



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE ELECTRICIDAD

EVALUACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE SISTEMAS DE AIRE
ACONDICIONADOS EN DIFERENTES ÁREAS DEL EDIFICIO E PARA DEFINIR
ESTRATEGIAS DE AHORRO ENERGÉTICO

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Eléctrico

AUTORES: César Kenny Morla Herrera
Geovanny Joshué Fajardo Ortega

TUTOR: Ing. Holger Jorge Santillan Carranza, MSc

Guayaquil – Ecuador

2026

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, César Kenny Morla Herrera con documento de identificación N° 0950222364 y Geovanny Joshué Fajardo Ortega con documento de identificación N° 0959268681 manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo y autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 29 de enero del año 2026

Atentamente;



César Kenny Morla Herrera

CI: 0950222364



Geovanny Joshué Fajardo Ortega

CI: 0959268681

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, César Kenny Morla Herrera con número de identificación N° 0950222364 y Geovanny Joshué Fajardo Ortega con número de identificación N° 0959268681, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de lo que somos autores del Proyecto Técnico: “EVALUACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADOS EN DIFERENTES ÁREAS DEL EDIFICIO E PARA DEFINIR ESTRATEGIAS DE AHORRO ENERGÉTICO”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero en Electricidad, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en el formato digital a la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 29 de enero del año 2026

Atentamente;



César Kenny Morla Herrera

CI: 0950222364



Geovanny Joshué Fajardo Ortega

CI: 0959268681

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Holger Jorge Santillan Carranza con documento de identificación N° 0916303134 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “EVALUACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADOS EN DIFERENTES ÁREAS DEL EDIFICIO E PARA DEFINIR ESTRATEGIAS DE AHORRO ENERGÉTICO”, realizado por César Kenny Morla Herrera con número de identificación N° 0950222364 y Geovanny Joshué Fajardo Ortega con número de identificación N° 0959268681, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 29 de enero del año 2026

Atentamente;



HOLGER
SANTILLAN, PhD
Tutor del Proyecto Técnico

Ing. Holger Jorge Santillan Carranza
CI: 0916303134

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, quien me ha dado la vida, la salud y la fuerza para superar todos los desafíos de mi educación. Su guía y sabiduría fueron fundamentales en mi perseverancia y determinación para alcanzar esta meta académica. De manera especial, dedico este éxito a mi familia, cuyo apoyo incondicional, paciencia y palabras de aliento me sostuvieron durante todo el proceso y me permitieron seguir adelante con confianza y perseverancia.

César Kenny Morla Herrera

Este trabajo está dedicado a mis padres, cuyo compromiso diario, sacrificio constante, responsabilidad y dedicación ejemplares sentaron las bases de mi desarrollo personal y profesional. Su apoyo, consejos y los valores que me inculcaron influyeron significativamente en mi crecimiento y en el logro de esta meta. También dedico este trabajo a todos aquellos que creyeron en mis capacidades y me motivaron a perseverar, incluso en los momentos más difíciles.

Geovanny Joshué Fajardo Ortega

AGRADECIMIENTO

Agradezco de todo corazón a Dios por permitirme completar con éxito esta etapa de mis estudios y por darme la fuerza para superar cada desafío durante la escritura de este trabajo. Estoy igualmente profundamente agradecido a mis profesores, cuya guía, conocimiento y experiencia académica contribuyeron significativamente al éxito de esta investigación. Finalmente, agradezco a mi familia por su apoyo, comprensión y apoyo emocional en todo el proceso.

César Kenny Morla Herrera

Manifiesto mi agradecimiento a la institución educativa y a los docentes que formaron parte de mi proceso de formación profesional, por los conocimientos impartidos y el acompañamiento brindado a lo largo de mi trayectoria académica. Asimismo, expreso mi gratitud a mis compañeros y amigos, quienes con su colaboración, apoyo y motivación constante contribuyeron de manera positiva al desarrollo y culminación de este trabajo.

Geovanny Joshué Fajardo Ortega

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR	iii
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I	1
1 TÍTULO	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 INTRODUCCIÓN	2
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.4 JUSTIFICACIÓN	5
1.5 ALCANCE	6
1.6 BENEFICIARIOS	6
1.7 OBJETIVOS	7
1.7.1 OBJETIVO GENERAL	7
1.7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
CAPÍTULO II	10
2 FUNDAMENTO TEÓRICO	10
2.1 SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO	10
2.2 CONSUMO ENERGÉTICO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA	11
2.3 CONFORT TÉRMICO	12
2.4 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN ENERGÉTICA	13
2.5 PROYECTO BASADO EN EXPERIMENTACIÓN	14
2.6 USO DE MATLAB COMO SOFTWARE DE ANÁLISIS	15
2.7 ESTRATEGIAS DE AHORRO ENERGÉTICO	16

2.8	ESQUEMA DEL PROYECTO	18
CAPÍTULO III		19
3	DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO	19
3.1	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EDIFICIO E	19
3.2	SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO DEL EDIFICIO E	20
3.3	ÁREAS DE ESTUDIO Y CONDICIONES DE OPERACIÓN	22
3.4	VARIABLES DE ANÁLISIS DEL OBJETO DE ESTUDIO	23
3.5	DISEÑO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN.....	24
3.5.1	ETAPAS DEL PROCESO.....	24
3.6	CODIGO DE MATLAB (VOLTAJES)	26
3.7	CODIGO DE MATLAB (CORRIENTES)	28
3.8	CODIGO DE MATLAB (POTENCIA APARENTE)	29
3.9	CODIGO DE MATLAB (POTENCIA ACTIVA)	30
3.10	CODIGO DE MATLAB (CONSUMO ENERGETICO MENSUAL)	31
3.11	DEFINICIÓN DE LOS ESCENARIOS DE ANÁLISIS ENERGÉTICO.....	32
3.12	ESCENARIO 1	33
3.12.1	(V) PROMEDIO MEDIDOS POR MÁQUINA (ESCENARIO 1).....	33
3.12.2	(I) PROMEDIO MEDIDAS POR MÁQUINA (ESCENARIO 1)	35
3.13	ESCENARIO 2	37
3.13.1	(V) PROMEDIO MEDIDOS POR MÁQUINA (ESCENARIO 2).....	38
3.13.2	(I) PROMEDIO MEDIDAS POR MÁQUINA (ESCENARIO 2)	39
3.14	ESCENARIO 3	41
3.14.1	(V) PROMEDIO MEDIDOS POR MÁQUINA (ESCENARIO 3).....	41
3.14.2	(I) PROMEDIO MEDIDAS POR MÁQUINA (ESCENARIO 3)	42
3.15	COMPARACIÓN DE LOS ESCENARIOS (VOLTAJES)	44
3.16	COMPARACIÓN DE LOS ESCENARIOS (CORRIENTES)	46
CAPÍTULO IV		48
4	ANÁLISIS DE RESULTADOS POR ESCENARIO	48
4.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS TABLA I	48
4.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS TABLA II.....	49
4.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS TABLA III.....	51
4.4	ANÁLISIS DE RESULTADOS TABLA IV	52
4.5	ANÁLISIS DE RESULTADOS TABLA V.....	54

4.6	ANÁLISIS DE RESULTADOS TABLA VI	55
4.7	CÁLCULO DEL CONSUMO MENSUAL ESCENARIO 1	57
4.8	CÁLCULO DEL CONSUMO MENSUAL ESCENARIO 2	60
4.9	CÁLCULO DEL CONSUMO MENSUAL ESCENARIO 3	63
4.10	PROPUESTAS DE MEJORA Y ESTRATEGIAS DE AHORRO ENERGÉTICO DEL EDIFICIO E.....	75
4.10.1	ANÁLISIS PREVIO PARA LA FORMULACIÓN DE ESTRATEGIAS	75
4.10.2	ESTRATEGIAS DE AHORRO ENERGETICO PROPUESTAS	75
CAPÍTULO V		82
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
5.1	CONCLUSIONES	82
5.2	RECOMENDACIONES.....	83
CAPÍTULO VI		84
6	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	84
6.1	ANEXOS	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la UPS – Bloque E	3
Figura 2 Diagrama de cableado de un sistema de refrigeración.....	5
Figura 3 Multímetro	8
Figura 4 Pinza amperimétrica.....	9
Figura 5 Software utilizado para el proyecto de titulación.....	9
Figura 6 Esquema del proyecto	18
Figura 7 Tablero de distribución trifásico	21
Figura 8 Gráfico de voltajes promedio por maquina escenario 1	35
Figura 9 Gráfico de corrientes promedio por maquina escenario 1	37
Figura 10 Gráfico de voltajes promedio por maquina escenario 2.....	39
Figura 11 Gráfico de corrientes promedio por maquina escenario 2	40
Figura 12 Gráfico de voltajes promedio por maquina escenario 3.....	42
Figura 13 Gráfico de corrientes promedio por maquina escenario 3	44
Figura 14 Comparación de voltajes promedio entre escenarios.....	45
Figura 15 Comparación de corrientes promedio por escenario.....	46
Figura 16 Gráfico de puntos voltajes promedio escenario 1	48
Figura 17 Gráfico de puntos corriente promedio escenario 1	50
Figura 18 Gráfico de puntos voltaje promedio escenario 2.....	51
Figura 19 Gráfico de puntos corriente promedio escenario 2	53
Figura 20 Gráfico de puntos voltaje promedio escenario 3.....	54
Figura 21 Gráfico de puntos voltaje promedio escenario 3.....	56
Figura 22 Gráfica de potencia aparente por máquina del escenario 1.....	59
Figura 23 Gráfica de potencia activa del escenario 1	60

Figura 24 Gráfica de potencia aparente por máquina del escenario 2.....	63
Figura 25 Gráfica potencia activa por máquina del escenario 2	63
Figura 26 Gráfica potencia aparente por máquina del escenario 3	65
Figura 27 Gráfica de potencia activa por máquina del escenario 3.....	66
Figura 28 Gráfica de comparación de potencia aparente entre escenarios.....	67
Figura 29 Gráfica de comparación de potencia activa entre escenarios.....	68
Figura 30 Gráfico de escenario 1 del consumo mensual por maquina.....	69
Figura 31 Gráfico de escenario 2 del consumo mensual por maquina.....	70
Figura 32 Gráfico de escenario 3 del consumo mensual por maquina.....	72
Figura 33 Gráfico de la comparación del consumo energético mensual entre escenarios ..	74
Figura 34 Gráfico escenario 1 con y sin estrategias de ahorro.....	77
Figura 35 Gráfico escenario 2 consumo con y sin estrategias de ahorro	78
Figura 36 Gráfico escenario 3 consumo con y sin estrategias de ahorro	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Voltajes promedio medidos por maquina escenario 1	34
Tabla 2 Corriente promedio medidas por maquina escenario 1	36
Tabla 3 Voltajes promedio medidos por maquina escenario 2.....	38
Tabla 4 Corriente promedio medidas por maquina escenario 2	40
Tabla 5 Voltajes promedio medidos por maquina escenario 3.....	42
Tabla 6 Corrientes promedio medidas por maquina escenario 3.....	43
Tabla 7 Resultados del escenario 1.....	58
Tabla 8 Resultados del escenario 2.....	61
Tabla 9 Resultados escenario 3.....	64

RESUMEN

El propósito de este estudio es medir el consumo eléctrico de los aires acondicionados ubicados en las diferentes áreas del Edificio E, para así poder implementar estrategias técnicas para mejorar el consumo de la energía y poder mejorar la eficiencia del consumo energético. En los edificios universitarios, los sistemas de aire acondicionado son uno de los más altos consumidores de electricidad (sobre todo en climas cálidos), por su elevada potencia instalada y por las horas que tienen que funcionar para mantener un confort térmico.

La investigación es de tipo experimental, recolectando datos reales de consumo eléctrico del aire acondicionado en funcionamiento. A partir de las mediciones de variables eléctricas como voltaje, corriente, potencia activa, potencia aparente y consumo mensual de energía, se establecieron tres escenarios de análisis correspondientes a diferentes días de medición. Los resultados obtenidos evidencian variaciones significativas en el consumo energético, alcanzando valores mensuales aproximados de 16 359 kWh, 13 143 kWh y 23 170 kWh para los escenarios 1, 2 y 3, respectivamente.

El análisis de los datos recopilados se llevó a cabo utilizando el software MATLAB, el cual permitió simular el comportamiento energético de los sistemas de climatización en diferentes condiciones de funcionamiento. Este procesamiento permitió analizar variables como los tiempos de funcionamiento, patrones de uso, cargas eléctricas y ocupación de espacios, identificando equipos ineficientes y prácticas operativas que consumen energía.

Según los resultados adquiridos, se plantearon estrategias centradas en la optimización energética, como la adaptación de horarios de funcionamiento, el monitoreo continuo de variables eléctricas y la mejora en la gestión del sistema. Con la implementación de estas medidas se puede reducir considerablemente la utilización mensual sin perder el confort térmico, indicando la importancia de la gestión eficiente y sostenible de la energía en el Edificio E.

Palabras clave: consumo de energía eléctrica, aire acondicionado, eficiencia energética, sistemas de climatización, MATLAB.

ABSTRACT

The purpose of this study is to measure the electrical consumption of air conditioners located in different areas of Building E, in order to implement technical strategies to improve energy consumption and energy efficiency. In university buildings, air conditioning systems are among the highest electricity consumers (especially in warm climates) due to their high installed power and the hours they must operate to maintain thermal comfort.

This research is experimental, collecting real-world data on the electrical consumption of the air conditioning units while they are in operation. Based on measurements of electrical variables such as voltage, current, active power, apparent power, and monthly energy consumption, three analysis scenarios were established, corresponding to different measurement days. The results obtained show significant variations in energy consumption, reaching approximate monthly values of 14,392 kWh, 13,113 kWh, and 22,421 kWh for scenarios 1, 2, and 3, respectively.

The analysis of the collected data was carried out using MATLAB software, which allowed for the simulation of the energy behavior of the HVAC systems under different operating conditions. This processing enabled the analysis of variables such as operating times, usage patterns, electrical loads, and space occupancy, identifying inefficient equipment and energy-consuming operational practices.

Based on the results obtained, strategies focused on energy optimization were proposed, such as adjusting operating schedules, continuously monitoring electrical variables, and improving system management. Implementing these measures significantly reduces monthly energy consumption without compromising thermal comfort, highlighting the importance of efficient and sustainable energy management in Building E.

Keywords: electricity consumption, air conditioning, energy efficiency, HVAC systems, MATLAB.

CAPÍTULO I

1 TITULO

Evaluación del consumo energético de sistemas de aire acondicionados en diferentes áreas del edificio E para definir estrategias de ahorro energético

1.1 ANTECEDENTES

El consumo y gasto energético de los edificios educativos, comerciales e institucionales se ve bastante afectado por la demanda eléctrica de los sistemas de aires acondicionados. Esto es particularmente en ciertas zonas con climas calurosos y sofocantes, como gran parte del Ecuador, donde la necesidad de refrigeración se mantiene a lo largo de todo el año. Dentro de este contexto, los sistemas de aires acondicionados operan y actúan a lo largo de periodos extensos de tiempo y, en consecuencia, constituyen y representan una porción importante de los consumos eléctricos en estas construcciones.

Investigaciones anteriores han demostrado que un control inadecuado de los sistemas de calefacción, en esta referencia [1] trata de, ventilación y aire acondicionado (HVAC) puede provocar un aumento significativo del consumo energético. Esto conlleva a una disminución de la eficiencia energética en las instituciones y un aumento de los gastos a causas principales que abarcan la utilización de tecnologías ineficaces, el dimensionamiento erróneo de los sistemas, la falta de programas para el mantenimiento preventivo y carencia de sistemas de control que ajusten funcionamiento a la ocupación real y a las necesidades de calefacción.

Las universidades e instituciones educativas habitualmente poseen edificios con un gran gasto de electricidad, aunque sus sistemas de aire acondicionado no son lo suficientemente eficientes de acuerdo con los términos energéticos. La ineficiencia energética se debe a la falta de estrategias para optimizar y monitorear, así como al funcionamiento simultáneo de los sistemas en áreas con escasa o nula ocupación. Para

abordar este problema, es crucial llevar a cabo análisis experimentales para determinar el consumo real de los sistemas de enfriamiento, entender su funcionamiento en diferentes situaciones y elaborar estrategias para el ahorro energético basadas en datos auténticos y simulaciones informáticas.

1.2 INTRODUCCIÓN

La administración eficaz de la energía se ha vuelto un componente primordial en el desarrollo y el funcionamiento en la implementación de construcciones modernas, sobre todo por la demanda energética en aumento y las restricciones existentes para generar y distribuir electricidad. Los sistemas de aire acondicionado y ventilación (HVAC) son notables por su significativa aportación a la demanda total de energía cuando se examina el consumo energético. Esto se debe tanto a su capacidad instalada como al tiempo prolongado de operación que requieren para asegurar un adecuado confort térmico, sobre todo en los edificios destinados para actividades educativas.

La eficiencia energética de los sistemas de aires acondicionados está definida, desde un punto de vista de ingeniería eléctrica, por varios elementos técnicos, entre ellos el consumo energético de las unidades, la manera en que funcionan, la frecuencia con que se encienden y apagan, el factor de carga y la eficacia de los componentes electromecánicos. En las instituciones educativas, estas variables experimentan fluctuaciones notables durante el día y el año, lo que provoca cambios importantes tanto en la demanda de energía como en el consumo total de energía del sistema.

El edificio E tiene zonas con características estructurales, térmicas y de operación distintas que impactan en la forma en que se distribuyen y se comportan las cargas eléctricas de los aires acondicionados. Pero la ausencia de mecanismos de control energético, sistemas de medición continua y revisiones técnicas periódicas del desempeño del sistema pueden crear condiciones ineficientes de operación, que se manifiesto en un elevado consumo de energía, baja eficiencia energética y aprovechamiento deficiente de la energía eléctrica [2].

En ese sentido, este proyecto se enfoca en el estudio técnico del consumo energético de los sistemas de aire acondicionado ubicados en el Edificio E, mediante pruebas y mediciones cuantitativa de variables eléctricas y de funcionamiento. Los datos tomados se procesan y modelan en el software MATLAB. Esta herramienta es capaz de comparar diferentes escenarios operativos y analizar de antemano el efecto de las medidas de ahorro energético. Los resultantes de este estudio son la base para desarrollar propuestas técnicas para mejorar el consumo eléctrico, la eficiencia energética en el bienestar y confort térmico en las zonas del edificio [3].

Como se muestra en la **Figura 1** es la ubicación en el que tiene o toma lugar nuestro proyecto que está basado en experimentación y evaluación de los aires acondicionados para desarrollar estrategias de ahorro energético del edificio E de la Universidad Politécnica Salesiana.



Figura 1 Ubicación de la UPS – Bloque E

Fuente: Tomado de Google Maps [4].

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se detectó un alto consumo de energía en el Edificio E por los aires acondicionados. Pero no se hizo un análisis técnico profundo para averiguar las razones precisas. El Encendido prolongado y, en muchos casos, permanente de estos sistemas, independientemente de la ocupación real de los espacios, generan una demanda innecesaria de electricidad y una utilización ineficiente de la capacidad instalada.

De igual manera, la ausencia de controles energéticos, monitoreos constantes y manejos periódicos del desempeño de los aires acondicionados impide detectar ineficiencias en el funcionamiento. Esto hace que sea más difícil conocer el comportamiento real de los equipos en condiciones variables de carga y difícil la optimización del consumo energético a través de regulaciones técnicas.

Pero también la falta de información confiable y cuantificable de la eficiencia energética de los aires acondicionados impide hacer elecciones técnicas de eficiencia energética. Este resultado aumenta los costos operativos para los edificios y promueve el uso ineficiente de los recurrentes energéticos.

En ese sentido, se debe de medir de manera experimental el consumo energético de los aires acondicionados ubicados en las distintas áreas del Edificio E para identificar posibles mejoras, evaluando la eficiencia auténtica de los aires acondicionados y establecer estrategias de ahorro energético fundamentadas en datos técnicos confiables y verificables.

Como se observa en la **Figura 2** El diagrama muestra el circuito de un aire acondicionado. Representa una fuente de alimentación de 220 V y un transformador reductor de 220 V a 24 V para el circuito de control. El sistema incluye un termostato con terminales R, Y y G, que envía señales de control a un relé auxiliar y un contactor.

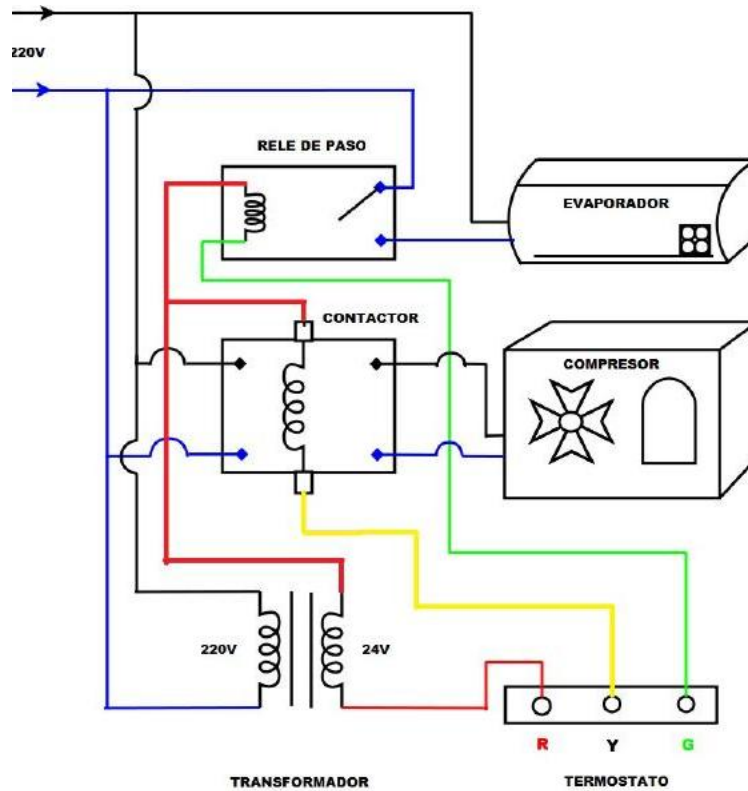


Figura 2 Diagrama de cableado de un sistema de refrigeración

Fuente: Tomado de *blogquimobasicos* [5].

1.4 JUSTIFICACIÓN

Desde un punto de vista más técnico, la medición del consumo energético de los aires acondicionados es una forma de detectar fallas de operación y rendimiento. El estudio de los parámetros eléctricos y de funcionamiento de estos sistemas revela ineficiencias y sugiere medidas técnicas para poder mejorar la eficiencia energética. Este proceso ayuda a la mejora y a disminuir los costos de electricidad.

Dentro del ámbito académico, este proyecto representa un beneficio al integrar mediciones experimentales con herramientas de simulación computacional. Esto referencia la capacitancia en campos como el análisis energético, la eficiencia energética y la gestión energética. Además, los datos adquiridos pueden ser utilizados como datos de referencia para futuras investigaciones o proyectos de aplicación en edificios similares [6].

Desde un punto de vista ecológico, el ahorro energético disminuye el consumo de electricidad y, por extensión, las emisiones ligadas a la producción de electricidad. Así, el proyecto fomenta el consumo eficiente, responsable y sostenible de la energía, en línea con los principios de sostenibilidad y eficiencia energética.

1.5 ALCANCE

El propósito del proyecto es estudiar el consumo eléctrico de los aires acondicionados ubicados en distintas zonas del Edificio E, tomando datos experimentales de consumo eléctrico con medidas directas y analizando variables operativas que impactan en la eficiencia energética de los aires acondicionados, como los tiempos de funcionamiento, las cargas y los patrones de uso.

El proyecto abarca adicionalmente la estructuración y evaluación de distintivos casos de estudio con software específico para analizar la eficiencia energética de sistemas de aire acondicionado en condiciones variables. Estas simulaciones pueden evaluar el impacto de diversas estrategias operativas en el consumo de energía y la eficiencia del sistema.

Hay que aclarar que el proyecto no implica modificaciones de arquitectura en las instalaciones eléctricas reales, ni el reemplazo del sistema de refrigeración ya existente dentro del edificio. Examinando energéticamente para así poder recomendar medidas funcionales y de gestión para mejorar el consumo energético sin alterar el confort térmico que necesitan los usuarios del edificio.

1.6 BENEFICIARIOS

Los beneficiarios del proyecto técnico establecido se dividen en tres importantes:

- Los principales beneficiarios de este proyecto son todas las partes interesadas que de una manera u otra están involucradas en el uso y manejo del Edificio E; en primer

lugar, la institución que administra el edificio se favorece con información técnica confiable para hacer más eficiente el consumo eléctrico. Al apilar las estrategias de ahorro energético planteadas, se logra disminuir los costos operativos por consumo de energía eléctrica y se logra una gestión energética eficiente.

- En segundo lugar, los ocupantes del Edificio E (estudiantes, profesores y personal administrativo) disfrutan de un óptimo desempeño de los aires acondicionados. La mejora de estos sistemas es capaz de mantener una temperatura agradable en las áreas sin mal gastar energía, mejorando la calidad del aire interior.

- Por último, la comunidad académica se favorece de un estudio técnico práctico que combina mediciones experimentales y análisis energéticos. Resultantes pueden ser una base para próximas investigaciones, proyectos académicos o análisis de eficiencia energética en edificios, fortaleciendo el conocimiento en el campo de la gestión y uso eficiente de la energía eléctrica.

1.7 OBJETIVOS

1.7.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento energético de los sistemas de aire acondicionado instalados en las distintas áreas del edificio E mediante la recopilación, el procesamiento de datos eléctricos y térmicos, proponiendo estrategias de ahorro que aumenten la eficiencia energética del edificio.

1.7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un diagnóstico del edificio E para recopilar información técnica sobre los sistemas de aire acondicionado, su capacidad instalada, modo de funcionamiento y variables ambientales relacionadas, y determinando su impacto en la demanda energética total.

- Evaluar el consumo eléctrico de los sistemas de aire acondicionado en diferentes áreas del edificio mediante dispositivos de medición y software caracterizando su eficiencia energética e identificar patrones de uso.
- Desarrollar estrategias de ahorro energético de acuerdo con los patrones de uso de la energía para reducir el consumo eléctrico de los sistemas de aire acondicionado en el edificio.

Como se puede apreciar en la **Figuras 3** es un multímetro digital Fluke 289 True RMS mostrando 219,32 VAC; el multímetro está en modo de medición de tensión alterna con las puntas conectadas y se usa para verificar parámetros eléctricos en instalaciones.



Figura 3 Multímetro

Fuente: [Autores]

En la **Figura 4** se puede ver una pinza amperimétrica digital, sujeta con guante, midiendo 8,5 A AC en un conductor; la imagen muestra la medición en campo dentro de un tablero eléctrico y evidencia el método utilizado para estimar el consumo de los aires acondicionados del Edificio E.



Figura 4 Pinza amperimétrica

Fuente: [Autores]

En la **Figura 5** podemos observar el logotipo de MATLAB, reconoce la plataforma de cálculo y visualización numérica utilizada en esta tesis como principal herramienta para el procesamiento de datos y generación de gráficas en el estudio de consumo energético de los aires acondicionados del Edificio E.



Figura 5 Software utilizado para el proyecto de titulación

Fuente: Tomada de Matlab-logo [7].

CAPÍTULO II

2 FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO

Los sistemas de aire acondicionado constituyen un componente esencial de los sistemas de climatización utilizados en edificaciones contemporáneas, ya que permiten regular la temperatura, la humedad y, en algunos casos, la calidad del aire interior, con el objetivo de garantizar condiciones adecuadas de confort térmico para los ocupantes. Desde el enfoque de la ingeniería eléctrica y mecánica, estos sistemas están conformados por diversos elementos interrelacionados, tales como el compresor, el condensador, el evaporador, los dispositivos de expansión, así como los sistemas de control, protección y suministro de energía eléctrica que aseguran su correcto funcionamiento.

El aire acondicionado opera mediante un ciclo denominado refrigeración por compresión de vapor. Este ciclo emplea un fluido único que se desplaza a través de diversas secciones del sistema [8].

Una sección denominada evaporador le permite al fluido absorber el calor que proviene del interior. Después, expulsa este calor al exterior a través de otra sección conocida como condensador. Así, se consigue reducir la temperatura en los lugares cuyo objetivo es preservarlos frescos. Este método necesita una suma significativa de energía eléctrica, sobre todo relacionada con el funcionamiento del condensador y los ventiladores que operan en el intercambio térmico.

En edificaciones destinadas a actividades educativas, como el edificio E, los sistemas de aire acondicionado suelen operar durante extensos periodos y de forma simultánea en múltiples áreas, debido a la necesidad de mantener condiciones térmicas adecuadas para estudiantes, docentes y personal administrativo. Esta característica los posiciona como una de las cargas eléctricas más representativas dentro del sistema eléctrico del edificio,

influyendo de manera significativa en el perfil de consumo energético y en la demanda eléctrica total de la edificación [9].

Los sistemas de aire acondicionado consumen mucha energía en los edificios. Por eso es muy importante hacer un análisis más detallado para saber cómo funcionan en la práctica. Esto ayuda a encontrar problemas como equipos que no son del tamaño adecuado, patrones de uso ineficientes, tiempos de operación incorrectos y la falta de sistemas de control adecuados. A partir de los resultados obtenidos, es posible definir estrategias orientadas a la optimización del consumo de energía eléctrica, manteniendo al mismo tiempo niveles adecuados de confort térmico para los usuarios.

