión energética, este estudio brinda una oportunidad de mejorar el perfil de consumo dentro de las instalaciones, con la finalidad de obtener un consumo de mayor eficiencia.

#### **2.1.2 Formulación del problema**

Se requiere de la simulación de la técnica Monte Carlo, para proyectar la energía de consumo en un transformador ante la entrada de nuevas cargas en los laboratorios de la Facultad de CIYA.

## **2.2 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN**

### **2.2.1 Objeto.**

Transformador “12970”.

### **2.2.2 Campo de acción.**

330000 Ciencias Tecnológicas / 3306 Ingeniería y Tecnología Eléctricas / 3306.04 Iluminación Eléctrica.

## **2.3 BENEFICIARIOS**

### **2.3.1 Beneficiarios directos:**

Universidad Técnica de Cotopaxi.

### **2.3.2 Beneficiarios indirectos:**

Comunidad universitaria.

## **2.4 JUSTIFICACIÓN**

El presente proyecto de investigación se encuentra anclado al proyecto formativo de la carrera de ingeniería en electricidad de la Universidad Técnica de Cotopaxi, y a su línea de investigación general, así también como a su sublínea denominada Inteligencia artificial y modelación de sistemas.

El consumo de energía eléctrica a nivel mundial en la actualidad se encuentra en un constante crecimiento, ocasionado por distintos factores tales como la implementación de tecnología convencional en equipos y/o artefactos, cambios en la economía y crecimiento de la población, llegando en algunos casos a un despilfarro de energía eléctrica.

El despilfarro de la energía eléctrica dentro de los sistemas o edificaciones es producto de la falta de control del consumo de energía de distintas cargas y la no planificación del crecimiento de la demanda, lo que conlleva a un exceso del consumo de la energía, y a posibles sobrecargas dentro de los equipos eléctricos. Esta situación genera problemas operativos dentro de ubicaciones particulares de la red de distribución, lo que obliga a las empresas a buscar soluciones rentables y correctas que sean amigables con el medio ambiente, para dar una solución al problema. Una posible solución es la implementación de programas de respuesta a la demanda entre los clientes.

El proyecto de investigación se realiza en el transformador “12970”, mismo que pertenece a la Universidad Técnica de Cotopaxi, no cuenta con un estudio del crecimiento de la demanda existente dentro de su red de distribución, y teniendo en cuenta la importancia del control del consumo y la planificación de la demanda en los sistemas de distribución se presenta la oportunidad de realizar un análisis sobre el consumo de energía.

La investigación pretende realizar un análisis del consumo eléctrico dentro del transformador “12970”, mediante la identificación y clasificación de las cargas que depende del nivel de consumo energético, para ello se filtraran los datos de dicho transformador.

El desarrollo de este análisis, beneficia principalmente al transformador “12970” y a la comunidad universitaria, ya que a través del estudio se pretende conocer el estado de consumo energético dentro de sus instalaciones, y también beneficia a la empresa eléctrica determinando la sensibilidad del consumo, lo que permite identificar la proyección de la demanda y oportunidades que benefician a toda la red de distribución para una mejor optimización del consumo eléctrico.

Dentro del proyecto se utiliza el análisis bibliográfico, el cual está enfocado en la revisión de fuentes, las cuales proporcionan conocimientos sobre la simulación de “Monte Carlo”, el cual consiste en un algoritmo que simula la demanda de energía, de las principales cargas que se vayan a implementar para el análisis propuesto.

## **2.5 HIPÓTESIS**

La simulación de la técnica Monte Carlo, permitirá determinar la proyección del comportamiento de la carga, al crear varios escenarios.

## **2.6 OBJETIVOS**

### **2.6.1 General:**

Desarrollar la proyección de la demanda mediante la simulación Monte Carlo para el análisis de la carga existente en el transformador e instalaciones de los laboratorios de la facultad de CIYA.

### **2.6.2 Específicos:**

- Elaborar el estado del arte mediante fuentes bibliográficas para la obtención de conocimientos acerca de la simulación Monte Carlo.

- Determinar los parámetros de carga a través de mediciones y encuestas para el desarrollo del algoritmo de Monte Carlo.
- Validar el algoritmo de proyección mediante pruebas para verificar el funcionamiento de la simulación.

## 2.7 SISTEMAS DE TAREAS

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Elaborar el estado del arte, mediante fuentes bibliográficas, para la obtención de conocimientos acerca de la simulación Monte Carlo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investigación bibliográfica de trabajos referentes a modelos de predicción.</li> <li>- Investigación de la simulación “Monte Carlo”</li> </ul>	Información: definición, conceptos y antecedentes referente a campos de proyección implementando la simulación “Monte Carlo”.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Libros</li> <li>- Artículos científicos</li> <li>- Tesis</li> <li>- Revistas</li> </ul>
Determinar los parámetros de carga, a través de mediciones y encuestas, para el desarrollo del algoritmo de Monte Carlo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Obtención de datos correspondientes al transformador “12970”.</li> <li>- Clasificación de cargas dependiendo de su consumo.</li> <li>- Recopilación de datos para el desarrollo de la simulación.</li> </ul>	- Archivo en Excel de los datos obtenidos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solicitudes</li> <li>- Libros, artículos científicos, tesis y revistas.</li> <li>- Excel para el levantamiento de información.</li> </ul>
Validar el algoritmo de proyección, mediante pruebas, para verificar el	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Procesamiento del algoritmo mediante un lenguaje de programación.</li> <li>- Simulación del</li> </ul>	- Análisis del consumo de energía eléctrica existente en dentro del transformador “12970”.	

funcionamiento de la simulación.	algoritmo. - Análisis de resultados obtenidos dentro de la aplicación. - Elaboración del informe final de la propuesta.	- Verificación de los errores. - Obtención de un documento en formato .docx, el cual contará con todo el desarrollo del proyecto.	- Matlab. - Cálculo de información. - Microsoft Word.
----------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------

### 3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### 3.1 ANTECEDENTES

El estudio de la demanda energética es un proceso importante dentro del sector eléctrico, ya que es una etapa crucial para el desarrollo de cualquier análisis operacional o estudio de planificación, el estudio permite conocer la cantidad de energía necesaria para satisfacer la demanda existente dentro de los sistemas eléctricos, y mediante un análisis adecuado se logra identificar el mejor escenario para una adecuada optimización del consumo energético.

El consumo de energía eléctrica es un factor determinante dentro de la sociedad industrializada, convirtiéndose en un elemento esencial para los distintos sectores como son el industrial, comercial y residencial. La demanda de electricidad ha ido creciendo con el pasar de los años, por este motivo la proyección del consumo energético posee una considerable importancia, dentro de la optimización energética[2].

El plan maestro de electrificación [3], menciona que la proyección de la demanda futura de energía contribuye a una acción primaria, básica y esencial dentro del proceso de toma de decisiones de las posibles alternativas para la inversión sectorial y del desarrollo a nivel nacional. También, aporta un elemento para la elaboración de presupuestos, estudios de pérdidas e inversiones y la realización de cálculos tarifarios.

En [4] menciona que, en todo sistema eléctrico la demanda es variable de allí surge la idea de energía o potencia que se consume por una carga en un intervalo de tiempo dado, entonces la demanda puede variar dependiendo de ciertos factores como las horas, los meses o también la época del año en análisis. Dentro del análisis se emplean curvas de carga compuestas por los valores de la demanda a la hora pico de cada mes, lo que permite visualizar el crecimiento y las variaciones de picos mensuales y anuales.

Según [5], la proyección de la demanda de electricidad realizada a largo plazo de una sociedad empleando los datos históricos ayuda a predecir los posibles eventos futuros, así como también a determinar la capacidad de generación eléctrica que se necesita. Estas proyecciones además se utilizan para analizar el alcance y la creación de un proyecto de ampliación del suministro eléctrico.

En el artículo “Simulación de edificios: Diez Desafíos” [6], menciona que dentro del sector de construcción se consume alrededor del 40% de la energía primaria de los Estados Unidos, países europeos, y en los países como China se consume entre el 25 y 30%, por este motivo estos países se han planteado un objetivo energético estricto tanto para edificios nuevos y existentes. El objetivo consiste en la reducción de la intensidad del uso de energía a largo plazo.

Por ello en [6], se ha implementado una simulación de edificios (BPS), el cual trata de un modelado de energía de edificios, ya que este método ha desempeñado un papel importante en el diseño y la operación de edificios de bajo consumo energético y alto rendimiento, mediante este método se puede representar las características físicas, el funcionamiento esperado o real, y las estrategias de control de un edificio (o edificios) y sus sistemas de energía. Los cálculos dentro del BPS incluyen flujos de energía, de aire, uso de energía, comodidad térmica, y otros índices de calidad ambiental interior.

Duarte Alexis Kazocos Winter, en el año 2017 desarrollan el estudio de “Predicción de consumo energético en edificios de oficinas mediante modelos de tipo caja negra” [7]. El modelo y la metodología está basada en el software Python y también apoyándose en librerías de código abierto para minería de datos. El autor determina que los mejores modelos para predecir el consumo de energía eléctrica son usando los métodos Random Forests Regresión y K-Nearest Neighbors acoplándose a las condiciones del comportamiento de los usuarios del edificio.

Vicente Rodilla Sala, Francisco de la Asunción Castelló, Miriam Signes Salva, y Víctor Rodenas Gallego, en el año 2019, desarrollan “Modelos matemáticos multivariable para la optimización de la eficiencia energética en fábricas y en edificios” [8], menciona que el consumo de energía dentro de las industrias y consumidores terciarios tiende a elevarse significativamente, lo que contribuye de manera negativa al calentamiento global y de manera paralela a la explotación de recursos naturales.

La Comisión Europea a través de una iniciativa ha permitido implementar un sistema disruptivo, capaz de reducir el consumo de energía eléctrica, el proyecto denominado “EFICONSUMTION”, desarrollado por CYSNERGY, mejora la eficiencia energética, basado en el modelamiento y en la gestión inteligente del consumo de electricidad, tomando en cuenta dos aspectos, el ahorro tanto energético como económico, dando paso a actividades empresariales con un mayor rendimiento u “Operational Efficiency” [8].

En el artículo [9], propone una metodología para evaluar el impacto de las cargas móviles, se basada en la simulación de Monte Carlo, permite la creación aleatoria de escenarios de operación de transporte que considera: el desplazamiento, consumo de energía y condiciones de operación de trenes eléctricos. La propuesta permite la evaluación probabilística de flujos de potencia a través de funciones de densidad de probabilidad.

Patricia Otero, Luis Mera y Emilio Calle, desarrollan la el articulo [10], dentro de este estudio se consideró la información de generación de energía eléctrica, demanda vehicular y demanda de potencia en Galápagos, se aplica la simulación de Montecarlo, se tiene en cuenta la probabilidad de hora de carga, porcentaje de carga en el que se encuentra la batería y curvas de carga de vehículos eléctricos aptos para las islas, así se determina la demanda requerida. Los resultados de los análisis obtenidos de la simulación determinaron qué el caso de estudio tiene mayor impacto sobre la curva de demanda máxima y el número de vehículos que lo provoca. El modelo que se presenta tiene como objetivo establecer curvas de carga, teniendo como base de información las curvas de carga de los vehículos eléctricos obtenidas mediante mediciones y el número de vehículos.

En el artículo “Aplicación del método dinámico de Monte Carlo en un proyecto de protección”, la simulación de Monte Carlo fue utilizada como una herramienta para identificar y evaluar los riesgos. El objetivo era encontrar las actividades que puedan ser acelerarlas, basadas en la probabilidad de que sucedan. Se incorporó un plan de respuestas para manejar los riesgos, y la simulación fue repetida varias veces para monitorear cómo los riesgos cambian con el tiempo. Al hacer esto, se logró corregir la dirección del proyecto y acelerar las actividades clave para lograr una ejecución más eficiente y efectiva. En resumen, la simulación de Monte Carlo se utilizó para mejorar la planificación y ejecución del proyecto a través del monitoreo y manejo de los riesgos. [11].

En [12], se utiliza la simulación de Monte Carlo para evaluar la confiabilidad de los sistemas de distribución de energía eléctrica. Se generan números aleatorios para imitar el



comportamiento aleatorio del sistema y obtener los índices de confiabilidad de los puntos de carga. La simulación ha permite obtener las distribuciones de probabilidad de los índices y evaluar los riesgos asociados con diferentes valores de los índices. En resumen, se utiliza la simulación para evaluar la confiabilidad e identificar los riesgos en el sistema de distribución de energía eléctrica.

En el año 2020, Ana Margarita Diaz R [13], elabora un modelo matemático para predecir el consumo de energía eléctrica en la Universidad de Cienfuegos, el modelo es desarrollado con el objetivo de conocer el comportamiento matemático que existe entre el consumo energético y las variables que lo afectan. Una de las variables que tienen mayor relación con los MWH consumidos son los aires acondicionados, previo a esta problemática los autores proponen dos métodos que contribuyan a mejorar la predicción de la demanda de energía eléctrica en la Universidad de Cienfuegos, el cual sería el Modelo de Regresión y el Diseño de Experimento Virtual.

Jessica N. Castillo, Verny F. Resabala, Luigi O. Freire y Byron P. Corrales [14], en el año 2022, elaboran la “Modelización y análisis de la sensibilidad del consumo energético de un edificio mediante el método Monte Carlo”, el modelo matemático consiste en un algoritmo que simula la demanda de energía de las principales cargas eléctricas dentro de un edificio. Para el desarrollo se realizaron mediciones iniciales, las cuales representan valores históricos de las características de sus cargas, también se toma en consideración el comportamiento particular y grupal de las mismas.

En [14], se realizó un análisis de escenarios con el fin de identificar debilidades y posibles mejoras en la gestión energética del edificio, el estudio proporciona una mejora para el perfil de consumo del edificio, con el fin de mostrar un perfil mejorado.

En el artículo [15], “Predicciones estadísticas de los perfiles de carga eléctrica en los edificios domésticos del Reino Unido”, presenta un método para producir datos de perfil de carga de electricidad realista para los edificios del Reino Unido, también se realizó la investigación de las características del espacio doméstico, incluyendo sistemas de calefacción y agua caliente. El método se basa en la información, los resultados de investigación, y el patrón de ocupación común, todo para predecir la variedad del consumo eléctrico dentro de los hogares.

El método ha permitido la creación de perfiles típicos de actividades y de estilo de vida en base a los datos estadísticos, por ello se puede utilizar para predecir la demanda futura de la energía eléctrica dentro de los edificios domésticos del Reino Unido [15].

El análisis predictivo aplica datos históricos, para pronosticar eventos futuros, estos datos se implementan para generar un modelo matemático que capture las tendencias importantes. Este modelo predictivo se usa entonces con los datos actuales para predecir lo que pasará a continuación, también es útil para sugerir acciones para la obtención de resultados óptimos [16].

## **3.2 SECTOR ENERGÉTICO EN ECUADOR**

### **3.2.1 Energía eléctrica**

La energía eléctrica, es el resultado de la existencia de una diferencia de potencial dentro de algunos elementos conductores, permitiendo establecer una corriente eléctrica y obtener trabajo. La energía se puede presentar principalmente en tres efectos: luminoso, mecánico y térmico [17].

Gracias a la energía eléctrica el hombre ha logrado evolucionar de una manera rápida con el pasar de las décadas, debido a que la electricidad ha permitido encender ordenadores, iluminar los hogares de la población, mantener los alimentos frescos, entre varias actividades o procesos vitales para el desarrollo de la población, cabe destacar que la energía eléctrica se la puede implementar para muchas más aplicaciones.

#### **1) Generación de la energía eléctrica**

Se obtiene por procesos fundamentados en el principio de Faraday, el físico intuyó que los campos magnéticos podían producir electricidad, entonces colocando un disco de cobre, en forma de herradura entre los polos de un imán, y haciéndolo girar el movimiento indujo una corriente eléctrica en el disco [18].

Por ello dentro de las centrales de producción, lo que gira es una turbina que comunica su movimiento a un grupo de imanes. Entonces al girar los imanes modifican la posición del material conductor respecto a las líneas de fuerza del campo magnético, produciendo una corriente eléctrica en el conductor [18].

La energía que estimula a las turbinas puede ser de tipo nuclear, hidráulica, térmica, solar, eólica, etc [18]. Por ello existen dos grandes grupos de centrales de generación:

- **Las de régimen ordinario:** se dedican exclusivamente a producir electricidad a gran escala.

- **Las de régimen especial:** poseen una alta eficiencia energética, se caracterizan por producir electricidad a base de energía renovable.

## 2) Forma de producción de la energía eléctrica

Se puede obtener la energía eléctrica de las siguientes maneras:

- **Reacción química:** si se introducen dos metales distintos en una disolución apropiada, esto produce ciertas reacciones que al mismo tiempo generan electricidad, este es el principio de las baterías y pilas.

- **Inducción electromagnética:** la corriente eléctrica aparece cuando se mueve un conductor en el interior de un campo magnético. Esta corriente se mantiene mientras que el conductor o el imán este en movimiento, este es el principio de funcionamiento de los dinamos y los alternadores [19].

- **Luz:** existen metales que desprenden electrones cuando la luz solar incide sobre ellos, si se aprovecha este fenómeno haciendo que los electrones circulen por un conductor, se logra obtener una corriente eléctrica, este fenómeno es conocido como el efecto fotoeléctrico y es el fundamento de las células fotovoltaicas [19].

## 3) Producción de la energía eléctrica.

La producción se realiza en centrales eléctricas, y debe ajustarse al consumo de la población, debido a la imposibilidad de almacenar la electricidad [20]. La ubicación de la central debe estar lo más próxima posible a los centros de consumo, además, los centros de producción se encuentran interconectados entre sí para poder realizar intercambios de energía desde las zonas excedentes de producción hacia aquellas en que la generación no logra cubrir la demanda. En la Figura 3.1, se presenta el diagrama general de producción de electricidad y los principales tipos de centrales de generación [20].



Figura 3.1 Diagrama general de producción eléctrica [20].

A continuación, en la Figura 3.2, se presenta un organizador con el resumen acerca del uso de la energía a nivel industrial.

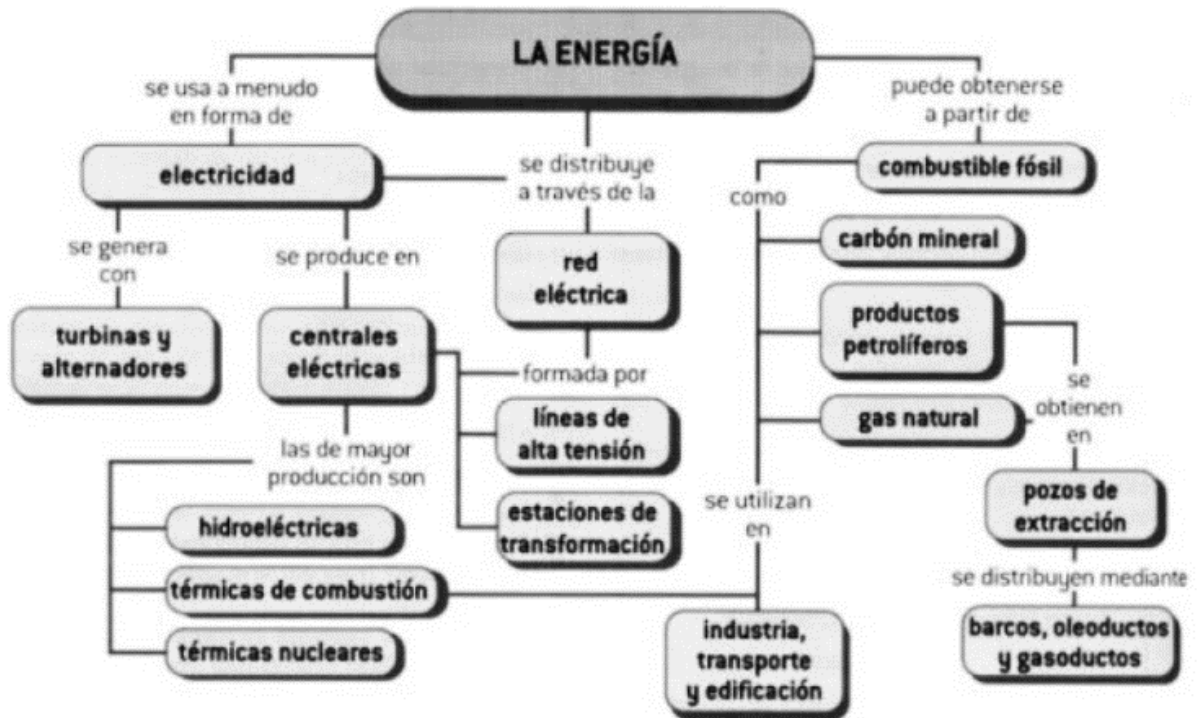


Figura 3.2 Consumo de energía eléctrica a nivel industrial [20].