2.2 CONSUMO ENERGÉTICO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

El consumo de energía eléctrica es la cantidad total de energía que un equipo, sistema o instalación utiliza en un tiempo determinado. En el caso específico de los sistemas de aire acondicionado, este consumo está influenciado por diversos factores de carácter técnico y operativo, tales como la potencia eléctrica instalada de los equipos, los tiempos y ciclos de funcionamiento, las condiciones de carga térmica presentes en los espacios climatizados y el nivel de eficiencia de los componentes electromecánicos que integran el sistema, en especial el compresor y los sistemas de ventilación asociados.

La eficiencia energética, por su parte, se relaciona con la capacidad de un sistema para proporcionar el servicio de climatización requerido utilizando la menor cantidad posible de energía eléctrica. En el ámbito de los sistemas de aire acondicionado, este concepto se evalúa comúnmente mediante indicadores técnicos como el coeficiente de desempeño (COP) y el índice de eficiencia energética (EER), cuales permite una relación cuantitativa entre la capacidad de enfriamiento de la energía eléctrica consumida durante la operación del equipo. Valores elevados de estos indicadores reflejan un mejor aprovechamiento de la energía y un desempeño más eficiente del sistema [10].

Si los sistemas de climatización funcionan con una baja eficiencia energética, ocurre un aumento notable en la necesidad y la utilización de energía eléctrica del edificio. Esta circunstancia resulta en gastos operativos más altos, cierta mayor tensión eléctrica y un uso ineficiente de los recursos eléctricos accesibles. Asimismo, un desempeño defectuoso puede estar vinculado a elementos como el sobre dimensionamiento de los aparatos, la falta de mantenimiento adecuado, la carencia de mecanismos automáticos de supervisión y patrones de uso no optimizados.

En este escenario, la evaluación exhaustiva del consumo de energía se transforma en un instrumento esencial para detectar ineficiencias operativas, examinar el funcionamiento real de los sistemas de climatización y sugerir medidas que busquen mejorar su rendimiento energético. La puesta en marcha de estrategias fundamentadas en este tipo de análisis posibilita mejorar la utilización de la energía eléctrica, disminuir los gastos relacionados con el consumo y fomentar una administración energética más eficaz y sostenible en las construcciones [11].

2.3 CONFORT TÉRMICO

Se llama confort de temperatura a la condición en la cual una persona está conforme con las condiciones térmicas del medio ambiente en el que se halla. Esta sensación no se fundamenta en una única variable, sino que es el efecto de la interacción de múltiples elementos personales y ecológicos. Dichos factores son, por ejemplo, la velocidad del flujo de aire, la temperatura del aire, la humedad relativa, el tipo de prenda que emplean los residentes, el nivel de actividad bioquímica y la radiación solar de las superficies circundantes.

El confort térmico tiene un rol crucial en los inmuebles que se emplean con el fin de actividades educativas, pues impacta de forma directa la salud física, la concentración y el desempeño académico de alumnos, maestros y empleados administrativos. Las condiciones térmicas que resultan inapropiadas pueden producir distracción, incomodidad y agotamiento, eso puede perjudicar el rendimiento de las tareas llevadas a cabo en estos lugares. Por lo

tanto, los sistemas de climatización desempeñan un rol esencial manteniendo variables térmicas en barreras tolerables para la mayor parte de los clientes [9].

No obstante, una operación ineficiente de los sistemas de climatización puede provocar efectos contraproducentes, como un consumo excesivo de energía eléctrica o la generación de ambientes térmicamente inestables. El uso continuo de los equipos, ajustes inadecuados de temperatura y la falta de control automático pueden incrementar significativamente el consumo energético, sin garantizar necesariamente mejores condiciones de confort. Esto evidencia la necesidad de equilibrar el desempeño energético de los sistemas de aire acondicionado con el mantenimiento de condiciones térmicas adecuadas.

En esta situación, las tácticas enfocadas en disminuir el consumo energético en sistemas de climatización deben poner como primera instancia la preservación del bienestar térmico de los ocupantes. Las condiciones ambientales deben conservarse en un rango adecuado al implementar medidas para ahorrar energía, de modo que no se perjudique a los ocupantes del edificio; por lo tanto, resulta fundamental que la implementación de estas medidas esté respaldada por criterios técnicos. Así, se puede conseguir una administración energética eficiente que integra la eficiencia de energía eléctrica junto a el bienestar y la eficiencia de las personas que utilizan las plantas [12].

2.4 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN ENERGÉTICA

El análisis energético de los sistemas de climatización es un procedimiento técnico y riguroso que busca estudiar el desempeño energético sobre los equipos y el volumen de energía eléctrica que utilizan mientras funcionan. El propósito sobre este método es determinar la manera en que operan los sistemas de climatización bajo circunstancias convencionales, lo cual facilita establecer el nivel de la eficiencia y el uso de la energía eléctrica disponible. Con ese fin, es necesario recolectar datos que provengan de mediciones experimentales y monitorear de manera constante las variables operativas y eléctricas relevantes.

Dentro de la metodología de evaluación energética se consideran varias etapas fundamentales, entre las que se incluyen la identificación de las cargas eléctricas asociadas a los sistemas de enfriamiento, la medición del consumo de la energía eléctrica, el análisis de la demanda energética y la comparación de los resultados con valores de referencia o estándares de eficiencia. Este enfoque permite detectar ineficiencias operativas relacionadas con el dimensionamiento de los equipos, los patrones de uso, los tiempos de operación y la ausencia de sistemas de control adecuados.

Además, el análisis de perfiles de utilización de los sistemas de climatización, tomando en cuenta variables como horarios de funcionamiento, condiciones ambientales internas y niveles ocupacionales, es parte de la evaluación energética. La investigación de estos elementos ayuda a entender cómo funcionan las máquinas desde un punto de vista energético y posibilita que se genere un análisis completo del sistema en términos energéticos. Este diagnóstico es la base técnica para formular estrategias dirigidas a mejorar la efectividad energética del edificio y a reducir electricidad.

En el presente proyecto, la metodología de evaluación energética se aplica específicamente a los sistemas de enfriamiento instalados en el edificio E, tomando en cuenta las particularidades de cada área y sus condiciones de operación. Este enfoque permite realizar un análisis detallado y representativo del consumo energético, considerando la diversidad de espacios y usos dentro del edificio, y proporciona información confiable para la definición de estrategias de ahorro energético adaptadas a las necesidades reales de la edificación.

2.5 PROYECTO BASADO EN EXPERIMENTACIÓN

El presente trabajo se desarrolla bajo un enfoque experimental, el cual se fundamenta en la obtención directa de información a partir de mediciones reales del consumo energético de los sistemas de aire acondicionado instalados en el edificio E. Este tipo de metodología permite analizar el desempeño efectivo de los equipos en condiciones normales de operación,

proporcionando resultados más representativos y confiables en comparación con métodos puramente teóricos o estimaciones basadas en supuestos generales [13].

La experimentación que se aplica a sistemas de climatización supone medir de manera constante variables eléctricas esenciales, como la potencia activa, la energía consumida, la corriente, la tensión y la potencia visible; además, implica anotar las condiciones de carga térmica en cada sector analizado, los períodos de funcionamiento y los ciclos operativos. Estos parámetros posibilitan la detección de patrones de consumo vinculados a elementos operativos particulares y la caracterización precisa del rendimiento energético de los equipos.

Desde la perspectiva de la ingeniería eléctrica, el empleo de datos experimentales permite detectar deficiencias reales, como por ejemplo sobrecargas, una operación por fuera del punto óptimo, un gran consumo en lapsos de baja ocupación y fallas en los sistemas de control. Además, este enfoque permite la validación de modelos energéticos y la evaluación de los resultados conseguidos con valores de referencia que se encuentran en las normas y en la literatura técnica especializada.

En el marco de edificios que ya existen, la metodología experimental es particularmente apropiada porque posibilita el análisis del rendimiento de los sistemas sin requerir una intervención física en las instalaciones. Es factible simular posibles escenarios de optimización, sugerir estrategias operativas y calcular el efecto de estas acciones sobre el consumo energético global, basándose en el estudio de los datos medidos. De este modo, se colabora con la toma de decisiones técnicas fundamentadas y con la optimización del uso de energía eléctrica [14].

2.6 USO DE MATLAB COMO SOFTWARE DE ANÁLISIS

Debido a su abundante capacidad para procesar datos, modelar sistemas dinámicos y resolver modelos matemáticos complejos, MATLAB constituye una herramienta de estudio computacional y computación matemático que se emplea mucho en el ámbito de la

electricidad. Su entorno de programación facilita la integración de modelado matemático, estudio estadístico y visualización gráfica en una única herramienta. Esto es particularmente favorable para las investigaciones vinculadas con el desempeño energético de mecanismos electromecánicos y eléctricos [3].

MATLAB se utiliza como herramienta principal para procesar los datos experimentales recopilados en las mediciones del consumo energético de los sistemas de aire acondicionado del edificio E, lo que constituye el desarrollo actual del proyecto. Con base en estos datos, se pueden llevar a cabo análisis exhaustivos de variables eléctricas como la potencia, la energía utilizada, los perfiles de carga y las fluctuaciones temporales del consumo. Esto permite detectar condiciones ineficaces y patrones operativos.

Además, MATLAB permite la comparación de diferentes escenarios operativos tomando en cuenta cambios en los horarios de operación, niveles de ocupación y estrategias de control. A través de estas, es posible examinar con antelación el efecto de diversas opciones de ahorro energético, disminuyendo la necesidad de pruebas físicas y reduciendo los riesgos que se vinculan con la implementación directa de modificaciones en los sistemas reales [15].

MATLAB brinda herramientas sofisticadas de análisis comparativo y visualización que permiten la comparación entre escenarios optimizados y escenarios base, desde la perspectiva del proceso de toma de decisiones técnicas. Esta habilidad ayuda a respaldar las propuestas de mejora con fundamentos cuantitativos y verificables, lo que robustece la fiabilidad de los resultados y proporciona un soporte técnico sólido para definir estrategias de eficiencia energética en sistemas de climatización.

2.7 ESTRATEGIAS DE AHORRO ENERGÉTICO

El propósito principal de las estrategias enfocadas en el ahorro de energía en los sistemas de los aires acondicionados es disminuir el uso de la energía eléctrica sin afectar la comodidad térmica de los usuarios. Estas tácticas son particularmente importantes en el

ámbito de las construcciones educativas por la duración extendida de los periodos de funcionamiento de los equipos y por la variabilidad en los grados de ocupación de las áreas [16].

Desde un enfoque técnico, las medidas para ahorrar energía son capaces de dividirse en planes gestionables, operativas y tecnológicas. La optimización de los horarios de operación de los aparatos de refrigeración es parte de las estrategias operativas, lo que implica ajustar los tiempos en que se encienden y apagan según la ocupación real de cada área. Además, fijando valores apropiados de temperatura de consigna se puede evitar un enfriamiento excesivo e innecesario, disminuyendo así la demanda de energía del sistema.

Por otra parte, la implementación de los sistemas automáticos de control y dispositivos de regulación ayuda a optimizar el rendimiento energético de los equipos. La implementación de sensores de presencia, termostatos programables y sistemas de control centralizado posibilita que el desempeño de los aires acondicionados se ajuste a las condiciones reales del entorno, lo que reduce el funcionamiento constante en zonas vacías y optimiza la eficacia total del sistema [17].

Además, los métodos de mantenimiento resultan esenciales para reducir la utilización energética. Con el fin de que los sistemas permanezcan funcionando dentro de sus niveles ideales de eficiencia, se requiere la limpieza regular de los filtros, la evaluación del estado de las partes mecánicas y eléctricas, además de la regulación adecuada de los niveles de aire. Esto evita que se pierda energía debido a averías o desgastes en los componentes.

En última instancia, las medidas administrativas y educativas apoyan las acciones técnicas, debido a que la sensibilización de los usuarios acerca del empleo racional de los sistemas de climatización ayuda a reducir prácticas poco eficientes, como el uso innecesario de equipos o la configuración inapropiada de las temperaturas. Evaluar los resultados que se han logrado a través de simulaciones energéticas y mediciones experimentales posibilita elegir y priorizar las estrategias que tienen un efecto más significativo en la disminución del uso energético en el edificio E, justificando así las sugerencias de mejora con criterios técnicos y medibles [18].

2.8 ESQUEMA DEL PROYECTO

En la **Figura 6** se representa un diagrama metodológico para el desarrollo de estrategias de ahorro energético en el edificio E, donde se pueden observar de manera secuencial las etapas del estudio, las cuales comprenden la estructuración de la zona de estudio, toma de mediciones eléctricas, reconocimiento y análisis de datos, tratamiento del consumo energético en el software MATLAB, representación gráfica de los resultados y, finalmente, la formulación de medidas para mejorar la eficiencia del sistema eléctrico.

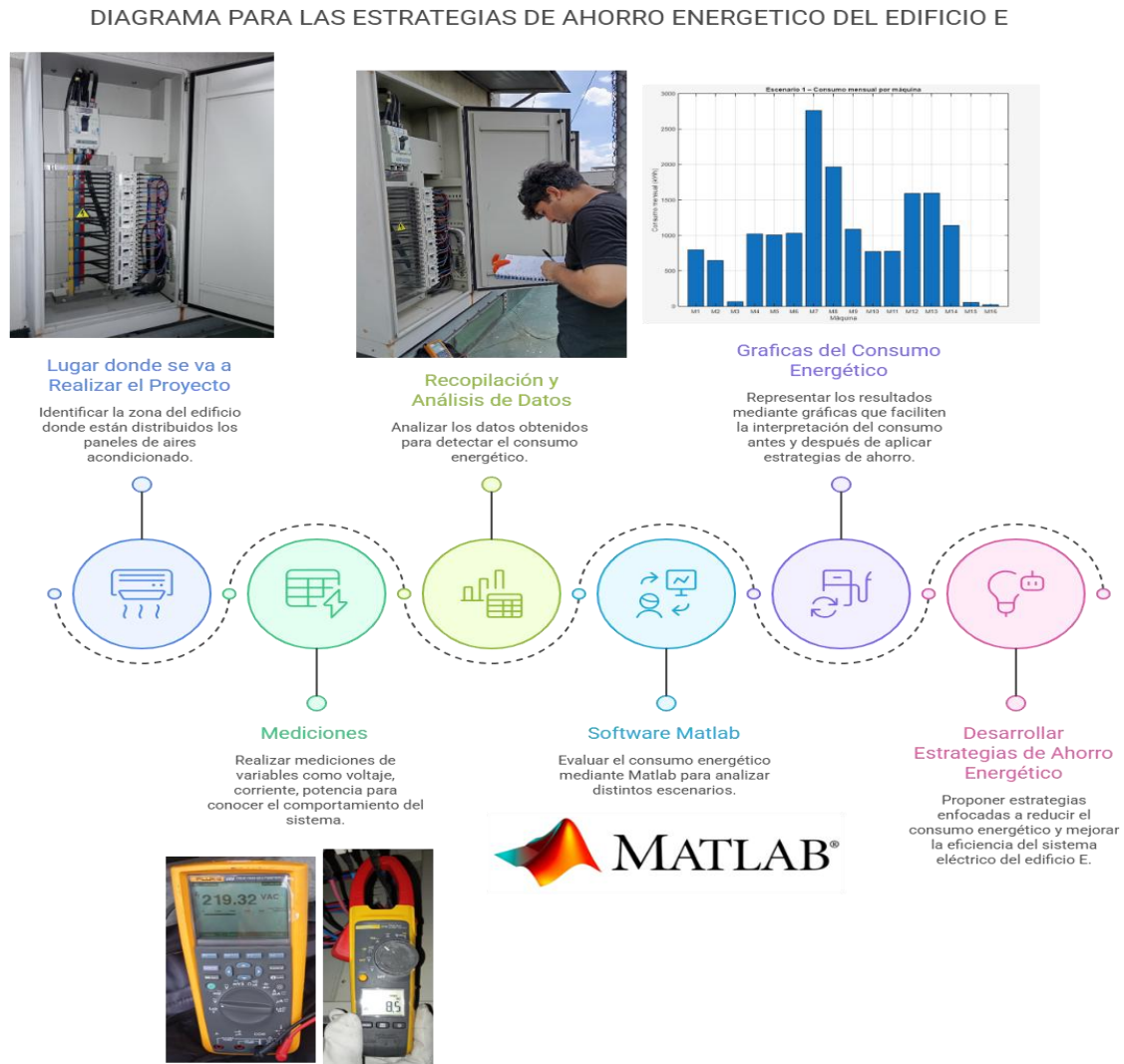


Figura 6 Esquema del proyecto

CAPÍTULO III

3 DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EDIFICIO E

El presente proyecto seleccionó el edificio E como objeto de análisis, dado que su función principal es la más importante en las actividades académicas de la institución. El propósito de asegurar el bienestar, la productividad y el correcto desempeño de los alumnos, los profesores y el personal encargado de la administración es garantizar condiciones ambientales controladas en este edificio, especialmente en lo que concierne a la temperatura y a la calidad del aire interior.

El edificio E está compuesto por varias zonas con características operativas distintas, como aulas, oficinas administrativas, zonas de uso común y áreas específicas para actividades académicas, desde un enfoque funcional, en esta referencia [2]. Cada una de estas áreas tiene diferentes grados de ocupación, horarios de uso y necesidades térmicas. Esto se traduce en cambios considerables en la demanda de energía vinculada a los sistemas de climatización.

Como consecuencia de las actividades que se realizan en el edificio, la cantidad de energía eléctrica consumida es significativa; los equipos de climatización son uno de los principales aportantes a la carga eléctrica total. Estos equipos funcionan a lo largo de largos períodos diarios, particularmente en días académicos seguidos, lo que eleva significativamente el gasto de energía y la demanda máxima de los equipos eléctrico del edificio.

El edificio E es un caso de evaluación energética representativo por la combinación de una alta ocupación, la variedad de espacios y el funcionamiento continuo de los equipos de climatización. En este marco, es fundamental llevar a cabo un estudio técnico minucioso de la conducta de los equipos de aire acondicionado para poder detectar oportunidades de

mejora, mejorar el uso de energía eléctrica y definir tácticas que busquen disminuir el consumo energético sin alterar las condiciones térmicas requeridas [19].

3.2 SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO DEL EDIFICIO E

La meta principal de los equipos de aire acondicionado que se encuentran en las diversas zonas del edificio E es asegurar condiciones térmicas apropiadas para el buen desarrollo de las tareas administrativas y académicas. El edificio cuenta con equipos de climatización que tienen diversas configuraciones técnicas y capacidades de enfriamiento para alcanzar este objetivo. Estos equipos se eligen en función del tamaño de las áreas, la cantidad de ocupantes y las cargas térmicas que corresponden a cada zona [20].

Los sistemas de aire acondicionado del edificio E están compuestos, desde el punto de vista técnico, por unidades independientes que funcionan de forma autónoma en cada una de las zonas climatizadas. Este rasgo produce una distribución del consumo de energía que no está centralizada, en la cual cada equipo responde a condiciones particulares de operación, como son la temperatura de consigna, los horarios de uso y las características constructivas del espacio. Por lo tanto, los patrones de consumo de electricidad muestran diferencias importantes entre las distintas áreas del edificio.

En la **Figura 7** muestra el tablero de distribución principal del sistema eléctrico del edificio E. Se observan interruptores termomagnéticos trifásicos organizados verticalmente, conectados a barras colectoras de colores (amarillo, rojo y azul), que representan las fases R, S y T. El cableado está dispuesto de forma ordenada, con conductores negros para potencia y azul/rojo para señal o control. Este diseño permite una distribución segura y eficiente de la energía eléctrica, cumpliendo con normativas de protección y señalización de alto voltaje.



Figura 7 Tablero de distribución trifásico

Fuente: [Autores]

En la práctica, se ha visto que muchos de estos sistemas operan durante largos intervalos a lo largo del día académico y no toman en cuenta apropiadamente los cambios en las condiciones ambientales externas ni las variaciones en la ocupación de espacios. Esta manera de operar puede resultar en un aprovechamiento ineficiente de la energía eléctrica, lo cual se evidencia en consumos altos durante etapas de escasa demanda térmica o en zonas que están vacías temporalmente [21].

La falta de sistemas de control centralizado y de estrategias integradas para la gestión energética restringe la posibilidad de mejorar la operación de los aparatos de climatización. En este escenario, es crucial llevar a cabo un pormenorizado análisis energético de los sistemas de aire acondicionado del edificio E para detectar oportunidades para mejorar la operación, examinar el rendimiento real en términos de energía de los equipos y establecer estrategias que posibiliten disminuir el consumo eléctrico sin perjudicar las condiciones de confort térmico exigidas por los usuarios.

3.3 ÁREAS DE ESTUDIO Y CONDICIONES DE OPERACIÓN

Se eligieron diferentes áreas del edificio E que fueran representativas para realizar el presente estudio, considerando criterios técnicos como la clase de uso, la densidad de ocupación, los horarios operativos y las demandas térmicas específicas de cada zona. Algunos de los lugares que han sido analizados son las aulas, las oficinas administrativas, los espacios comunes y las áreas de soporte académico. Estas tienen diferentes condiciones operativas que afectan de manera directa el funcionamiento de los sistemas de aire acondicionado.

Cada uno de los campos de estudio tiene rasgos específicos que se relacionan con la cantidad de ocupantes, la regularidad en el uso, la presencia de dispositivos eléctricos y el impacto de fuentes internas de calor. Además, el consumo de energía relacionado con los sistemas de climatización se ve afectado por las propiedades constructivas del edificio. Estas propiedades incluyen la orientación, los materiales de cerramiento, el aislamiento térmico y la superficie acristalada [22].

Las diferencias en los patrones de consumo eléctrico de los equipos de aire acondicionado son notables debido a las variaciones en las condiciones operativas entre diferentes áreas. La variabilidad de la temperatura exterior, el uso ocasional de ciertas áreas y los cambios en la ocupación a lo largo del día hacen que los sistemas trabajen bajo diferentes regímenes de carga, lo que impacta negativamente su eficacia energética y su demanda eléctrica en tiempo real.

En este marco, es esencial llevar a cabo un análisis energético segmentado por áreas, porque esta perspectiva posibilita reconocer fallos concretos de eficiencia, contrastar la actuación de los equipos bajo distintas condiciones operativas y conseguir una visión completa del consumo de energía del edificio E. El análisis pormenorizado por zonas se convierte en una base técnica firme para el diseño de estrategias de ahorro energético que se

ajusten a las exigencias reales de cada espacio, lo que favorece una gestión más eficaz de la electricidad [23].

3.4 VARIABLES DE ANÁLISIS DEL OBJETO DE ESTUDIO

El estudio del objeto de investigación se enfoca en la valoración completa de las variables operativas y energéticas relacionadas con el funcionamiento de los sistemas de aire acondicionado que están instalados en el edificio E. Estas variables posibilitan describir cómo funcionan realmente los aparatos de climatización y representan el fundamento técnico para determinar la eficacia energética del sistema como un todo. La demanda de potencia eléctrica, la energía consumida en los intervalos de operación, el tiempo de funcionamiento y los patrones de uso del sistema en las diferentes zonas del edificio son algunos de los parámetros primordiales que se tienen en cuenta.

Desde la perspectiva eléctrica, es esencial medir variables como tensión, corriente y potencia activa para determinar el nivel de carga de los dispositivos y examinar su rendimiento operacional. Además, el monitoreo del consumo total de energía posibilita determinar la aportación de los sistemas de climatización al consumo eléctrico total del edificio y detectar periodos con alta demanda que podrían perjudicar la eficacia del sistema eléctrico interno [24].

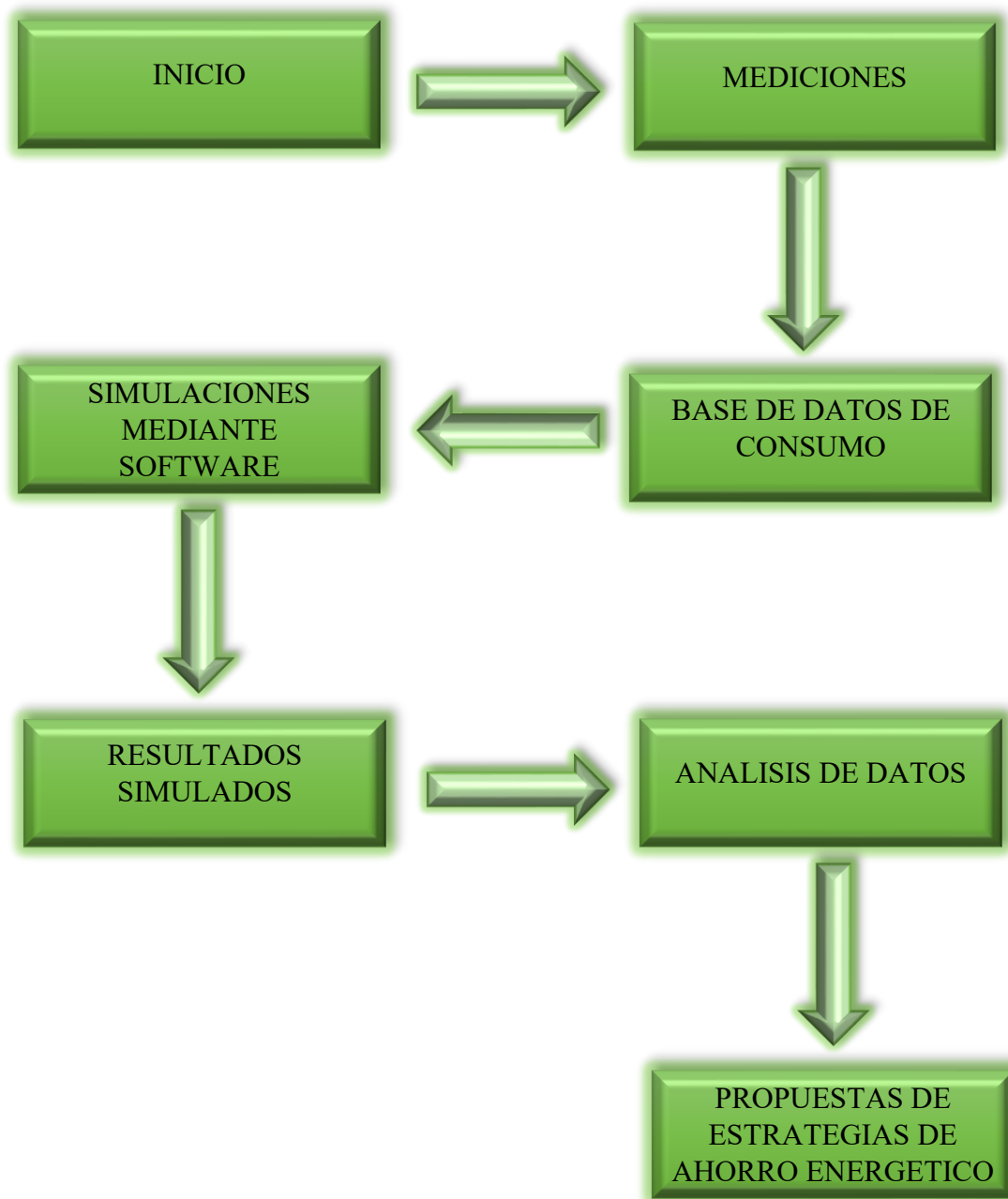
Adicionalmente, se incluyen variables asociadas a las condiciones de operación, como los horarios de funcionamiento de los equipos, la ocupación de los espacios climatizados y las condiciones ambientales interiores (temperatura y humedad relativa). Estos elementos impactan directamente la carga térmica y, por ende, el comportamiento energético de los sistemas de aire acondicionado, con variaciones significativas en el consumo eléctrico durante el día.

La evaluación simultánea de las variables operativas y eléctricas posibilita una visión exacta del rendimiento energético de los sistemas de climatización del edificio E. Además, esta perspectiva permite detectar ineficiencias relacionadas con el uso incorrecto de los

equipos, la falta de control o la sobre operación. Esto brinda información fundamental para diseñar estrategias para ahorrar energía que se enfoquen en optimizar el consumo eléctrico sin afectar las condiciones térmicas requeridas por los usuarios [25].

3.5 DISEÑO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

3.5.1 ETAPAS DEL PROCESO



Inicio:

La formulación del problema de estudio se inició con la identificación del problema, estableciendo como objetivo analizar el consumo energético de los sistemas de climatización del edificio E. En esta etapa inicial se delimitó el alcance, se seleccionaron los equipos a analizar y se definieron los lineamientos técnicos para la toma y proceso de datos eléctricos, garantizando la viabilidad y relevancia del análisis energético propuesto.

Mediciones:

Luego se realizó la etapa de mediciones en el edificio, donde se tomaron las principales variables eléctricas de los aires condicionados, como voltaje, corriente y potencia. Las mediciones se tomaron en días operativos normales del edificio para capturar datos confiables que reflejen con precisión el comportamiento energético real del sistema de climatización.

Base de datos de consumo:

Luego se realizó la etapa de mediciones en el edificio, donde se tomaron las principales variables eléctricas de los aires condicionados, como voltaje, corriente y potencia. Las mediciones se tomaron en días operativos normales del edificio para capturar datos confiables que reflejen con precisión el comportamiento energético real del sistema de climatización.

Simulaciones mediante software:

Con estos datos se simuló en el software MATLAB, para visualizar el comportamiento energético de los sistemas de climatización en distintas condiciones de funcionamiento. Mediante rutinas de cálculo y modelos simulados se analizaron variaciones en los parámetros eléctricos y condiciones de carga, lo que permitió estimar el rendimiento del sistema y analizar mejoras para optimizar el consumo de energía.

Resultados simulados:

Como resultado de las simulaciones, se obtuvieron valores estimados de potencia activa, potencia aparente y energía consumida para cada uno de los escenarios simulados. Estos resultantes sirvieron para hacer un punto de comparación entre el comportamiento real del sistema y escenarios con condiciones mejoradas de funcionamiento, en las cuales se encontraron diferencias significativas en el consumo y eficiencia energética de los equipos analizados.

Análisis de datos:

En esta etapa se realizó una comparación entre los datos medidos en campo y los datos simulados. Dicho análisis arrojó patrones de consumo, equipos más demandantes y posibles ineficiencias en la operación. Además, se midió el comportamiento del sistema en cada caso, analizando la relación entre potencia activa, potencia aparente y consumo mensual de energía eléctrica.

Propuestas de estrategias de ahorro energético:

Finalmente, con los datos obtenidos del análisis, se plantearon estrategias de ahorro energético para mejorar el rendimiento de los sistemas de climatización del edificio E, las cuales se enfocaron en mejorar la eficiencia energética, disminuir el consumo mensual de energía eléctrica y realizar un uso eficiente de la energía, conservando las condiciones de confort térmico necesarias para los usuarios.

3.6 CODIGO DE MATLAB (VOLTAJES)

```
clc; clear; close all;

%% ===== DATOS =====
maquinas = {'M1', 'M2', 'M3', 'M4', 'M5', 'M6', 'M7', 'M8', ...
            'M9', 'M10', 'M11', 'M12', 'M13', 'M14', 'M15', 'M16'};

V_esc1 = [216.8 218.1 217.9 216.2 216.2 217.3 217.4 219.2 ...
          220.5 220.5 220.6 220.1 220.3 220.4 219.3 218.0];

V_esc2 = [220.0 220.1 220.0 219.9 219.8 219.7 219.8 219.8 ...
          220.4 220.5 220.6 220.4 220.5 220.6 220.5 220.7];

V_esc3 = [222.7 222.6 222.7 222.6 222.2 222.2 222.2 222.2 ...
          223.0 222.8 222.7 222.8 222.8 222.8 222.8 222.9];
```

```

fontName = 'Times New Roman';
fontSize = 10;

ymin = 200;
ymax = 230;
yticks_vals = ymin:2:ymax; % Paso pequeño para ver diferencias

%% ESCENARIO 1
figure
bar(V_esc1)
grid on
set(gca, 'FontName', fontName, 'FontSize', fontSize)
xticks(1:length(maquinas))
xticklabels(maquinas)
ylim([ymin ymax])
yticks(yticks_vals)
ytickformat('%.1f')
xlabel('Máquina')
ylabel('Voltaje promedio (V)')
title('Voltajes promedio - Escenario 1')

%% ESCENARIO 2
figure
bar(V_esc2)
grid on
set(gca, 'FontName', fontName, 'FontSize', fontSize)
xticks(1:length(maquinas))
xticklabels(maquinas)
ylim([ymin ymax])
yticks(yticks_vals)
ytickformat('%.1f')
xlabel('Máquina')
ylabel('Voltaje promedio (V)')
title('Voltajes promedio - Escenario 2')

%% ESCENARIO 3
figure
bar(V_esc3)
grid on
set(gca, 'FontName', fontName, 'FontSize', fontSize)
xticks(1:length(maquinas))
xticklabels(maquinas)
ylim([ymin ymax])
yticks(yticks_vals)
ytickformat('%.1f')
xlabel('Máquina')
ylabel('Voltaje promedio (V)')
title('Voltajes promedio - Escenario 3')

%% COMPARACIÓN
figure
bar([V_esc1; V_esc2; V_esc3]', 'grouped')
grid on
set(gca, 'FontName', fontName, 'FontSize', fontSize)

```

```

xticks(1:length(maquinas))
xticklabels(maquinas)
ylim([ymin ymax])
yticks(yticks_vals)
ytickformat('%.1f')
xlabel('Máquina')
ylabel('Voltaje promedio (V)')
legend('Escenario 1','Escenario 2','Escenario 3','Location','northwest')
title('Comparación de voltajes promedio entre escenarios')

```

3.7 CODIGO DE MATLAB (CORRIENTES)

```

clc; clear; close all;

%% ===== DATOS =====
maquinas = {'M1','M2','M3','M4','M5','M6','M7','M8', ...
            'M9','M10','M11','M12','M13','M14','M15','M16'};

% Escenario 1
I_E1 = [9.3 7.53 0.73 11.9 11.73 11.97 32.17 22.6 ...
        12.57 8.83 8.87 18.23 18.27 13 0.63 0.27];

% Escenario 2
I_E2 = [9.93 7.23 7.60 19.67 19.27 19.83 16.80 12.00 ...
        7.13 4.90 5.17 6.17 5.97 7.53 0.60 0.27];

% Escenario 3
I_E3 = [16.8 11.6 24.7 24.8 24.6 24.5 8.6 12.1 ...
        8.5 12.3 12.5 30.0 30.2 19.8 0.7 0.6];

%% ===== ESCENARIO 1 =====
figure;
bar(maquinas, I_E1);
grid on;
xlabel('Máquina');
ylabel('Corriente promedio (A)');
title('Escenario 1 - Corriente promedio por máquina');
xticks(maquinas);

%% ===== ESCENARIO 2 =====
figure;
bar(maquinas, I_E2);
grid on;
xlabel('Máquina');
ylabel('Corriente promedio (A)');
title('Escenario 2 - Corriente promedio por máquina');
xticks(maquinas);

%% ===== ESCENARIO 3 =====
figure;
bar(maquinas, I_E3);
grid on;
xlabel('Máquina');
ylabel('Corriente promedio (A)');

```

```

title('Escenario 3 - Corriente promedio por máquina');
xticks(maquinas);

%% ===== COMPARACIÓN ENTRE ESCENARIOS =====
figure;

datosComparacion = [I_E1; I_E2; I_E3]'; % 16 x 3
bar(maquinas, datosComparacion);

grid on;
xlabel('Máquina');
ylabel('Corriente promedio (A)');
title('Comparación de corrientes promedio por escenario');
legend('Escenario 1', 'Escenario 2', 'Escenario 3', 'Location', 'best');
xticks(maquinas);

```

3.8 CODIGO DE MATLAB (POTENCIA APARENTE)

```

clc; clear; close all;

%% ===== DATOS =====
maquinas = {'M1', 'M2', 'M3', 'M4', 'M5', 'M6', 'M7', 'M8', ...
'M9', 'M10', 'M11', 'M12', 'M13', 'M14', 'M15', 'M16'};

% Potencia aparente por escenario (kVA)
S_esc1 = [3.49 2.84 0.28 4.46 4.39 4.50 12.04 8.58 ...
4.80 3.37 3.39 6.95 6.97 4.96 0.24 0.10];

S_esc2 = [3.78 2.75 2.89 7.32 7.35 7.54 6.39 4.56 ...
2.72 1.87 1.97 2.35 2.27 2.87 0.22 0.10];

S_esc3 = [6.48 4.47 9.52 9.56 9.46 9.42 3.30 4.65 ...
3.28 4.74 4.82 11.57 11.65 7.64 0.27 0.23];

fontName = 'Times New Roman';
fontSize = 10;

%% ===== ESCENARIO 1 =====
figure
bar(S_esc1)
grid on
set(gca, 'FontName', fontName, 'FontSize', fontSize)
xticks(1:length(maquinas))
xticklabels(maquinas)
ylabel('Potencia aparente (kVA)')
xlabel('Máquina')
title('Potencia aparente por máquina - Escenario 1')

%% ===== ESCENARIO 2 =====
figure
bar(S_esc2)
grid on
set(gca, 'FontName', fontName, 'FontSize', fontSize)

```

```

xticks(1:length(maquinas))
xticklabels(maquinas)
ylabel('Potencia aparente (kVA)')
xlabel('Máquina')
title('Potencia aparente por máquina - Escenario 2')

%% ===== ESCENARIO 3 =====
figure
bar(S_esc3)
grid on
set(gca, 'FontName', fontName, 'FontSize', fontSize)
xticks(1:length(maquinas))
xticklabels(maquinas)
ylabel('Potencia aparente (kVA)')
xlabel('Máquina')
title('Potencia aparente por máquina - Escenario 3')

%% ===== COMPARACIÓN =====
figure
bar([S_esc1; S_esc2; S_esc3], 'grouped')
grid on
set(gca, 'FontName', fontName, 'FontSize', fontSize)
xticks(1:length(maquinas))
xticklabels(maquinas)
ylabel('Potencia aparente (kVA)')
xlabel('Máquina')
legend('Escenario 1', 'Escenario 2', 'Escenario 3', 'Location', 'northwest')
title('Comparación de potencia aparente entre escenarios')

```

3.9 CODIGO DE MATLAB (POTENCIA ACTIVA)

```

clc; clear; close all;

%% ===== DATOS =====
maquinas = {'M1', 'M2', 'M3', 'M4', 'M5', 'M6', 'M7', 'M8', ...
            'M9', 'M10', 'M11', 'M12', 'M13', 'M14', 'M15', 'M16'};

% Potencia activa por escenario (kW)
P_esc1 = [2.97 2.41 0.24 3.79 3.73 3.83 10.23 7.29 ...
          4.04 2.87 2.88 5.91 5.92 4.22 0.20 0.085];

P_esc2 = [3.21 2.33 2.45 6.22 6.24 6.40 5.43 3.87 ...
          2.72 1.58 1.67 2.00 1.92 2.43 0.018 0.085];

P_esc3 = [5.50 3.79 8.10 8.12 8.04 8.00 2.80 3.95 ...
          2.78 4.02 4.10 9.83 9.90 6.49 0.22 0.19];

fontName = 'Times New Roman';
fontSize = 10;

%% ===== ESCENARIO 1 =====
figure

```

```

bar(P_esc1)
grid on
set(gca, 'FontName', fontName, 'FontSize', fontSize)
xticks(1:length(maquinas))
xticklabels(maquinas)
ylabel('Potencia activa (kW)')
xlabel('Máquina')
title('Potencia activa por máquina - Escenario 1')

%% ===== ESCENARIO 2 =====
figure
bar(P_esc2)
grid on
set(gca, 'FontName', fontName, 'FontSize', fontSize)
xticks(1:length(maquinas))
xticklabels(maquinas)
ylabel('Potencia activa (kW)')
xlabel('Máquina')
title('Potencia activa por máquina - Escenario 2')

%% ===== ESCENARIO 3 =====
figure
bar(P_esc3)
grid on
set(gca, 'FontName', fontName, 'FontSize', fontSize)
xticks(1:length(maquinas))
xticklabels(maquinas)
ylabel('Potencia activa (kW)')
xlabel('Máquina')
title('Potencia activa por máquina - Escenario 3')

%% ===== COMPARACIÓN =====
figure
bar([P_esc1; P_esc2; P_esc3]', 'grouped')
grid on
set(gca, 'FontName', fontName, 'FontSize', fontSize)
xticks(1:length(maquinas))
xticklabels(maquinas)
ylabel('Potencia activa (kW)')
xlabel('Máquina')
legend('Escenario 1', 'Escenario 2', 'Escenario 3', 'Location', 'northwest')
title('Comparación de potencia activa entre escenarios')

```

3.10 CODIGO DE MATLAB (CONSUMO ENERGETICO MENSUAL)

```

clc; clear; close all;

%% ===== DATOS =====
maquinas = {'M1', 'M2', 'M3', 'M4', 'M5', 'M6', 'M7', 'M8', ...
            'M9', 'M10', 'M11', 'M12', 'M13', 'M14', 'M15', 'M16'};

%% ---- Consumo mensual (kWh) ----
E1 = [801 650 65 1023 1007 1034 2762 1968 ...

```

```

    1090 774 777 1595 1598 1139 54 22];

E2 = [866 629 661 1679 1684 1728 1466 1044 ...
      734 426 450 540 518 656 40 22];

E3 = [1485 1023 2187 2192 2170 2160 756 1066 ...
      750 1085 1107 2654 2673 1752 59 51];

%% ===== GRAFICAS POR ESCENARIO =====

% ---- Escenario 1 ----
figure;
bar(maquinas, E1);
grid on;
xlabel('Máquina');
ylabel('Consumo mensual (kWh)');
title('Escenario 1 - Consumo mensual por máquina');
xticks(maquinas);

% ---- Escenario 2 ----
figure;
bar(maquinas, E2);
grid on;
xlabel('Máquina');
ylabel('Consumo mensual (kWh)');
title('Escenario 2 - Consumo mensual por máquina');
xticks(maquinas);

% ---- Escenario 3 ----
figure;
bar(maquinas, E3);
grid on;
xlabel('Máquina');
ylabel('Consumo mensual (kWh)');
title('Escenario 3 - Consumo mensual por máquina');
xticks(maquinas);

%% ===== COMPARACION ENTRE ESCENARIOS =====

figure;
Consumos = [E1; E2; E3]';
bar(maquinas, Consumos);
grid on;
xlabel('Máquina');
ylabel('Consumo mensual (kWh)');
title('Comparación del consumo energético mensual entre escenarios');
legend('Escenario 1', 'Escenario 2', 'Escenario 3', 'Location', 'best');
xticks(maquinas);

```

3.11 DEFINICIÓN DE LOS ESCENARIOS DE ANÁLISIS ENERGÉTICO

Con el objetivo de examinar el desempeño energético de los sistemas de aire acondicionado del edificio E en diversas condiciones circunstancias, este estudio ha definido tres escenarios de análisis distintos, llamados Escenario 1,2 y 3. La definición de estos escenarios posibilita la evaluación del rendimiento energético de los equipos, tanto en su estado operativo normal como en un análisis técnico. Esto ayuda a comparar resultados y detectar potenciales ineficiencias.

3.12 ESCENARIO 1

Primer día de toma de datos eléctricos de los aires acondicionados del edificio E. Los aires acondicionados operaron en su régimen normal sin cambios en sus horarios o condiciones de uso de los espacios.

Los valores resultantes representan el comportamiento energético que usualmente tiene el sistema en un día regular de clases. Estos datos crean un punto de referencia en el tiempo, a partir del cual es posible compararlos con los resultados de las siguientes jornadas de medición.

3.12.1 (V) PROMEDIO MEDIDOS POR MÁQUINA (ESCENARIO 1)

La **Tabla 1** presenta los voltajes línea-a-línea medidos en 16 máquinas de aire acondicionado bajo el Escenario 1; los valores se concentran entre 215 V y 222 V, con voltajes promedio por máquina entre 216,2 V y 220,6 V, lo que indica una alimentación cercana al valor esperado de 220 V y desbalances fase-a-fase pequeños (unos pocos voltios) que deben evaluarse en función de tolerancias y calidad de suministro.

TABLA I
VOLTAJES PROMEDIO MEDIDOS POR MÁQUINA (ESCENARIO 1)

Máquina	Panel	L1-L2 (V)	L2-L3 (V)	L1-L3 (V)	Voltaje promedio (V)
M1	P - 2	217,2	217,7	215,5	216,8
M2	P - 2	217,3	219	217,8	218,1
M3	P - 2	218,2	219,4	216,3	217,9

M4	P - 3	216,1	217,9	214,8	216,2
M5	P - 3	215,2	217,9	215,5	216,2
M6	P - 3	217,6	219,1	215,2	217,3
M7	P A - 3 - 4	216,7	218,4	217,1	217,4
M8	P A - 3	219,2	220,3	218,2	219,2
M9	P - 3	220,5	221,8	219,1	220,5
M10	P - 3	220,5	221,9	219,2	220,5
M11	P - 3	220,5	222,2	219,1	220,6
M12	P - 4	220,1	221,6	218,7	220,1
M13	P - 4	220,1	221,7	219,1	220,3
M14	P - 4	220,3	221,8	219,2	220,4
M15	1 - 2	220,2	220,6	217,3	219,3
M16	P - A	219,2	220,5	217,3	218

Tabla 1 Voltajes promedio medidos por maquina escenario 1

Fuente: [Autores]

- Procedimiento: medir las tres tensiones líneas-a-línea en cada máquina con la carga en funcionamiento, registrar condiciones de carga, y calcular el voltaje promedio como la media aritmética de las tres lecturas por máquina.
- Calculo: el voltaje promedio por maquina se obtiene

$$V_{prom} = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3} \quad (1)$$

Ecuación 1 Media aritmética

Donde:

V_{prom} = Voltaje promedio (V).

V_1, V_2, V_3 = Voltajes línea – línea medidos (V).

3 = Número de fases.

En la **Figura 8** como representa los valores de tensión promedio medidos en 16 máquinas de aire acondicionado del Edificio E, bajo condiciones operativas del Escenario 1. El eje horizontal (X) identifica cada máquina (M1 a M16), mientras que el eje vertical (Y) muestra el voltaje promedio en voltios (V), con un rango de 200 a 230 V. Las barras son de altura similar, lo que indica uniformidad en el suministro eléctrico.

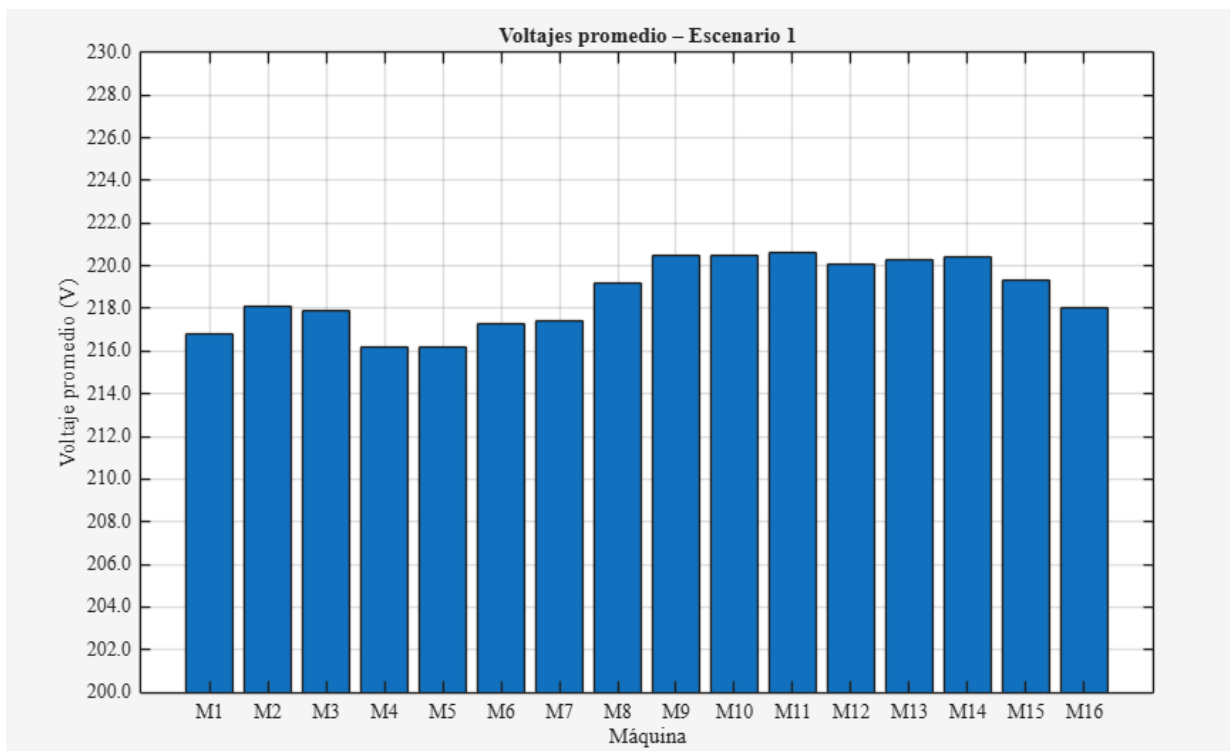


Figura 8 Gráfico de voltajes promedio por maquina escenario 1

Fuente: [Autores]

3.12.2 (I) PROMEDIO MEDIDAS POR MÁQUINA (ESCENARIO 1)

La **Tabla 2** presenta las corrientes medidas en las tres fases para 16 unidades de aire acondicionado del Edificio E en el Escenario 1; los valores muestran máquinas con consumos bajos menor a 1 A, medias 7 – 19 A y altas 22 – 32 A, y en general un buen balance entre fases salvo casos puntuales.

TABLA II
CORRIENTES PROMEDIO MEDIDAS POR MÁQUINA (ESCENARIO 1)

Máquina	Panel	L1 (A)	L2 (A)	L3 (A)	Corriente promedio (A)
M1	P - 2	9	9,3	9,6	9,3
M2	P - 2	7,3	7,4	7,9	7,53
M3	P - 2	0,8	0,6	0,8	0,73
M4	P - 3	11,7	11,9	12,1	11,9
M5	P - 3	11,3	11,6	12,3	11,73
M6	P - 3	11,8	11,9	12,2	11,97
M7	P A - 3 - 4	31,8	32	32,7	32,17

M8	P A - 3	22,4	22,4	23	22,6
M9	P - 3	12,4	12,5	12,8	12,57
M10	P - 3	8,9	8,7	8,9	8,83
M11	P - 3	8,7	8,9	9	8,87
M12	P - 4	18,1	18,2	18,4	18,23
M13	P - 4	18,2	18,2	18,4	18,27
M14	P - 4	12,9	12,8	13,3	13
M15	1 - 2	0,6	0,5	0,8	0,63
M16	P - A	0,3	0,3	0,2	0,27

Tabla 2 Corriente promedio medidas por maquina escenario 1

Fuente: [Autores]

- Procedimiento: medir cada fase en condiciones estables, registrar al menos 3 lecturas por fase y promediar; anotar hora, temperatura ambiente y estado de carga del equipo.
- Cálculo: la corriente promedio por máquina se obtiene

$$I_{prom} = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3} \quad (2)$$

Ecuación 2 Media aritmética

Donde:

I_{prom} = Corriente promedio (Amp).

I_1, I_2, I_3 = Corrientes de línea medidas (Amp).

3 = Número de fases.

En la **Figura 9** representa las corrientes promedio trifásicas medidas en 16 máquinas de aire acondicionado del Edificio E. El eje horizontal (X) identifica cada máquina (M1 a M16), mientras que el eje vertical (Y) muestra la corriente promedio en amperios (A), con un rango de 0 a 35 A. Cada barra refleja el valor medio de corriente registrado en las tres fases (L_1, L_2, L_3) para cada equipo.

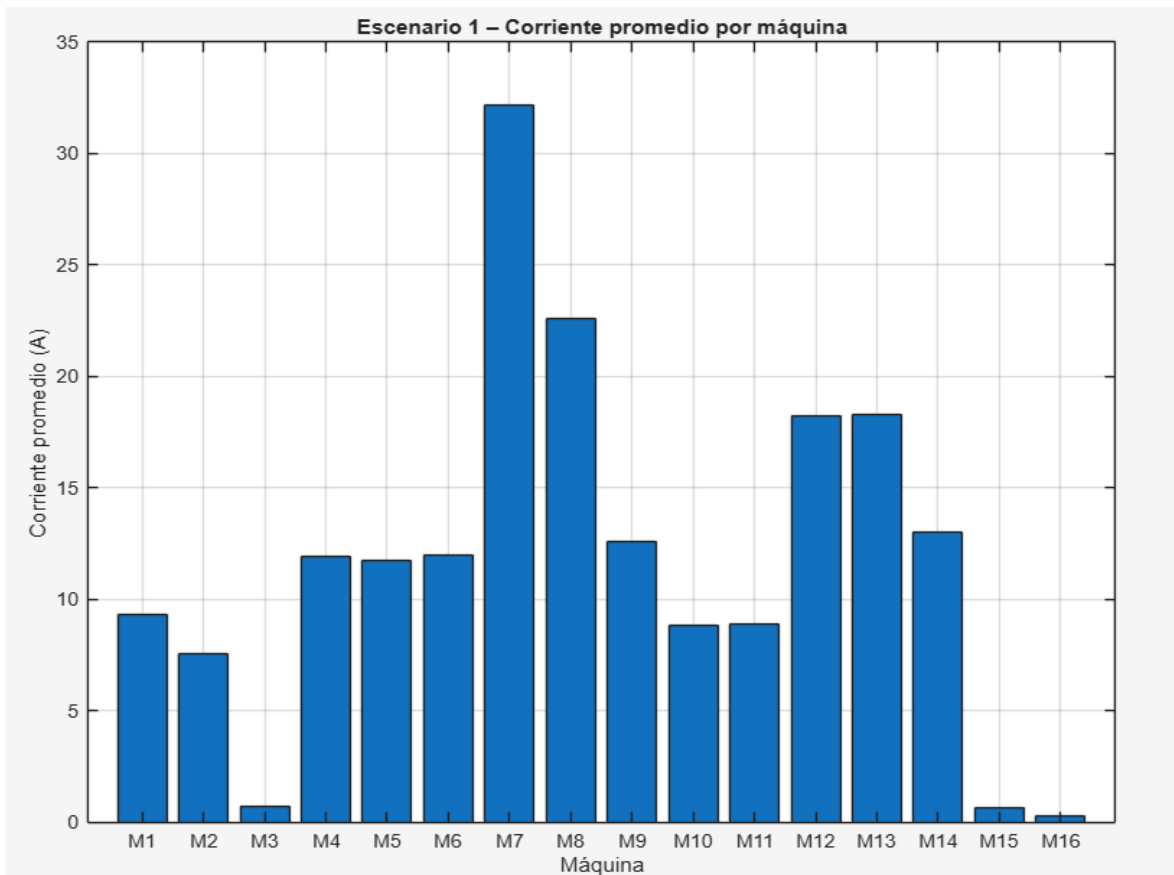


Figura 9 Gráfico de corrientes promedio por máquina escenario 1

Fuente: [Autores]

3.13 ESCENARIO 2

El Escenario 2 representa el segundo día de levantamiento de información eléctrica. En este día se volvieron a tomar las mediciones de los parámetros energéticos de los equipos de climatización, los cuales variaron en comparación al día anterior.

Estas variaciones reflejan la influencia de factores operativos del día a día, como la ocupación de las áreas, el tiempo de funcionamiento de los equipos y las condiciones ambientales del día. Los datos tomados en esta configuración ayudan a caracterizar mejor el comportamiento energético diario del sistema de aire acondicionado.

3.13.1 (V) PROMEDIO MEDIDOS POR MÁQUINA (ESCENARIO 2)

En la **Tabla 3** están los voltajes de cada Máquina (M1–M16) y su panel asociado, las tres mediciones de tensión L₁–L₂, L₂–L₃ y L₁–L₃ (V) y un voltaje promedio por máquina calculado como la media aritmética de las tres lecturas. Los datos corresponden a mediciones realizadas con los equipos en funcionamiento en el Escenario 2 del Edificio E. Los promedios por máquina varían entre 219.7 V y 220.7 V, lo que sitúa la mayoría de las lecturas muy cerca del valor nominal esperado de 220 V.

TABLA III
VOLTAJES PROMEDIO MEDIDOS POR MÁQUINA (ESCENARIO 2)

Máquina	Panel	L1–L2 (V)	L2–L3 (V)	L1–L3 (V)	Voltaje promedio (V)
M1	P - 2	219.8	221.5	218.8	220
M2	P - 2	219.8	221.5	219	220.1
M3	P - 2	219.7	221.5	218.9	220
M4	P - 3	219.7	221.3	218.7	219.9
M5	P - 3	219.5	221.2	218.6	219.8
M6	P - 3	219.5	221.2	218.4	219.7
M7	P A - 3 - 4	219.5	221.3	218.6	219.8
M8	P A - 3	219.6	221.3	218.6	219.8
M9	P - 3	220.3	221.8	219.2	220.4
M10	P - 3	220.2	222	219.3	220.5
M11	P - 3	220.4	222.1	219.4	220.6
M12	P - 4	220.1	221.8	219.4	220.4
M13	P - 4	220.2	222.1	219.3	220.5
M14	P - 4	220.4	222	219.3	220.6
M15	1 - 2	220.3	221.8	219.3	220.5
M16	P - A	220.4	222.1	219.5	220.7

Tabla 3 Voltajes promedio medidos por maquina escenario 2

Fuente: [Autores]

La **Figura 10** podemos ver que representa los valores de tensión promedio medidos en 16 máquinas de aire acondicionado del Edificio E, bajo condiciones operativas del Escenario 2. El eje horizontal (X) identifica cada máquina (M1 a M16), mientras que el eje vertical (Y) muestra el voltaje promedio en voltios (V), con un rango de 200 a 230 V. Las barras son de altura muy similar, lo que indica uniformidad en el suministro eléctrico.