### 3.2.2 Realidad del sector energético en el Ecuador

En [21] menciona que, se han ejecutado importantes obras dentro del sector eléctrico ecuatoriano, lo que permite encaminar y garantizar un adecuado abastecimiento eléctrico, mediante el desarrollo de recursos energéticos locales y priorizando la participación de la energía renovable, en especial la hidroeléctrica, con la finalidad de contribuir a la

diversificación de la matriz energética y disminuir significativamente el consumo de combustibles fósiles.

Por ello el sector eléctrico ha logrado aumentar significativamente su capacidad instalada, en el año 2018 se contó con 8826,89 MW de potencia instalada provenientes de fuentes renovables y no renovables, teniendo un 59,84% y 40,16% de aporte respectivamente [21]. También se ha logrado reducir las pérdidas de energía eléctrica de manera sostenida hasta alcanzar el 11,40%.

### 3.2.3 Ahorro energético

Es la gestión adecuada del consumo de los diferentes tipos de energía, el ahorro se lo puede realizar de dos maneras reduciendo la potencia consumida o acortar el tiempo de trabajo que requieren los equipos [22]. Un adecuado ahorro energético proporciona ventajas como disminuir la emisión de gases de efecto invernadero y disminuir los costos por consumo de energía.

- **Disminuir la emisión de gases de efecto invernadero:** los gases son causados por la emisión de dióxido de carbono, mismos que son generados por la quema de combustibles fósiles y biomasa presentes dentro de procesos industriales, transporte y ciertas actividades domiciliarias. Por ello si se logra disminuir el consumo de dichos combustibles se evitan las emisiones de dióxido de carbono, y como resultado se desacelerará el efecto invernadero [22].

- **Disminuir los costos por consumo de energía:** el ahorro de consumo de energía es valioso cuando se lo cuantifica monetariamente, debido a que cada fuente de generación distribuye la energía con un cierto valor que depende del combustible que se implemente para la producción de dicha energía, y por ello es importante ahorrar la energía para reducir los costos.

El ahorro energético se lo aplica a los distintos ámbitos de la vida del ser humano, desde una pequeña residencia hasta una gran industria [22]. Por ejemplo, dentro de una vivienda se puede desarrollar un ahorro energético con beneficio monetario, si se cambian las luminarias fosforescentes por tecnología led durante todo el año, debido a la reducción del consumo de energía. Dentro de una industria se puede tener un ahorro, si todos los motores eléctricos de gran potencia que trabajan casi todo el tiempo del año son reemplazados por motores de alta eficiencia [22].

### 3.2.4 Eficiencia energética

Se define como el cociente entre la energía requerida para el desarrollo de alguna actividad específica, y la cantidad de energía usada para el proceso requerido [23]. El concepto de eficiencia energética ha tomado auge, debido a que se lo ve como una solución a temas críticos dentro del sector industrial, dichos temas corresponden al consumo energético y la emisión de gases contaminantes.

La eficiencia energética es comprendida como la eficiencia dentro de la producción, distribución y uso de la energía imprescindible que garantice la calidad total, forma parte del conjunto de problemas que afectan la competitividad de las empresas e instituciones [24]. También implica alcanzar los requisitos establecidos por los clientes, con el menor gasto energético posible y la menor contaminación ambiental.

Dentro de una corporación, uno de los objetivos estratégicos para alcanzar la competitividad, es alcanzar la mayor calidad de los productos al menor costo de fabricación, y de esta forma adquirir una mejor posición dentro del mercado, para incrementar sus utilidades.

El incremento de la eficiencia energética reduce los costos de producción, ya que mejora la competitividad de la empresa sin afectar a la calidad, obteniendo un beneficio ambiental inmediato, debido a que implica una disminución al uso de recursos naturales y la emisión de contaminantes [24].

Una manera de evaluar los cambios generados por la eficiencia energética, es implementar como indicador el índice de consumo, definido como la cantidad de energía por unidad de actividad.

Algunas oportunidades para incrementar la eficiencia energética son:

- Incluir tecnología de alta eficiencia dentro de la industria.
- Ampliar la educación energética ambiental y apoyar el ahorro energético en todos los niveles.
- Engrandecer el nivel de gestión energética empresarial.
- Apoyo institucional en el campo de la eficiencia energética.

Las causas de la insuficiencia energética son:

- Estudio insuficiente de los índices de eficiencia energética.

- Desconocer la incidencia de cada portador energético en el consumo total.
- Falta de identificación de índices físicos y su organización por prioridad.
- Falta de reconocimiento de los trabajadores que más inciden en el ahorro y la eficiencia energética.
- Divulgación insuficiente de mejores experiencias.
- Incompetencia dentro de los sistemas de información estadística.
- Falta de valoración de la eficiencia energética como una estrategia importante.

### **3.2.5 Formas de ahorrar energía eléctrica**

En [22] determina que, el ahorro energético se encuentra enfocado a los sistemas que utilizan electricidad, por ello se logra determinar tres formas de realizar dicho ahorro:

- Mejora del rendimiento de los equipos.
- Mejora del rendimiento de las instalaciones.
- Utilización racional de los equipos.
- Mejora del rendimiento de los equipos.

Es la manera en la que se puede realizar el ahorro de una forma más rápida y eficaz, desarrollando el mismo trabajo. La necesidad de mejorar el rendimiento depende del tamaño de la carga y del tiempo de trabajo [22]. El poseer un elemento de alta eficiencia se hace necesario cuando consume una gran potencia y trabaja una gran cantidad de tiempo.

Algunas formas para lograr un mejor rendimiento en los equipos son:

#### **a) Dimensionamiento adecuado**

El dimensionamiento es de gran importancia cuando se desea una adecuada eficiencia en el equipo. Por ello cuando un equipo está trabajando con valores muy distintos a su valor nominal, sea por encima o por debajo, presenta un rendimiento bajo.

#### **b) Realizar un mantenimiento respectivo**

Todo equipo requiere un mantenimiento periódico, al efectuar dicho mantenimiento no solo permite detectar posibles fallas a futuro, sino también prevenir otras fallas que se pueden presentar. Por ello al realizar un mantenimiento preventivo en un equipo permite que aumente sus prestaciones, elevando así su rendimiento y la capacidad de trabajar a su valor nominal.

La ausencia de un mantenimiento adecuado provoca que el equipo tenga que realizar un esfuerzo mayor y por ende un consumo energético mayor.

**c) Utilizar equipos que tengan un mayor rendimiento.**

Al implementar equipos con un mayor rendimiento se garantiza un menor consumo energético realizando un mismo trabajo. Por ello se busca poseer equipos con mayor rendimiento, un ejemplo claro es que en la actualidad se implementan motores de alta eficiencia.

**d) Utilizar equipos comandados por sistemas electrónicos**

En la actualidad la electrónica permite tener una reducción de consumo energético, ya que esta optimiza el uso de la energía. Algunos ejemplos son:

- Uso de sistemas automáticos de control dentro de procesos industriales.
- Implementación de variadores de frecuencia en los motores eléctricos.
- Uso de balastos electrónicos para lámparas fluorescentes.
- Utilización de sistemas de gestión de consumo.

**• Mejora del rendimiento de las instalaciones.**

A continuación, se muestra la manera para lograr que una instalación eléctrica presente un rendimiento adecuado:

**a) Compensación de energía reactiva**

La compensación disminuye la corriente que circula por el sistema eléctrico, lo que permite obtener los siguientes beneficios:

- Disminuye la pérdida por efecto Joule.
- Alivia elementos cuya vida útil depende de la cantidad de corriente que circula por ellos.
- Disminuye la potencia con la que trabajan los transformadores, aliviando y permitiendo utilizar esta nueva potencia disponible para una mayor transformación de potencia activa.

**b) Dimensionamiento adecuado de los conductores**

Para incrementar el rendimiento dentro de un sistema cualquiera se requiere reducir las pérdidas. En el caso de una instalación eléctrica se pretende reducir las pérdidas por efecto



Joule, y esto se logra con un dimensionamiento adecuado del conductor, ya que un sobre calentamiento en el conductor representa una gran pérdida de energía, también provoca daños y perdidas en el sistema eléctrico [22].

### **c) Evitar fugas a tierra**

Dentro de una instalación eléctrica las fugas a tierra son otro factor de perdida, debido a que muchas veces por una falla en el sistema eléctrico o por una disminución del aislamiento de los conductores estos hacen contacto con algún material que los rodean provocando perdidas considerables de energía.

- **Utilización racional de los equipos.**

Una manera simple de definir esta medida es a través de la siguiente frase “utilizar la energía eléctrica solo cuando sea necesaria”. Cada uno es consciente del despilfarro que se genera en el hogar o en el punto de trabajo.

## **3.3 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LA CARGA**

### **3.3.1 Demanda**

Es la cantidad de energía requerida por los consumidores, ya que a través de dicha energía se puede abastecer sus necesidades. Por ello la demanda eléctrica a nivel nacional es el resultado de sumar toda la electricidad necesaria que brinda el suministro a todos los consumidores.

### **3.3.2 Demanda máxima**

Es la medida del consumo de energía promedio durante un espacio de tiempo. La demanda máxima (o pico) es la demanda más alta registrada durante el periodo de facturación, que principalmente corresponde al fin de mes. Sus unidades se expresan dependiendo del tipo de carga como kVA, kW, kVAr o A.

### **3.3.3 Factor de demanda**

Es una relación que se utiliza, para calcular la cantidad de demanda total de un sistema que se genera en diferentes partes, también se lo puede interpretar como la cantidad promedio de electricidad demandada [25].

El factor de demanda se usa para ajustar la potencia de las instalaciones principales, dando por sentado que nunca se presenta el caso de que todos los equipos eléctricos se usen a su máximo de carga simultáneamente, el factor siempre es menor a uno.

### **3.3.4 Factor de utilización**

Es la relación entre la demanda máxima y la carga total conectada, el factor de utilización es adimensional, por ello la demanda máxima y la carga total conectada se deberán expresar en las mismas unidades, la utilización establece que porcentaje de la capacidad del sistema de distribución está siendo utilizado durante el pico de la carga [26].

### **3.3.5 Factor de carga**

Muestra el comportamiento general de la demanda comparado con su pico máximo, ya que la mayoría de las cargas son variables durante un periodo de tiempo dado y solo tendrá algunos picos de demanda máximos. Es la entre la demanda promedio en un intervalo de tiempo dado y la demanda máxima observada en el mismo intervalo de tiempo, siendo menor o igual a uno.

Este factor se encuentra influenciado por la cantidad de electricidad disponible y requerida por los usuarios durante un periodo de tiempo, por ello al determinar el comportamiento del cliente se puede realizar la proyección de la demanda existente dentro del sistema eléctrico.

### **3.3.6 Carga instalada**

Es la sumatoria de todas las potencias nominales de los aparatos y equipos que se encuentran conectados a alguna red eléctrica sea que se encuentren en operación o no, se expresa en kVA y kW la carga instalada puede referirse a todo un sistema o a una parte del mismo.

La carga de un sistema es la parte terminal donde la energía eléctrica se convierte a otra forma de energía, por ejemplo, un motor que transforma la energía eléctrica en mecánica. El concepto incluye a todos los artefactos que requieren energía eléctrica para funcionar o realizar un trabajo, la sumatoria de todas las cargas representa la máxima demanda posible de dicho sistema [27].

### 3.3.7 Capacidad instalada

Corresponde a la suma de las potencias nominales de los equipos (transformadores, generadores), instalados a las líneas que suministran la potencia eléctrica a las cargas o servicios conectados, es llamada también capacidad nominal del sistema [28]. La Figura 3.3, se observa la curva de carga diaria existente dentro de un sistema.

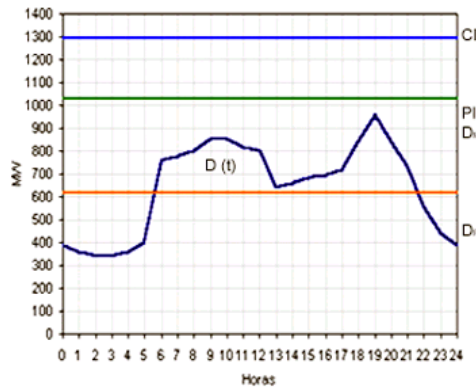


Figura 3.3 Curva de carga diaria típica [28].

#### - Capacidad instalada efectiva

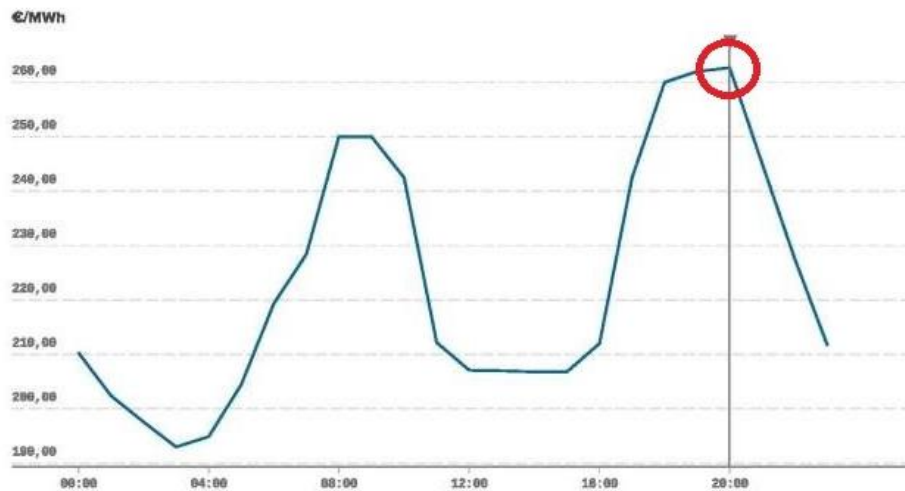
Corresponde a la suma de los valores efectivos de las potencias de todas las unidades eléctricas instaladas en el sistema.

#### - Capacidad instalada nominal

Es la suma de los valores de placa de todas las unidades eléctricas instaladas en el sistema.

### 3.3.8 Demanda pico

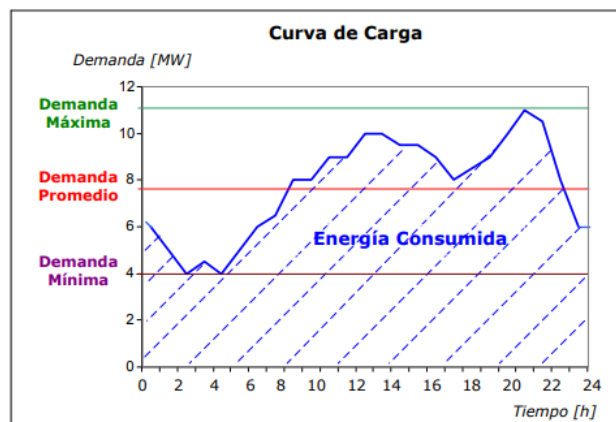
La demanda pico o máxima, es la cantidad de energía requerida durante el momento en que la red experimenta la mayor demanda de energía, se clasifica típicamente en anual, diaria o estacional. Usualmente la demanda pico es de gran interés, para establecer los límites de capacidad de conducción y las caídas de voltaje de los conductores [29]. La Figura 3.4, presenta una curva de demanda pico, donde se aprecia que el valor de demanda pico se encuentra presente en un solo periodo de tiempo.



**Figura 3.4** Curva de demanda pico [29].

### 3.3.9 Curva de la demanda

La representación gráfica de la demanda eléctrica en el paso del tiempo es conocida como la curva de la demanda, en la Figura 3.5, se aprecia una curva típica [30]. El periodo de tiempo elegido para desarrollar el análisis de la curva puede ser diario, semanal, mensual y anual.



**Figura 3.5** Curva de carga [30].

La forma de la curva depende fundamentalmente si la carga es de tipo residencia, comercial, industrial, del día, de la semana, de la estación y de los factores climáticos.

## 3.4 PROYECCIÓN DE LA DEMANDA

La demanda máxima y la energía utilizada dentro de un sistema eléctrico de potencia (SEP), tiende a crecer principalmente por dos razones, una de ellas es el aumento de nuevos consumidores o equipos dentro del SEP, lo que implica la construcción de nuevos alimentadores, otra de las razones es el uso de nuevas aplicaciones de energía eléctrica por el

mejoramiento del nivel de vida de la población, provocando un aumento en la compra de más energía, que conlleva al crecimiento de la curva de carga [31].

La proyección de la demanda es esencial en el proceso de planeación, debido a que se debe conocer la cantidad de energía que se espera entregar en los años futuros y en qué punto deberá ser entregada, además la proyección de la demanda determina la forma de crecimiento y la incorporación de elementos para satisfacer la carga.

Los aspectos más importantes que se debe considerar en la planeación de un sistema de distribución son, el crecimiento de la carga existente en el sistema, ya que no es común que se elabore la planeación sobre la base de las cargas reales actuales, por ello hay que considerar una tasa de crecimiento de carga, esto se hace para prevenir futuras modificaciones [32].

Uno de los problemas importantes a resolver dentro de la planeación de sistemas eléctricos, es la determinación de la demanda en un año determinado que lo fija el escenario de planeación. Para hacer esto se implementan métodos de tendencia, este método extrapola los patrones de carga que ocurrieron en el pasado, para poder predecir la carga que se tendrá en el futuro.

Los pronósticos del crecimiento de la demanda son generalmente complejos, ya que no solo inciden los factores económicos, se debe considerar también el crecimiento poblacional, las innovaciones tecnológicas, automatización de procesos, aspectos ambientales, decisiones políticas, etc.

### **3.4.1 Tasa de crecimiento de la demanda**

La tasa de crecimiento de la demanda, es diferente para cada clase de consumo, es evidente que el aumento de la demanda máxima individual, que es el criterio de diseño, es mayor para una zona de consumo bajo que para una zona de consumo medio o alto, la tasa de crecimiento se la puede obtener mediante análisis estadísticos de datos históricos [33].

## **3.5 NORMATIVA**

### **3.5.1 Norma IEC 61000-4-30**

IEC (Series, Electromagnetic Compatibility), la norma describe las técnicas y métodos de evaluación y medición de los diferentes parámetros de la calidad de energía. El periodo mínimo de evaluación según la norma es de una semana [34].

### 3.5.2 Norma IEEE 1159

La norma sobre el Monitoreo de la calidad de energía eléctrica, recomienda la supervisión de las características eléctricas de los sistemas de alimentación de CA monofásicos y polifásicos, donde dependiendo de las instalaciones ha regido cierto tiempo de toma de datos para el estudio de calidad de energía y como base se ha planteado un tiempo de 15 minutos para cada hora [35].

## 3.6 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO ANALIZADOR DE RED

### 3.6.1 Características principales

El analizador de red Fluke 435, trata de un instrumento capaz de mostrar datos y formas de ondas de las señales eléctricas de voltaje, corriente, potencia, armónicos, en forma de histograma, graficas fasoriales, espectros de armónicos. En la Figura 3.6, se puede apreciar la representación gráfica del analizador de red Fluke 435.



**Figura 3.6** Analizador Fluke 435 [36].

### 3.6.2 Partes del equipo

El equipo Fluke 435 es un analizador trifásico, mide prácticamente todos los parámetros del sistema eléctrico, captura eventos como fluctuaciones, transitorios, interrupciones y cambios rápidos de tensión. La Figura 3.7, se observa cada elemento del analizador.



**Figura 3.7** Partes del analizador de red Fluke.

Dentro de la Tabla 3.1 Descripción de las partes del analizador Fluke 435 [36], se describe cada uno de los componentes de analizador de red Fluke 435.

**Tabla 3.1** Descripción de las partes del analizador Fluke 435 [36].

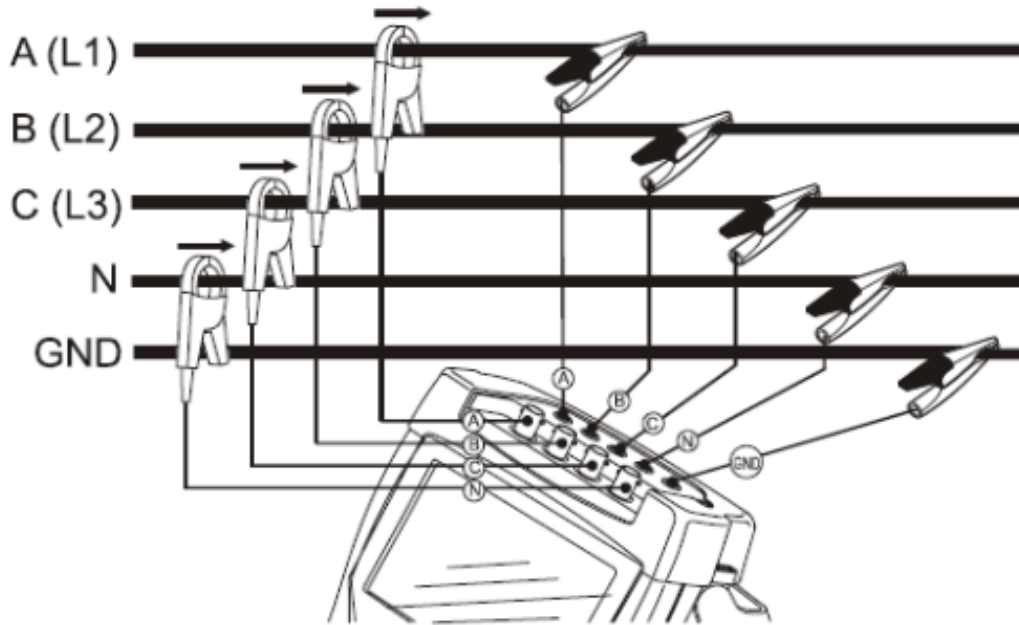
N°	Descripción
1	Analizador de calidad de energía eléctrica
2	Juego de adhesivos para las tomas de entrada
3	Correa
4	Pinzas de cocodrilo. Juego de 5
5	Cables de prueba, 2,5 m. juego de 5
6	Cargador de batería / Adaptador de red
7	Adaptador de enchufe de line (según el país)
8	Manual de iniciación+ CD ROM con manual de uso y manual de iniciación (varios idiomas)
9	Cable óptimo USB
	<b>Fluke 435:</b>
10	CD ROM con software FLukeView para Windows+ software de registro de potencia para Windows
11	Pinzas amperimétricas de CA flexibles 3000 A. juego de 4 pinzas modelo i430flex-4pk
12	Maletín

### 3.6.3 Programación básica

La programación del equipo depende del tipo de sistema eléctrico en el que se va a realizar el estudio, debido a la amplia información disponible.