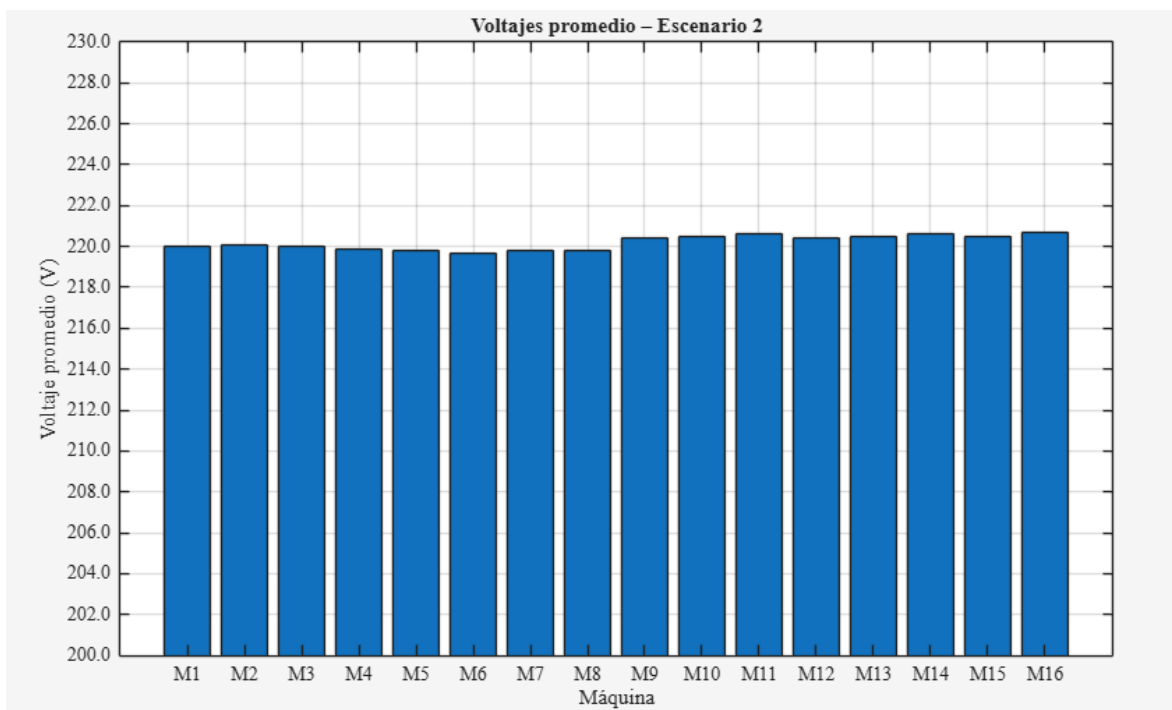


Figura 10 Gráfico de voltajes promedio por maquina escenario 2

Fuente: [Autores]

3.13.2 (I) PROMEDIO MEDIDAS POR MÁQUINA (ESCENARIO 2)

Podemos observar en la **Tabla 4** las corrientes representan, para cada Máquina (M1–M16) y su panel, las lecturas de corriente en L₁, L₂ y L₃ (Amp) y la corriente promedio calculada como la media aritmética de las tres fases. Las mediciones corresponden al Escenario 2 y fueron tomadas con los equipos en operación en el Edificio E. Los promedios más altos se observan en M4–M6 (19 – 20 A) y los más bajos en M15–M16 (0,27 – 0,60 A).

TABLA IV
CORRIENTES PROMEDIO MEDIDAS POR MÁQUINA (ESCENARIO 2)

Máquina	Panel	L1 (A)	L2 (A)	L3 (A)	Corriente promedio (A)
M1	P - 2	9.8	9.9	10.1	9.93
M2	P - 2	7.2	7.1	7.4	7.23
M3	P - 2	7.7	7.4	7.7	7.60
M4	P - 3	19.6	19.4	20	19.67
M5	P - 3	19.1	19	19.7	19.27

M6	P - 3	19.9	19.5	20.1	19.83
M7	P A - 3 - 4	16.4	16.7	17.3	16.80
M8	P A - 3	11.4	12.1	12.5	12.00
M9	P - 3	7.2	7.1	7.1	7.13
M10	P - 3	5.0	4.9	4.8	4.90
M11	P - 3	5.2	5.2	5.1	5.17
M12	P - 4	6.2	6.1	6.2	6.17
M13	P - 4	6	5.9	6	5.97
M14	P - 4	7.5	7.6	7.5	7.53
M15	1 - 2	0.7	0.5	0.6	0.60
M16	P - A	0.3	0.3	0.2	0.27

Tabla 4 Corriente promedio medidas por maquina escenario 2

Fuente: [Autores]

La **Figura 11** las corrientes promedio trifásicas medidas en 16 máquinas de aire acondicionado del Edificio E, bajo condiciones operativas del Escenario 2. El eje horizontal (X) identifica cada máquina (M1 a M16), mientras que el eje vertical (Y) muestra la corriente promedio en amperios (A). Cada barra refleja el valor medio de corriente registrado en las tres fases (L₁, L₂, L₃) para cada equipo.

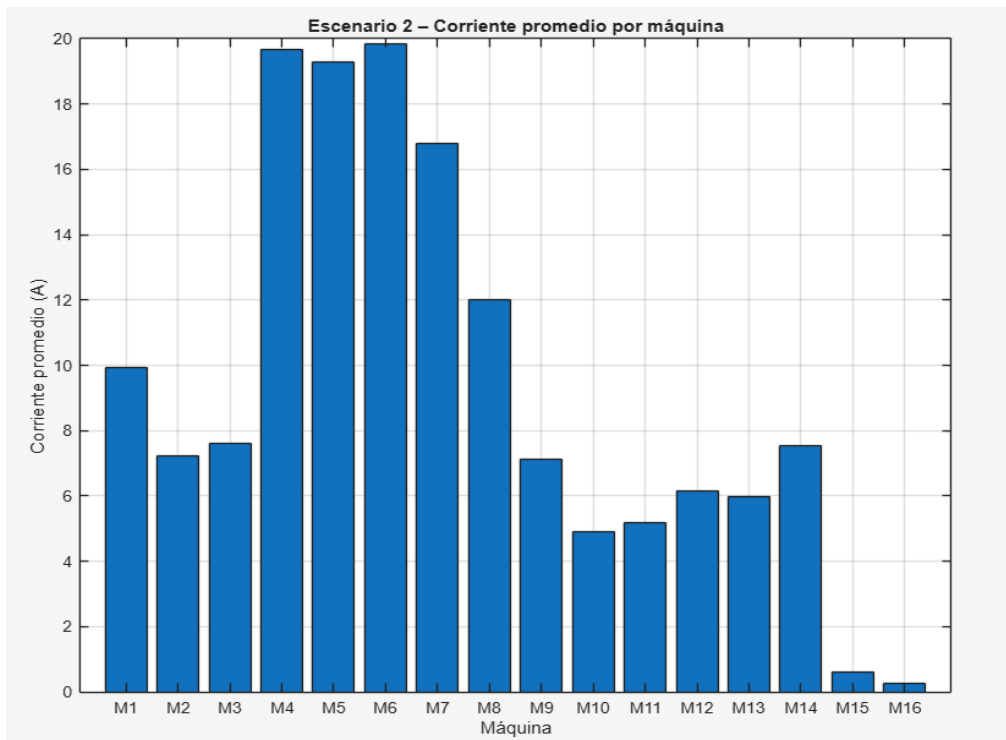


Figura 11 Gráfico de corrientes promedio por maquina escenario 2

Fuente: [Autores]

3.14 ESCENARIO 3

Tercer día de medición del consumo energético de los sistemas de climatización del edificio E. En este día se obtuvieron valores eléctricos superiores a los días anteriores en algunos equipos, lo que demuestra que hubo mayor demanda de energía.

La información adquirida en este ambiente permite evaluar el comportamiento del sistema en condiciones más exigentes de operación. Además, permite identificar equipos que más energía consumen y proporciona una visión global del comportamiento energético del sistema en el tiempo, en días distintos de operación.

3.14.1 (V) PROMEDIO MEDIDOS POR MÁQUINA (ESCENARIO 3)

La **Tabla 5** presenta los voltajes línea-a-línea medidos en 16 máquinas de aire acondicionado del Edificio E bajo el Escenario 3. Los valores se concentran en torno a 222–223 V, con un rango entre 220,7 V y 224,8 V, lo que evidencia un suministro estable, cercano al nominal de 220 V, y con mínimo desbalance entre fases.

TABLA V
VOLTAJES PROMEDIO MEDIDOS POR MÁQUINA (ESCENARIO 3)

Máquina	Panel	L1–L2 (V)	L2–L3 (V)	L1–L3 (V)	Voltaje promedio (V)
M1	P - 2	222,4	224,4	221,2	222,7
M2	P - 2	222,4	224,3	221,2	222,6
M3	P - 2	222,5	224,3	221,2	222,7
M4	P - 3	222,4	224,2	221,1	222,6
M5	P - 3	222	224	220,7	222,2
M6	P - 3	222,1	223,8	220,7	222,2
M7	P A - 3 - 4	222	223,8	220,7	222,2
M8	P A - 3	222	223,9	220,8	222,2
M9	P - 3	222,7	224,7	221,5	223,0
M10	P - 3	222,5	224,5	221,3	222,8
M11	P - 3	222,5	224,2	221,4	222,7
M12	P - 4	222,6	224,5	221,3	222,8
M13	P - 4	222,5	224,5	221,4	222,8

M14	P - 4	222,8	224,5	221,2	222,8
M15	1 - 2	222,6	221,3	224,6	222,8
M16	P - A	222,6	224,8	221,3	222,9

Tabla 5 Voltajes promedio medidos por maquina escenario 3

Fuente: [Autores]

En la **Figura 12** los valores de tensión promedio medidos en 16 máquinas de aire acondicionado del Edificio E, bajo condiciones operativas del Escenario 3. El eje horizontal (X) identifica cada máquina (M1 a M16), mientras que el eje vertical (Y) muestra el voltaje promedio en voltios (V). Las barras son de altura prácticamente uniforme, lo que indica una excelente consistencia en el suministro eléctrico.

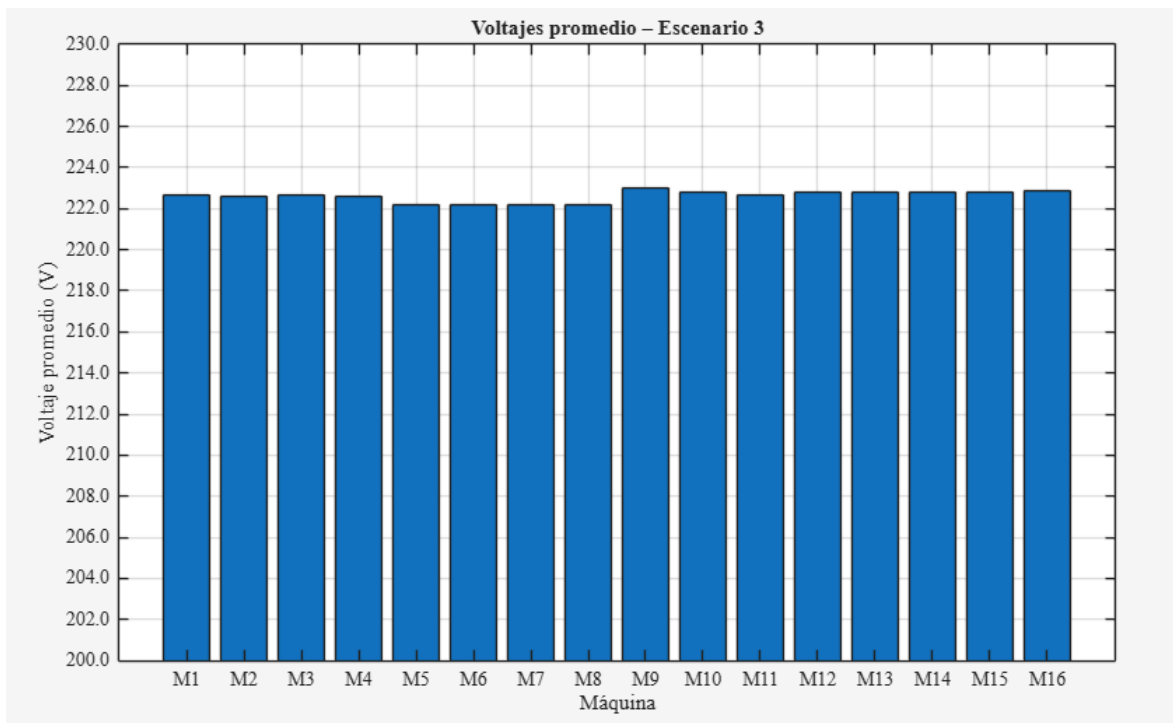


Figura 12 Gráfico de voltajes promedio por maquina escenario 3

Fuente: [Autores]

3.14.2 (I) PROMEDIO MEDIDAS POR MÁQUINA (ESCENARIO 3)

La **Tabla 6** presenta las corrientes trifásicas medidas en 16 máquinas de aire acondicionado del Edificio E bajo el Escenario 3. Los valores se distribuyen entre 0,6 A y 30,2 A, con un claro grupo de equipos de alto consumo (M3 – M6 y M12 – M13) y otros de bajo consumo (M15 – M16). En general, las fases muestran diferencias mínimas menor a 1 A, lo que indica un buen balance trifásico.

TABLA VI
CORRIENTES PROMEDIO MEDIDAS POR MÁQUINA (ESCENARIO 3)

Máquina	Panel	L1 (A)	L2 (A)	L3 (A)	Corriente promedio (A)
M1	P - 2	16,6	16,7	17,1	16,8
M2	P - 2	11,5	11,5	11,7	11,6
M3	P - 2	24,5	24,6	25,1	24,7
M4	P - 3	24,4	24,7	25,3	24,8
M5	P - 3	24,4	24,4	25,1	24,6
M6	P - 3	24,4	24,1	25	24,5
M7	P A - 3 - 4	8,6	8,5	8,8	8,6
M8	P A - 3	12,1	11,9	12,4	12,1
M9	P - 3	8,5	8,4	8,6	8,5
M10	P - 3	12,3	12,1	12,5	12,3
M11	P - 3	12,5	12,4	12,5	12,5
M12	P - 4	29,9	29,7	30,4	30,0
M13	P - 4	30	30	30,7	30,2
M14	P - 4	19,7	19,6	20,2	19,8
M15	1 - 2	0,7	0,7	0,8	0,7
M16	P - A	0,5	0,6	0,6	0,6

Tabla 6 Corrientes promedio medidas por maquina escenario 3

Fuente: [Autores]

En sistemas trifásicos, se considera aceptable un desbalance de corriente menor al 10% entre fases; aquí los valores están muy por debajo de ese límite.

La **Figura 13** podemos ver que representa las corrientes promedio trifásicas medidas en 16 máquinas de aire acondicionado del Edificio E, bajo condiciones operativas del Escenario 3. El eje horizontal (X) identifica cada máquina (M1 a M16), mientras que el eje vertical (Y) muestra la corriente promedio en amperios (A). Cada barra refleja el valor medio de corriente registrado en las tres fases (L₁, L₂, L₃) para cada equipo.

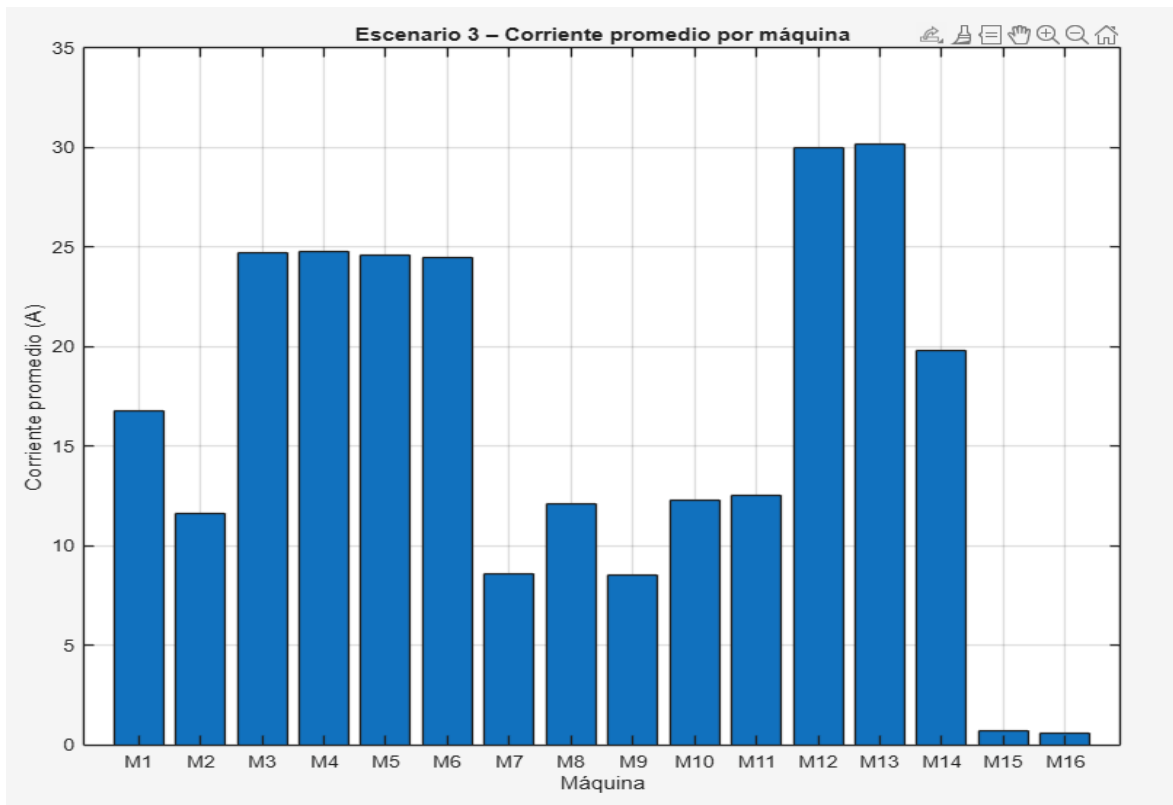


Figura 13 Gráfico de corrientes promedio por maquina escenario 3

Fuente: [Autores]

3.15 COMPARACIÓN DE LOS ESCENARIOS (VOLTAJES)

En la **Figura 14** podemos observar los valores de tensión promedio medidos en 16 máquinas de aire acondicionado del Edificio E, bajo tres condiciones operativas distintas: Escenario 1 (azul), Escenario 2 (naranja) y Escenario 3 (amarillo). El eje horizontal (X) identifica cada máquina (M1 a M16), mientras que el eje vertical (Y) muestra el voltaje promedio en voltios (V).

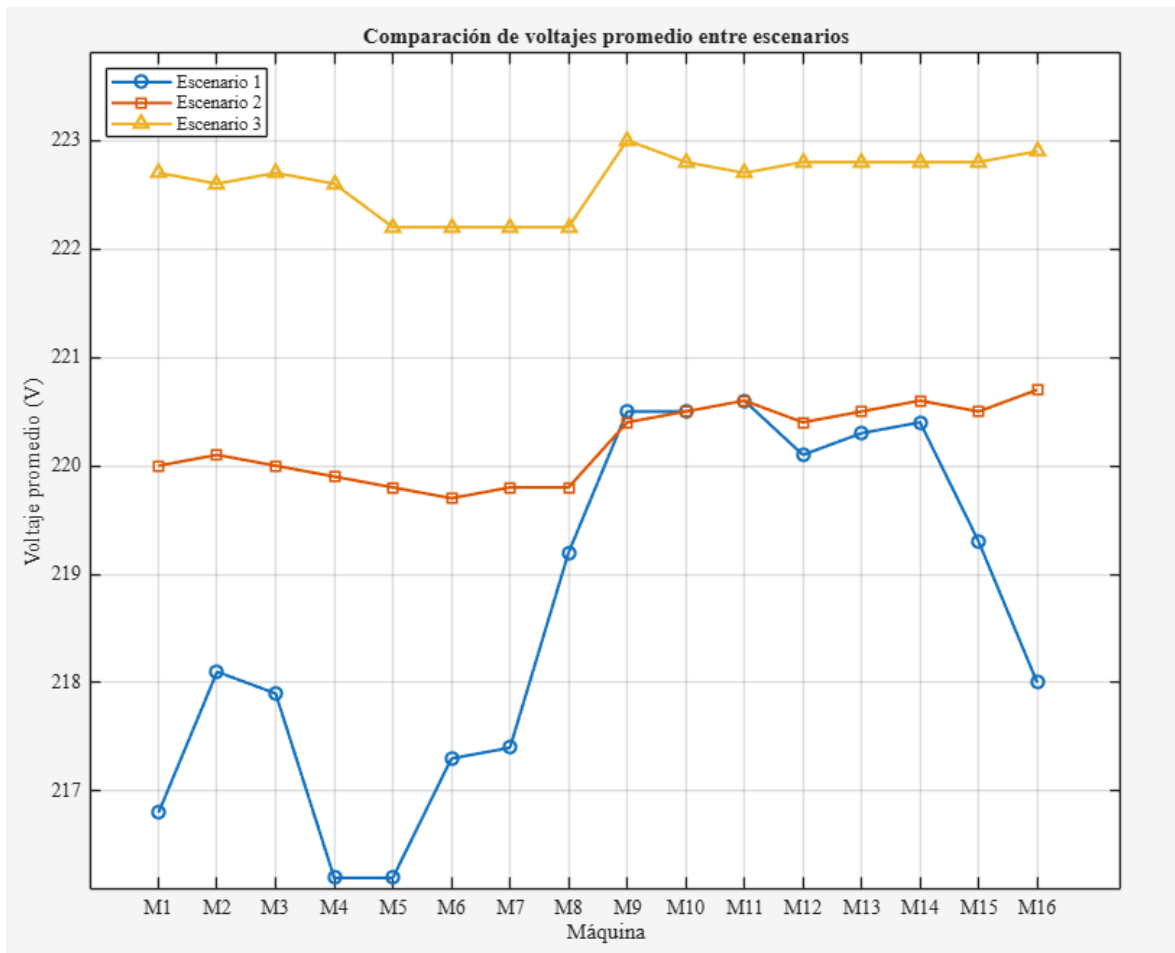


Figura 14 Comparación de voltajes promedio entre escenarios

Fuente: [Autores]

- Uniformidad entre escenarios: Las barras de cada máquina muestran pequeñas variaciones de voltaje entre los tres escenarios, lo que indica un suministro eléctrico estable.
- Tendencia general: Se observa un ligero incremento progresivo de voltaje desde Escenario 1 (216 – 220 V) hasta Escenario 3 (222 – 223 V), lo que puede asociarse a ajustes en la red, menor carga global o condiciones ambientales más favorables.
- Máquinas con mayor variación: M1 – M6 presentan diferencias más notables entre escenarios, mientras que M9 – M16 mantienen voltajes más constantes.

- Desbalance entre fases: No se evidencian saltos abruptos ni caídas de tensión, lo que sugiere que el sistema mantiene un bajo desbalance trifásico en todos los escenarios.

3.16 COMPARACIÓN DE LOS ESCENARIOS (CORRIENTES)

La **Figura 15** podemos ver y observar que representa las corrientes promedio trifásicas medidas en 16 máquinas de aire acondicionado del Edificio E, bajo tres condiciones operativas distintas: Escenario 1 (azul), Escenario 2 (naranja) y Escenario 3 (amarillo). El eje horizontal (X) identifica cada máquina (M1 a M16), mientras que el eje vertical (Y) muestra la corriente promedio en amperios (A). Cada grupo de barras permite visualizar cómo varía el consumo eléctrico por máquina entre los tres escenarios.

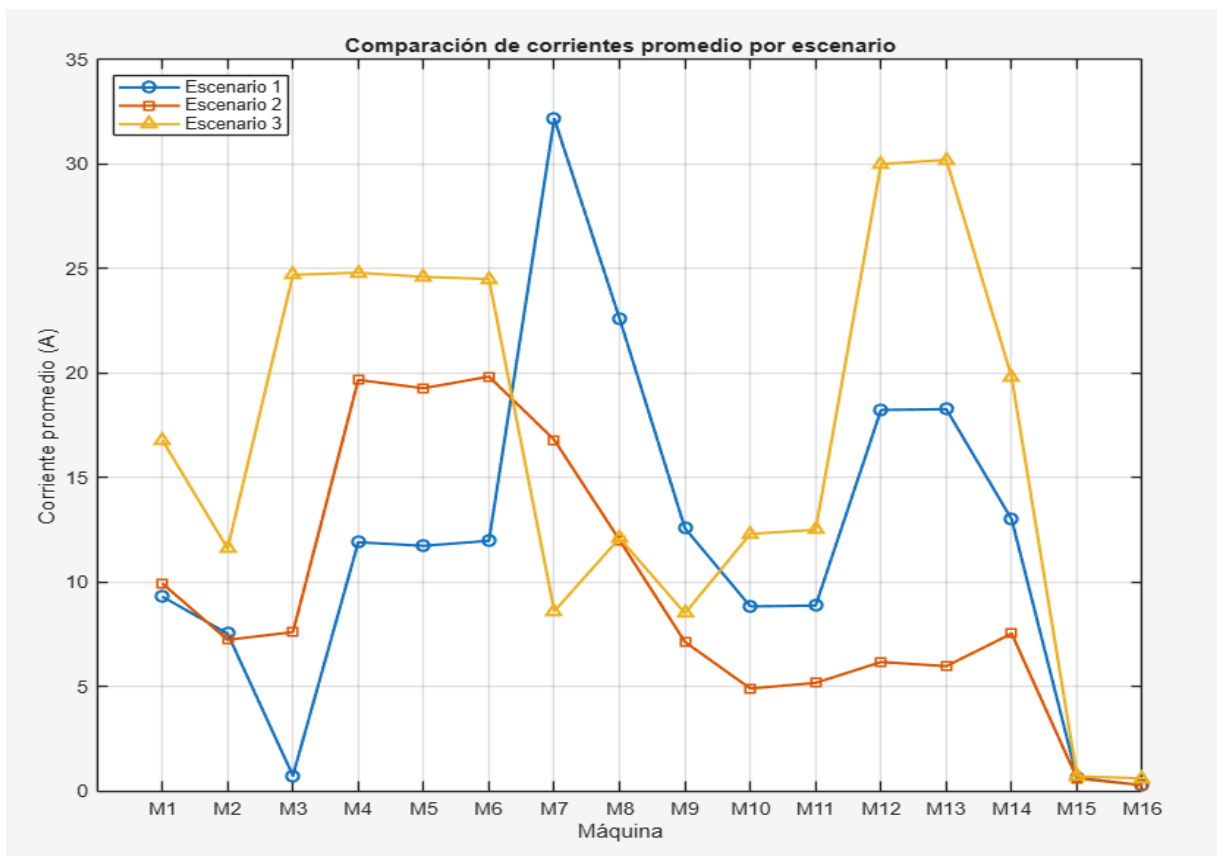


Figura 15 Comparación de corrientes promedio por escenario

Fuente: [Autores]

Incremento progresivo: En la mayoría de máquinas medidas, se observa un aumento de corriente desde el Escenario 1 al Escenario 3, lo que sugiere una mayor demanda térmica o condiciones de carga más exigentes.

Máquinas críticas: M3 – M6 y M12 – M13 presentan los valores más altos en Escenario 3 (25 – 30 A), lo que indica unidades de gran capacidad o alta exigencia operativa.

Máquinas de bajo consumo: M15 y M16 mantienen corrientes bajas menores a 1 A en todos los escenarios, posiblemente por estar en reposo o ser auxiliares.

Estabilidad relativa: Aunque hay variaciones, la mayoría de máquinas muestran comportamientos consistentes entre escenarios, lo que indica una operación controlada.

CAPÍTULO IV

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS POR ESCENARIO

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS TABLA I

En la **Figura 16** como representa los valores de tensión promedio medidos en 16 máquinas de aire acondicionado del Edificio E, bajo condiciones operativas del Escenario 1. El eje horizontal (X) identifica cada máquina (M1 a M16), mientras que el eje vertical (Y) muestra el voltaje promedio en voltios (V), con un rango de 200 a 230 V.

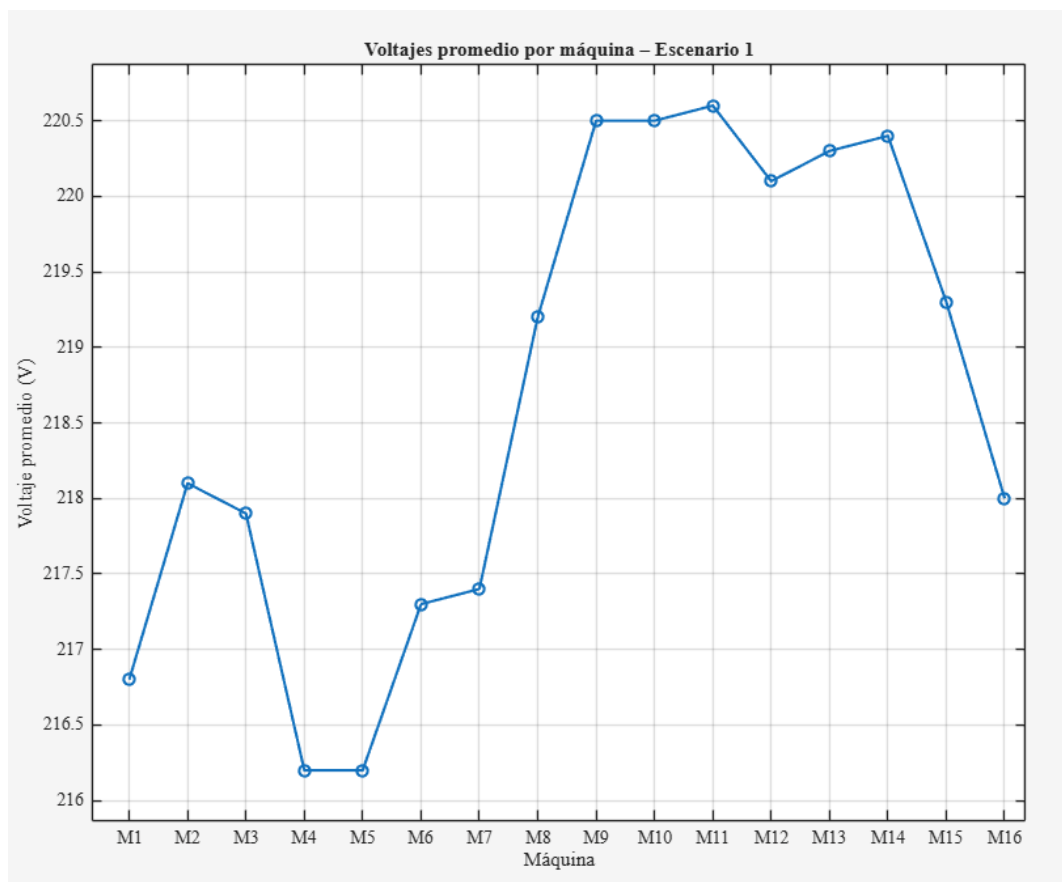


Figura 16 Gráfico de puntos voltajes promedio escenario 1

Rango observado: las lecturas L - L oscilan aproximadamente entre 215,2 V (mín.) y 222,2 V (máx.); los promedios por máquina están entre 216,2 V y 220,6 V.

Desbalance fase a fase: en la mayoría de las máquinas las diferencias entre L_1-L_2 , L_2-L_3 y L_1-L_3 son pequeñas (1 – 4 V), lo que sugiere bajo desbalance relativo. M11 muestra la lectura máxima puntual (222,2 V) en una de las fases.

Tendencias: hay un grupo de máquinas (M9 – M14) con promedios cercanos a 220 V, y otro grupo (M1 – M7) con promedios ligeramente menores (216 – 218 V), lo que puede indicar diferencias por paneles o rutas de alimentación.

Calidad de suministro: los valores medidos están próximos al valor nominal esperado (220 V línea-a-línea en muchos sistemas), por lo que no se observan desviaciones severas en este conjunto de datos.

Impacto en equipos: pequeños desbalances y variaciones de 2 – 3% suelen ser tolerables para aires acondicionados, pero variaciones persistentes o armónicos pueden afectar eficiencia y vida útil.

4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS TABLA II

En la **Figura 17** representa las corrientes promedio trifásicas medidas en 16 máquinas de aire acondicionado del Edificio E. El eje horizontal (X) identifica cada máquina (M1 a M16), mientras que el eje vertical (Y) muestra la corriente promedio en amperios (A), con un rango de 0 a 35 A.

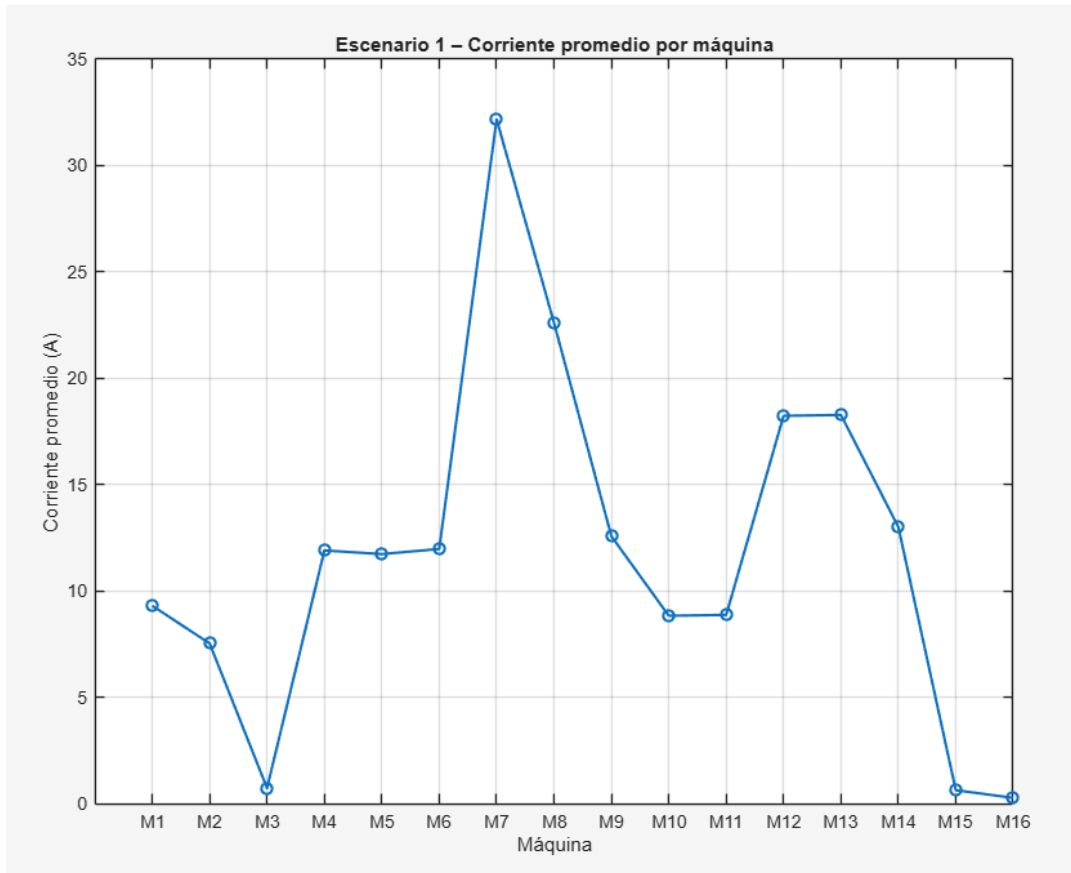


Figura 17 Gráfico de puntos corriente promedio escenario 1

Clasificación por consumo:

- Bajo consumo: M3, M15, M16 con promedios = 0,27 – 0,73 A.
- Consumo medio: M1 – M6, M9 – M14 – M12 – M13 con promedios = 7,5 – 18,3 A.
- Alto consumo: M7 con (32,17 A) y M8 con (22,6 A).

Balance entre fases: la mayoría de las máquinas presentan diferencias entre fases pequeñas menor igual a (≤ 1 A), lo que indica sistema relativamente equilibrado; las máquinas con mayor corriente (M7, M8) muestran también fases cercanas entre sí, lo que sugiere carga trifásica bien distribuida.

Comparación con valores normales: los consumos observados para equipos grandes (20 – 32 A) son coherentes con aires acondicionados de mayor capacidad, mientras que los valores menores a < 1 Amp suelen ser equipos que no estén funcionando en ese momento.

En un sistema trifásico equilibrado, las corrientes de fase deberían ser similares; el concepto y la definición de equilibrio aplicable a estas mediciones se encuentra en la literatura técnica sobre sistemas trifásicos.

Impacto operativo: máquinas con corrientes elevadas requieren verificar protecciones térmicas y capacidad de conductores; además de que las cargas concentradas en ciertos paneles pueden justificar redistribución para reducir pérdidas y caídas de tensión.

4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS TABLA III

La **Figura 18** podemos ver que representa los valores de tensión promedio medidos en 16 máquinas de aire acondicionado del Edificio E, bajo condiciones operativas del Escenario 2. El eje horizontal (X) identifica cada máquina (M1 a M16), mientras que el eje vertical (Y) muestra el voltaje promedio en voltios (V), con un rango de 200 a 230 V.

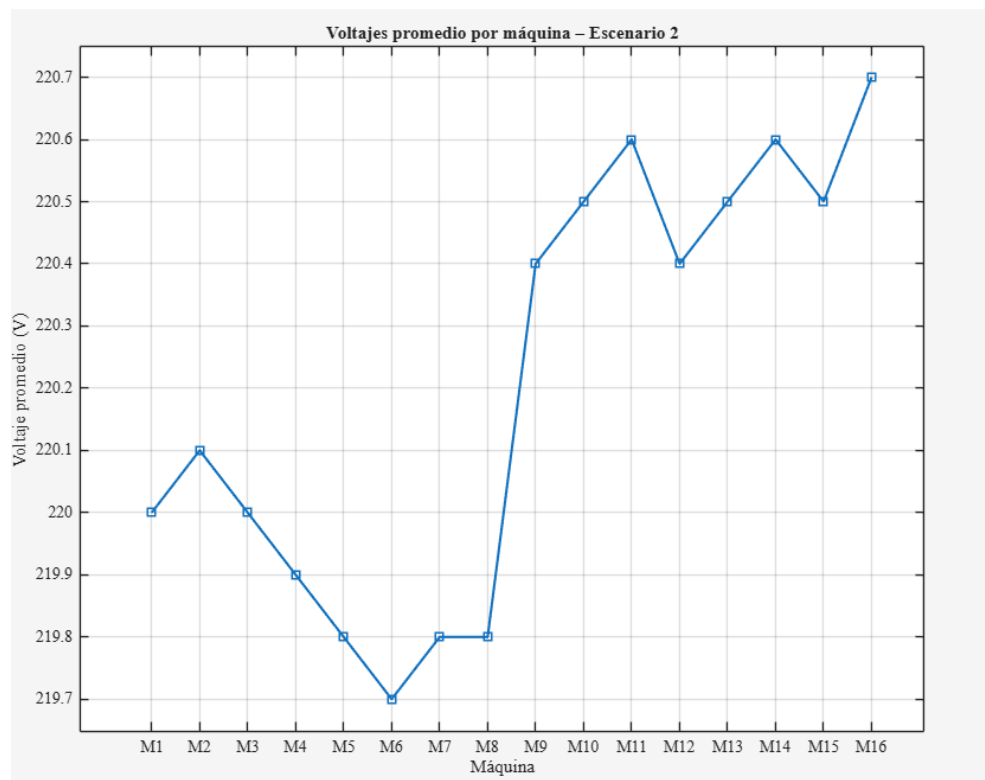


Figura 18 Gráfico de puntos voltaje promedio escenario 2

Rango observado: lecturas entre 219.7 V (mín.) y 220.7 V (máx.), con la mayoría de los promedios en = 220 – 220,7 V.

Desbalance: las diferencias entre fases por máquina son pequeñas (1,6 V), lo que implica un desbalance de voltaje muy bajo. Según criterios técnicos y normas de calidad de suministro, un desbalance de voltaje por debajo de 2% suele considerarse aceptable; los valores aquí reportados cumplen esa condición.

Patrones por panel: no se observan desviaciones sistemáticas por panel; las máquinas M9 – M16 muestran promedios ligeramente superiores (220,4 – 220,7 V) frente a M1–M8 (220 – 219.8,1 V), lo que puede deberse a diferencias en la alimentación o en la ubicación física.

Calidad de suministro: los voltajes medidos son coherentes con un suministro estable y dentro de tolerancias normales, por lo que no se esperan efectos adversos inmediatos sobre los aires acondicionados por variaciones de tensión.

Impacto operativo: equipos sensibles se benefician de este nivel de estabilidad; sin embargo, es recomendable vigilar armónicos y transitorios que no quedan reflejados en mediciones puntuales.

4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS TABLA IV

La **Figura 19** las corrientes promedio trifásicas medidas en 16 máquinas de aire acondicionado del Edificio E, bajo condiciones operativas del Escenario 2. El eje horizontal (X) identifica cada máquina (M1 a M16), mientras que el eje vertical (Y) muestra la corriente promedio en amperios (A).

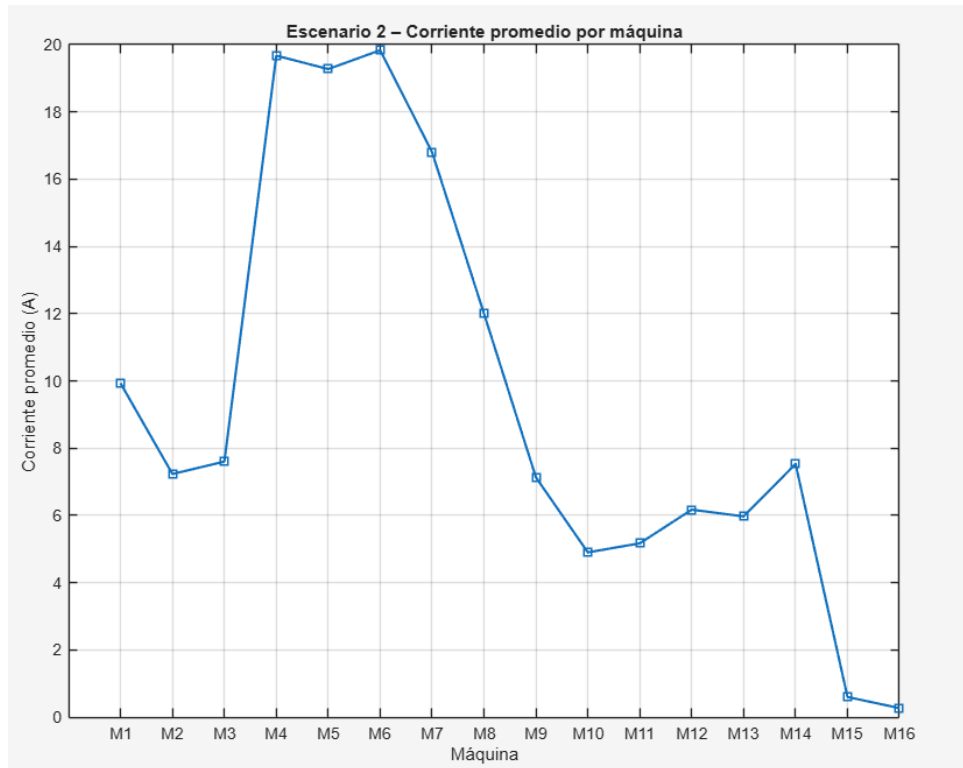


Figura 19 Gráfico de puntos corriente promedio escenario 2

Rango y clasificación: mínimo 0,27 A (M16); máximo 19,83 A (M6). Se identifican tres grupos: bajas menores a (1 A), medias (4 – 12 A) y altas (16 – 20 A).

Balance entre fases: la mayoría de las máquinas muestran diferencias entre fases 1 A, lo que indica un buen balance en la distribución de carga. Esto es deseable para reducir corrientes en el neutro y pérdidas en la instalación.

Máquinas críticas: M4 – M6 – M5 presentan corrientes elevadas y deben verificarse protecciones, capacidad de conductores y temperatura de operación.

Dato clave: M4 – M6 – M5 = 19 – 20 Amp; M7 = 16,8 Amp; M8 = 12 Amp; M15 – M16 son menores a < 1 Amp.

Eficiencia y seguridad: un sistema trifásico equilibrado mejora eficiencia y reduce sobrecargas; por tanto, los resultados indican condiciones operativas aceptables en general.

Dimensionamiento y protecciones: las corrientes elevadas requieren confirmar que interruptores y conductores estén dimensionados según normativa y que exista margen térmico para evitar disparos o sobrecalentamiento.

4.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS TABLA V

En la **Figura 20** los valores de tensión promedio medidos en 16 máquinas de aire acondicionado del Edificio E, bajo condiciones operativas del Escenario 3. El eje horizontal (X) identifica cada máquina (M1 a M16), mientras que el eje vertical (Y) muestra el voltaje promedio en voltios (V).

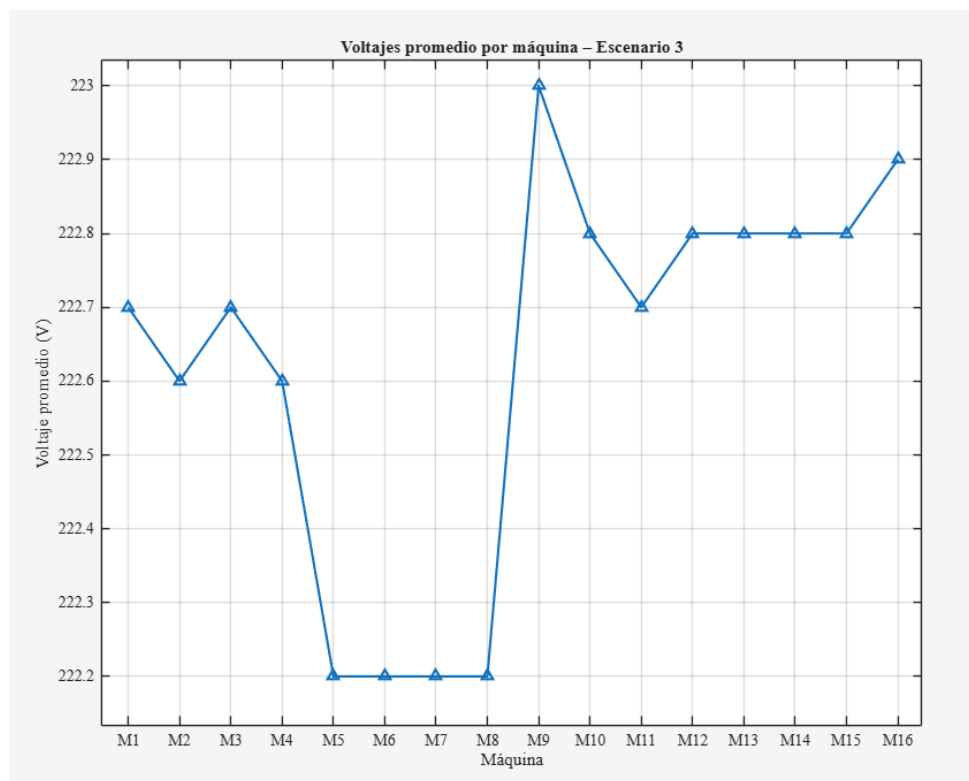


Figura 20 Gráfico de puntos voltaje promedio escenario 3

Rango observado: mínimo 222,2 V (M5–M7) y máximo 223,1 V (M16).

Voltaje promedio: todos los equipos se encuentran en un rango muy estrecho (222,2 – 222,9 V).

Desbalance entre fases: las diferencias entre L1–L2, L2–L3 y L1–L3 son pequeñas (1 – 3 V), lo que indica equilibrio trifásico adecuado.

Comparación con escenarios anteriores: respecto a Escenario 1 (216 – 220 V) y Escenario 2 (219,7 – 220,7 V), en Escenario 3 se observa un ligero incremento de tensión, manteniéndose dentro de tolerancias normales.

Calidad de suministro: los valores medidos reflejan un sistema eléctrico estable y confiable, con tensiones próximas al nominal de 220 V.

Impacto en los equipos: la estabilidad favorece el desempeño de los aires acondicionados, evitando sobrecalentamientos y pérdidas de eficiencia.

Normativa: el desbalance observado está muy por debajo de los límites recomendados (2 – 3%), lo que confirma la adecuada calidad de energía en este escenario.

4.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS TABLA VI

La **Figura 21** podemos ver que representa las corrientes promedio trifásicas medidas en 16 máquinas de aire acondicionado del Edificio E, bajo condiciones operativas del Escenario 3. El eje horizontal (X) identifica cada máquina (M1 a M16), mientras que el eje vertical (Y) muestra la corriente promedio en amperios (A).

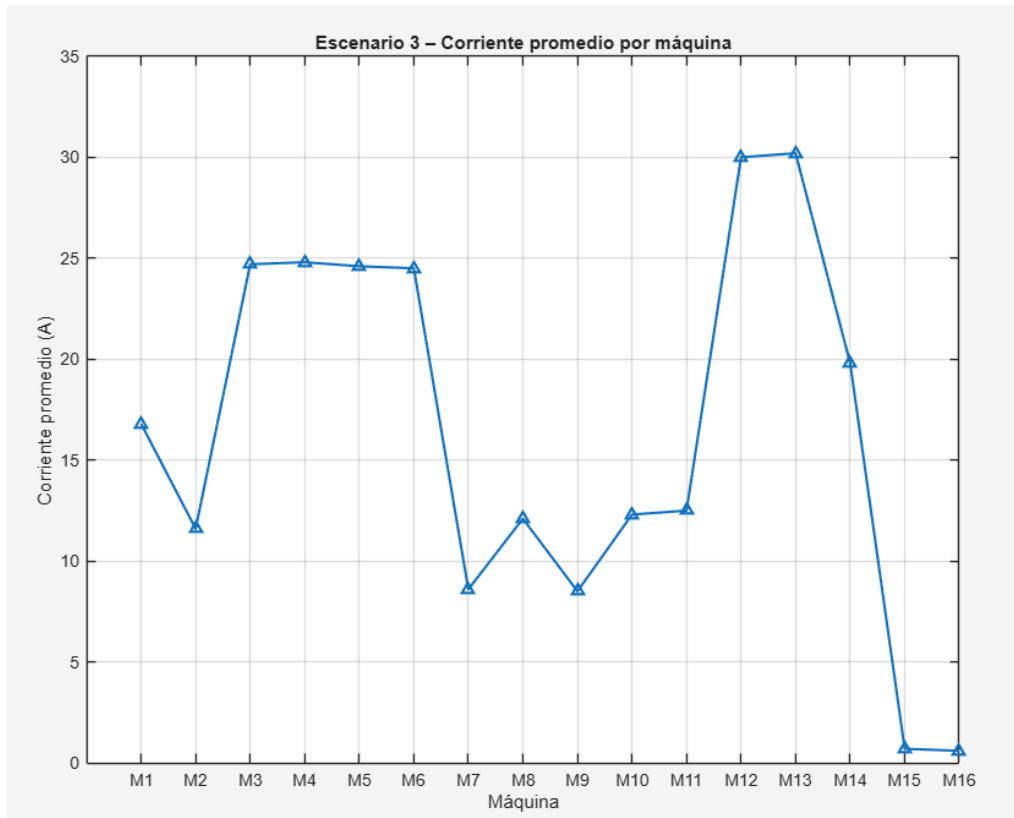


Figura 21 Gráfico de puntos voltaje promedio escenario 3

Rango observado:

Mínimo: 0,6 A (M16).

Máximo: 30,2 A (M13).

Equipos de alto consumo: M3 – M6 (24,5 – 24,8 A) y M12 – M13 (30 A). Estos representan las unidades de mayor capacidad o carga térmica.

Equipos de consumo medio: M1 (16,8 A), M2 (11,6 A), M8 – M11 (12 – 12,5 A), M14 (19,8 A).

Equipos de bajo consumo: M7 y M9 (8,5 – 8,6 A), M15 – M16 (<1 A).

Balace entre fases: las diferencias entre L1, L2 y L3 son pequeñas (0,7 A), lo que indica equilibrio trifásico adecuado y ausencia de sobrecarga en una fase específica.

Calidad de suministro: el sistema mantiene corrientes equilibradas, lo que reduce pérdidas y evita corrientes excesivas en el neutro.

Impacto en los equipos: las unidades de mayor consumo (M12–M13) requieren verificación de protecciones y capacidad de conductores, ya que operan cerca de 30 A.

Comparación con escenarios anteriores: respecto a Escenario 1 y 2, en Escenario 3 se observa un incremento generalizado de corriente, coherente con mayor demanda térmica o condiciones de operación más exigentes.

4.7 CÁLCULO DEL CONSUMO MENSUAL ESCENARIO 1

El cálculo de la estimación del consumo mensual, tomando como mínimo que los sistemas de aires acondicionados están encendidos y funcionando correctamente 10 horas al día y 27 días del mes.

La **Tabla 7** muestra la potencia aparente, activa y el consumo mensual de 16 aires acondicionados del Edificio E. Se observa que las máquinas de mayor capacidad, como la M7 y la M8, registran los consumos más altos, superando los 1,900 kWh mensuales. En contraste, equipos auxiliares como la M15 y la M16 presentan valores muy bajos, menores a 65 kWh. Los paneles P-3 y P-4 concentran gran parte de la carga, con consumos superiores a 1,000 kWh. Estos resultados evidencian la distribución desigual de la demanda y la necesidad de evaluar eficiencia y dimensionamiento eléctrico.

TABLA VII
CÁLCULO CONSUMO MENSUAL DEL ESCENARIO 1

Máquina	Panel	potencia aparente (kwh)	Potencia (kW)	Consumo mensual (kWh)
M1	P - 2	3,49	2,97	801
M2	P - 2	2,84	2.41	650
M3	P - 2	0,28	0.24	65
M4	P - 3	4,46	3,79	1 023
M5	P - 3	4,39	3,73	1 007

M6	P - 3	4,5	3,83	1 034
M7	P A - 3 - 4	12,04	10,23	2 762
M8	P A - 3	8,58	7,29	1968
M9	P - 3	4,8	4,04	1 090
M10	P - 3	3,37	2,87	774
M11	P - 3	3,39	2,88	777
M12	P - 4	6,95	5,91	1 595
M13	P - 4	6,97	5,92	1 598
M14	P - 4	4,96	4,22	1 139
M15	1 - 2	0,24	0,20	54
M16	P - A	0,1	0,085	22

Tabla 7 Resultados del escenario 1

Fuente: [Autores]

El consumo mensual registrado en el escenario 1 para el conjunto de todas las máquinas asciende a 16359 kWh, valor que refleja la demanda energética consolidada del sistema de los aires acondicionados.

Máquinas de alta demanda:

- M7 (10,23 kW; 2,762 kWh) y M8 (7,29 kW; 1,968 kWh) son las unidades de mayor consumo, posiblemente por su capacidad térmica o tiempo de operación extendido.
- M12–M14 también presentan consumos elevados mayor a (>1,100 kWh), lo que indica carga significativa en el panel P–4.

Máquinas de consumo medio:

M4–M6 y M9–M11 tienen potencias activas entre 2,8 kW y 4,2 kW, con consumos mensuales entre 770 y 1,090 kWh, lo que sugiere operación regular y estable.

Máquinas de bajo consumo:

M3, M15 y M16 presentan potencias activas menores a 0,25 kW y consumos mensuales inferiores a 65 kWh, lo que puede indicar equipos auxiliares, en reposo o con baja carga térmica.

La **Figura 22** presenta los valores de potencia aparente (kVA) medidos en 16 máquinas de aire acondicionado del Edificio E, correspondientes al Escenario 1. Esta medición se realizó con el objetivo de caracterizar la demanda eléctrica individual de cada equipo bajo condiciones operativas normales.

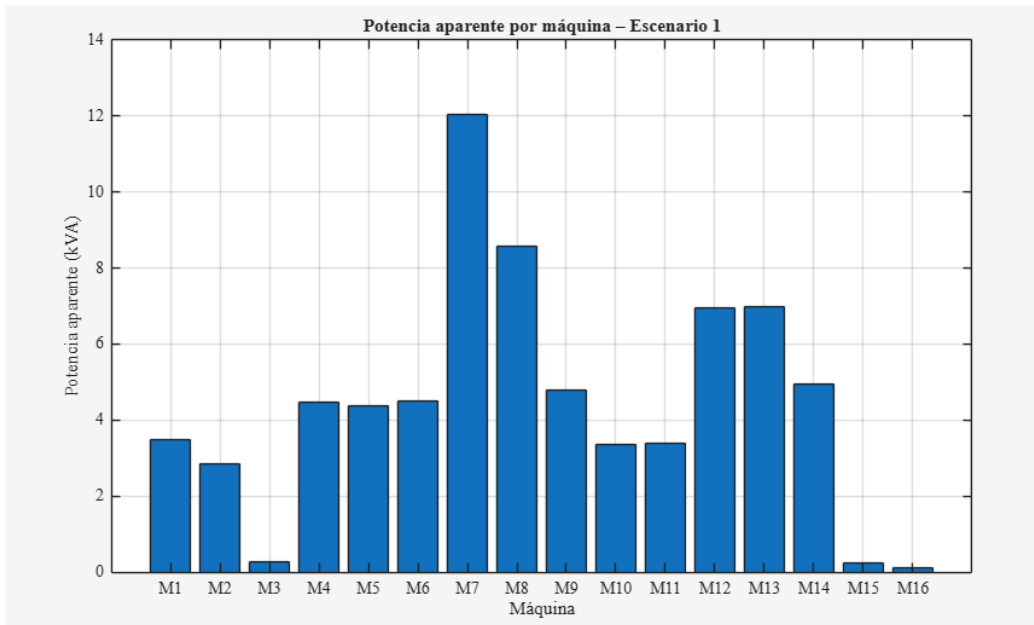


Figura 22 Gráfica de potencia aparente por máquina del escenario 1

Fuente: [Autores]

$$S = \sqrt{3} \cdot V_{L-L} \cdot I_L \quad (3)$$

Ecuación 3 Potencia aparente trifásica

Donde:

S = Potencia aparente (KVA).

$\sqrt{3}$ = Constante de los sistemas trifásicos balanceados.

V_{L-L} = Voltaje línea – línea (V).

I_L = Corriente de línea (A).