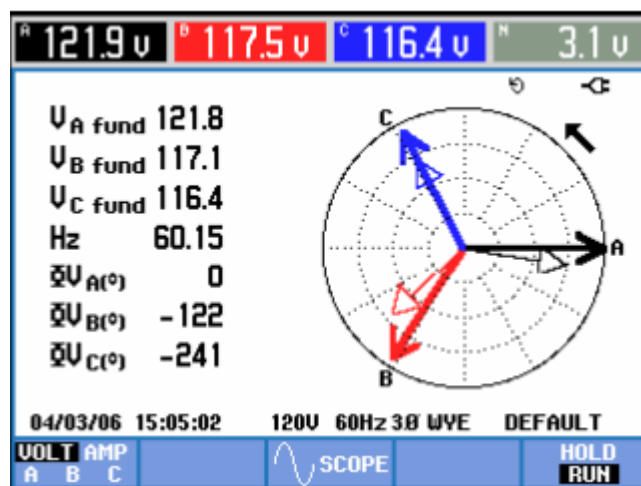
### 3.6.4 Diagrama de conexión principal

A continuación, la Figura 3.8, presenta el diagrama de conexión principal en un sistema trifásico.



**Figura 3.8** Diagrama de conexión del analizador de red.

Para comprobar que la conexión de los cables de tensión y las pinzas amperimétricas sea correcta, resulta útil observar el diagrama fasorial, dentro del diagrama las corrientes y tensiones de la fase L1 (A), L2 (B) y L3 (C) deben aparecer sucesivamente cuando se observan en el sentido de las agujas del reloj, como se puede apreciar en la Figura 3.9.



**Figura 3.9** Diagrama fasorial de una conexión adecuada.



### 3.7 MÉTODO MONTE CARLO

El termino Monte Carlo se destina a un conjunto de métodos matemáticos que se empezaron a usar a partir de 1940 para el desarrollo de armas nucleares en los Álamos [37]. Consiste en solucionar un problema a través de la invención de juegos de azar cuyo comportamiento simula algún fenómeno real gobernado por una distribución de probabilidad. De una forma técnica, se determina que Monte Carlo es un proceso “estocástico” numérico, es decir, una secuencia de estados cuya evolución viene determinada por sucesos aleatorios.

Es un método estadístico “no determinístico” que proporciona soluciones aproximadas a una gran variedad de problemas matemáticos, haciendo factible la realización de experimentos con muestreos de números pseudoaleatorios en una computadora. El método es aplicable a cualquier tipo de problema, ya sea estocástico o determinístico [38].

Monte Carlo es un método que combina el uso de los sistemas de información organizacional y la aleatoriedad para estimar la posibilidad de ocurrencia de un evento, es el desarrollo de un modelo lógico-matemático de un sistema, de manera que se obtenga una imitación de un proceso del sistema a través del tiempo [39].

Monte Carlo es un método utilizado para predecir el resultado de eventos aleatorios mediante el uso de una computadora. Consiste en generar un gran número de posibles resultados (llamados "muestras") y utilizar estadísticas para determinar la probabilidad de ciertos resultados.

#### 3.7.1 Como funciona

En general se basa en generar modelos de posibles resultados a través de la sustitución de un rango de valores, para cualquier factor con incertidumbre inherente. Monte Carlo es un método enfocado a la resolución de problemas, el cual consiste en generar posibles escenarios resultantes de una serie de datos iniciales [40], [41].

Monte Carlo predice un conjunto de resultados basándose en un rango estimado de valores frente a un conjunto de valores de entrada fijos, crea un modelo de resultados posibles aprovechando una distribución de probabilidad, por ejemplo, una distribución uniforme o normal, para cualquier variable que tenga una incertidumbre inherente [42].

Calcula los resultados repetidamente, utilizando cada vez un conjunto diferente de números aleatorios entre los valores mínimo y máximo. En un experimento típico de Monte Carlo, el ejercicio puede repetirse miles de veces para generar un gran número de resultados probables.

### 3.7.2 Ventajas

Algunas de las ventajas que proporciona Monte Carlo son:

- **Ofrece resultados gráficos:** mediante los datos generados por el método, es sencillo generar gráficos de diferentes resultados y las posibilidades de que sucedan, de esta forma se tiene una mejor apreciación de los resultados.
- **Análisis de sensibilidad:** en el método resulta más fácil observar que variables introducidas tienen mayor influencia sobre los resultados finales.
- **El análisis de escenario:** usando Monte Carlo, los analistas pueden apreciar exactamente los valores que tienen cada variable cuando se producen ciertos resultados, este hecho es valioso ya que permite profundizar en los análisis.
- **Correlación de variables de entrada:** también permite modelar relaciones interdependientes entre distintas variables de entrada, este hecho es importante ya que permite averiguar con precisión la razón real de porque algunos factores tienden a subir, y otros suben o bajan paralelamente.

## 3.8 SIMULACIÓN DE MONTE CARLO

Es una técnica estadística basada en el muestreo sistemático de variables aleatorias para obtener simulaciones aleatorias repetidas de un escenario conocido, de modo que todas dichas repeticiones o simulaciones proporcionen una visión global de un escenario representado. El método de Monte Carlo permite realizar incertidumbres a variables de entrada de medición y examina las incertidumbres de los resultados de algunas manipulaciones básicas. La simulación de Monte Carlo utiliza un dispositivo de aleatorización para asignar un valor a cada variable aleatoria, en relación con su distribución de probabilidad [43].

### 3.8.1 Datos de Entrada del Modelo de Monte Carlo

En el método de Montecarlo se puede aplicar a modelos matemáticos complejos añadiendo la incertidumbre a sus entradas. Esta técnica se puede aplicar a cualquier modelo de probabilidad que incluye una serie de variables aleatorias con su distribución de probabilidad.

### 3.8.2 Modelo Matemático de Monte Carlo

La técnica de Monte Carlo utiliza un dispositivo de aleatorización para asignar un valor a cada variable aleatoria, en relación con su distribución de probabilidad. Dado que los resultados de la simulación dependen de factores aleatorios, las repeticiones posteriores de la misma simulación reproducirán resultados diferentes. Por lo general, una simulación de Monte Carlo se repetirá varias veces para determinar un resultado promedio o esperado [44].

### 3.8.3 Variables de Salida del Modelo de Monte Carlo

La técnica de Monte Carlo se utiliza normalmente para estimar una o más medidas de un sistema. Las simulaciones repetidas pueden considerarse ensayos aleatorios independientes. Para cada evento se puede considerar que se obtiene un parámetro de simulación  $Y$  que debe examinarse. La simulación repetida produce los resultados  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ , que podemos considerar como variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas cuya distribución se desconoce.

$$\frac{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n}{n} = Y \quad (3.1)$$

Donde  $n$  es el número de repeticiones que se realiza. En la mayor parte de los casos, la aproximación “**normal**” es bastante buena. cuando  $n \geq 10$  [44].

La **distribución normal** es una de las formas más común entre todas las distribuciones de probabilidad implementadas en Estadística y tiene importantes aplicaciones en la modelización de variables estadísticas.

## 4 MODELADO DE SIMULACIÓN DE LOS LABORATORIOS Y CARACTERIZACIÓN DE LAS CARGAS

### 4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS LABORATORIOS Y CONSUMO ENERGÉTICO

#### 4.1.1 Ubicación y localización

La Universidad Técnica de Cotopaxi en su extensión “La Matriz”, se encuentra ubicada en el cantón Latacunga – Ecuador, la institución forma profesionales de excelencia, humanistas e investigadores, genera ciencia y tecnología vinculada con la sociedad.

Dispone de una amplia infraestructura dentro de los laboratorios de la facultad de CIYA, en dichas instalaciones se encuentran equipos y maquinarias esenciales, para la formación de profesionales dentro del área de ingeniería.



**Figura 4.1** Universidad Técnica de Cotopaxi La Matriz [1].

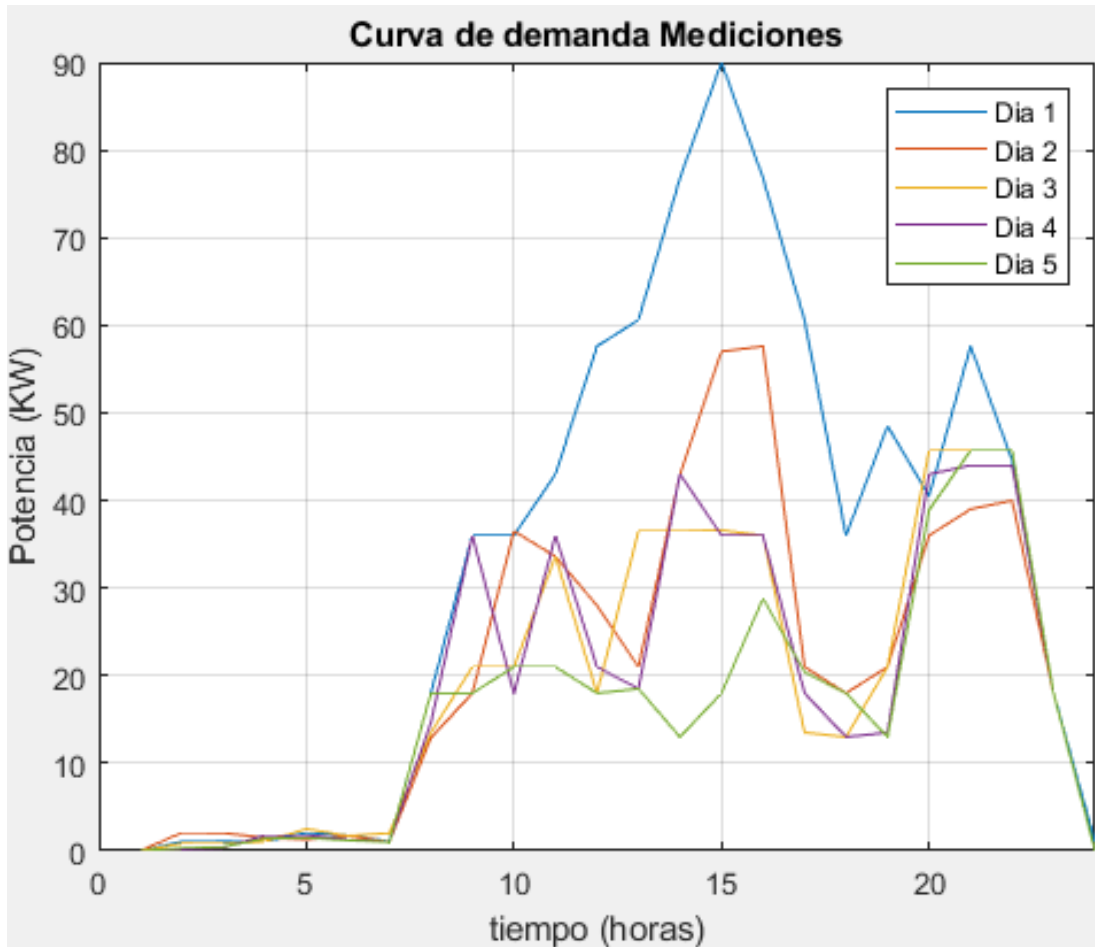
#### **4.1.2 Recopilación de información de consumo de energía eléctrica**

La alimentación en la infraestructura de los laboratorios de la Facultad de CIYA pertenecientes a la Universidad Técnica de Cotopaxi, la conforma un transformador de 300 kVA, ya que la demanda eléctrica dentro de dichas instalaciones es considerable, la facturación del consumo eléctrico consta de un medidor número 940, cabe mencionar que el consumo eléctrico dentro de las instalaciones es totalmente disperso.

De manera complementaria, dentro de las instalaciones de los laboratorios de la facultad de CIYA se desarrolló un caso de estudio, donde se ha realizado ciertas mediciones de potencia durante 5 días en un lapso de 24 horas.

El registro de mediciones se lo ha realizado mediante el uso del analizador de red Fluke 435, los datos han sido obtenidos en tiempo real y con un tiempo de muestreo de 15 minutos. El analizador de red fue instalado en el tablero principal de distribución existente en el sistema eléctrico de los laboratorios de la facultad de CIYA. La obtención de la potencia en cada hora del día ha sido conseguida promediando los 4 valores medidos dentro de esa hora. En el **Anexo B**: Tabla de mediciones de potencia, se presentan los valores medidos.

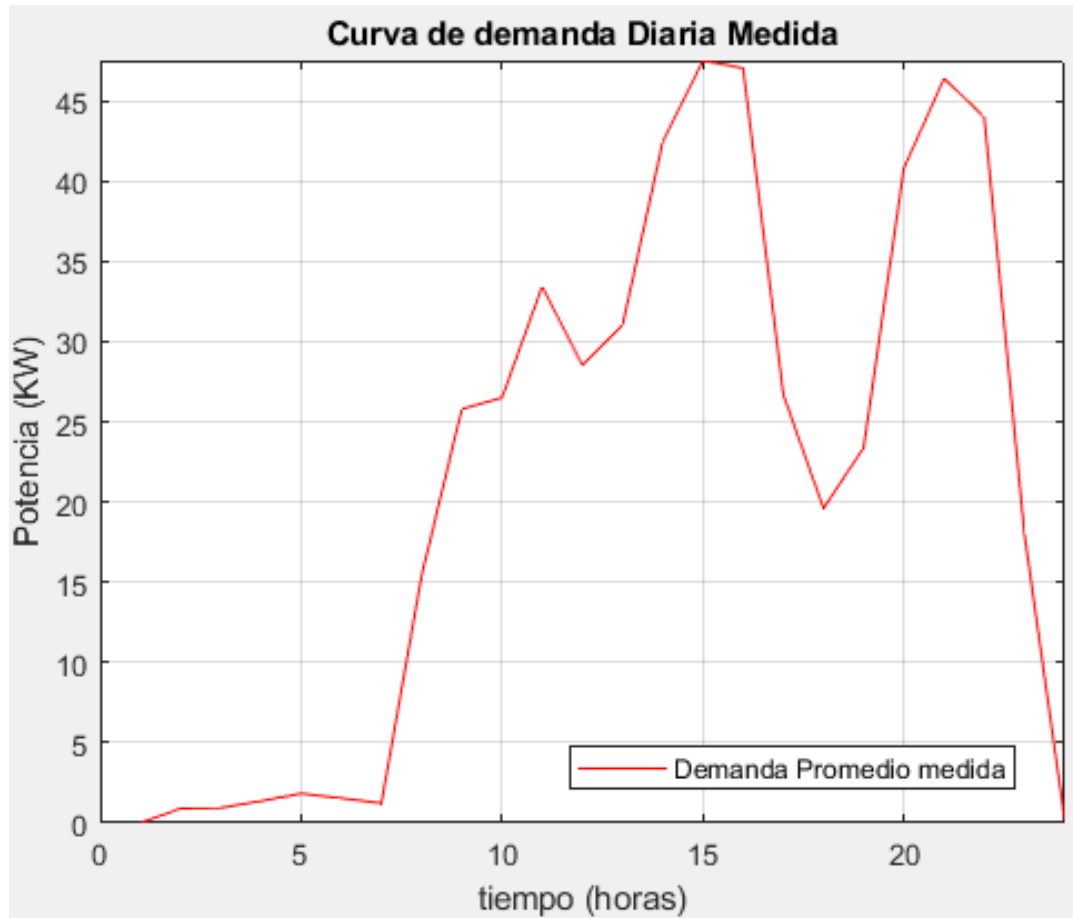
Las mediciones han sido desarrolladas considerando la norma IEC 61000-4-30 y la norma IEEE 1159, mismas que determinan los días de medición y el tiempo de muestreo. El resultado obtenido son cinco curvas de carga diaria mismas que se encuentran representadas en la Figura 4.2.



**Figura 4.2** Curvas de demanda diarias medidas en 5 días consecutivos.

Como se puede apreciar en la Figura 4.2, cada curva de medición posee un comportamiento distinto, este hecho se debe a la naturaleza estocástica de las cargas eléctrica presentes en las instalaciones de los laboratorios de CIYA. El pico más alto dentro de dichas demandas posee un valor de 90 kW.

De las cinco curvas medidas y presentadas existe una curva con un mayor nivel de consumo correspondiente al día uno. A través de las mediciones realizadas en cada día es posible generar una curva promedio de consumo diario, obtenida al promediar los valores de la potencia en cada hora especificada.

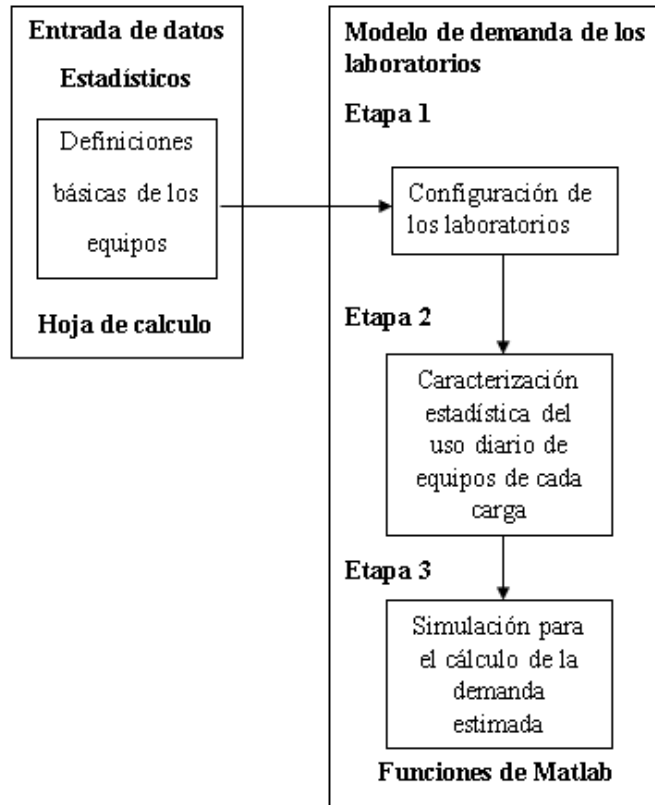


**Figura 4.3** Curva real de demanda diaria promediada.

La nueva curva estimada de demanda promedio al día se representa en la **Figura 4.3**.

#### **4.2 Descripción de las etapas de simulación.**

Para el desarrollo de la simulación del método Monte Carlo, se ha elaborado un diagrama de las etapas, que sirve para usar los parámetros o información de entrada y salida de cada etapa, esto con la finalidad de obtener las curvas de demandas diarias simuladas. Se han definido un total de tres etapas principales presentadas en la Figura 4.4.