La **Figura 23** muestra los valores de potencia activa (kW) medidos en 16 máquinas de aire acondicionado del Edificio E, bajo las condiciones operativas del Escenario 1

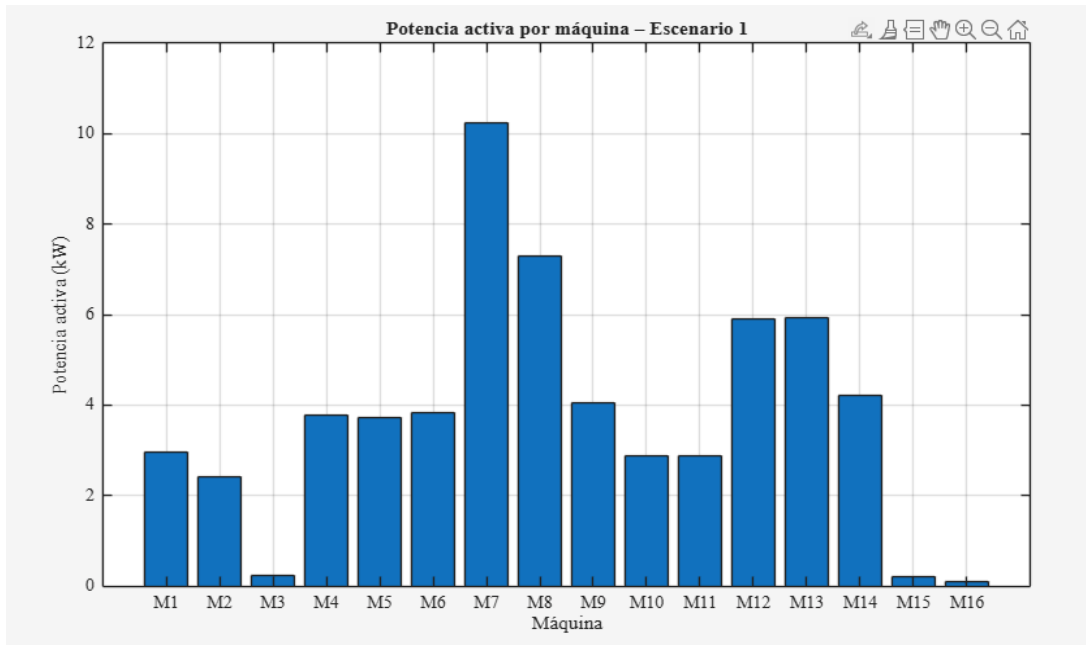


Figura 23 Gráfica de potencia activa del escenario 1

Fuente: [Autores]

$$P = S \cdot \cos(\varphi) \quad (4)$$

Ecuación 4 Potencia activa

Donde:

P = Potencia activa (KW).

S = Potencia aparente (KVA).

$\cos(\varphi)$ = Factor de Potencia.

4.8 CÁLCULO DEL CONSUMO MENSUAL ESCENARIO 2

La **Tabla 8** podemos observar la potencia aparente, activa y el consumo mensual de 16 aires acondicionados del Edificio E. Se observa que las máquinas M4, M5 y M6 son las de mayor demanda, con consumos superiores a 1,600 kWh mensuales, mientras que M7 y M8 también registran valores significativos. En contraste, equipos como M15 y M16 muestran consumos mínimos, menores a 50 kWh. Los paneles P-3 y P-4 concentran gran parte de la carga eléctrica, reflejando la distribución desigual de la demanda. Estos resultados permiten identificar los equipos críticos y evaluar la eficiencia energética del sistema.

TABLA VIII
CÁLCULO CONSUMO MENSUAL DEL ESCENARIO 2

Máquina	Panel	potencia aparente (kwh)	Potencia (kW)	Consumo mensual (kWh)
M1	P - 2	3,78	3.21	866
M2	P - 2	2,75	2.33	629
M3	P - 2	2.89	2.45	661
M4	P - 3	7.32	6.22	1 679
M5	P - 3	7.35	6.24	1 684
M6	P - 3	7.54	6.40	1 728
M7	P A - 3 - 4	6.39	5.43	1466
M8	P A - 3	4.56	3.87	1044
M9	P - 3	2.72	2.72	734
M10	P - 3	1.87	1.58	426
M11	P - 3	1.97	1.67	450
M12	P - 4	2.35	2	540
M13	P - 4	2.27	1.92	518
M14	P - 4	2.87	2.43	656
M15	1 - 2	0.22	0.018	40
M16	P - A	0,1	0.085	22

Tabla 8 Resultados del escenario 2

Fuente: [Autores]

El consumo mensual registrado en el escenario 2 para el conjunto de todas las máquinas asciende a 13143 kWh, valor que refleja la demanda energética consolidada del sistema de los aires acondicionados.

$$E = P \cdot t \quad (5)$$

Ecuación 5 Consumo energético

Donde:

E = Consumo energético (KWh).

P = Potencia activa (KW).

t = Tiempo (h), calculado a partir de la estimación de las horas diarias por el número de días del mes.

Máquinas de mayor consumo: M4, M5 y M6 destacan con potencias activas superiores a 6,2 kW y consumos mensuales entre 1,679 y 1,728 kWh, evidenciando su papel como unidades principales de climatización.

Consumo intermedio: M7 y M8 registran valores significativos (5,4 y 3,9 kW), con consumos de 1,466 y 1,044 kWh, respectivamente.

Máquinas de baja demanda: M10–M14 muestran potencias entre 1,6 y 2,4 Kw, con consumos mensuales de 426 a 656 kWh, reflejando cargas moderadas.

Equipos auxiliares: M15 y M16 presentan consumos mínimos (40 y 22 kWh), lo que indica baja utilización o funciones secundarias.

En la **Figura 24** presenta los valores de potencia aparente (kVA) medidos en 16 máquinas de aire acondicionado del Edificio E, correspondientes al Escenario 2. Esta medición se realizó como parte del proceso de evaluación energética, utilizando instrumentos de precisión para registrar la tensión y corriente de cada equipo en condiciones operativas reales.

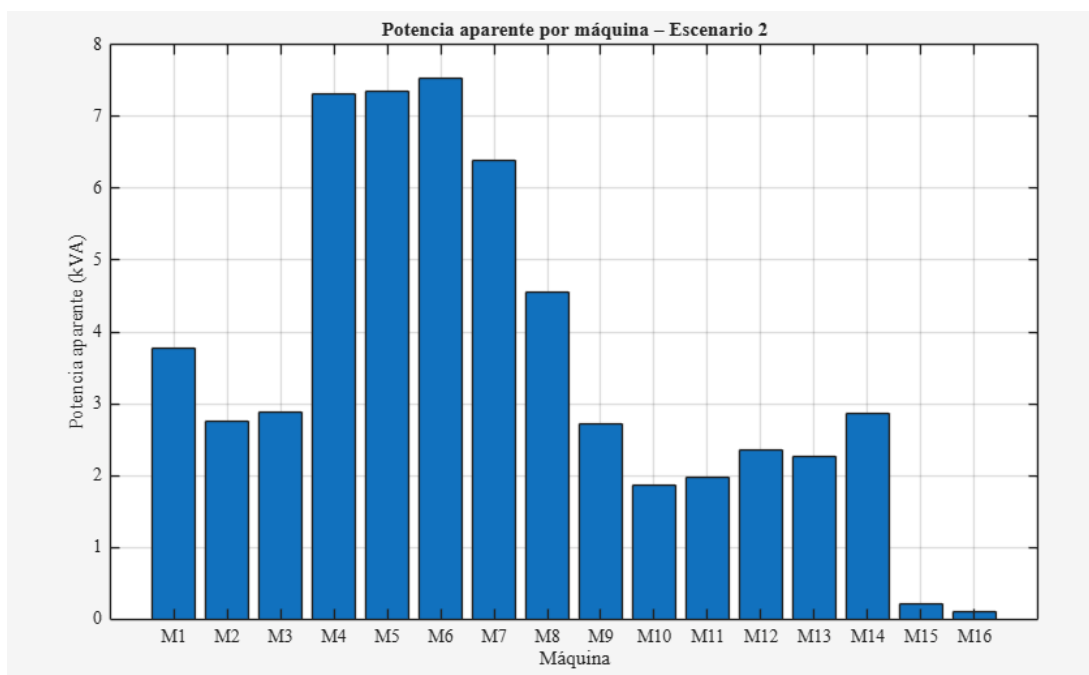


Figura 24 Gráfica de potencia aparente por máquina del escenario 2

Fuente: [Autores]

En la **Figura 25** presenta los valores de potencia activa (kW) medidos en 16 máquinas de aire acondicionado del Edificio E, bajo las condiciones operativas del Escenario 2.

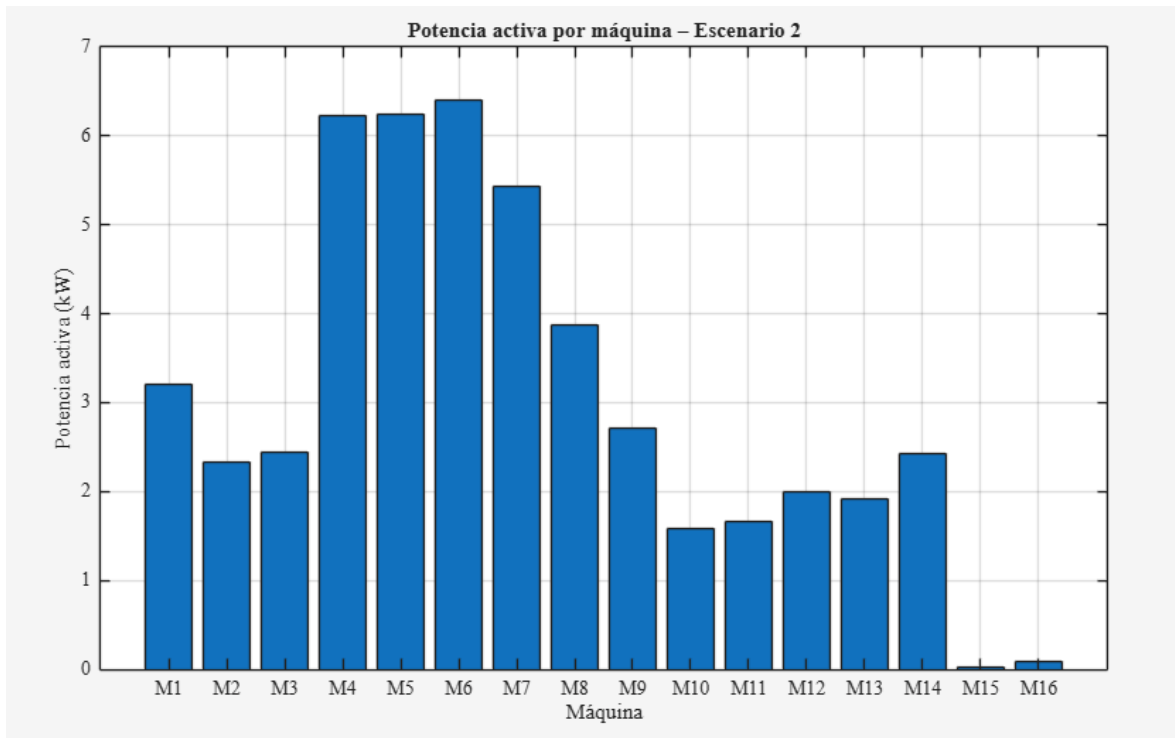


Figura 25 Gráfica potencia activa por máquina del escenario 2

Fuente: [Autores]

4.9 CÁLCULO DEL CONSUMO MENSUAL ESCENARIO 3

La **Tabla 9** podemos ver que representa la potencia aparente, activa y el consumo mensual de 16 aires acondicionados del Edificio E. Se observa que las máquinas M12 y M13 son las de mayor demanda, con consumos superiores a 2,650 kWh mensuales, seguidas por M3 a M6 con más de 2,160 kWh. En contraste, equipos auxiliares como M15 y M16 presentan valores muy bajos, menores a 60 kWh. Los paneles P-3 y P-4 concentran gran parte

de la carga eléctrica, reflejando la distribución desigual de la demanda. Estos resultados evidencian un incremento significativo respecto a escenarios anteriores y la necesidad de evaluar eficiencia y dimensionamiento eléctrico.

TABLA IX
CÁLCULO CONSUMO MENSUAL DEL ESCENARIO 3

Máquina	Panel	potencia aparente (kwh)	Potencia (kW)	Consumo mensual (kWh)
M1	P - 2	6,48	5,5	1485
M2	P - 2	4,47	3,79	1023
M3	P - 2	9,52	8,1	2187
M4	P - 3	9,56	8,12	2192
M5	P - 3	9,46	8,04	2170
M6	P - 3	9,42	8	2160
M7	P A - 3 - 4	3,3	2,8	756
M8	P A - 3	4,65	3,95	1066
M9	P - 3	3,28	2,78	750
M10	P - 3	4,74	4,02	1085
M11	P - 3	4,82	4,1	1107
M12	P - 4	11,57	9,83	2654
M13	P - 4	11,65	9,9	2673
M14	P - 4	7,64	6,49	1752
M15	1 - 2	0,27	0,22	59
M16	P - A	0,23	0,19	51

Tabla 9 Resultados escenario 3

Fuente: [Autores]

El consumo mensual registrado en el escenario 3 para el conjunto de todas las máquinas asciende a 23 170 kWh, valor que refleja la demanda energética consolidada del sistema.

Máquinas de mayor consumo: M12 y M13 son las más críticas, con potencias activas cercanas a 9,9 kW y consumos mensuales superiores a 2,650 kWh, seguidas por M3–M6, que rondan los 8 kW y más de 2,160 kWh.

Consumo intermedio: M1, M2, M8, M10, M11 y M14 registran entre 3,7 y 6,5 kW, con consumos mensuales de 1.000 a 1.750 kWh, reflejando cargas significativas pero moderadas.

Baja demanda: M7 y M9 presentan consumos menores a 800 kWh, mientras que M15 y M16 apenas alcanzan 59 y 51 kWh, lo que indica equipos auxiliares o de baja utilización.

Distribución de carga: Los paneles P-3 y P-4 concentran la mayor parte de la demanda, con varias máquinas operando en rangos altos de potencia.

En la **Figura 26** podemos ver que muestra los valores de potencia aparente (kVA) medidos en 16 máquinas de aire acondicionado del Edificio E, correspondientes al Escenario 3. Esta medición se realizó en condiciones operativas específicas, utilizando instrumentos de precisión para registrar tensión y corriente en cada equipo.

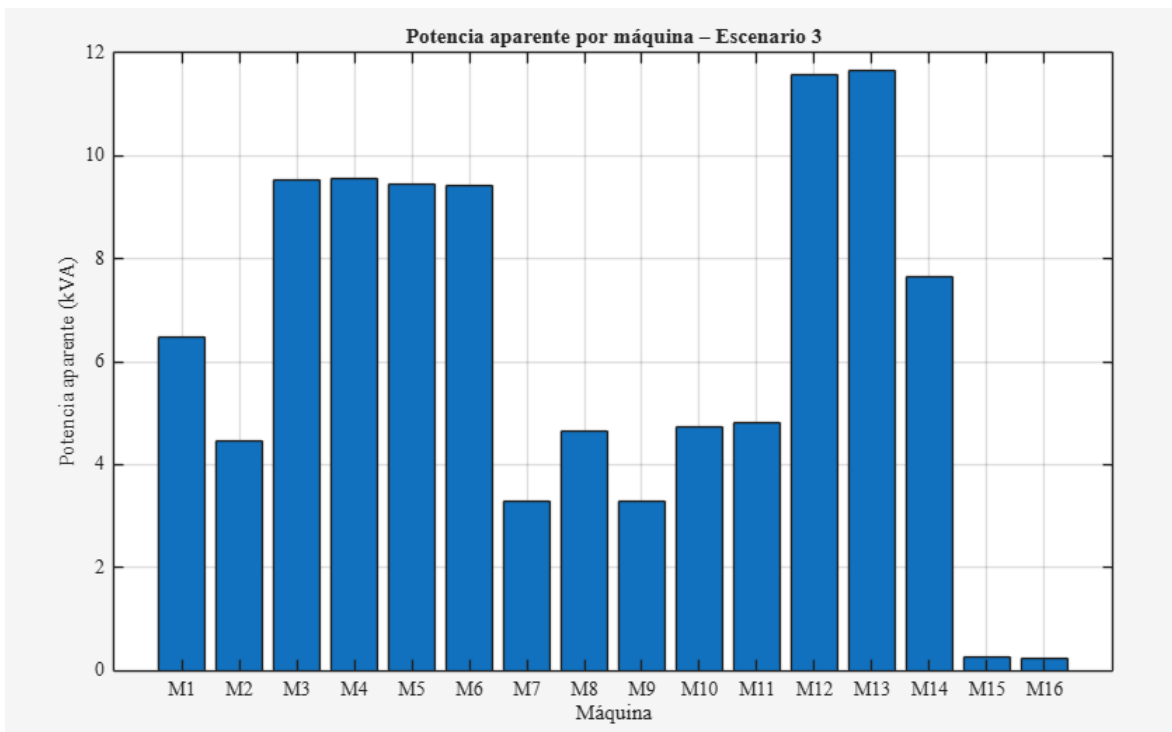


Figura 26 Gráfica potencia aparente por máquina del escenario 3

Fuente: [Autores]

En la **Figura 27** el grafico representa los valores de potencia activa (kW) medidos en 16 máquinas de aire acondicionado del Edificio E, correspondientes al Escenario 3.

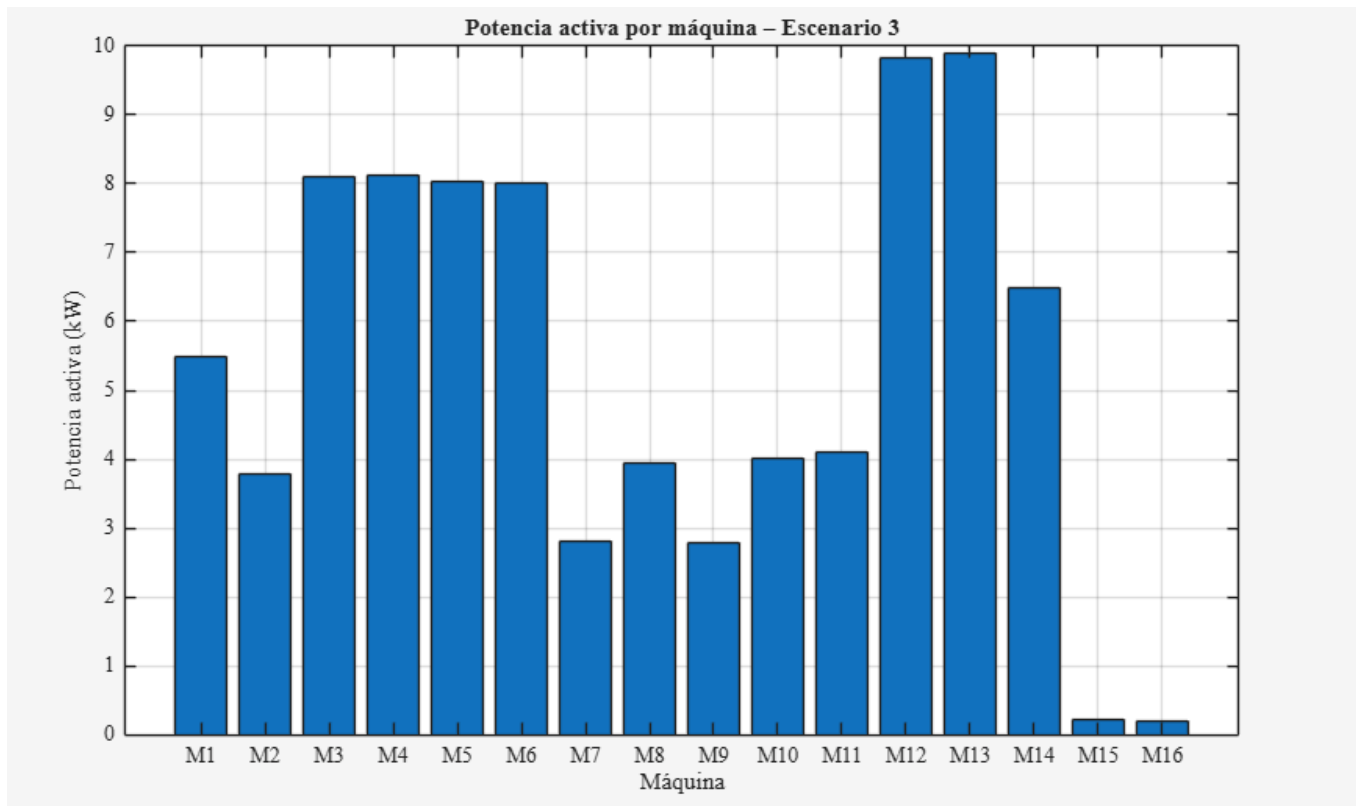


Figura 27 Gráfica de potencia activa por máquina del escenario 3

Fuente: [Autores]

La **Figura 28** presenta la comparación de potencia aparente (kVA) medida en 16 máquinas de aire acondicionado del Edificio E, bajo tres condiciones operativas distintas: Escenario 1, Escenario 2 y Escenario 3. Cada barra representa el valor registrado para una máquina específica en cada escenario, permitiendo visualizar cómo varía la demanda eléctrica en función de las condiciones de carga térmica, ocupación y configuración del sistema.

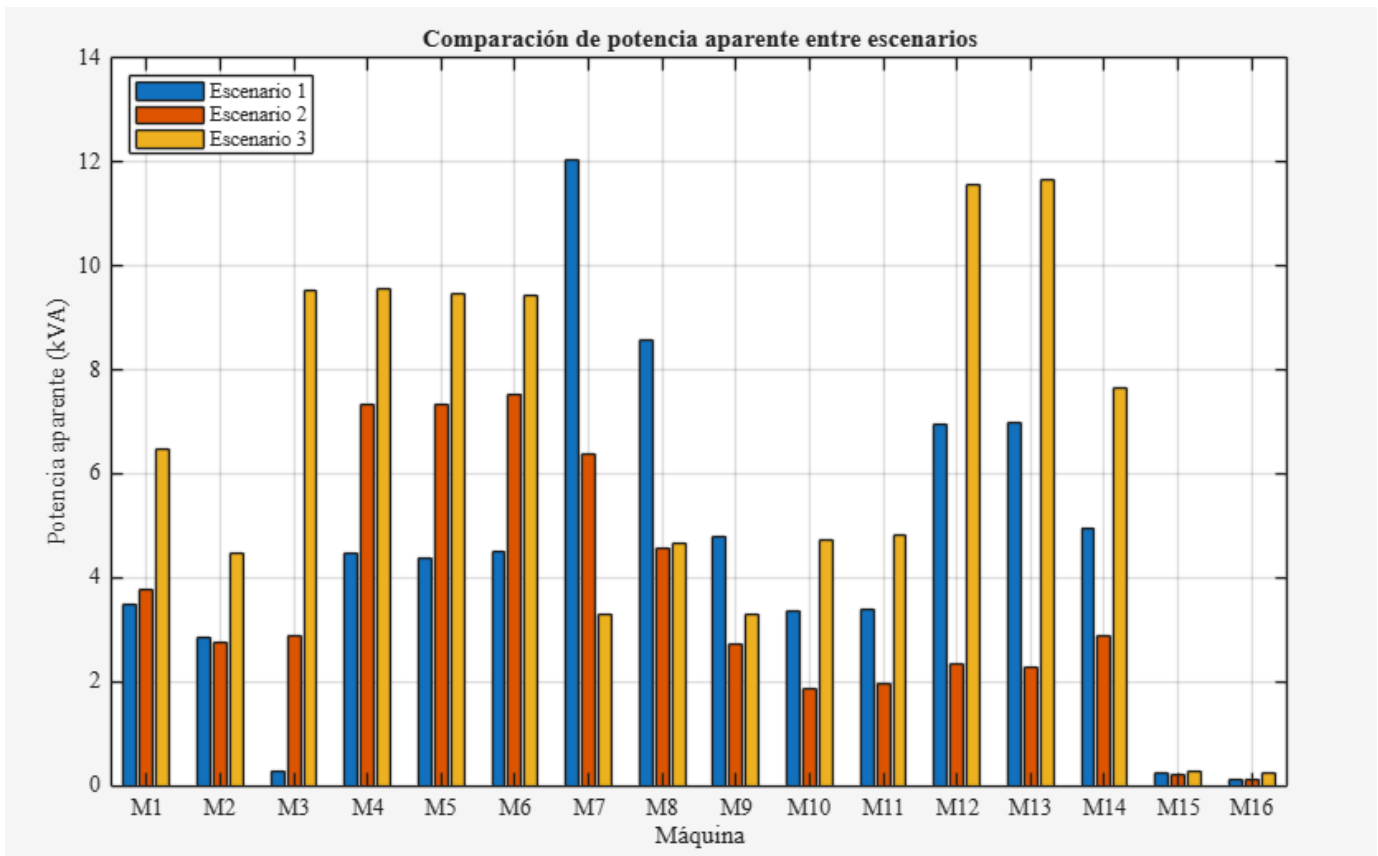


Figura 28 Gráfica de comparación de potencia aparente entre escenarios

Fuente: [Autores]

En la **Figura 29** muestra la comparación de potencia activa (kW) registrada en 16 máquinas de aire acondicionado del Edificio E, evaluadas bajo tres condiciones operativas distintas: Escenario 1 (azul), Escenario 2 (naranja) y Escenario 3 (amarillo). Cada barra representa el valor de potencia activa medido en cada máquina para cada escenario, permitiendo visualizar cómo varía la demanda energética en función de las condiciones térmicas, ocupacionales y de configuración del sistema.

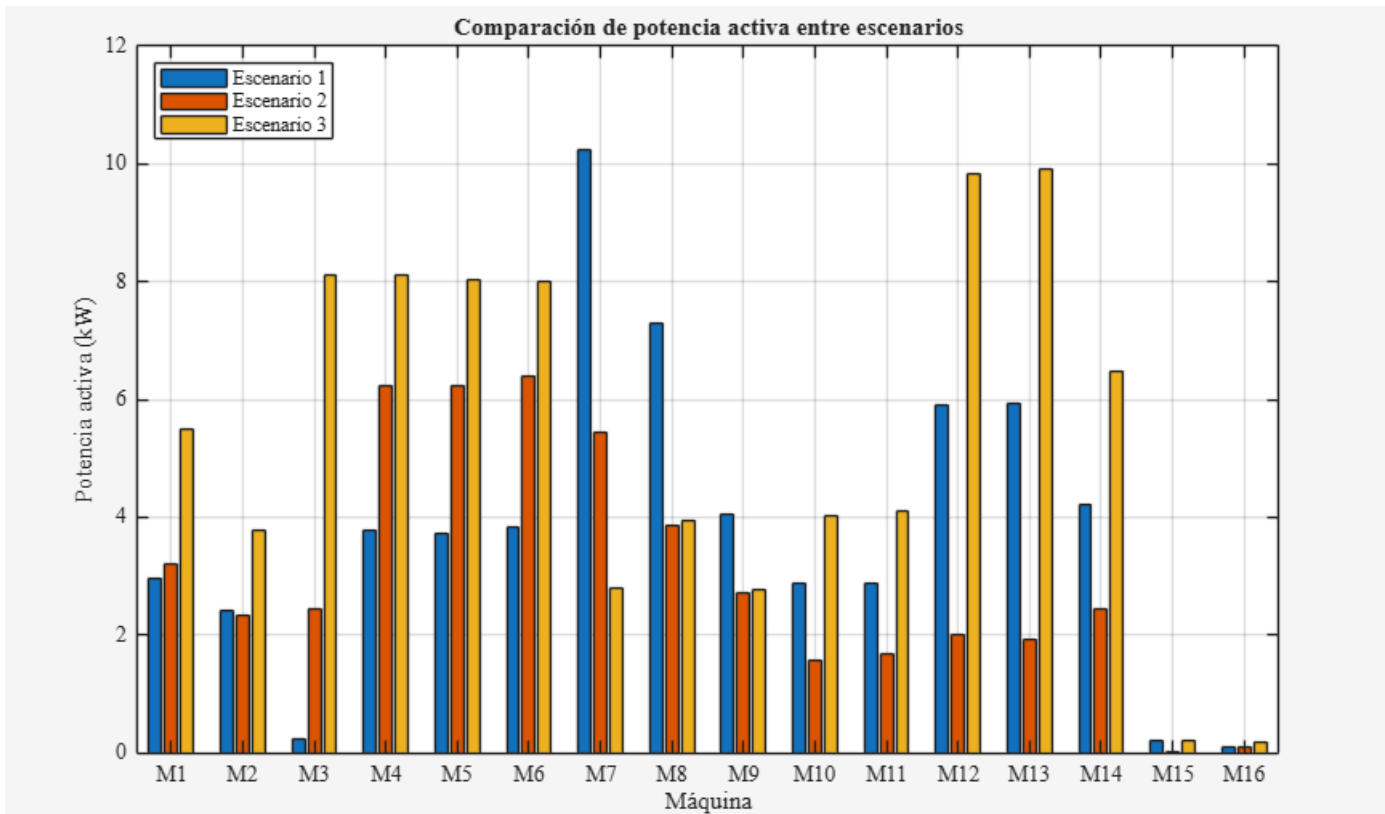


Figura 29 Gráfica de comparación de potencia activa entre escenarios

Fuente: [Autores]

La **Figura 30** muestra la energía utilizada por 16 aires acondicionados del Edificio E. M7 destaca con el mayor consumo (2,762 kWh), seguido por M8, M12 y M13. En contraste, M3, M15 y M16 presentan consumos mínimos, inferiores a 65 kWh. Esta distribución evidencia diferencias significativas en carga térmica y uso operativo. Los datos permiten identificar equipos críticos y oportunidades de optimización energética.

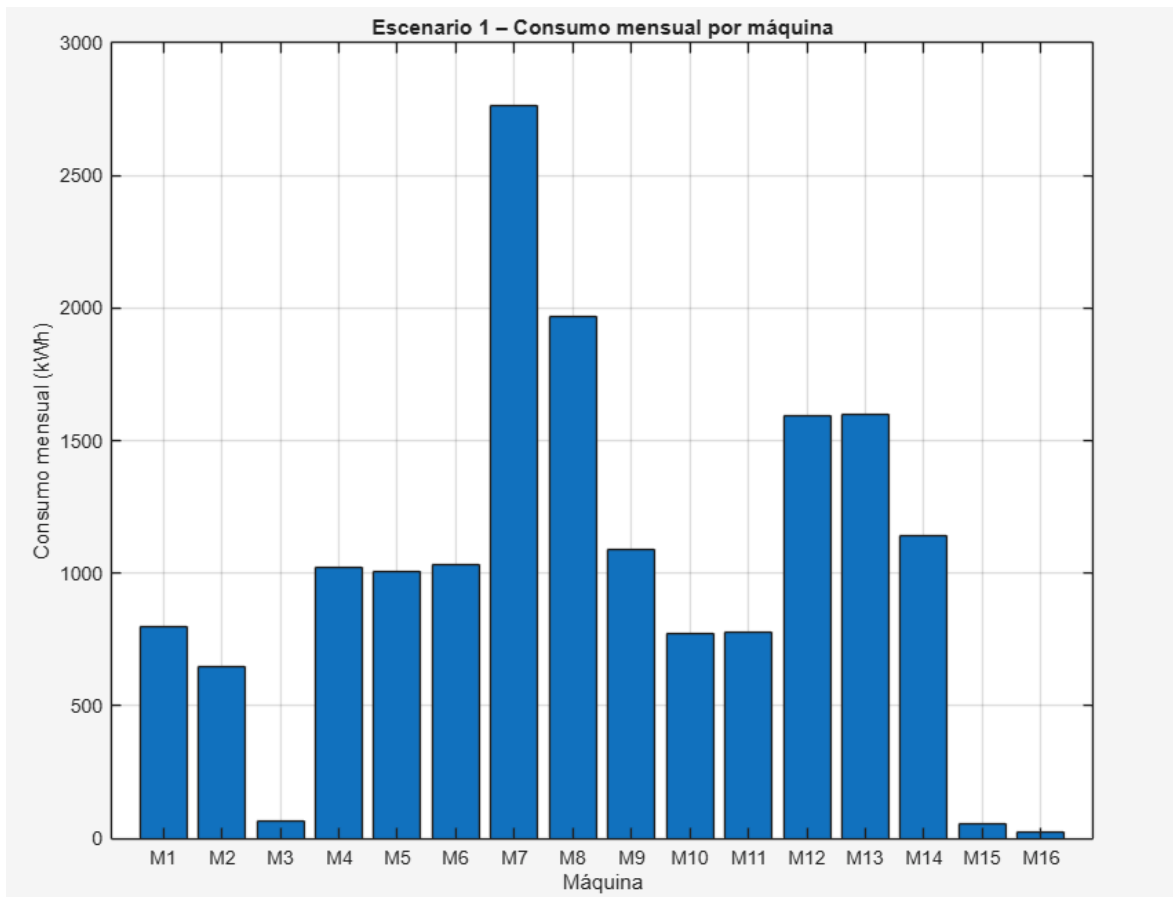


Figura 30 Gráfico de escenario 1 del consumo mensual por maquina

Fuente: [Autores]

Los consumos mensuales muestran diferencias marcadas entre las máquinas del Edificio E. La M7 es la de mayor demanda con 2,762 kWh, seguida por M8 (1,968 kWh) y M12 – M13 con alrededor de 1,600 kWh. En un nivel intermedio se ubican M4 – M6 y M9, con valores cercanos a 1,000 kWh, mientras que M3, M15 y M16 apenas superan los 20 – 65 kWh, reflejando baja utilización o funciones auxiliares.

La concentración de consumos en pocas máquinas evidencia una distribución desigual de la carga, donde equipos como M7 y M8 son críticos para la operación y deben ser monitoreados en cuanto a eficiencia y mantenimiento. Los valores intermedios muestran un grupo de máquinas con operación estable, mientras que los consumos bajos sugieren subutilización o sobredimensionamiento. En conjunto, los resultados permiten identificar

prioridades de gestión energética y verificar el dimensionamiento eléctrico para garantizar seguridad y eficiencia en el sistema de climatización.

En la **Figura 31** muestra el consumo mensual de energía (kWh) de 16 máquinas de aire acondicionado del Edificio E bajo el Escenario 2. Las máquinas M4, M5 y M6 destacan con los consumos más altos, superando los 1,680 kWh cada una. En contraste, M15 y M16 registran valores mínimos, cercanos a 40 y 22 kWh. El resto de equipos presenta una distribución intermedia entre 400 y 1,000 kWh. Esta variabilidad refleja diferencias operativas y térmicas entre unidades.

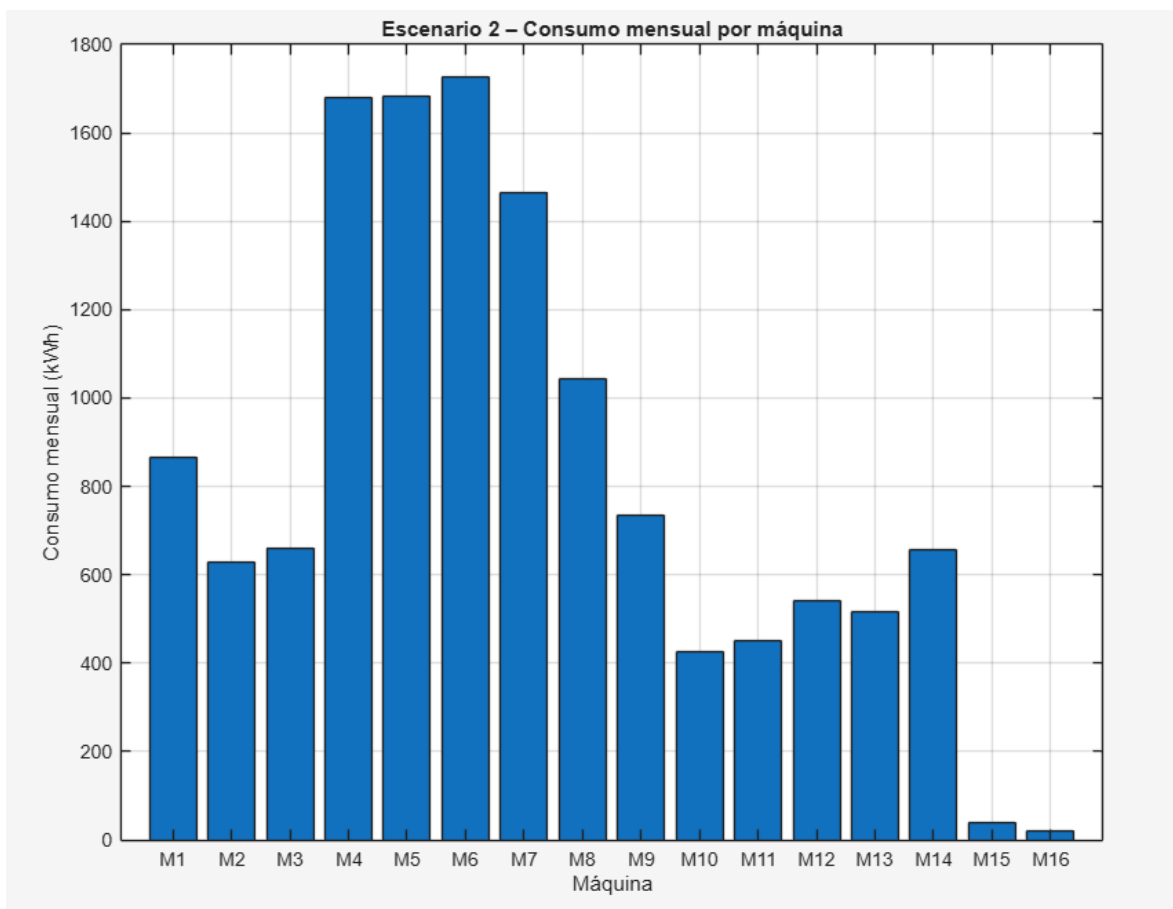


Figura 31 Gráfico de escenario 2 del consumo mensual por maquina

Fuente: [Autores]

El resultado de la gráfica evidencia que las máquinas M4 (1,679 kWh), M5 (1,684 kWh) y M6 (1,728 kWh) concentran la mayor carga energética del sistema, lo que sugiere que operan en zonas de alta demanda térmica o con mayor tiempo de funcionamiento. Les siguen M7 (1,466 kWh) y M8 (1,044 kWh), que también presentan consumos significativos. En el rango medio se ubican M1–M3 y M9–M14, con valores entre 426 y 866 kWh, lo que indica una operación estable pero menos exigente. Finalmente, M15 y M16 muestran consumos mínimos (40 y 22 kWh), lo que puede deberse a baja utilización, funciones auxiliares o equipos en reposo.

La distribución de consumos revela una desigualdad en la carga térmica y eléctrica entre las máquinas, lo que debe ser considerado en el diseño y mantenimiento del sistema. Las unidades de alto consumo requieren una revisión técnica para verificar su eficiencia, estado operativo y correcta ventilación, ya que representan un impacto considerable en el gasto energético del edificio. Las máquinas de bajo consumo podrían estar sobredimensionadas o subutilizadas, lo que afecta la eficiencia global del sistema. Esta gráfica permite identificar prioridades de intervención, validar el dimensionamiento de protecciones eléctricas y proponer estrategias de optimización energética en el sistema de climatización del Edificio E.

En la **Figura 32** podemos ver que muestra el consumo mensual de energía (kWh) de 16 máquinas de aire acondicionado del Edificio E bajo el Escenario 3. Las máquinas M12 y M13 lideran con consumos superiores a 2,650 kWh, seguidas por M3 a M6, todas por encima de 2,100 kWh. En contraste, M15 y M16 presentan consumos mínimos, inferiores a 60 kWh. El resto de equipos se distribuye entre 750 y 1,750 kWh. Esta variabilidad refleja diferencias operativas, térmicas y de carga entre unidades.

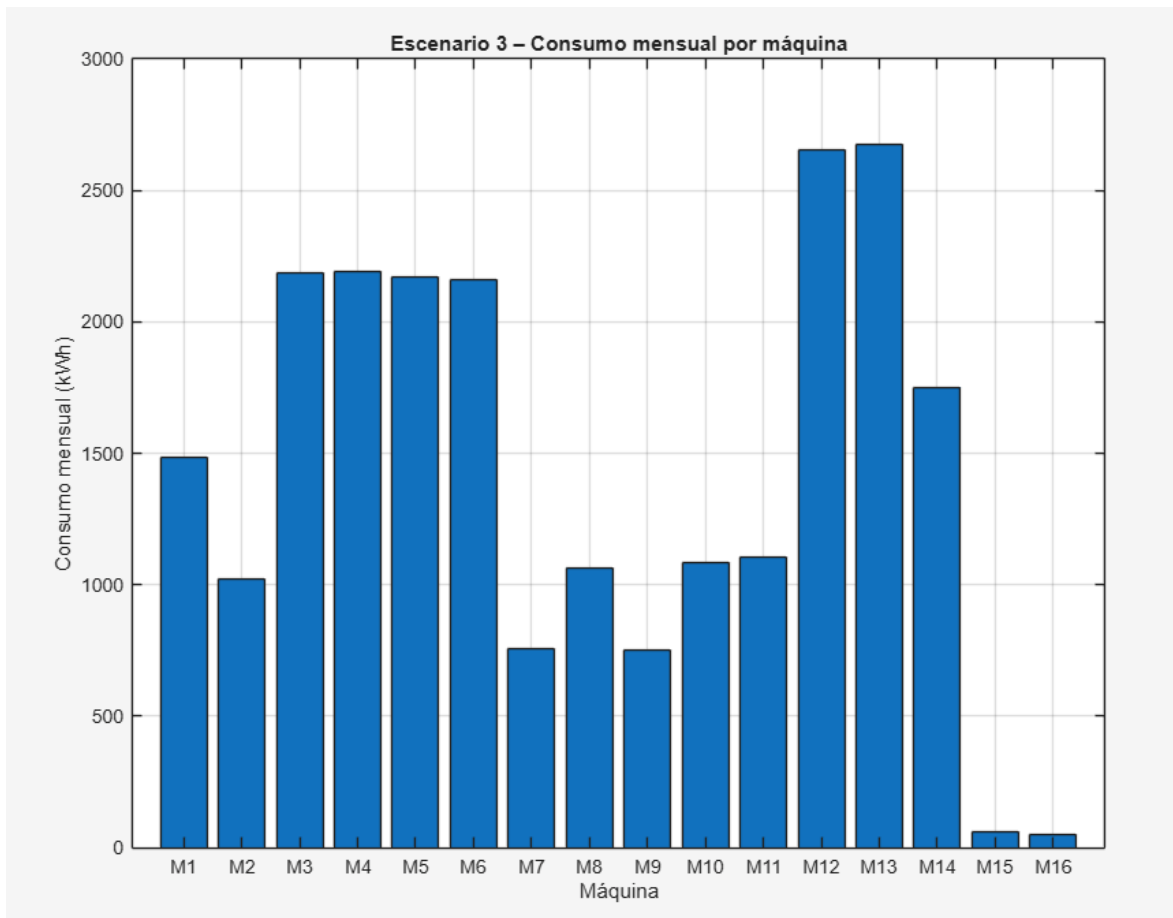


Figura 32 Gráfico de escenario 3 del consumo mensual por maquina

Fuente: [Autores]

Los datos del Escenario 3 evidencian un incremento significativo en el consumo energético respecto a escenarios anteriores. Las máquinas M12 (2,654 kWh) y M13 (2,673 kWh) son las de mayor demanda, lo que indica una operación intensiva o una mayor capacidad térmica instalada. Les siguen M3 (2,187 kWh), M4 (2,192 kWh), M5 (2,170 kWh) y M6 (2,160 kWh), todas con consumos superiores a 2.100 kWh, lo que confirma su rol como unidades principales del sistema de climatización. En el rango medio se encuentran M1, M2, M8, M10, M11 y M14, con valores entre 1,000 y 1,750 kWh, reflejando una operación estable. Finalmente, M15 y M16 registran los consumos más bajos (59 y 51 kWh), lo que sugiere baja utilización, funciones auxiliares o equipos en reposo.

El resultado de la gráfica revela una concentración de carga eléctrica en un grupo reducido de máquinas, lo que puede generar riesgos de sobrecarga en los paneles asociados (especialmente P-3 y P-4) si no se cuenta con un adecuado dimensionamiento de conductores y protecciones.

Las unidades de alto consumo deben ser evaluadas en cuanto a su eficiencia energética, estado operativo y condiciones de ventilación, ya que representan un impacto considerable en el gasto eléctrico del edificio. Por otro lado, los equipos de bajo consumo podrían estar sobredimensionados o subutilizados, afectando la eficiencia global del sistema. Esta información es clave para establecer prioridades de mantenimiento, validar el diseño eléctrico y proponer estrategias de optimización energética en el sistema de climatización del Edificio E [26].

En la **Figura 33** muestra que de 16 máquinas de aire acondicionado del Edificio E en tres escenarios operativos. Las máquinas M3 a M6 y M12–M13 presentan los consumos más altos en el Escenario 3, superando los 2,100 kWh. En contraste, M15 y M16 mantienen consumos mínimos en todos los escenarios, inferiores a 60 kWh. El resto de equipos muestra variaciones moderadas entre escenarios. Esta comparación permite evaluar el impacto de las condiciones operativas sobre la demanda energética.

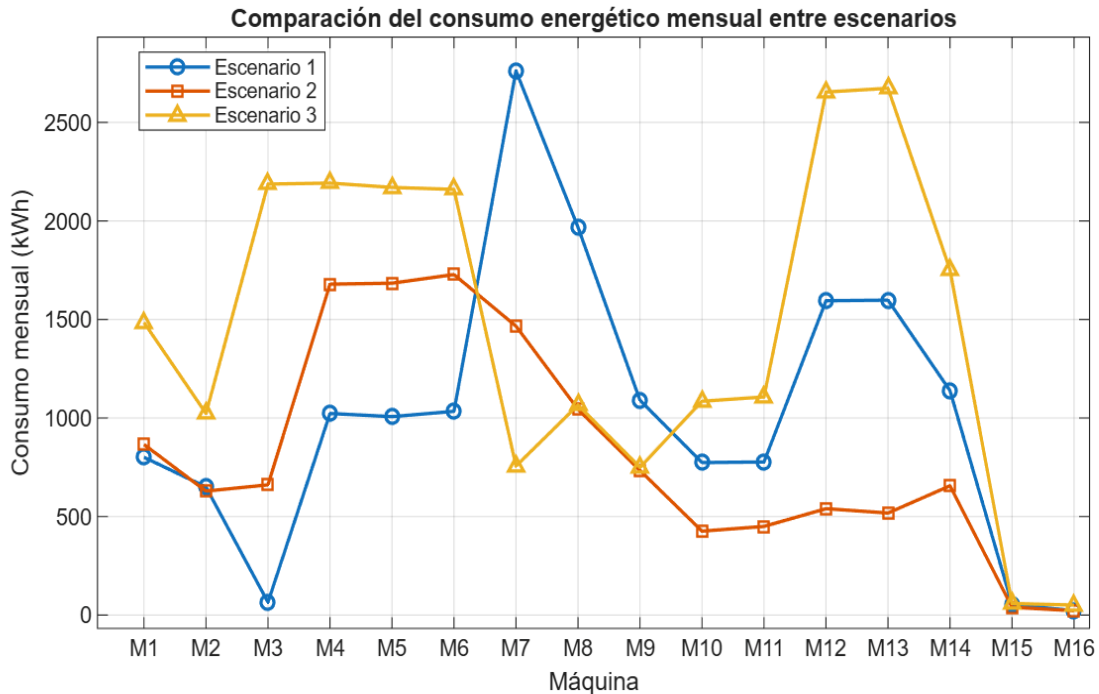


Figura 33 Gráfico de la comparación del consumo energético mensual entre escenarios

Fuente: [Autores]

La gráfica revela un incremento progresivo en el consumo energético desde el Escenario 1 al Escenario 3 para la mayoría de las máquinas. En el Escenario 1, M7 lidera con 2,762 kWh, mientras que en el Escenario 3, M12 y M13 alcanzan los valores más altos con 2,654 y 2,673 kWh, respectivamente. Las máquinas M3 a M6 también muestran un aumento significativo, pasando de consumos inferiores a 1,100 kWh en el Escenario 1 a más de 2,100 kWh en el Escenario 3. Este comportamiento sugiere que las condiciones del Escenario 3 implican una mayor carga térmica o mayor tiempo de operación. Por otro lado, M15 y M16 se mantienen con consumos bajos en todos los escenarios, lo que indica baja utilización o funciones auxiliares constantes.

La evolución del consumo entre escenarios refleja cómo las condiciones operativas influyen directamente en la demanda energética de los sistemas de climatización. El aumento en el Escenario 3 puede deberse a factores como mayor temperatura ambiente, mayor ocupación del edificio o ajustes en los parámetros de operación de los equipos.

Las máquinas con consumos elevados deben ser consideradas prioritarias en términos de mantenimiento, evaluación de eficiencia y revisión de protecciones eléctricas [27]. Además, la estabilidad de los consumos bajos en M15 y M16 sugiere que podrían estar sobredimensionadas o subutilizadas, lo que representa una oportunidad para optimizar el sistema.

Esta gráfica es clave para justificar decisiones técnicas en la gestión energética del Edificio E, incluyendo redistribución de carga, programación de mantenimiento y propuestas de mejora en la eficiencia del consumo energético.

4.10 PROPUESTAS DE MEJORA Y ESTRATEGIAS DE AHORRO ENERGÉTICO DEL EDIFICIO E

4.10.1 ANÁLISIS PREVIO PARA LA FORMULACIÓN DE ESTRATEGIAS

Las observaciones de los Escenarios 1, 2 y 3 muestran que el consumo mensual de electricidad de los sistemas de climatización varió considerablemente, con cifras correspondientes de 16 359 kWh, 13 143 kWh y 2 3170 kWh.

El Escenario 3 muestra un consumo considerablemente más alto, lo que ratifica que la falta de manejo operativo, la utilización prolongada de los equipos y la alta potencia requerida aumentan directamente el consumo energético del edificio.

En este contexto, se proponen tácticas dirigidas a disminuir la potencia necesaria, aumentar la efectividad del uso de energía eléctrica y optimizar el tiempo de funcionamiento, todo sin comprometer las condiciones de confort térmico.

4.10.2 ESTRATEGIAS DE AHORRO ENERGETICO PROPUESTAS

Gestión y monitoreo energético continuo

La implementación de un sistema de monitoreo permanente permitiría identificar equipos que operan fuera de condiciones óptimas, detectar consumos anómalos y realizar correcciones oportunas. Esta estrategia es clave para evitar escenarios similares al Escenario 3.

Uso de sensores de presencia y automatización

La integración de detectores de presencia ultrasónicos combinados, como el ABB Busch-Presence KNX 6131/31, permite que los equipos funcionen únicamente cuando se detecta actividad humana, incluso en situaciones de movimientos mínimos como teclear o permanecer sentado. Esta estrategia es especialmente eficaz en áreas de uso intermitente, ya que garantiza un control más preciso y evita consumos innecesarios, logrando reducciones considerables en el consumo energético mensual.

Capacitación del personal y cultura de ahorro

La capacitación del personal técnico y usuarios finales contribuye a un uso racional de los sistemas de climatización, evitando configuraciones extremas de temperatura y tiempos de operación innecesarios.

La **Figura 34** presenta la comparación del consumo energético mensual por máquina en el Escenario 1, antes y después de la aplicación de las estrategias de ahorro energético propuestas. Se observa una reducción consistente del consumo en la mayoría de los equipos, siendo más notable en aquellas máquinas con mayor demanda inicial, lo que evidencia el impacto positivo de medidas como la optimización de horarios, la mejora en la gestión operativa y el monitoreo energético continuo.

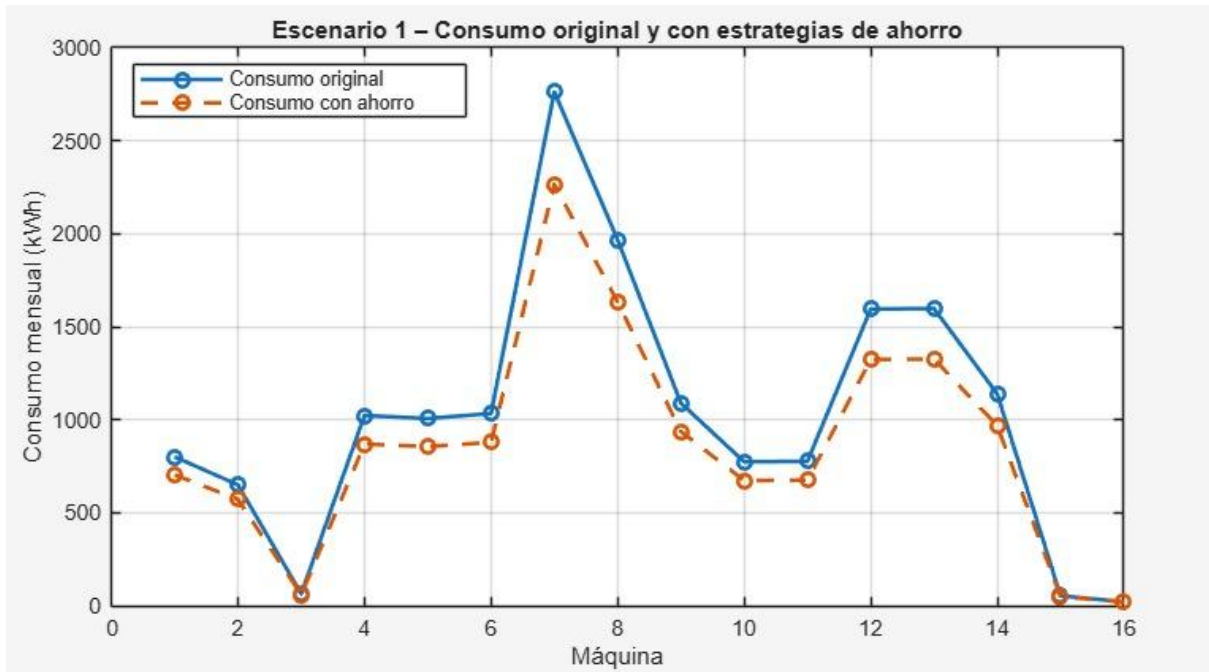


Figura 34 Gráfico escenario 1 con y sin estrategias de ahorro

Fuente: [Autores]

Estimación del porcentaje de ahorro escenario 1

Consumo original: 16 359 kWh

Consumo con ahorro: 13 814 kWh

Ahorro logrado:

$$16\,359\text{ kWh} - 13\,814\text{ kWh} = 2\,544.6\text{ kWh} \quad (6)$$

Ecuación 6 Ahorro logrado escenario 1

Cálculo del porcentaje de ahorro:

$$\left(\frac{2\,544.6}{16\,359}\right) \times 100 = 15.56\% \quad (7)$$

Ecuación 7 Cálculo del porcentaje de ahorro escenario 1

Tuvo una reducción del 15.56 %

Condición inicial:

Se presenta un nivel de consumo energético intermedio, con incrementos puntuales asociados a determinados equipos, destacándose el comportamiento de la máquina 7, la cual registra valores superiores en comparación con el resto del sistema.

Estrategias implementadas:

Aplicación de ajustes operativos elementales en el uso de los equipos. Incorporación progresiva de prácticas orientadas al uso eficiente de la energía entre el personal operativo.

Fundamento de la mejora:

La disminución del consumo energético se atribuye principalmente a una gestión más racional de los sistemas de climatización, resultado de la concienciación y capacitación del personal. Estas acciones permitieron evitar configuraciones de operación excesivas y reducir períodos de funcionamiento innecesarios.

La **Figura 35** muestra el comportamiento del consumo energético mensual por máquina en el Escenario 2, comparando la condición original con la operación bajo estrategias de ahorro energético. Se aprecia una disminución generalizada del consumo en todos los equipos, siendo más significativa en las máquinas con mayor demanda inicial, lo que refleja la efectividad de las acciones implementadas, como la optimización de horarios de funcionamiento y el monitoreo continuo del desempeño energético.

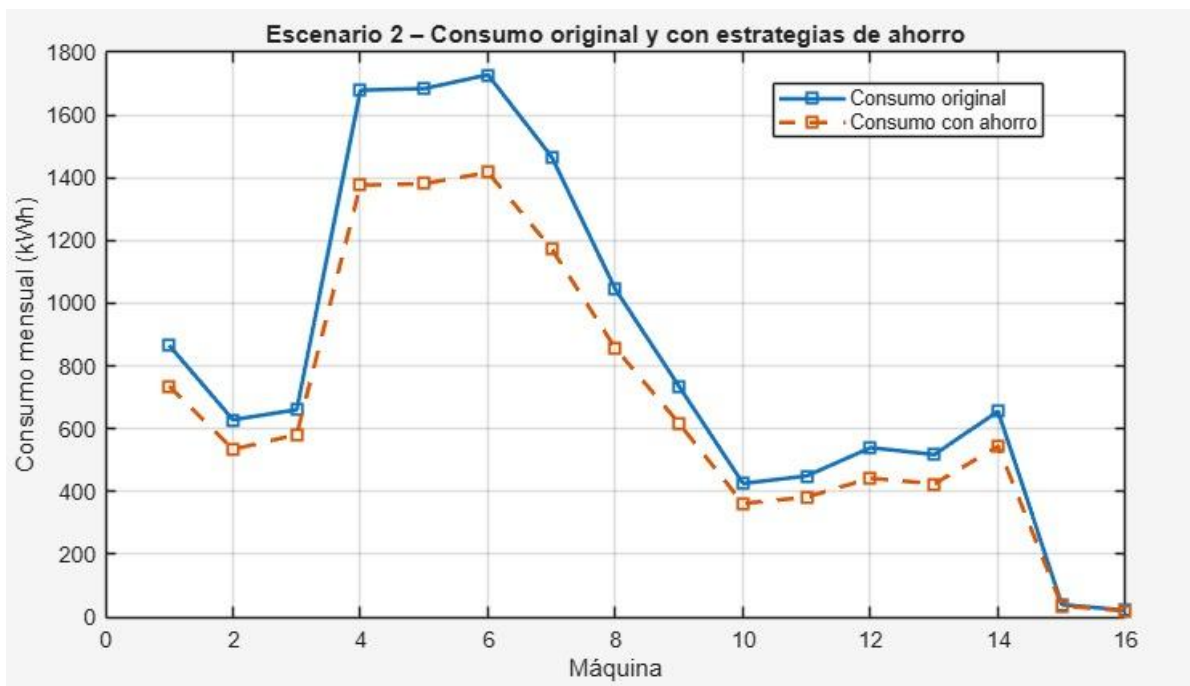


Figura 35 Gráfico escenario 2 consumo con y sin estrategias de ahorro

Fuente: [Autores]

Estimación del porcentaje de ahorro escenario 2

Consumo original: 13 143 kWh

Consumo con ahorro: 10 885 kWh

Ahorro logrado:

$$13\ 143\ \text{kWh} - 10\ 885\ \text{kWh} = 2\ 258.1\ \text{kWh} \quad (8)$$

Ecuación 8 Ahorro logrado escenario 2

Cálculo del porcentaje de ahorro:

$$\left(\frac{2\ 258.1}{13\ 143}\right) \times 100 = 17.18\% \quad (9)$$

Ecuación 9 Cálculo del porcentaje de ahorro escenario 2

Tuvo una reducción del 17.18 %

Situación inicial:

Se registra un menor consumo energético global, acompañado de un perfil de demanda más uniforme entre los equipos analizados, lo que refleja una operación más estable del sistema.