**Figura 4.4** Diagrama de estructura de la simulación.

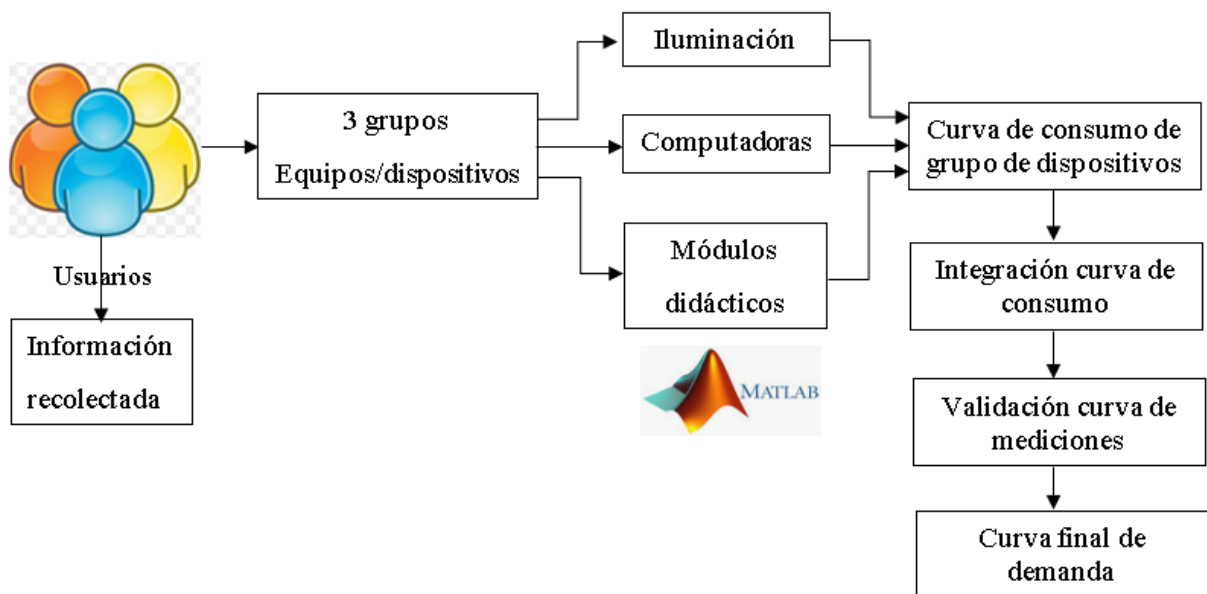
- **Etapa 1:** se refiere a la configuración del sistema eléctrico de los laboratorios, en este punto se identifica la infraestructura, se levanta la información de cantidad y características de los equipos y dispositivos que se encuentran en el sistema. Se desarrolla una clasificación de cargas por grupos de acuerdo a características comunes, se almacena toda esta información en una hoja de cálculo de Excel y se elabora el perfil de consumo eléctrico de cara grupo de cargas.
- **Etapa 2:** se determina los hábitos diarios de cada uno de los equipos a través de métodos estocásticos, dentro de esta etapa se establece cuantas veces se usa un equipo al día y se desarrollan funciones de probabilidad de uso a cada grupo de dispositivos, dichas funciones se almacenan en una hoja de cálculo junto con el perfil de consumo para ser utilizadas como entrada al algoritmo de simulación.
- **Etapa 3:** se aplica la simulación del método Monte Carlo, donde se define el número de ensayos o repeticiones para generar las curvas de demanda diarias de cada grupo de equipos. Se realiza el cálculo de las curvas de demanda agregada que es el resultado de todas las curvas de cargas. Del conjunto de curvas que entrega el método de Monte Carlo se calcula una curva de demanda promedio de los laboratorios, la cual se valida

mediante métodos estadísticos de correlación con las mediciones reales para comprobar su grado de correlación.

#### 4.2.1 Configuración del sistema eléctrico y caracterización de los equipos

La simulación requiere como entrada una caracterización de equipos que permita agruparlos de acuerdo al comportamiento y consumo de energía similares. También se puede realizar la sensibilidad en torno al uso de aparatos más eficientes, tecnológicos y cambios en la manera en que se usan cada uno de los distintos equipos, tratando de mejorar el consumo de energía eléctrica.

De manera similar a la investigación [45], donde el grupo de cargas de estudio han sido divididas en grupos de electrodomésticos, esta consideración ha sido tomada en cuenta para aplicarla en el presente estudio de investigación, donde se ha identificado tres categorías de cargas mismas que han sido agrupadas como se logra apreciar en la Figura 4.5. Los tres grupos de carga corresponden a: iluminación, computadoras y módulos didácticos estas cargas han sido consideradas debido al uso de tendencia que presentan a lo largo de la semana.



**Figura 4.5** Esquema general de la categorización de las cargas como entrada para la simulación.

El detalle de las cantidades, especificaciones de cada una de las cargas, así como las dimensiones y características utilizadas, han sido obtenidas a través de la observación directa dentro de la infraestructura de los laboratorios, también se han utilizado documentos técnicos, catálogos y manuales, para complementar ciertos aspectos dentro de las características eléctricas. En la Tabla 4.1, se presenta la información para el desarrollo de la simulación.



**Tabla 4.1** Listado de categorías de equipos y características eléctricas.

Dispositivos		Energía promedio por hora (Wh)	Características eléctricas
Iluminación	LEDs	9	<b>Cantidad:</b> 267 <b>Longitud:</b> 60 cm <b>Flujo:</b> 860 Lm <b>Potencia:</b> 9 W
		48	<b>Cantidad:</b> 242 <b>Longitud:</b> 120 cm <b>Flujo:</b> 1600 Lm <b>Potencia:</b> 18 W
	Fluorescentes	18	<b>Cantidad:</b> 23 <b>Longitud:</b> 60 cm <b>Flujo:</b> 1150 Lm <b>Potencia:</b> 18 W
		32	<b>Cantidad:</b> 5 <b>Longitud:</b> 120 cm <b>Flujo:</b> 2500 Lm <b>Potencia:</b> 32 W
Computadoras	Escritorio (Laboratorio)	266	<b>Cantidad:</b> 46 <b>Consumo CPU:</b> 250 W <b>Consumo monitor:</b> 16 W
Módulos didácticos	MOD 1	873	<b>Cantidad:</b> 1 <b>Potencia:</b> 746 W
			<b>Cantidad:</b> 1 <b>Potencia:</b> 127 W
	MOD 2	743	<b>Cantidad:</b> 1 <b>Potencia:</b> 373 W
			<b>Cantidad:</b> 1 <b>Potencia:</b> 370 W
	MOD 3	1870	<b>Cantidad:</b> 1 <b>Potencia:</b> 1500 W
			<b>Cantidad:</b> 1 <b>Potencia:</b> 370 W
	MOD 4	1000	<b>Cantidad:</b> 1 <b>Potencia:</b> 1000 W
	MOD 5	1000	<b>Cantidad:</b> 1 <b>Potencia:</b> 1000 W
	MOD 6	800	<b>Cantidad:</b> 1 <b>Potencia:</b> 800 W
	MOD 7	800	<b>Cantidad:</b> 1 <b>Potencia:</b> 800 W
	MOD 8	1000	<b>Cantidad:</b> 1 <b>Potencia:</b> 1000 W
MOD 9	800	<b>Cantidad:</b> 1 <b>Potencia:</b> 800 W	
MOD 10	300	<b>Cantidad:</b> 1 <b>Potencia:</b> 300 W	
MOD 11	300	<b>Cantidad:</b> 1 <b>Potencia:</b> 300 W	

La Figura 4.6, presenta un resumen de las cantidades de equipos a considerar para el desarrollo de la simulación.

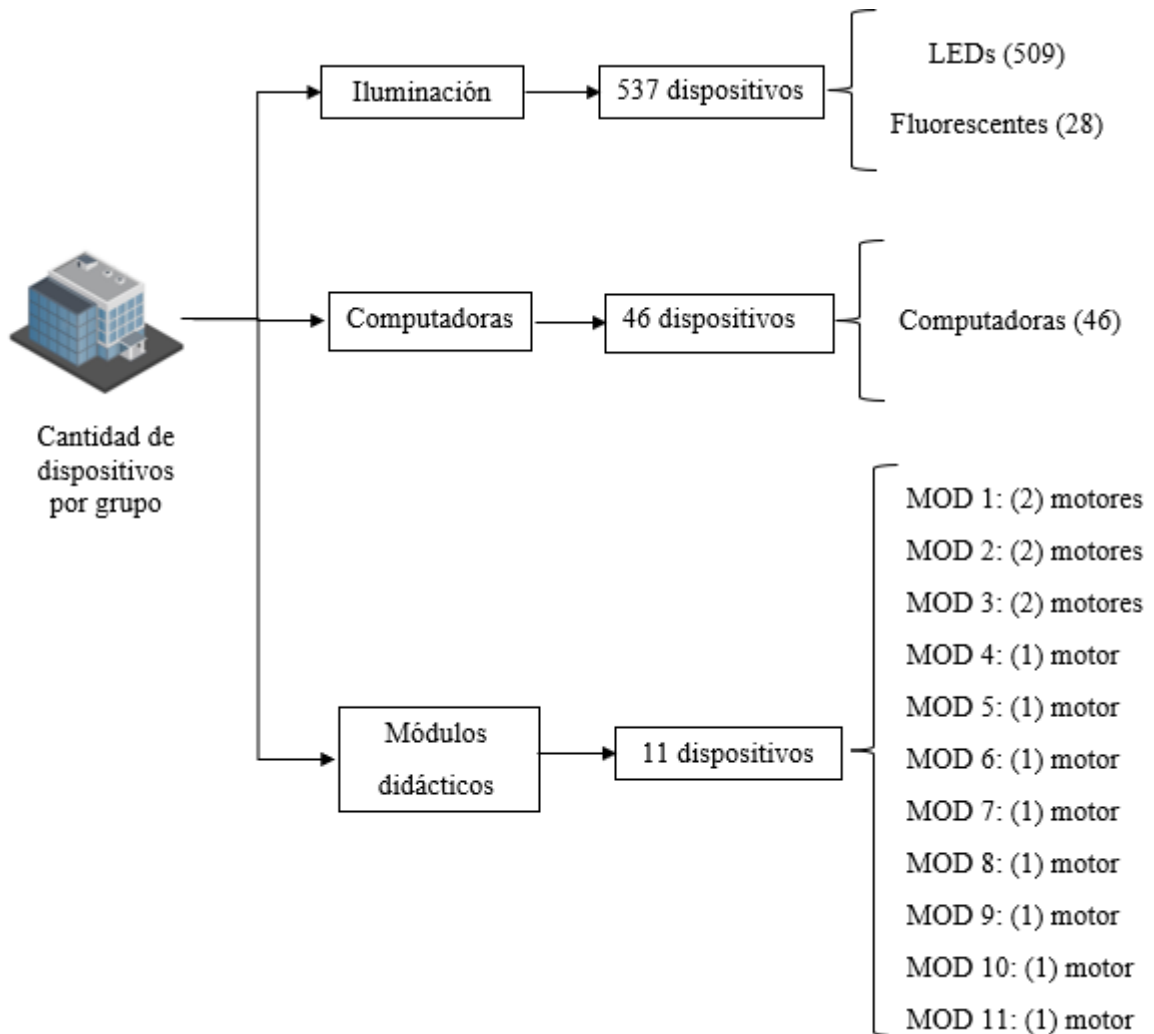
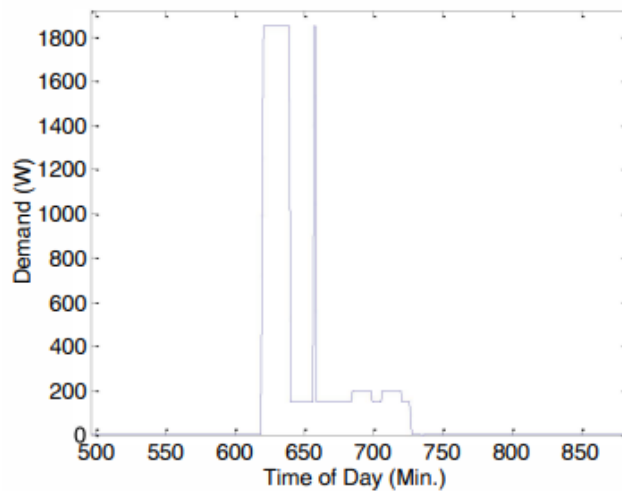


Figura 4.6 Cantidad de dispositivos por grupo de carga.

### 4.3 Elaboración de los perfiles de consumo

El perfil de consumo para cualquier carga existente en un sistema eléctrico, muestra la forma en como dicha carga consume la electricidad dentro de su periodo de funcionamiento. Por ejemplo, Intisar Sajjad, Gianfranco Chicco, Majid Aziz y Akhtar Rasool realizan un estudio sobre “Potencial de Flexibilidad de la Demanda Residencial - Escenario Italiano” [46], donde expone el perfil de consumo de algunos equipos típicos existentes en las viviendas. En el caso de una lavadora durante todo su ciclo de funcionamiento no mantiene un consumo constante, la forma de consumo durante un ciclo completo de este equipo oscila entre los 140 minutos, mostrando ciclos de encendido y apagado como se puede apreciar en la Figura 4.7.



**Figura 4.7** Ejemplo del perfil de consumo de una lavadora [46].

En otros dispositivos también se puede apreciar perfiles de consumo variados, mismo que no se hallan en las especificaciones otorgadas por el fabricante. El dato típico del cual si se dispone es la energía total consumida en todo un ciclo de funcionamiento o en una unidad de tiempo.

Según [47], al desarrollar un modelo de un perfil de consumo de un equipo asumiendo que posee un consumo constante de energía eléctrica no es lo más adecuado, ya que llevaría a obtener resultados excesivos de energía dentro de las instalaciones, por ello es más adecuado elaborar una aproximación más acertada al perfil de consumo de un equipo, mismo que se puede obtener al indagar información detallada del funcionamiento del equipo o realizando ensayos y pruebas experimentales a través de un instrumento de medición de potencia y energía.

Al considerar esta situación, el presente proyecto de investigación reúne información de estudios previamente realizados sobre el ciclo de funcionamiento de las cargas existentes en el área de estudio propuesta, también se deduce ciertos perfiles de consumo en base a la experiencia y catálogos.

#### **4.3.1 Desarrollo del perfil de consumo de la iluminación**

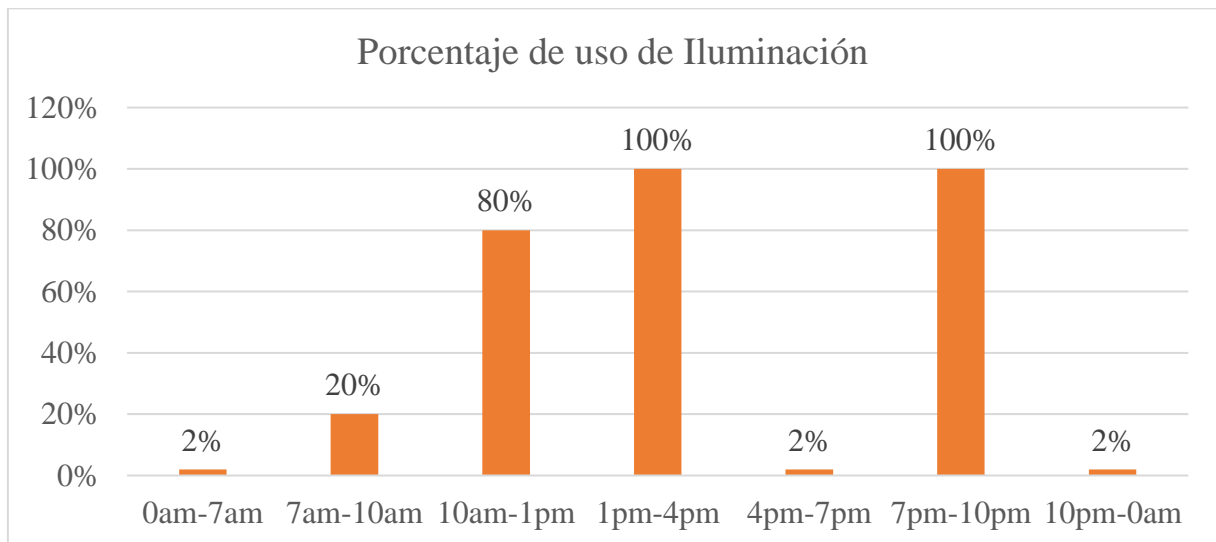
Para establecer el perfil de consumo de la iluminación, se ha realizado un sondeo a las personas a cargo de las instalaciones de los laboratorios de la facultad de CIYA, donde se ha realizado encuestas, para determinar el porcentaje de uso de dichos aparatos, ya que a lo largo del día se ha observado que no se utilizan al 100% todas las lámparas existentes dentro de las instalaciones, el uso depende totalmente de la franja horario.

Considerando dichos antecedentes se elabora la Tabla 4.2, donde se establece un porcentaje de uso de la iluminación dentro de cada franja horario con respecto al uso total de la iluminación.

**Tabla 4.2** Franja horario de uso de la iluminación.

Hora	Porcentaje
0am-7am	2%
7am-10am	20%
10am-1pm	80%
1pm-4pm	100%
4pm-7pm	2%
7pm-10pm	100%
10pm-0am	2%

El realizar un análisis de los testimonios y encuestas realizadas al personal a cargo de las instalaciones, se procede a establecer la Figura 4.8, que muestra los porcentajes de uso de la iluminación durante el día respecto del total. Siendo el 100% el valor que identifica que se usan todos los dispositivos de iluminación, como se puede apreciar existen dos horarios con este perfil correspondiente a los intervalos de 1pm-4pm y 7pm-10pm.



**Figura 4.8** Porcentaje de uso de iluminación.

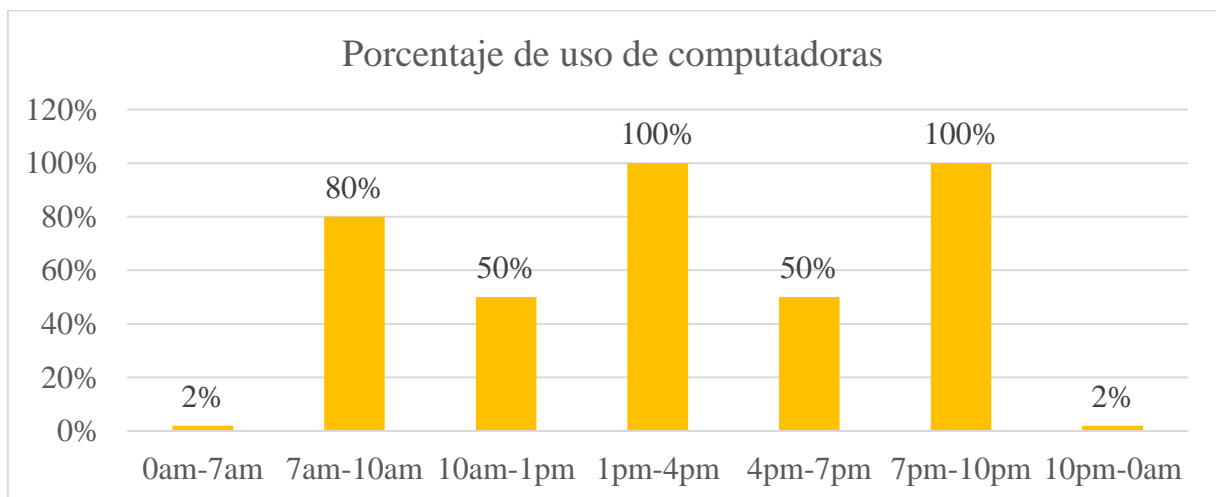
#### 4.3.2 Desarrollo del perfil de consumo de los laboratorios de simulación

El perfil de consumo de los laboratorios de simulación contempla la carga de las computadoras, la Tabla 4.3, presenta los porcentajes establecidos dentro de la franja horario para las computadoras del laboratorio de simulación.

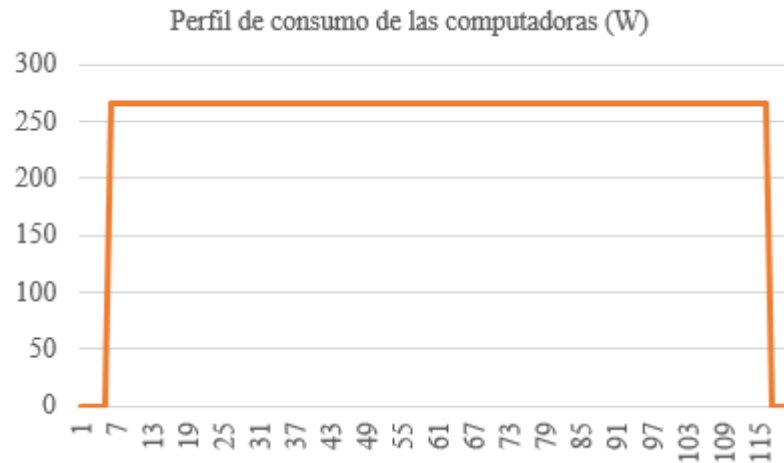
**Tabla 4.3** Franja horario de uso de las computadoras.

Hora	Porcentaje
0am-7am	2%
7am-10am	80%
10am-1pm	50%
1pm-4pm	100%
4pm-7pm	50%
7pm-10pm	100%
10pm-0am	2%

La Figura 4.9, muestra los porcentajes de uso del laboratorio de simulación durante el día, como se puede apreciar el comportamiento de esta carga presenta tres horarios considerables de consumo, donde el 80% le corresponde al horario de 7am-10am, y los horarios de 1pm-4pm y 7pm-10pm presentar un consumo al 100%, este hecho se debe a que se ha considerado el número de clases y horas donde existe consumo por parte de los equipos.

**Figura 4.9** Porcentaje de uso de las computadoras.

Las computadoras del laboratorio de simulación, se usan un promedio de 4 veces por día, y cada clase dura un intervalo de 2 horas, se puede apreciar un consumo constante de cada equipo en este intervalo. Cada equipo cuenta de un CPU de 250 W y de un monitor de 16 W, obteniendo una potencia de 266 W en cada dispositivo, estos datos se los ha descrito en la Tabla 4.1. El perfil de consumo durante 2 horas para esta carga se lo representa con la Figura 4.10.



**Figura 4.10** Perfil de consumo de las computadoras en un lapso de 2 horas.

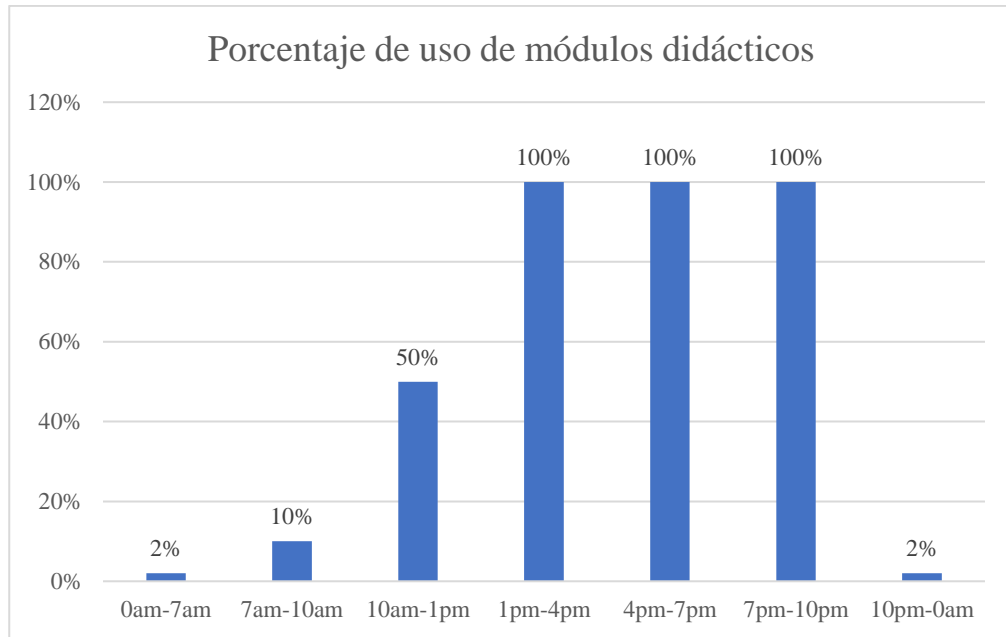
### 4.3.3 Desarrollo del perfil de consumo del laboratorio de control industrial.

El perfil de consumo de los laboratorios de control industrial contempla la carga los módulos didácticos, la Tabla 4.4 presenta los porcentajes establecidos dentro de la franja horario para los módulos didácticos del laboratorio de control industrial.

**Tabla 4.4** Franja horario de uso de los módulos didácticos.

Hora	Porcentaje
0am-7am	2%
7am-10am	10%
10am-1pm	50%
1pm-4pm	100%
4pm-7pm	100%
7pm-10pm	100%
10pm-0am	2%

La Figura 4.11, muestra los porcentajes de uso del laboratorio de control industrial durante el día, como se puede apreciar el comportamiento de esta carga presenta tres horarios considerables de consumo, los horarios de 1pm-4pm, 4pm-7pm y 7pm-10pm presentan un consumo al 100%, este hecho se debe a que se ha considerado el número de clases y horas donde existe consumo por parte de los equipos.



**Figura 4.11** Porcentaje de uso de módulos didácticos.

Los módulos didácticos cuentan cada uno con dos motores para la realización de prácticas, dichos equipos son utilizados para horas prácticas en clases y practicas individuales desarrolladas por los estudiantes. Se considera un uso promedio de 4 veces al día y un intervalo de 2 horas al igual que las computadoras. Por ello el perfil de consumo para estos dispositivos se lo representa en la Figura 4.12.



**Figura 4.12** Perfil de consumo de módulos didácticos en un lapso de 2 horas.

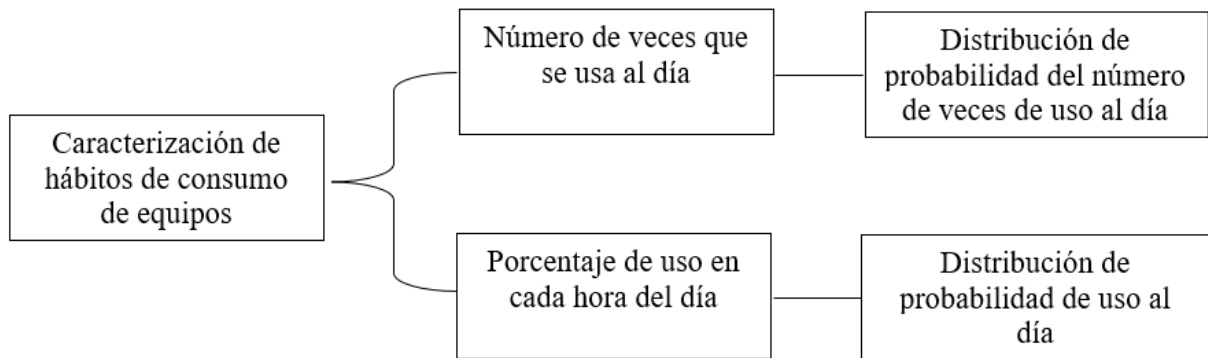
#### 4.3.4 Comportamiento de las cargas eléctricas

La segunda etapa reúne detalles sobre el número de veces que se usa una carga y la distribución de la probabilidad de la frecuencia de uso durante el día. A través de esta información es posible establecer las horas de encendido de las cargas existentes en los laboratorios de la facultad de CIYA, también es posible repartir las veces que se usan en el día de manera aleatoria.

La información base para el reconocimiento de los hábitos de uso de los equipos se representa a través de curvas de probabilidad. La distribución de probabilidad se calcula mediante el análisis de las encuestas realizadas al personal a cargo de los laboratorios, donde se ha recogido la información del porcentaje de uso al día de cada uno de los equipos y la cantidad de veces que se usan, la información obtenida es:

- Número de veces que se usa un equipo al día
- Porcentaje de uso al día

Tomando en cuenta estas características se ha desarrollado las curvas de probabilidad de uso al día, mismas que se pueden interpretar en la Figura 4.13.



**Figura 4.13** Estructura general de la encuesta acerca de los hábitos de consumo de los equipos.

#### 4.3.5 Número de veces que se usa un equipo al día

Dentro del proyecto es importante determinar el número de veces que se utilizan los equipos durante el día. La determinación del número de veces que se utiliza cada dispositivo viene de una **distribución normal** para cada caso [48]. Por ello cada carga depende del lugar en donde se encuentra instalada, en el caso de los laboratorios de CIYA las cargas presentadas corresponden a las veces que se usan, para brindar clases a los estudiantes de las diferentes carreras, por ello las veces que se usan los equipos en el día están determinadas por el número



de clases generadas a lo largo de la franja horario. La distribución del número de clases para cada equipo es:

- Equipos “computadoras”, se implementa su uso en el laboratorio de simulación, posee una normal de  $N(4;0,5)$  clases.
- Equipos “módulos didácticos”, se implementa su uso en el laboratorio de control industrial, posee una normal de  $N(4;0,5)$  clases.

**Tabla 4.5** Parámetros estadísticos.

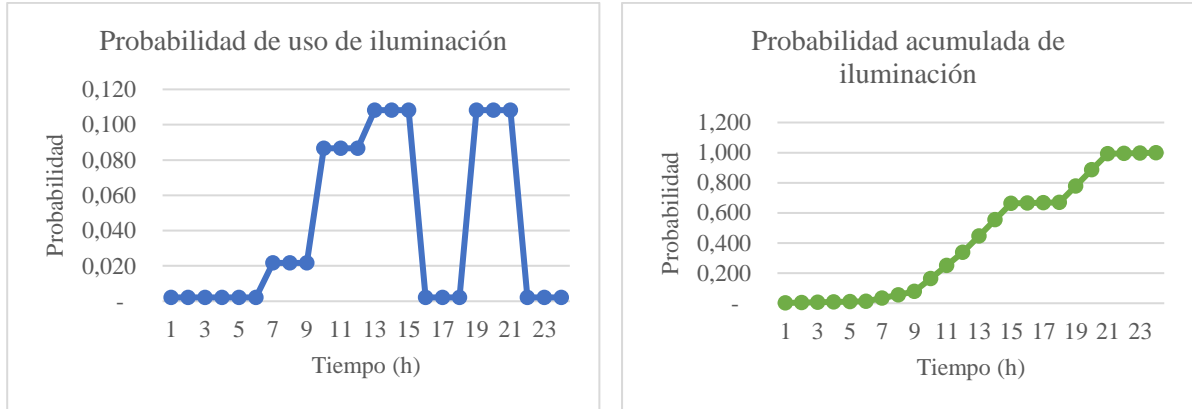
Medidas de tendencia	Valor	Calculo
Media $\mu$	4	El valor de la media corresponde al promedio de clases desarrolladas a lo largo de la franja horario, se considera el número de veces que se usa el equipo al día. Por ejemplo, el día lunes en el laboratorio de simulación 6, existe un total de 4 reservaciones, para las horas de clases.
Varianza $\sigma^2$	0,25	Este parámetro es calculado a través de la formula $\sigma = \sqrt{\sigma^2}$ . Representa la variabilidad de una serie de datos.
Desviación estándar $\sigma$	0,5	Se considera el tiempo promedio que dura cada clase, el tiempo promedio es de dos horas, entonces estas dos horas representan las horas que dura cada clase y es por ello que el valor es calculado mediante: $\sigma = \text{horas clase}/\mu$

Los encendidos de cada equipo son aleatorios cumpliendo con las veces que funcionan al día y cumpliendo con la duración de ciclo de trabajo o perfil de consumo del equipo.

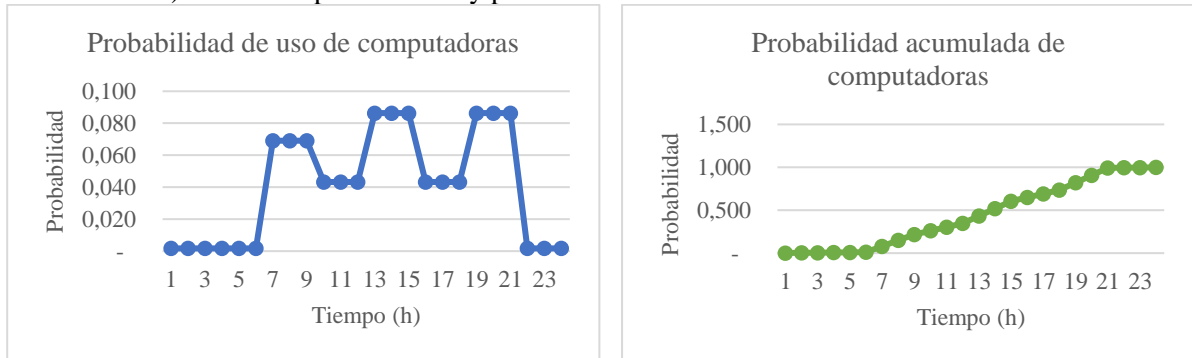
#### 4.3.6 Probabilidad de uso de los equipos durante el día

Para el desarrollo de la probabilidad del uso de los equipos durante un día laborable, se ha considerado las encuestas realizadas al personal a cargo de los laboratorios de la facultad de CIYA, las curvas obtenidas siguen las distribuciones de probabilidad. En la Figura 4.14, se presentan las curvas de probabilidad y las curvas de probabilidad acumulada de cada uno de los dispositivos.

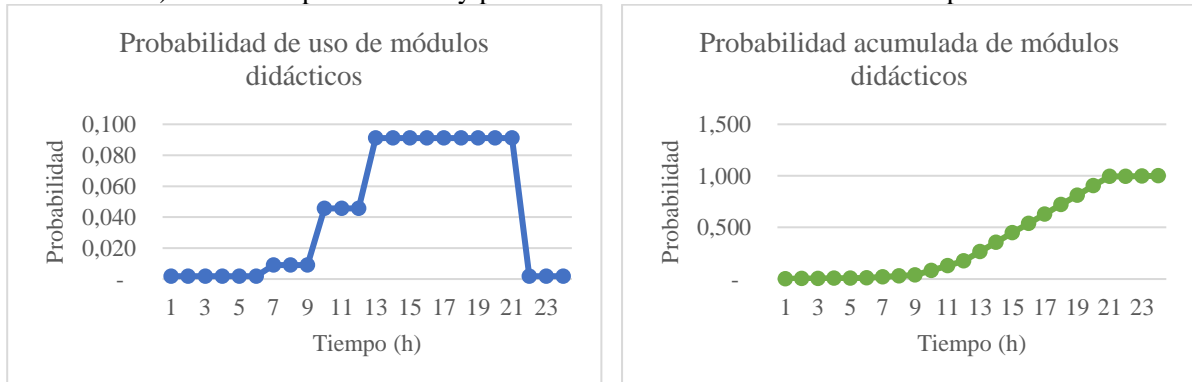
Como se puede apreciar cada curva se comporta de una forma distinta, esto se debe al uso que se les da a los distintos equipos.



a) Curvas de probabilidad y probabilidad acumulada del uso de iluminación



b) Curvas de probabilidad y probabilidad acumulada del uso de computadoras



c) Curvas de probabilidad y probabilidad acumulada del uso de módulos didácticos

**Figura 4.14** Gráficas de distribución de probabilidad y probabilidad acumulada de cada equipo.

## 5 IMPLEMENTACIÓN Y SIMULACIÓN DEL MÉTODO MONTE CARLO

### 5.1 Variables de entrada para la simulación

Las variables de entrada para el desarrollo de la simulación con el método Monte Carlo han sido determinadas en capítulo 4, ya que se ha determinado el perfil de consumo y comportamiento de encendido y apagado de los equipos existentes en las instalaciones. Por ello se ha desarrollado plantillas de Excel que poseen los perfiles de consumo de cada grupo de equipos junto con las variables del comportamiento, mismas que se encuentran resumidas en la Tabla 5.1.

**Tabla 5.1** Variables de entrada para la simulación.

<b>Grupo</b>	<b>Variables</b>
Iluminación	- Número de lámparas - Perfil de consumo - Probabilidad de uso al día
Computadoras	- Número de computadoras - Perfil de consumo - Probabilidad de uso al día - Probabilidad de número de clases al día
Módulos didácticos	- Número de computadoras - Perfil de consumo - Probabilidad de uso al día - Probabilidad de número de clases al día

Cada una de estas variables serán ingresadas a la simulación y pueden ser modificadas directamente desde las plantillas de Excel, los modelos de las plantillas se los representa en el **Anexo C: Plantilla de Excel**.

## 5.2 Algoritmo de simulación

El algoritmo implementado genera un sinnúmero de curvas, perfiles de la demanda eléctrica, determina una demanda promedio, el consumo de energía diaria y mensual existente dentro de las instalaciones de los laboratorios. Dentro de la Tabla 5.2, se presentan los pasos del algoritmo para la simulación del método Monte Carlo.

**Tabla 5.2** Algoritmo del método Monte Carlo.

<b>Algoritmo del método Monte Carlo</b>	
<b>Paso 1</b>	Inicialización de parámetros de control
<b>Paso 2</b>	Carga los perfiles de consumo de los diferentes grupos
<b>Paso 3</b>	Carga el número de dispositivos de cada grupo
<b>Paso 4</b>	Carga las curvas de probabilidad de uso de cada grupo
<b>Paso 5</b>	Inicia la simulación de Monte Carlo hasta el número de repeticiones configuradas <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Inicia parámetros de simulación</li> <li>b) Calcula las curvas de demanda individual de cada equipo                             <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Calcula el número de veces que se usa cada equipo al día</li> <li>ii. Calcula la hora de inicio de cada equipo</li> <li>iii. Rellena el perfil de consumo de cada equipo en la curva</li> <li>iv. Aplica (i) – (iii) para calcular el perfil de consumo para las 24 horas</li> <li>v. Repite del (i) – (iv) para todos los equipos</li> </ul> </li> <li>c) Calcula la curva de demanda diaria de todos los equipos</li> <li>d) Repite el paso (b) y (c) para los 3 grupos</li> <li>e) Calcula las curvas de demanda diaria de las instalaciones</li> </ul> Aplica cálculos y análisis estadísticos a los resultados para obtener una curva de
<b>Paso 6</b>	demandas diarias promedio
<b>Paso 7</b>	Tabula y presenta graficas de resultados
<b>Paso 8</b>	Fin

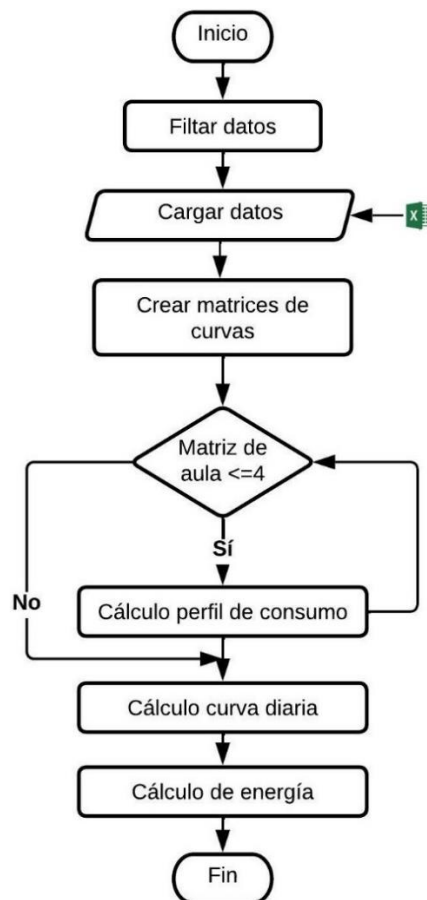
### 5.3 Enfoque probabilístico para determinar el uso de los equipos

El cálculo del tiempo del uso de los equipos, se obtiene a partir de su distribución de probabilidad de uso extraída en la entrada de datos. Por ello para cada equipo se desarrolló una curva de probabilidad con respecto a su hora de llegada, donde cumplirá su perfil de consumo y repetirá el patrón de acuerdo al número de veces que trabaje en el día.

Por ello se realiza:

- Generación de un número aleatorio  $0 \leq x \leq 1$
- Comparación con la probabilidad de uso acumulado
- Repetición del proceso de acuerdo al número de veces que se usa el equipo
- El aparato está en marcha durante la duración del ciclo de trabajo predefinido

Para cada grupo de equipos se puede asociar un diagrama de flujos, mismo que representa una función implementada en el software Matlab. Donde se considera la entrada y la salida de datos necesarios. Dentro de la Figura 5.1, se muestra el diagrama de flujos que corresponde al cálculo de la curva simulada.



**Figura 5.1** Diagrama de flujo de obtención de curva simulada.

#### 5.4 Determinación de curvas de demanda por día

La determinación de la demanda por día de los laboratorios se logra al sumar la demanda en cada unidad de tiempo de los equipos existentes en cada uno de los grupos determinados anteriormente. El cálculo se obtiene aplicando la ecuación (5.1).

$$D_{diaria} = \sum_{i=1}^t D_{grupo1}^i + D_{grupo2}^i + D_{grupo3}^i \quad (5.1)$$

Donde:

$D_{grupo1}^i$ : es la demanda de potencia en el tiempo ( $i$ ) del grupo de iluminación

$D_{grupo2}^i$ : es la demanda de potencia en el tiempo ( $i$ ) del grupo de computadoras

$D_{grupo3}^i$ : es la demanda de potencia en el tiempo ( $i$ ) del grupo de módulos didácticos

$t$ : corresponde al tiempo de muestreo (24 horas corresponde a 1440 minutos)

#### 5.5 Simulación del método Monte Carlo

La propuesta se la ha implementado en el software de simulación Matlab, que permite realizar cálculos computacionales a través de matrices, vectores, extracción de datos de Excel, que facilita mucho la obtención de los resultados del modelo.

En la Tabla 5.3, se presentan los parámetros de control para la simulación.

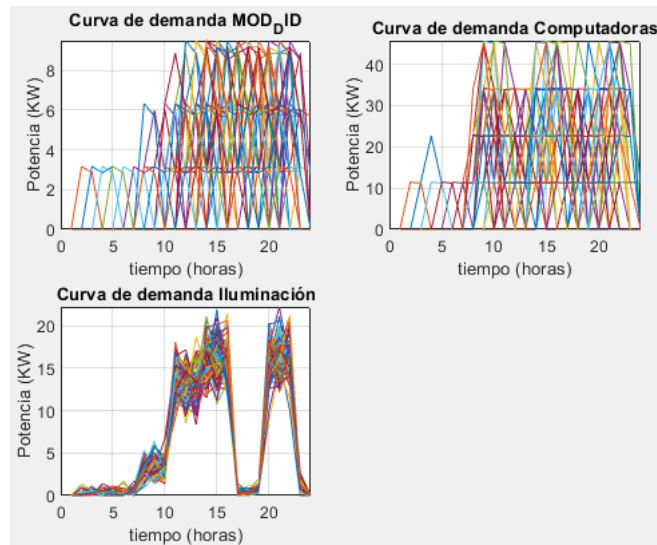
**Tabla 5.3** Parámetros de simulación en Matlab.

Ítem	Grupo		Valores
1	Número de repeticiones		100
2	Tiempo de muestreo		1 minuto
3	Probabilidad de uso al día	Iluminación	Distribución de probabilidad normal
		Computadoras	Distribución de probabilidad normal
		Módulos didácticos	Distribución de probabilidad normal

El diagrama de flujo del punto 5.3 ha sido trasladado a funciones dentro del software Matlab, la programación y los criterios de entrada y salida específicos de los grupos de equipos se presentan en el **Anexo D**: Programa en Matlab y funciones.

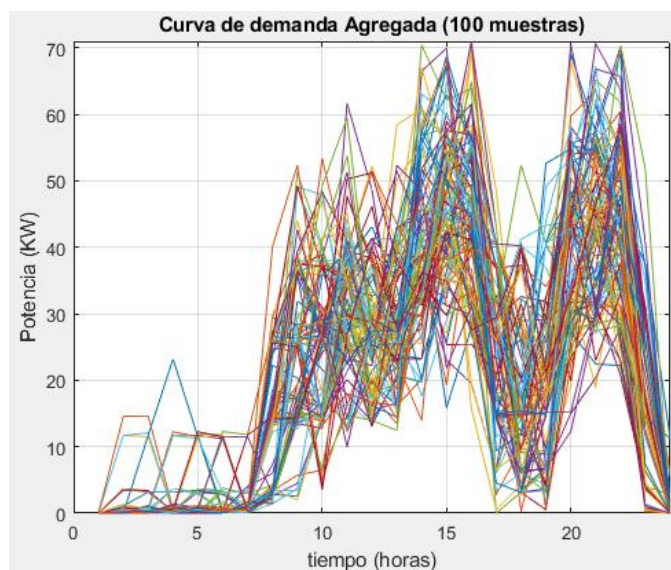
## 5.6 Determinación de las curvas diarias de demanda

Para obtener las curvas de demanda se ha realizado 100 simulaciones, mismas que representan la demanda diaria de cada uno de los grupos de equipos de los laboratorios, como se muestra en la Figura 5.2. En la simulación planteada, al depender de las variables probabilísticas y aleatorias, cada curva generada es diferente al día precedente y a la del día siguiente, este hecho permite desarrollar distintos escenarios posibles para cada día, lo que hace que la simulación se aproxime aún más al comportamiento real del usuario.



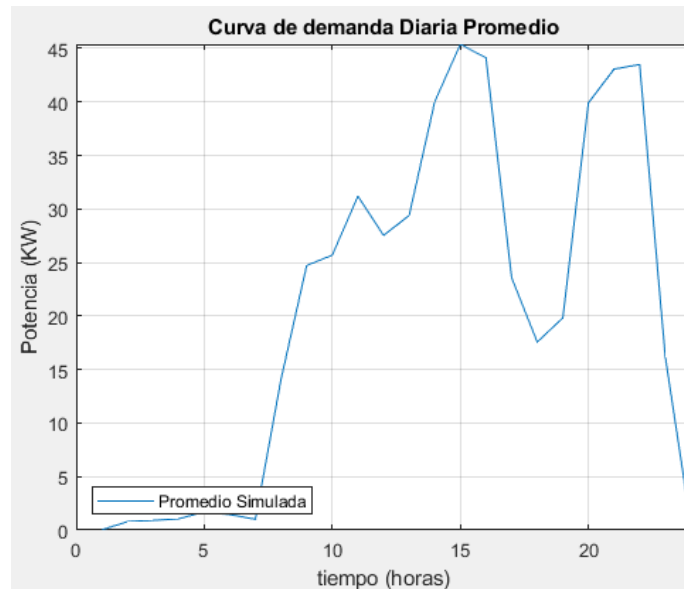
**Figura 5.2** Curvas de demanda de cada grupo de dispositivos.

Como se desea obtener las curvas de demanda diaria, se procede a sumar las potencias de cada grupo en el mismo instante de tiempo y para cada repetición que representa un día a la vez, dicha suma está representada por la Figura 5.3.



**Figura 5.3** Demanda de grupos de dispositivos.

Es factible obtener una curva de demanda diaria promedio, que representa los valores de consumo promedio de las instalaciones del laboratorio en un día laborable cualquiera. La curva se la obtiene realizando una media aritmética de cada uno de los puntos de la curva agregada en el mismo instante de tiempo (hora), el resultado es la representación mostrada en la Figura 5.4.

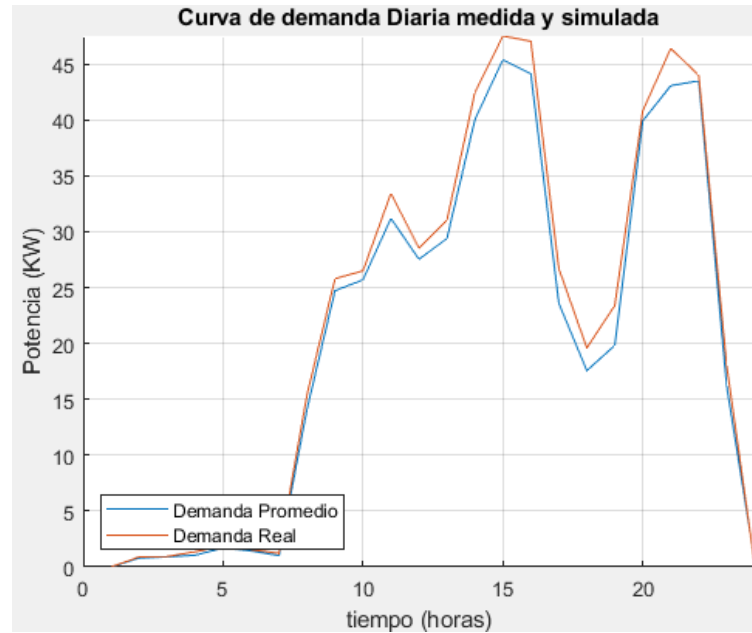


**Figura 5.4** Curva de demanda promedio de los laboratorios.

### 5.7 Validación y verificación de la simulación

La validación permite contrastar los resultados de la simulación para darla por aceptada. Sin embargo, este es un proceso cíclico que se desarrolla durante la simulación, en otras palabras, se lo calibra en cada ejecución y ensayos del mismo para obtener una solución adecuada y lógica. Al tener la simulación terminada se procede a compararla con las mediciones mostradas en el capítulo 4.

Se compara la curva estimada promedio de demanda que fue simulada en Matlab y la curva estimada promedio obtenida a través de las mediciones realizadas con el analizador de red Fluke 435. En la Figura 5.5, se puede apreciar las dos curvas, mismas que presentan cierta similitud en cuanto a su forma, sus picos de potencia y comportamiento, mediante estas observaciones se puede determinar que la simulación desarrollada refleja el comportamiento de consumo de energía existente en las instalaciones de los laboratorios de la facultad de CIYA, y es apto para desarrollar variaciones en el comportamiento de las cargas existentes en dichas instalaciones.



**Figura 5.5** Comparación de curvas de demanda simulada y real.

Mediante la curva simulada se obtiene el comportamiento de la demanda, esto es posible a través de la simulación de Monte Carlo, como se puede apreciar existe un margen de error, mismo que se aprecia en la Tabla 5.4. En este punto se calculó un error absoluto.

**Tabla 5.4** Calculo de error.

Hora	Valor Curva real (kW)	Valor Curva simulada (kW)	Error
11	33,44	31,19	7%
15	47,52	45,4	5%
21	46,4	43,07	8%

### 5.7.1 Cálculo de error cuadrático medio

Es una medida que calcula la diferencia promedio cuadrática entre los valores estimados y los valores reales de un conjunto de datos. Es una herramienta que se utiliza en el análisis de regresión para determinar la precisión de las predicciones hechas por un modelo. El ECM se calcula como la media de los cuadrados de las diferencias entre los valores observados y los valores previstos [49]. Se calcula mediante la ecuación (5.2).

$$ECM = \frac{\sum(O_i - E_i)^2}{n} \quad (5.2)$$

Donde:

$O_i$ : son los valores observados



$E_i$ : son los valores esperados

$n$ : es el tamaño de la muestra

En la Tabla 5.5, se presentan los valores necesarios para el desarrollo del cálculo del error cuadrático medio. Al aplicar la ecuación (5.2), se ha obtenido un error del 3%.

**Tabla 5.5** Valores de potencia real y simulada.

<b>Hora</b>	<b>Real</b>	<b>Simulado</b>	<b>Diferencia</b>
1	0,008	0,005	0,003
2	0,896	0,799	0,097
3	0,940	0,907	0,033
4	1,364	1,051	0,313
5	1,832	1,702	0,130
6	1,540	1,448	0,092
7	1,232	1,008	0,224
8	15,400	14,11	1,290
9	25,800	24,73	1,070
10	26,500	25,7	0,800
11	33,440	31,19	2,250
12	28,520	27,54	0,980
13	31,020	28,39	2,630
14	42,460	40,03	2,430
15	47,520	45,4	2,120
16	47,040	44,12	2,920
17	26,700	23,59	3,110
18	19,600	17,57	2,030
19	23,400	19,83	3,570
20	40,820	39,92	0,900
21	46,400	43,07	3,330
22	44,000	43,5	0,500
23	18,000	16,18	1,820
24	0,206	0,102	0,104
<b>Promedio</b>			0,032

## 5.8 Casos de estudio

Dentro del caso de estudio se pretende desarrollar escenarios, donde se plantean cambios en las cantidades de los equipos, la razón de realizar estos cambios es desarrollar la proyección de la demanda dentro de las instalaciones de los laboratorios. Para el desarrollo de la proyección se estima que en un lapso de dos años la universidad considera la adquisición de más equipos para los laboratorios de la facultad de CIYA. A través de estos escenarios se valida el funcionamiento de la simulación desarrollada.

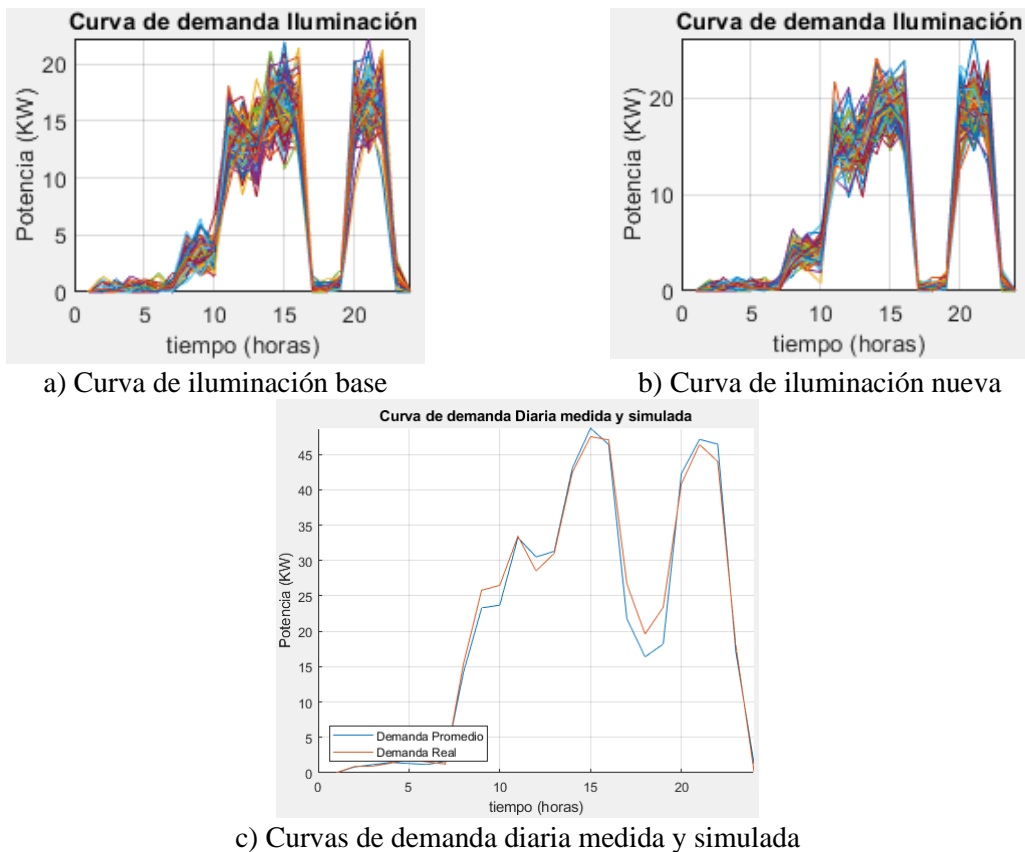
### 5.8.1 Escenario 1 (aumento de lámparas)

El primer cambio a considerar es el aumento en la cantidad de luminarias correspondiente a la carga de iluminación, se ha considerado un aumento de 80 luminarias dentro del grupo de tipo LED, obteniendo un total de 589, el motivo de realizar esta modificación es para generar una proyección dentro de este tipo de carga. Dentro de la Tabla 5.6, se aprecian los valores para la proyección.

En la Figura 5.6, se puede apreciar la comparación de las curvas de demanda diaria promedio y simulada dentro del escenario 1, como se puede apreciar el consumo de energía al momento de aumentar el número de luminarias ha aumentado, por ello el pico dentro de la demanda simulada tiene un valor de 48,72 kW, y en el caso de las curvas pertenecientes al grupo también se logra apreciar que la magnitud del consumo ha cambiado, lo cual se verifica en la figura (b).

**Tabla 5.6** Proyección del escenario 1.

	<b>Cantidad de equipos</b>
<b>Actual</b>	509
<b>Proyectadas</b>	589



**Figura 5.6** Comparación de curvas de demanda diaria promedio y simulada. Escenario 1.

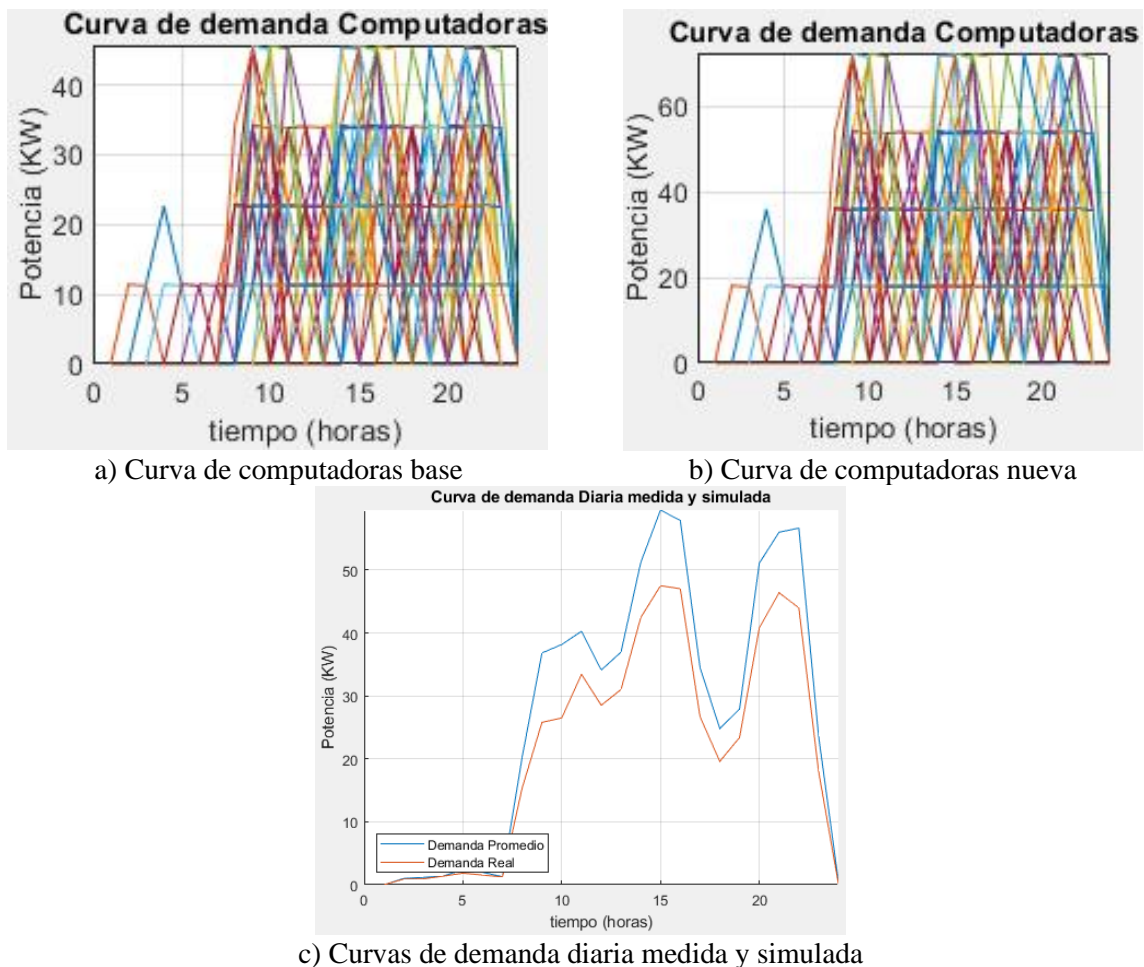
**5.8.2 Escenario 2 (aumento de computadoras)**

Dentro de este escenario se consideran los nuevos equipos implementados en el laboratorio de simulación 7, este grupo de equipos corresponde al grupo de computadoras, por ello se adicionan 27 dispositivos más, para un total de 73 y se considera que todos los dispositivos poseen las mismas características eléctricas. En la Tabla 5.7, se aprecian los valores para la proyección.

Como se puede apreciar al momento de aumentar el número de equipos la carga tiende a crecer estos cambios se los aprecia en la Figura 5.7, el nuevo valor pico que ha alcanzado la demanda promedio es de 59,54 kW.

**Tabla 5.7** Proyección del escenario 2.

	<b>Cantidad de equipos</b>
<b>Actual</b>	46
<b>Proyectadas</b>	73



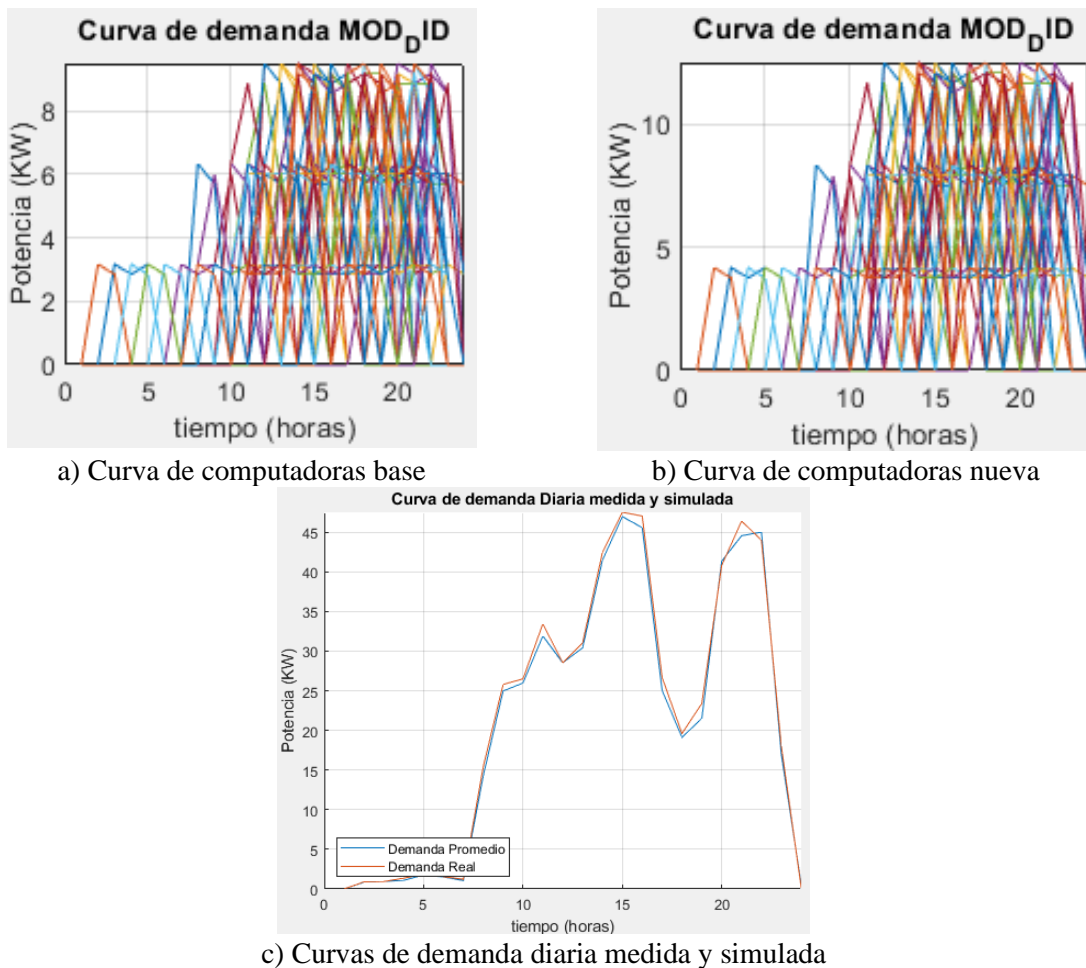
**Figura 5.7** Comparación de curvas de demanda diaria promedio y simulada. Escenario 2.

**5.8.3 Escenario 3 (aumento de módulos didácticos)**

Para el escenario 3 también se considera un criterio similar a los anteriores, donde se ha considerado adicionar 3 módulos didácticos, obteniendo un total de 14 unidades, el aumento de la carga por desarrollar este cambio se aprecia en la Figura 5.8, la demanda pico obtenida en este escenario es de 46,97 kW.

**Tabla 5.8** Proyección del escenario 3.

	Cantidad de equipos
<b>Actual</b>	11
<b>Proyectadas</b>	14



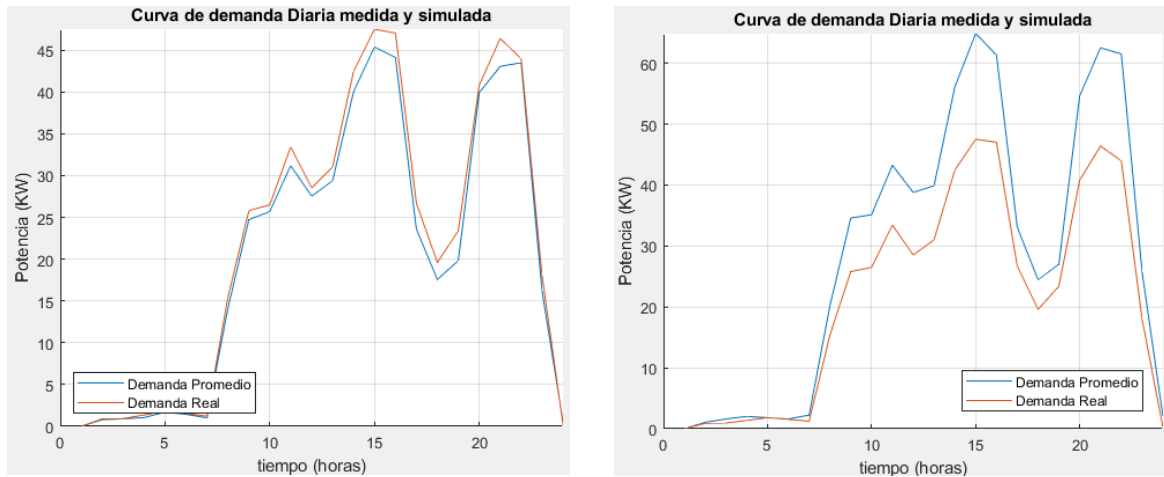
**Figura 5.8** Comparación de curvas de demanda diaria promedio y simulada. Escenario 3.

**5.8.4 Escenario 4 (curva de demanda total con los cambios)**

Dentro del escenario 4 se presenta una comparación entre la curva promedio base y la propuesta a través de los cambios desarrollados en los escenarios anteriores, en cada uno de los escenarios se ha propuesto aumentar el número de equipos dentro de las instalaciones de los laboratorios de CIYA, ya que se ha determinado anteriormente que el transformador de

300kVA se encuentre sobredimensionado, es por ello que es recomendable aumentar el número de cargas dentro del sistema.

A través de los cambios propuestos se observa un crecimiento de la demanda representado en la Figura 5.9, la demanda pico alcanzada posee un valor de 64,87 kW, el transformador existente necesita un mayor consumo, ya que si la carga se sigue manteniendo en los niveles determinados el sistema eléctrico no es eficiente.



a) Curva de demanda promedio base

b) Curva de demanda promedio propuesta

**Figura 5.9** Comparación de curvas promedio. Escenario 4.

### 5.9 Análisis de los resultados obtenidos

En el presente apartado, se describe de una manera global la implementación de la simulación Monte Carlo. A través de esta simulación se ha obtenido el comportamiento del consumo de los laboratorios de la facultad de CIYA, se ha generado un escenario base, sobre dicho escenario se han desarrollado en total 4 escenarios, donde se ha elaborado la proyección del consumo energético para un lapso de dos años. Con los resultados obtenidos en cada uno de los estudios realizados, se aprecia la diferencia en el comportamiento de la curva, y el aumento en el consumo de energía cuyos resultados se aprecian en la Tabla 5.9.

**Tabla 5.9** Energía de los escenarios.

	<b>Energía kWh</b>
<b>Escenario base</b>	10,86
<b>Escenario 1</b>	11,09
<b>Escenario 2</b>	14,30
<b>Escenario 3</b>	11,13
<b>Escenario 4</b>	15,02

## 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

- Mediante la búsqueda de información se ha logrado comprender el funcionamiento del método de Monte Carlo, esto ha permitido el desarrollo adecuado del algoritmo.
- Mediante la determinación de los parámetros de carga, mismos que han sido levantados a través de mediciones y encuestas, se logró identificar las diferentes cargas, para la aplicación de la simulación de Monte Carlo.
- La validación del algoritmo de proyección, se lo ha llevado a cabo mediante pruebas, donde a la simulación se le ha expuesto a distintos escenarios, en el escenario 1 se ha considerado un aumento en el número de lámparas donde se ha obtenido una demanda pico de 48,72 kW, en el escenario 2 se obtiene una demanda pico de 59,54 kW debido al aumento de computadoras, en el escenario 3 debido al aumento de módulos didácticos la demanda pico ha aumentado a 46,96 kW, y dentro del escenario 4 se consideran los cambios mencionado anteriormente donde la demanda pico toma un valor de 64,87 kW, a través de estos escenarios se concluye que la aplicación de la simulación de Monte Carlo es eficiente. A través de esta conclusión se evidencia que la hipótesis ha sido respondida adecuadamente.
- Al momento de analizar las curvas de demanda tanto promedio como la real, obtenidas mediante la simulación y las mediciones, se ha determinado que el transformador de distribución existente en los laboratorios se encuentra sobredimensionado, la carga generada por los distintos dispositivos no aprovecha la capacidad del transformador.
- A través de la simulación Monte Carlo, ha sido posible generar un sinnúmero de curvas, mismas que se han evaluado para obtener una visión global del comportamiento de la curva de demanda.
- Gracias a la técnica Monte Carlo se puede identificar el comportamiento que tiene la potencia y energía en diferentes escenarios sin la necesidad de implementarlos.

### 6.2 Recomendaciones

Debido al tiempo y complejidad de método Monte Carlo, se ha llevado a cabo una simulación con los datos más representativos, por ello se realizan las siguientes sugerencias:

- Se recomienda que para estudios posteriores se realice una comparación de la simulación Monte Carlo con algún otro método estadístico.
- Es recomendable seguir las normas establecidas, mismas que permitirán garantizar el comportamiento adecuado del sistema eléctrico.
- Se recomienda que para futuras investigaciones se incorporen las demás cargas existentes dentro del sistema eléctrico.
- Se recomienda, que al momento de desarrollar un nuevo proyecto donde se vaya a instalar un transformador nuevo, se dimensione con una proyección adecuada de la demanda.
- Se recomienda que para futuros estudios se analice la cargabilidad del transformador.

**7 REFERENCIAS:**

- [1] Universidades de Ecuador, “Universidad Técnica de Cotopaxi.” <https://www.universidades.com.ec/universidad-tecnica-de-cotopaxi> (accessed Oct. 20, 2022).
- [2] M. Chong, “Proyección de series de tiempo para el consumo de la energía eléctrica a clientes residenciales en Ecuador,” Universidad de Concepción, Chile, 2016. Accessed: Apr. 20, 2022. [Online]. Available: [http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/2011/3/Tesis\\_Proyeccion\\_de\\_series\\_de\\_tiempo\\_para\\_el\\_consumo\\_de\\_la\\_energia.Image.Marked.pdf](http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/2011/3/Tesis_Proyeccion_de_series_de_tiempo_para_el_consumo_de_la_energia.Image.Marked.pdf)
- [3] A. Chávez, “Plan maestro de electrificación 2013-2022,” May 21, 2013. <https://www.regulacioneolica.gov.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/Vol2-Estudio-y-gesti%C3%B3n-de-la-demanda-el%C3%A9ctrica.pdf> (accessed Apr. 20, 2022).
- [4] A. Ariza, “Métodos utilizados para el pronóstico de demanda de energía eléctrica en sistemas de distribución,” Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, 2013. Accessed: Sep. 16, 2022. [Online]. Available: <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/ee2fb283-daa7-4987-b747-faa1e42e9711/content>
- [5] OIEA, “Proyecciones de electricidad, cálculo de la demanda a largo plazo.” <https://www.iaea.org/es/temas/proyecciones-energeticas> (accessed Apr. 20, 2022).
- [6] T. Hong, J. Langevin, and K. Sun, “Building simulation: Ten challenges,” *Build Simul*, vol. 11, no. 5, pp. 871–898, Oct. 2018, doi: 10.1007/S12273-018-0444-X.
- [7] D. Kazacos, “Predicción de consumo energético en edificios de oficinas mediante modelos de tipo caja negra,” Brito, 2017. Accessed: Apr. 20, 2022. [Online]. Available: [https://oa.upm.es/48458/1/PFC\\_Duarte\\_Alexis\\_Kazacos\\_Winter\\_Pais\\_Brito.pdf](https://oa.upm.es/48458/1/PFC_Duarte_Alexis_Kazacos_Winter_Pais_Brito.pdf)
- [8] V. Rodilla, F. Castelló, M. Salva, and V. Gallego, “Modelos matemáticos multivariados para la optimización de la eficiencia energética en fábricas y en edificios,” Jul. 05, 2019. <https://www.casadomo.com/comunicaciones/comunicacion-modelos-matematicos-multivariados-optimizacion-eficiencia-energetica-fabricas-edificios> (accessed Apr. 20, 2022).
- [9] A. Riofrío, M. Chamba, J. Cepeda, Y. Lecaro, F. Chimarro, and M. Mora, “Evaluación Probabilística y Gestión del Riesgo de la Cargabilidad de la Red por la Puesta en Servicio del Metro de Quito considerando el Movimiento Estocástico de los Trenes Eléctricos,” Quito, Jan. 11, 2019. Accessed: Jan. 31, 2023. [Online]. Available: <https://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/article/view/370/354>
- [10] L. Mera, P. Otero, and E. Calle, “Aplicación de la Simulación de Montecarlo para el Análisis de la Implementación de Estaciones de Carga Rápida para Vehículos Eléctricos en la Provincia de Galápagos,” Jan. 2021, Accessed: Jan. 31, 2023. [Online]. Available: <https://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/article/view/434/494>



- [11] J. Méndez and H. Hernández, “Aplicación del método dinámico de Monte Carlo en un proyecto de protección,” Oct. 2004, Accessed: Jan. 31, 2023. [Online]. Available: <https://www.pmi.org/learning/library/es-application-dynamic-monte-carlo-method-8862#>
- [12] C. Zapata, L. Piñeros, and D. Castaño, “El método de simulación de Montecarlo en estudios de confiabilidad de sistemas de distribución de energía eléctrica,” Apr. 2004, Accessed: Jan. 31, 2023. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84912053017>
- [13] A. Díaz, J. Cogollos, J. Peña, A. Cogollos, and R. Gonzáles, “Modelo matemático para predecir el consumo de energía eléctrica en la Universidad de Cienfuegos,” Aug. 02, 2020. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2218-36202020000400021](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202020000400021) (accessed Apr. 20, 2022).
- [14] J. N. Castillo, V. F. Resabala, L. O. Freire, and B. P. Corrales, “Modeling and analysis of the sensitivity of the energy consumption of a building using the Monte Carlo method,” 2022. [Online]. Available: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
- [15] A. Ithal, H. Rajamani, R. Alhameed, and M. Jalboud, “Statistical predictions of electric load profiles in the UK domestic buildings,” Jun. 2011. [https://www.researchgate.net/publication/224237366\\_Statistical\\_predictions\\_of\\_electric\\_load\\_profiles\\_in\\_the\\_UK\\_domestic\\_buildings](https://www.researchgate.net/publication/224237366_Statistical_predictions_of_electric_load_profiles_in_the_UK_domestic_buildings) (accessed Apr. 20, 2022).
- [16] B. Savkovic, “Análisis predictivo: Tres cosas que es necesario saber - MATLAB & Simulink.” <https://la.mathworks.com/discovery/predictive-analytics.html> (accessed Apr. 20, 2022).
- [17] D. Arboledas, *Electricidad Básica*, RA-MA. Madrid: RA-MA, S.A., 2014. Accessed: Sep. 28, 2022. [Online]. Available: <https://books.google.com.ec/books?id=0I2fDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=energía+eléctrica+definición&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwj2ou7wurr6AhWimYQIHW-mAWMQ6AF6BAgHEAI#v=onepage&q&f=false>
- [18] J. Escobar, N. Reol, C. Castells, X. Marti, Y. Larruy, and P. Chiva, “La Electricidad,” *IBERDROLA*, vol. 1, 2002, Accessed: Sep. 29, 2022. [Online]. Available: <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2019/05/recorrido-de-la-energía-la-electricidad.pdf>
- [19] A. Orza, “La electricidad: conceptos, fenómenos y magnitudes eléctricas,” *CPI*, vol. 3, 2018, Accessed: Sep. 29, 2022. [Online]. Available: <https://www.edu.xunta.gal/centros/cpiantonioorzacouto/system/files/TEMA%20%20LA%20ELECTRICIDAD%20I.pdf>
- [20] Y. Rueda, “La energía eléctrica,” *studocu*, 2018. <https://www.studocu.com/co/document/corporacion-universitaria-minuto-de-dios/riesgos-quimicos/la-energía-electrica/9873275> (accessed Sep. 29, 2022).
- [21] Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, “Plan Maestro de Electricidad,” 2018, Accessed: Sep. 29, 2022. [Online]. Available:


- <https://www.cnelep.gob.ec/wp-content/uploads/2020/01/Plan-Maestro-de-Electricidad-2018-2027.pdf>
- [22] B. Fiestas, “Ahorro energético en el sistema eléctrico de la Universidad de Piura - Campus Piura,” Universidad de Piura, Piura, 2011. Accessed: Sep. 30, 2022. [Online]. Available: [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1861/MAS\\_IME\\_007.pdf?isAllowed=y&sequence=1](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1861/MAS_IME_007.pdf?isAllowed=y&sequence=1)
- [23] C. Sánchez and H. Fuquen, “Eficiencia Energética,” ISSN, vol. 1, Jun. 2014, Accessed: Oct. 02, 2022. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/333089139\\_EFICIENCIA\\_ENERGETICA](https://www.researchgate.net/publication/333089139_EFICIENCIA_ENERGETICA)
- [24] R. Barreto and E. Toro, “Diagnostico energético en la planta de producción de ceramida de la Universidad Técnica Particular de Loja,” Universidad Nacional de Loja, Loja, 2010. Accessed: Oct. 02, 2022. [Online]. Available: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/13610/1/Barreto%20Calle%2C%20Carlos%20Ra%2C%20BAI%20Toro%20Fern%20A%20Indez%20Edgar%20Moises..pdf>
- [25] AUTODESK, “Acerca de los factores de demanda,” Jul. 15, 2019. <https://knowledge.autodesk.com/es/support/revit/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ESP/Revit-Model/files/GUID-554537D9-842A-46A0-9905-AD41C221EA10-htm.html> (accessed Nov. 20, 2022).
- [26] D. Haro, “Mejora del factor de utilización de transformadores de distribución de la EEQ,” Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2015. Accessed: Nov. 20, 2022. [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10529/1/CD-6229.pdf>
- [27] J. Alvarado, “Carga, demanda y energía eléctrica: Conceptos fundamentales para la distribución de electricidad,” Apr. 30, 2017. <https://www.sectorelectricidad.com/17597/carga-demanda-y-energia-electrica-conceptos-fundamentales-para-la-distribucion-de-electricidad/> (accessed Nov. 24, 2022).
- [28] E. Gualpa, “Análisis de demanda y eficiencia energética en el portador eléctrico del proceso de termofijado en una industria textil.,” Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, 2019. Accessed: Nov. 24, 2022. [Online]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/5687/1/PI-001143.pdf>
- [29] Cambio Energético, “¿Qué es la demanda pico?” <https://www.cambioenergetico.com/blog/demanda-pico/> (accessed Nov. 24, 2022).
- [30] facet, “Curva de Carga o de Demanda.” <https://catedras.facet.unt.edu.ar/centraleselectricas/wp-content/uploads/sites/19/2014/10/Curvas-de-Carga-y-Generaci%C3%B3n.pdf> (accessed Oct. 03, 2022).
- [31] P. Ramón and C. Saavebra, “Análisis y diagnóstico del sistema de subtransmisión a 69 kV, para la demanda actual y para la demanda proyectada al año 2020 en el área de concesión de la ELEPCO S.A.,” Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, 2011.

- Accessed: Nov. 25, 2022. [Online]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/873/1/T-UTC-0625.pdf>
- [32] J. Zamora and F. Piedra, “Proyección espacial de la demanda eléctrica del cantón Cuenca, provincia del Azuay perteneciente a la Centro Sur C.A. mediante la ayuda de las herramientas del CYMSIDT, GIS y estadísticos,” Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 2013. Accessed: Nov. 25, 2022. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3374/1/UPS-CT002553.pdf>
- [33] S. Ramírez, “Redes de Distribución de Energía,” Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Accessed: Nov. 25, 2022. [Online]. Available: <http://blog.espol.edu.ec/econde/files/2012/08/libro-redes-de-distribucion.pdf>
- [34] A. Góngora and L. Cano, “Análisis de la calidad de la potencia y suministro eléctrico en el sistema fotovoltaico de 150 kWp de la universidad autónoma de occidente,” Universidad Autónoma de Occidente, Colombia, 2018. Accessed: Dec. 02, 2022. [Online]. Available: <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/10593/T08260.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- [35] “Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality,” IEEE 1159, Jun. 2019, Accessed: Dec. 02, 2022. [Online]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-ieee-1159-2019-6124>
- [36] FLUKE, “Fluke test and measurement tools.” <https://www.fluke.com/> (accessed Dec. 06, 2022).
- [37] J. Illana, “Métodos Monte Carlo,” Universidad de Granada, Granada, 2013. Accessed: Oct. 04, 2022. [Online]. Available: <https://www.ugr.es/~jillana/Docencia/FM/mc.pdf>
- [38] J. Colorado, “El método de Monte Carlo y el programa de cómputo MCNPX,” Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, Juárez, 2021. Accessed: Jan. 26, 2023. [Online]. Available: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/720/5/A5.pdf>
- [39] E. Salazar and W. Alzate, “Simulación Monte Carlo: Análisis de una herramienta para la proyección del estado de resultados. un estudio de caso”, Accessed: Jan. 26, 2023. [Online]. Available: <https://intercostos.org/documentos/congreso-15/SALAZAR-JIMENEZ.pdf>
- [40] EALDE, “En qué consiste el método de simulación de Monte Carlo,” Aug. 26, 2020. <https://www.ealde.es/metodo-simulacion-monte-carlo/> (accessed Oct. 04, 2022).
- [41] delsol, “Simulación de Montecarlo.” <https://www.sdelsol.com/glosario/simulacion-de-montecarlo/> (accessed Oct. 04, 2022).
- [42] IBM, “¿Qué es la simulación Montecarlo?,” Aug. 24, 2020. <https://www.ibm.com/es-es/cloud/learn/monte-carlo-simulation> (accessed Jan. 26, 2023).
- [43] C. Papadopoulos, “Uncertainty estimation and Monte Carlo simulation method,” Flow Measurement and Instrumentation, vol. 12, no. 4, pp. 291–298, Aug. 2001, doi: 10.1016/S0955-5986(01)00015-2.

- [44] M. Meerschaert, “Simulation of Probability Models,” *Mathematical Modeling*, pp. 301–358, Jan. 2013, doi: 10.1016/B978-0-12-386912-8.50009-9.
- [45] K. Hernández and J. Carrillo, “Análisis de la curva de demanda eléctrica para usuarios residenciales Estrato 4 en la ciudad de Bogotá ante diferencia hábitos de consumo,” Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, 2017. Accessed: Dec. 09, 2022. [Online]. Available: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/5838/HernandezHernandezKellyAlexandra2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [46] S. Intisar, C. Gianfranco, A. Majid, and R. Akhta, “Potential of residential demand flexibility - Italian scenario,” 2014 IEEE 11th International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices, SSD 2014, 2014, doi: 10.1109/SSD.2014.6808849.
- [47] R. Waqas, S. Intisar, and K. Muhammad, “Assessment of Demand Flexibility Potential of Residential Consumers in Pakistan,” ICECE 2018 - 2018 2nd International Conference on Energy Conservation and Efficiency, Proceedings, pp. 77–85, Nov. 2018, doi: 10.1109/ECE.2018.8554981.
- [48] B. Johnson, M. Starke, O. Abdelaziz, R. Jackson, and L. Tolbert, “A MATLAB based occupant driven dynamic model for predicting residential power demand,” Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference, Jul. 2014, doi: 10.1109/TDC.2014.6863381.
- [49] automateexcel, “Cómo Calcular el Error Cuadrático Medio (ECM) – Excel y Google Sheets.” [https://www.automateexcel.com/es/stats/calcular-el-error-cuadratico-medio/#:~:text=El%20Error%20Cuadr%C3%A1tico%20Medio%20\(ECM\)%20es%20una%20estimaci%C3%B3n%20que%20mide,y%20la%201%C3%ADnea%20de%20regresi%C3%B3n](https://www.automateexcel.com/es/stats/calcular-el-error-cuadratico-medio/#:~:text=El%20Error%20Cuadr%C3%A1tico%20Medio%20(ECM)%20es%20una%20estimaci%C3%B3n%20que%20mide,y%20la%201%C3%ADnea%20de%20regresi%C3%B3n). (accessed Feb. 10, 2023).

## 8 ANEXOS

## 8.1 Anexo A: INFORME ANTI PLAGIO PROYECTO DE TITULACION

<b>Facultad:</b>	Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas												
<b>Carrera:</b>	Ingeniería Eléctrica												
<b>Nombre del docente evaluador que emite el informe:</b>	Ing. Castillo Fiallos Jessica Nataly												
<b>Documento evaluado:</b>	Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico												
<b>Autor del documento:</b>	Sr. Yanchatipan Moposita Bryan Ivan												
<b>Programa de similitud utilizado:</b>	Sistema URKUND												
<b>Porcentaje de similitud según el programa utilizado</b>	2%												
<b>Observaciones:</b> Calificación de originalidad atendido a los siguientes criterios: <ul style="list-style-type: none"> <li>• El documento cumple los criterios de originalidad, sin observaciones.</li> <li>• El documento cumple los criterios de originalidad, con observaciones.</li> <li>• El documento no cumple los criterios de originalidad.</li> </ul>	-X- --- ---												
<b>Fecha de realización del informe:</b>	07/02/2023 22:35:00												
<b>Captura de pantalla del documento analizado:</b>													
<p><b>Document Information</b></p> <hr/> <table> <tr> <td>Analyzed document</td> <td>APLICACIÓN DE LA SIMULACIÓN MONTE CARLO.pdf (D158100488)</td> </tr> <tr> <td>Submitted</td> <td>2023-02-07 22:35:00</td> </tr> <tr> <td>Submitted by</td> <td>Carlos</td> </tr> <tr> <td>Submitter email</td> <td>carlos.quinatoa7864@utc.edu.ec</td> </tr> <tr> <td>Similarity</td> <td>2%</td> </tr> <tr> <td>Analysis address</td> <td>carlos.quinatoa7864.utc@analysis.arkund.com</td> </tr> </table> <p>Sources included in the report</p>		Analyzed document	APLICACIÓN DE LA SIMULACIÓN MONTE CARLO.pdf (D158100488)	Submitted	2023-02-07 22:35:00	Submitted by	Carlos	Submitter email	carlos.quinatoa7864@utc.edu.ec	Similarity	2%	Analysis address	carlos.quinatoa7864.utc@analysis.arkund.com
Analyzed document	APLICACIÓN DE LA SIMULACIÓN MONTE CARLO.pdf (D158100488)												
Submitted	2023-02-07 22:35:00												
Submitted by	Carlos												
Submitter email	carlos.quinatoa7864@utc.edu.ec												
Similarity	2%												
Analysis address	carlos.quinatoa7864.utc@analysis.arkund.com												
 <p><b>Tutora</b> <b>Ing. Castillo Fiallos Jessica Nataly</b> <b>C.C. 0604590216</b></p>													

**Document Information**

---

Analyzed document	APLICACIÓN DE LA SIMULACIÓN MONTE CARLO.pdf (D158100488)
Submitted	2023-02-07 22:35:00
Submitted by	Carlos
Submitter email	carlos.quinatoa7864@utc.edu.ec
Similarity	2%
Analysis address	carlos.quinatoa7864.utc@analysis.arkund.com

**Sources included in the report**

---

<b>SA</b>	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / 15-07-02_ESTUDIO-DEMANDA-ELECTRICA_CHIZAGUANO_PALANGO.docx</b>	 <b>10</b>
	Document 15-07-02_ESTUDIO-DEMANDA-ELECTRICA_CHIZAGUANO_PALANGO.docx (D14927589) Submitted by: xavier.proano@utc.edu.ec Receiver: xavier.proano.utc@analysis.arkund.com	
<b>SA</b>	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / Proyecto Formativo de Investigación FERNANDO GALLO.pdf</b>	 <b>1</b>
	Document Proyecto Formativo de Investigación FERNANDO GALLO.pdf (D143585848) Submitted by: carlos.quinatoa7864@utc.edu.ec Receiver: carlos.quinatoa7864.utc@analysis.arkund.com	

**Entire Document**

---

**8.2 Anexo B: Tabla de mediciones de potencia**

Hora	Potencia por día (kW)				
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
1	0,009	0,008	0,008	0,007	0,006
2	1,050	2,080	0,850	0,200	0,300
3	1,070	2,030	0,800	0,350	0,450
4	1,050	1,500	1,070	1,800	1,400
5	2,060	1,300	2,500	1,800	1,500
6	1,800	1,700	1,700	1,300	1,200
7	1,050	1,020	2,030	1,040	1,020
8	18,00	12,90	13,50	14,60	18,00
9	36,00	18,00	21,00	36,00	18,00
10	36,00	36,50	21,00	18,00	21,00
11	43,00	33,60	33,60	36,00	21,00
12	57,60	28,00	18,00	21,00	18,00
13	60,60	21,00	36,50	18,50	18,50
14	76,80	43,00	36,50	43,00	13,00
15	90,00	57,00	36,60	36,00	18,00
16	76,80	57,60	36,00	36,00	28,80
17	60,60	21,00	13,50	18,00	20,40
18	36,00	18,00	13,00	13,00	18,00
19	48,50	21,00	21,00	13,50	13,00
20	40,50	36,00	45,70	43,00	38,90
21	57,60	39,00	45,70	44,00	45,70
22	44,60	40,00	45,70	44,00	45,70
23	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
24	1,000	0,008	0,008	0,007	0,006

### 8.3 Anexo C: Plantilla de Excel

#### - Iluminación

	Potencia (W)	Cantidad de luminarias	Potencia	Psum	PT.luminarias	Pt_Cu	T. luminaria	POTENCIAS		CANTIDAD LAMI																		
LED	9	267	2403	27	7333	27	509	47		509																		
	18	242	4356					50	28	28																		
Fluorecente	18	23	414	50	50	28																						
	32	5	160																									
Perfil de uso								537	RL	6																		
								W		20																		
Hora	Porcentaje	Prob	Acum	Potencia en la hora (kW)																								
1	2%	0,002	0,002	0,14666	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">RESUMEN PERFIL DE USO</th> </tr> <tr> <th>HORA</th> <th>PORCENTAJE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0am-7am</td> <td>2%</td> </tr> <tr> <td>7am-10am</td> <td>20%</td> </tr> <tr> <td>10am-1pm</td> <td>80%</td> </tr> <tr> <td>1pm-4pm</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>4pm-7pm</td> <td>2%</td> </tr> <tr> <td>7pm-10pm</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>10pm-0am</td> <td>2%</td> </tr> </tbody> </table>						RESUMEN PERFIL DE USO		HORA	PORCENTAJE	0am-7am	2%	7am-10am	20%	10am-1pm	80%	1pm-4pm	100%	4pm-7pm	2%	7pm-10pm	100%	10pm-0am	2%
RESUMEN PERFIL DE USO																												
HORA	PORCENTAJE																											
0am-7am	2%																											
7am-10am	20%																											
10am-1pm	80%																											
1pm-4pm	100%																											
4pm-7pm	2%																											
7pm-10pm	100%																											
10pm-0am	2%																											
2	2%	0,002	0,004	0,14666																								
3	2%	0,002	0,006	0,14666																								
4	2%	0,002	0,009	0,14666																								
5	2%	0,002	0,011	0,14666																								
6	2%	0,002	0,013	0,14666																								
7	20%	0,022	0,035	1,4666																								
8	20%	0,022	0,056	1,4666																								
9	20%	0,022	0,078	1,4666																								
10	80%	0,087	0,165	5,8664																								
11	80%	0,087	0,251	5,8664																								
12	80%	0,087	0,338	5,8664																								
13	100%	0,108	0,446	7,333																								
14	100%	0,108	0,554	7,333																								
15	100%	0,108	0,662	7,333																								
16	2%	0,002	0,665	0,14666																								

#### - Computadoras

Cantidad	46	Pcu	266		
Uso diario	4				
Desviacion	0,5		PT	12236	
Perfil de consumo				RESUMEN PERFIL DE USO	
Minutos	Potencia indv (W)	Potencia total (W)	HORA	PORCENTAJE	
1	0	0	0am-7am	2%	
2	0	0	7am-10am	80%	
3	0	0	10am-1pm	50%	
4	0	0	1pm-4pm	100%	
5	0	0	4pm-7pm	50%	
6	266	12236	7pm-10pm	100%	
7	266	12236	10pm-0am	2%	
			Perfil de uso		
			Hora	Porcentaje	Prob
8	266	12236	1	2%	0,002
9	266	12236	2	2%	0,002
10	266	12236	3	2%	0,002
11	266	12236	4	2%	0,002
12	266	12236	5	2%	0,002
13	266	12236	6	2%	0,002
14	266	12236	7	80%	0,069
15	266	12236	8	80%	0,069
16	266	12236	9	80%	0,069
17	266	12236	10	50%	0,043
18	266	12236	11	50%	0,043
19	266	12236			



**- Módulos didácticos**

	HP	W				kW	W				
MOD 1	1	746		RESUMEN PERFIL DE USO		MOD 4	1	1000	3485	9485	
	0,17	127		HORA	PORCENTAJE	MOD 5	1	1000		original	
MOD 2	0,5	373		0am-7am	2%	MOD 6	0,8	800			
	0,496	370		7am-10am	10%	MOD 7	0,8	800			
MOD 3	2,011	1500		10am-1pm	50%	MOD 8	1	1000			
	0,496	370		1pm-4pm	100%	MOD 9	0,8	800	PROYECCION		
PT		9485		4pm-7pm	100%	MOD 10	0,3	300	SE AGREGAN UN TOTAL DE 3 DISP		
				7pm-10pm	100%	MOD 11	0,3	300	MOD 12	1000	
1HP	745,7			10pm-0am	2%			6000	MOD 13	1000	
									MOD 14	1000	
Uso diario	4		743	Perfil de consumo							
Desviacion	0,5			Minutos	Potencia indiv (W)	Potencia total (W)					
	3			1	0	0					
NUM	11	862		2	0	0					
	11			3	0	0					
				4	0	0					
				5	0	0					
				6	0	0					
				7	0	0					
				8	0	0					
				9	0	0					
				10	0	0					
				11	0	0					
				12	0	0					
				Perfil de uso							
				Hora	Porcentaje	Prob	Acum	Potencia en la hora (kW)			
				1	2%	0,002	0,002	0,18970638			
				2	2%	0,002	0,004	0,18970638			
				3	2%	0,002	0,005	0,18970638			
				4	2%	0,002	0,007	0,18970638			
				5	2%	0,002	0,009	0,18970638			
				6	2%	0,002	0,011	0,18970638			
				7	10%	0,009	0,020	0,9485319			

**8.4 Anexo D: Programa en Matlab y funciones**

**- Programa principal**

```
clear all;
clc;

%LECTURA DE HOJA DE DATOS EXCEL
mediciones_G = xlsread('Base_de_datos.xlsx','Mediciones','L4:P27');
%matriz de mediciones del tablero general

perfil_ilu = xlsread('Base_de_datos.xlsx','Iluminacion','J3:J4');
%vector perfil consumo iluminacion (Potencias)
uso_ilu = xlsread('Base_de_datos.xlsx','Iluminacion','D10:D33');
%matriz probabilidad uso iluminacion (Probabilidad acumulada)
num_ilu = xlsread('Base_de_datos.xlsx','Iluminacion','L3:L4');
%cantidad de lamparas

perfil_comp = xlsread('Base_de_datos.xlsx','Computadoras','I7:I126');
%vector perfil consumo laboratorio
uso_comp = xlsread('Base_de_datos.xlsx','Computadoras','N15:N38');
%matriz probabilidad uso laboratorio (Probabilidad acumulada)
num_comp = xlsread('Base_de_datos.xlsx','Computadoras','E2');
%cantidad claes (aula)
clases_comp = xlsread('Base_de_datos.xlsx','Computadoras','D5');
%uso diario

perfil_mod = xlsread('Base_de_datos.xlsx','MOD_DID','I14:I133');
%vector perfil consumo pizarra
uso_mod = xlsread('Base_de_datos.xlsx','MOD_DID','N19:N42');
%matriz probabilidad uso MOD_DID (Probabilidad acumulada)
num_mod = xlsread('Base_de_datos.xlsx','MOD_DID','B14');
%cantidad clases (aula)
clases_mod = xlsread('Base_de_datos.xlsx','MOD_DID','C12');
%uso diario
```

```

tiempo=1:1:1440;
%tiempo de muestreo de 1 min
tiempo_horas=1:1:24;
%tiempo en horas
dia=100;
%define el numero de días a modelar

curvas_ilu=zeros(dia,1440);
%crea la matriz de curvas diarias iluminación
curvas_comp=zeros(dia,1440);
%crea la matriz de curvas diarias laboratorio
curvas_mod=zeros(dia,1440);
%crea la matriz de curvas diarias MOD_DID
curvas_agregadas=zeros(dia,1440);
%crea la matriz de curvas diarias agregada

ener_ilu=zeros(dia,1);
%vector de energía diarios iluminación
ener_comp=zeros(dia,1);
%vector de energía diarios computadoras
ener_mod=zeros(dia,1);
%vector de energía diarios pizarra
ener_agregada=zeros(dia,1);
%vector de energía diaria agregada

for m=1:dia
%bucle para repetir montecarlo curva de demanda de cada tipo de carga por
dia
    [c1,e1]=curva_ilumina(num_ilu,perfil_ilu,uso_ilu);
    [c2,e2]=curva_comp(num_comp,perfil_comp,clases_comp,uso_comp);
    [c3,e3]=curva_mod(num_mod,perfil_mod,clases_mod,uso_mod);

    curvas_ilu(m,:)=c1;
    curvas_comp(m,:)=c2;
    curvas_mod(m,:)=c3;
    curvas_agregadas(m,:)=c1+c2+c3;

    ener_ilu(m)=e1./60000;
    ener_comp(m)=e2./60000;
    ener_mod(m)=e3./60000;
    ener_agregada(m)=ener_mod(m)+ener_comp(m)+ener_ilu(m);
end

curvas_hora_ilu=zeros(dia,24);
curvas_hora_comp=zeros(dia,24);
curvas_hora_mod=zeros(dia,24);
curvas_hora_agre=zeros(dia,24);
%representar por horas 24 columnas
curvas_diaria_prom=zeros(dia,24);
curvas_diaria_real=zeros(dia,24);

for m=1:dia
    for t=1:24
        s_ilu=0; s_comp=0; s_mod=0;s_agre=0;
        min=(t-1)*60;
        for g=1:60
%contador de minutos
            cont=min+g;
            s_ilu=s_ilu+curvas_ilu(m,cont);

```

```

s_comp=s_comp+curvas_comp(m,cont);
s_mod=s_mod+curvas_mod(m,cont);
s_agre=s_agre+curvas_agregadas(m,cont);

end

curvas_hora_ilu(m,t)=s_ilu/60000;
curvas_hora_comp(m,t)=s_comp/60000;
curvas_hora_mod(m,t)=s_mod/60000;
curvas_hora_agre(m,t)=s_agre/60000;

end
end

curva_diaria_promedio=sum(curvas_hora_agre)/dia;
curva_diaria_real=sum(mediciones_G)/5;
correlacion=corr(curva_diaria_promedio,curva_diaria_real);

figure;
grafica_curva(tiempo_horas,curvas_hora_agre,'Agregada (100 muestras)');
figure;
grafica_curva(tiempo_horas,curva_diaria_promedio,'Diaria Promedio');
legend('Promedio Simulada','Location','southwest');
figure;
hold on;
U=[curva_diaria_promedio;curva_diaria_real];
grafica_curva(tiempo_horas,U,'Diaria medida y simulada');
legend('Demanda Promedio','Demanda Real','Location','southwest');
hold off;

figure;
subplot(2,2,1);
grafica_curva(tiempo_horas,curvas_hora_mod,'MOD_DID');
subplot(2,2,2);
grafica_curva(tiempo_horas,curvas_hora_comp,'Computadoras');
subplot(2,2,3);
grafica_curva(tiempo_horas,curvas_hora_ilu,'Iluminación');

figure;
grafica_curva(tiempo_horas,mediciones_G,'Mediciones');
legend('Dia 1','Dia 2','Dia 3','Dia 4','Dia 5');

figure;
grafica_curva2(tiempo_horas,curva_diaria_real,'Diaria Medida');
legend('Demanda Promedio medida','Location','southwest');

A=curvas_hora_agre(1,:);
%Curva diaria de un día
B=curva_diaria_promedio;
%Curva diaria promedio
C=curva_diaria_real;
%curva diaria real
D=max(max(curvas_hora_agre));
%Valor de potencia máxima del día
E=sum(ener_agregada)/dia;
%valor de energía promedio de un día
F=sum(ener_agregada(1:22));
%valor de energía al mes o 22 días

```

**FUNCIONES****- Iluminación**

```
function [ curva_dia,energia_dia ] = curva_ilumina(cantidad,perfil,uso)

total=sum(cantidad);
%cuanta todas las lamparas existentes
curva=zeros(total,1440);
%crea la matriz de curvas de carga [cantidad x 1440]
perfill=ones(1,60).*perfil(1);
perfil2=ones(1,60).*perfil(2);
duracion=length(perfill);

for rep=1:total
%bucle para crear curva del dia
    if rep<=cantidad(1)
        nuevo_perfil=perfill';
%crea perfil de uso
    else
        nuevo_perfil=perfil2';
%crea perfil de uso
    end
    hora=find(rand(1,1)<uso);
    if hora(1)>= 22
        t= 22 *60;
    else
        t=hora(1)*60;
    end
    curva(rep,t:t+duracion-1)=nuevo_perfil;
%crear curva de individual de ilumina
end
curva_dia=sum(curva)*6;
energia_dia=sum(curva_dia);
end
```

**- Computadoras**

```
function [ curva_dia,energia_dia ] = curva_comp(cantidad,perfil,media,uso)

x=round(randn(1,cantidad)*0.5+media);
%genera clases aleatorias de una aula con u=4 y desv=0,5
curva=zeros(cantidad,1440);
%crea la matriz de curvas de carga [cantidad x 1440]
duracion=length(perfil);

for rep=1:cantidad
%bucle para crear curva del dia
    clases=randperm(8,x(rep));
%genera numeros aleatorios dentro del rango [1:8] sin repetirse
    for g=1:length(clases)
%bucle para crear curva de individual de comp
        hora=find(rand(1,1)<uso);
        if hora(1)>= 22
            t= 22 *60;
        else
            t=hora(1)*60;
        end
    end
end
```

```

        curva(rep,t:t+duracion-1)=perfil;
%crear curva de individual de comp
    end
end
curva_dia=sum(curva);
energia_dia=sum(curva_dia);
end

```

### - Módulos didácticos

```

function [ curva_dia,energia_dia ] = curva_mod(cantidad,perfil,media,uso)

x=round(randn(1,cantidad)*0.5+media);
%genera clases aleatorias de una aula con u=4 y desv=0,5
curva=zeros(cantidad,1440);
%crea la matriz de curvas de carga [cantidad x 1440]
duracion=length(perfil);

for rep=1:cantidad
%bucle para crear curva del dia
    clases=randperm(8,x(rep));
%genera numeros aleatorios dentro del rango [1:8] sin repetirse
    for g=1:length(clases)
%bucle para crear curva de individual de mod
        hora=find(rand(1,1)<uso);
        if hora(1)>= 22
            t= 22 *60;
        else
            t=hora(1)*60;
        end
        curva(rep,t:t+duracion-1)=perfil;
%crear curva de individual de mod
    end
end
curva_dia=sum(curva);
energia_dia=sum(curva_dia);
end

```