Acciones implementadas:

- Incorporación de mecanismos de automatización parcial mediante el uso de sensores de presencia en áreas con ocupación variable.
- Fortalecimiento del seguimiento energético a través de un monitoreo más constante de los parámetros de consumo.

Aplicación de mejora:

La automatización aplicada en espacios de utilización no continua permitió limitar el tiempo de operación de diversos equipos de climatización, contribuyendo a una reducción efectiva del consumo energético. De manera complementaria, el monitoreo energético facilitó la identificación oportuna de consumos atípicos, posibilitando la corrección de desviaciones operativas.

La **Figura 36** correspondiente al Escenario 3 evidencia una reducción clara del consumo energético mensual por máquina al aplicar las estrategias de ahorro propuestas. La disminución es más notable en los equipos con mayores niveles de demanda inicial, lo que confirma que la optimización de horarios, la mejora en la gestión operativa y la sustitución progresiva de equipos ineficientes tienen un impacto significativo en escenarios de uso intensivo.

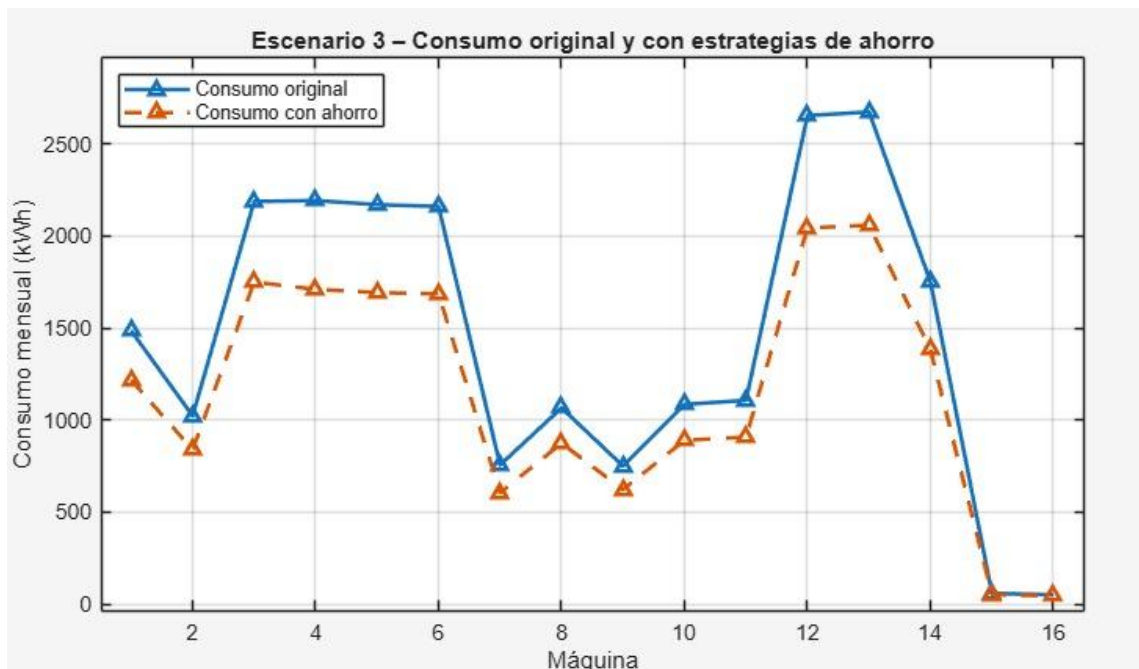


Figura 36 Gráfico escenario 3 consumo con y sin estrategias de ahorro

Fuente: [Autores]

Estimación del porcentaje de ahorro escenario 3

Consumo original: 23 170 kWh

Consumo con ahorro: 18 375 kWh

Ahorro logrado:

$$23\ 170\ \text{kWh} - 18\ 375\ \text{kWh} = 4\ 795.1\ \text{kWh} \quad (10)$$

Ecuación 10 Ahorro logrado escenario 3

Cálculo del porcentaje de ahorro:

$$\left(\frac{4\,795.1}{23\,170}\right) \times 100 = 20.70\% \quad (11)$$

Ecuación 11 Cálculo del porcentaje de ahorro escenario 3

Tuvo una reducción del 20.70 %

Estado inicial:

Se evidencia un nivel de consumo energético elevado, con un uso excesivo concentrado principalmente en los equipos identificados entre las máquinas 4 a 6 y 12 a 14, lo que refleja una operación poco eficiente en dichos sistemas.

Medidas implementadas:

- Ejecución de acciones correctivas directas sobre los equipos con mayor demanda energética.
- Aplicación conjunta y coordinada de todas las estrategias de optimización energética definidas en el estudio.

Fundamento de la mejora:

Las condiciones iniciales de alta carga térmica, junto con periodos prolongados de funcionamiento, ofrecieron un amplio potencial de mejora en términos de eficiencia energética. La adopción simultánea de herramientas de monitoreo, sistemas de automatización y programas de capacitación al personal permitió lograr reducciones más sustanciales en el consumo eléctrico.

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Del análisis energético realizado en los tres escenarios de medición se determina que el consumo mensual de energía eléctrica de los aires acondicionados varía significativamente en función de las condiciones de operación diarias, la potencia demandada por los equipos y la manera en que se distribuyen las cargas en los paneles eléctricos. Esto demuestra que una mala gestión del sistema de climatización impacta directamente en el consumo energético.

El análisis del primer caso permitió caracterizar un estado inicial de operación, en el cual se observó un consumo promedio. Sin embargo, se encontraron equipos con bajo factor de utilización que, aunque tienen baja potencia activa individual, en conjunto consumen bastante si funcionan simultáneamente y por tiempo prolongado.

En el segundo caso se apreció una reducción parcial del consumo de energía respecto a la condición inicial, principalmente por una menor demanda de potencia activa en algunos de los equipos analizados. Sin embargo, se encontró que todavía existen sistemas que operan sin criterios de control definidos y que podrían reducir aún más su consumo eléctrico.

Por otro lado, el tercer escenario representó el mayor consumo energético mensual, debido a un aumento generalizado de la potencia aparente y activa de los equipos de climatización. Esto se debe a que implica un mayor uso del sistema y, por lo tanto, se sobrecarga la red eléctrica interna y se aumentan las pérdidas de energía.

La comparación entre la potencia aparente y la potencia activa permitió identificar equipos con bajo factor de potencia, lo que significa que no están aprovechando de manera eficiente la infraestructura eléctrica instalada y pueden generar cargos adicionales por penalizaciones de la empresa suministradora de energía.

El estudio comparativo entre los escenarios analizados muestra que con la aplicación de medidas de eficiencia energética se puede reducir significativamente el consumo mensual de electricidad sin alterar las condiciones de confort térmico necesarias en los espacios acondicionados.

5.2 RECOMENDACIONES

Para identificar anomalías de eficiencia energética en sus inicios, se plantea diseñar un sistema integral de gestión energética capaz de monitorear en tiempo real variables eléctricas críticas, tales como potencia activa, potencia aparente y consumo mensual de los sistemas de aire acondicionado.

Los aires acondicionados se deben programar para que solo se enciendan cuando haya gente en la habitación, evitando consumos innecesarios y disminuyendo el consumo energético.

Se sugiere realizar una corrección del factor de potencia en el panel donde se concentran las mayores cargas de aire acondicionado e instalar bancos de capacitores u otras soluciones tecnológicas para mejorar la infraestructura eléctrica existente.

Se podría capacitar al personal que opera y mantiene sistemas de aire acondicionado en prácticas de eficiencia energética y se generará una cultura organizacional de conservación de energía.

El consumo de energía eléctrica en diferentes condiciones de funcionamiento se debe verificar periódicamente para evaluar la efectividad de las medidas correctivas y ajustar los planes de mejora energética.

CAPÍTULO VI

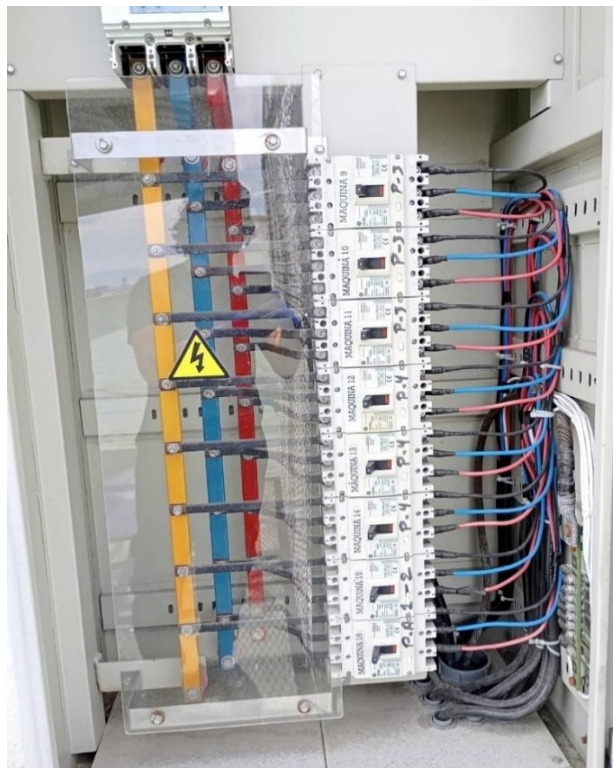
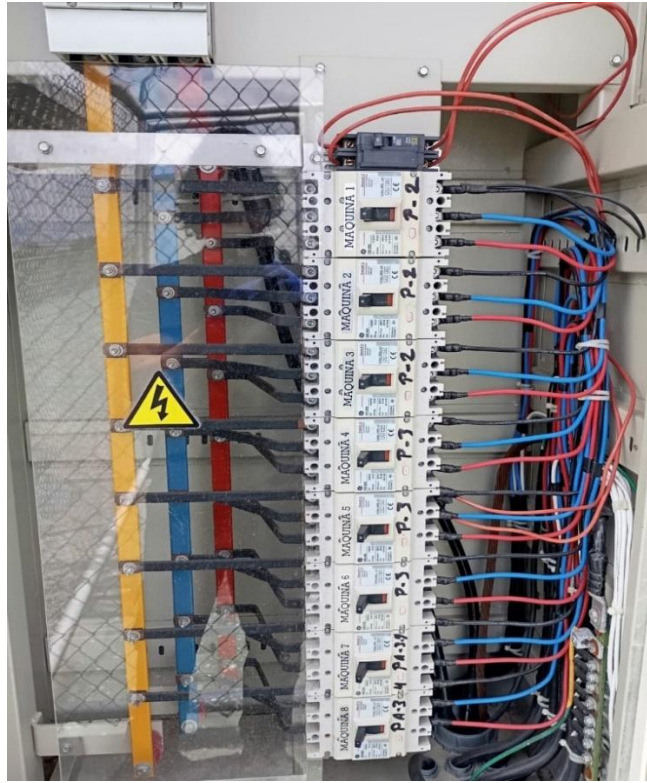
6 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] A. Borodinecs *et al.*, “Assessment of HVAC Performance and Savings in Office Buildings Using Data-Driven Method,” *Clean Technologies 2024, Vol. 6, Pages 802-813*, vol. 6, no. 2, pp. 802–813, Jun. 2024, doi: 10.3390/CLEANTECHNOL6020041.
- [2] Y. Yuan, L. Gao, K. Zeng, and Y. Chen, “Space-Level air conditioner electricity consumption and occupant behavior analysis on a university campus,” *Energy Build.*, vol. 300, p. 113646, Dec. 2023, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2023.113646.
- [3] M. Simonazzi *et al.*, “An Integrated Building Energy Model in MATLAB,” *Energies 2025, Vol. 18*, vol. 18, no. 11, Jun. 2025, doi: 10.3390/EN18112948.
- [4] “BLOQUE E UPS - Google Maps.” Accessed: Jan. 13, 2026. [Online]. Available: https://www.google.com/maps/place/BLOQUE+E+UPS/@-2.2206157,-79.8884886,417m/data=!3m1!1e3!4m10!1m2!2m1!1sUPS+-+Bloque+E!3m6!1s0x902d6f602e11d9f7:0x951fa8a64ed07526!8m2!3d-2.2205262!4d-79.8869256!15sCg5VUFMgLSBCbG9xdWUgRZIBF2VkdWNhdGlvbmFsX2luc3RpdHV0aW9u4AEA!16s%2Fg%2F11j19rxjvc?entry=tu&g_ep=EgoyMDI2MDEwNy4wIKXMDSokLDEwMDc5MjA2N0gBUAM%3D
- [5] “Importancia de los diagramas en los Sistemas de Refrigeración y Aire Acondicionado. | Blog Quimobásicos.” Accessed: Jan. 13, 2026. [Online]. Available: <https://blogquimobasicos.com/2015/03/11/importancia-de-los-diagramas-en-los-sistemas-de-refrigeracion-y-aire-acondicionado/>
- [6] D. Mendoza, C. I. Castro Mendoza, and P. A. Mendoza Vela, “Consumo eléctrico, confort térmico e impacto ambiental de una institución educativa ubicada en el norte de Argentina,” *TECNIA*, vol. 31, no. 1, pp. 1–9, Jun. 2021, doi: 10.21754/TECNIA.V21I1.1100.
- [7] “MATLAB Logo - símbolo, significado logotipo, historia, PNG.” Accessed: Jan. 13, 2026. [Online]. Available: <https://1000marcas.net/matlab-logo/>
- [8] A. M. Bahman, “Advancements in vapor compression air conditioning systems for high ambient temperature applications: A comprehensive review,” *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 67, p. 104227, Nov. 2025, doi: 10.1016/J.TSEP.2025.104227.
- [9] D. Bravo *et al.*, “Revisión general sobre sistemas de acondicionamiento de aire en edificios ecológicos e inteligentes,” *Revista ingeniería de construcción*, vol. 35, no. 2, pp. 192–202, 2020, doi: 10.4067/S0718-50732020000200192.

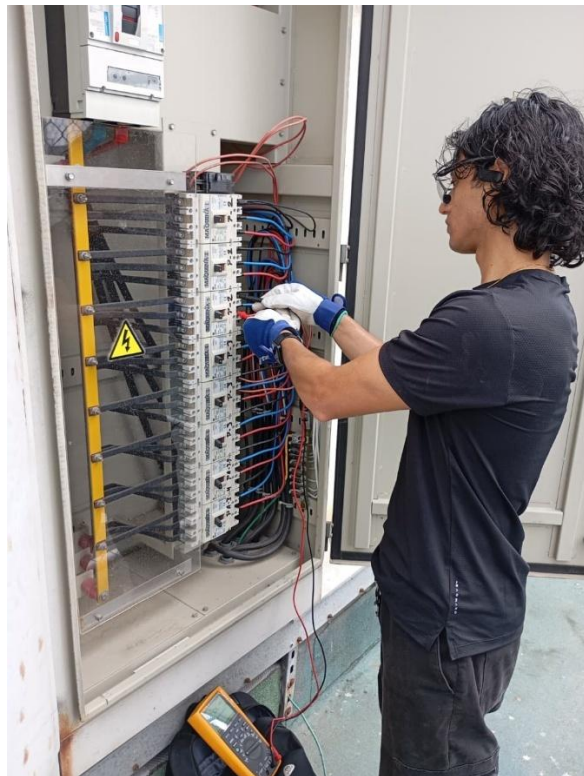
- [10] Y. Zhang, X. Luo, Y. Sun, and X. Liu, "Impact of air-conditioning usage behavior of student groups on air-conditioning load simulation in university dormitories," *Energy Build.*, vol. 303, p. 113765, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113765>.
- [11] F. Z. Filali, F. Z. Chafi, M. Ouhimnd, and F. Kuznik, "Energy efficiency through occupant behaviour: air conditioning at Salah Boubnider University," *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Energy*, vol. 179, no. 1, pp. 44–56, 2025, doi: <https://doi.org/10.1680/jener.25.00041>.
- [12] M. Balbis-Morejón, J. J. Cabello-Eras, F. J. Rey-Martínez, J. M. M. Fandiño, and J. M. Rey-Hernández, "Energy Performance of a University Building for Different Air Conditioning (AC) Technologies: A Case Study," *Buildings*, vol. 14, no. 6, 2024, doi: 10.3390/buildings14061746.
- [13] Y. Li, F. Arellano-Espitia, R. Aler, L. Igualada, and C. Corchero, "Data-driven methods and their applications to building HVAC energy consumption prediction: A review," *Journal of Building Engineering*, vol. 116, p. 114612, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2025.114612>.
- [14] Y. Chen, Y. Hu, G. Lin, Y. Zhang, S. Ye, and B. Shen, "Evaluation of HVAC & refrigeration system fault behaviors and impacts: A systematic review," *Journal of Building Engineering*, vol. 112, p. 113609, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2025.113609>.
- [15] H. Pagare, K. Mishra, K. Sharma, K. Kotecha, and A. Kulkarni, "Reducing energy consumption in air conditioning systems, a fuzzy logic-based optimization approach," *Energy Reports*, vol. 14, pp. 3014–3032, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2025.09.021>.
- [16] J. Tanimoto, A. Hagishima, and P. Chimklai, "An approach for coupled simulation of building thermal effects and urban climatology," *Energy Build.*, vol. 36, no. 8, pp. 781–793, 2004, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.01.019>.
- [17] J.-Y. Lee, P. Wargocki, Y.-H. Chan, L. Chen, and K.-W. Tham, "Indoor environmental quality, occupant satisfaction, and acute building-related health symptoms in Green Mark-certified compared with non-certified office buildings," *Indoor Air*, vol. 29, no. 1, pp. 112–129, 2019, doi: <https://doi.org/10.1111/ina.12515>.
- [18] N. Ildiri, E. Biesiada, T. Facchinetti, N. Anglani, N. Ahmed, and M. Hernandez, "Impacts of HVAC cleaning on energy consumption and supply airflow: A multi-climate evaluation," *Energy Build.*, vol. 328, p. 115147, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.115147>.
- [19] A. P. Agharid, I. Permana, L. Chang, Y.-H. Luo, and F. Wang, "Impact of Duty Cycling HVAC Systems on Thermal Comfort, Energy Consumption, and Operational Costs," *Energy Engineering*, vol. 122, no. 9, pp. 3839–3866, 2025, doi: <https://doi.org/10.32604/ee.2025.068586>.

- [20] “Consumo Eléctrico, Confort Térmico e Impacto Ambiental de una Institución Educativa ubicada en el Norte de Argentina.” Accessed: Jan. 13, 2026. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/358636510_Consumo_Electrico_Confort_Termico_e_Impacto_Ambiental_de_una_Institucion_Educativa_ubicada_en_el_Norte_de_Argentina
- [21] M. M. A. L. N. Maheepala, L. Meegahapola, H. Li, D. Robert, S. Wang, and K. Atapattu, “Thermal comfort-constrained HVAC flexibility prediction in institutional buildings using hybrid physics and LSTM modelling,” *Energy Build.*, vol. 351, p. 116748, 2026, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.116748>.
- [22] I. C. M. Vaz *et al.*, “Dashboard for interpreting future climate files used in the simulation of buildings – An outdoor thermal comfort approach,” *Energy Build.*, vol. 326, p. 115059, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.115059>.
- [23] J. Rodriguez and N. Fumo, “Zoned heating, ventilation, and air-conditioning residential systems: A systematic review,” *Journal of Building Engineering*, vol. 43, p. 102925, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102925>.
- [24] M. Kuru Erdem, O. Gokalp, and G. Calis, “Prediction of HVAC operational variables using recurrent neural networks for advanced control strategies,” *Journal of Building Engineering*, vol. 115, p. 114474, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2025.114474>.
- [25] D. Hong *et al.*, “Comprehensive review on the impact of building envelopes on indoor thermal comfort in office buildings: Balancing occupant comfort and energy efficiency,” *Build. Environ.*, vol. 289, p. 114018, 2026, doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.114018>.
- [26] T. Gao, X. Han, J. Wang, Y. Geng, H. Zhang, and T. Song, “Enhancing building energy efficiency: An integrated approach to predicting heating and cooling loads using machine learning and optimization algorithms,” *Journal of Building Engineering*, vol. 98, p. 110759, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.110759>.
- [27] A. Alghanmi, A. Yunusa-Kaltungo, and R. E. Edwards, “Investigating the influence of maintenance strategies on building energy performance: A systematic literature review,” *Energy Reports*, vol. 8, pp. 14673–14698, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.10.441>.

6.1 ANEXOS





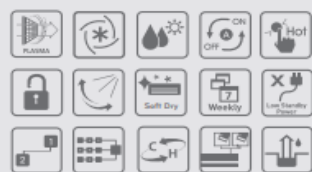




MULTI V™ IV ARUN140LTE4 ARUN160LTE4 ARUN180LTE4 ARUN200LTE4


HP			14	16	18	20
Modelo	Unidad combinada		ARUN140LTE4	ARUN160LTE4	ARUN180LTE4	ARUN200LTE4
	Unidad independiente		ARUN140LTE4	ARUN160LTE4	ARUN180LTE4	ARUN200LTE4
Capacidad	Refrigeración	Nom. kW	39,2	44,8	50,4	56,0
	Calefacción	Nom. kW	44,1	50,4	56,7	63,0
Capacidad a baja temperatura	Calefacción -7 °C	Máx. kW	44,1	50,4	56,7	63,0
Consumo	Refrigeración	Nom. kW	8,5	10,4	9,9	11,5
	Calefacción	Nom. kW	9,6	11,4	11,3	13,4
Consumo a baja temperatura	Calefacción -7 °C	Máx. kW	12,8	15,1	16,4	17,5
COP	Refrigeración		4,62	4,30	5,12	4,85
	Calefacción		4,59	4,42	5,04	4,72
ESEER			7,37	7,27	7,17	6,78
Rango funcionamiento	Refrigeración	Min.-Máx. °C BS	-10 °C ~ 43 °C	-10 °C ~ 43 °C	-10 °C ~ 43 °C	-10 °C ~ 43 °C
	Calefacción	Min.-Máx. °C BH	-25 °C ~ 18 °C	-25 °C ~ 18 °C	-25 °C ~ 18 °C	-25 °C ~ 18 °C
Compresor	Tipo		HSS	HSS	HSS	HSS
	Número de compresores		1	1	2	2
Ventilador	Tipo		Helicoidal	Helicoidal	Helicoidal	Helicoidal
	Tipo motor		DC Inverter	DC Inverter	DC Inverter	DC Inverter
	Presión estática máx.		10mmAq(100Pa)	10mmAq(100Pa)	10mmAq(100Pa)	10mmAq(100Pa)
Caudal	Refrigeración	Máx. m³/min	290	290	290	290
Presión sonora		Máx. dBA	59	59	59,5	59,5
Nivel sonoro	Máx	dBA	70,0	70,0	70,5	70,5
Dimensiones		AnxAxBxP mm	(1.240 x 1.680 x 760) x 1	(1.240 x 1.680 x 760) x 1	(1.240 x 1.680 x 760) x 1	(1.240 x 1.680 x 760) x 1
Peso neto		kg	245 x 1	245 x 1	280 x 1	280 x 1
Refrigerante	Tipo		R410A	R410A	R410A	R410A
	Carga	kg	10,5	10,5	10,5	10,5
	Control		EEV	EEV	EEV	EEV
Aceite refrigerante	Tipo		FVC68D(PVE)	FVC68D(PVE)	FVC68D(PVE)	FVC68D(PVE)
	Control	cm³	2.600	2.600	3.600	3.600
Alimentación eléctrica		ø/V/Hz	3 / 380-415 / 50	3 / 380-415 / 50	3 / 380-415 / 50	3 / 380-415 / 50
Cable comunicación (VCTF-SB)		Nº x mm²	2C x 1.0 ~ 1.5	2C x 1.0 ~ 1.5	2C x 1.0 ~ 1.5	2C x 1.0 ~ 1.5
Longitud tuberías	Total	Máx. m	1000	1000	1000	1000
	Longitud máxima tuberías*	Máx. m	200(225)	200(225)	200(225)	200(225)
	Después de 1ª derivación**	Máx. m	40(90)	40(90)	40(90)	40(90)
Diferencia altura	INT-EXT	Máx. m	110	110	110	110
	INT-INT	Máx. m	40	40	40	40
Conexiones tuberías	Líquido	mm	12,7	12,7	15,88	15,88
	Gas	mm	28,58	28,58	28,58	28,58
Número unidades exteriores			1	1	1	1
Número unidades int. conectables***		Máx.	23(35)	26(40)	29(45)	32(50)
Rango de las unidades int. conectables		Min.-Máx.	50~200%	50~200%	50~200%	50~200%
Intercambiador de calor	Tipo		Lama ancha Plus Fin	Lama ancha Plus Fin	Lama ancha Plus Fin	Lama ancha Plus Fin

ARNU24GTPC2
ARNU28GTPC2
ARNU36GTNC2
ARNU42GTMC2
ARNU48GTMC2



4 vías (840 x 840)

CASSETTE



Datos técnicos

Modelo	Interior		ARNU24GTPC2	ARNU28GTPC2	ARNU36GTNC2	ARNU42GTMC2	ARNU48GTMC2
	Panel		PT-UMC	PT-UMC	PT-UMC	PT-UMC	PT-UMC
Capacidad	Refrigeración	kW	7,1	8,2	10,6	12,3	14,1
		kcal/h	6.106	7.052	9.116	10.578	12.126
	Calefacción	kW	8,0	9,2	11,9	13,8	15,9
		kcal/h	6.880	7.912	10.234	11.868	13.674
Consumo	Refrigeración	W	33	33	144	144	144
	Calefacción	W	33	33	144	144	144
Suministro eléctrico	Ø / V / Hz		1,220-240,50	1,220-240,50	1,220-240,50	1,220-240,50	1,220-240,50
Dimensiones (al. x an. x pr.)	Unidad interior	mm	204x840x840	204x840x840	246x840x840	288x840x840	288x840x840
	Panel	mm	25x950x950	25x950x950	25x950x950	25x950x950	25x950x950
Peso	Unidad interior	kg	20,8	20,8	23,5	25,6	25,6
	Panel	kg	5	5	5	5	5
Nivel presión sonora (1,5 m)	A/M/B	dB(A)	36 / 34 / 31	39 / 35 / 33	43 / 40 / 37	44 / 41 / 38	46 / 43 / 41
Caudal	A/M/B	m ³ /min	17 / 15 / 13	19 / 16 / 14	25 / 21 / 19	30 / 27 / 24	31 / 29 / 27
Filtro purificador aire Plasma			o	o	o	o	o
Bomba de drenaje			o	o	o	o	o
Conexión líneas	Líquido	mm (pulg.)	Ø9,52 (3/8)	Ø9,52 (3/8)	Ø9,52 (3/8)	Ø9,52 (3/8)	Ø9,52 (3/8)
	Gas	mm (pulg.)	Ø15,88 (5/8)	Ø15,88 (5/8)	Ø15,88 (5/8)	Ø15,88 (5/8)	Ø15,88 (5/8)
	Drenaje (DE/DI)	mm	32 / 25	32 / 25	32 / 25	32 / 25	32 / 25

Notas:

1. Las capacidades están basadas en las siguientes condiciones:

Refrigeración:

- Temperatura interior: 27 °C BS / 19 °C BH.
- Temperatura exterior: 35 °C BS / 24 °C BH.
- Longitud líneas interconexión: 7,5 m.
- Diferencia de nivel cero.

Calefacción:

- Temperatura interior: 20 °C BS / 15 °C BH.
- Temperatura exterior: 7 °C BS / 6 °C BH.
- Longitud líneas interconexión: 7,5 m.
- Diferencia de nivel cero.

2. Debido a nuestra política de continua mejora tecnológica, ciertas especificaciones pueden variar sin previo aviso.

3. El cálculo de la acometida eléctrica debe realizarse con el valor de intensidad de corriente MFA que aparece en el manual técnico del producto.

Accesorios

Descripción	Modelo	
Contacto seco	Sin carcasa (1 punto de contacto)	PQDSA
	Con carcasa (1 punto de contacto)	PQDSB / PQDSB1
	Con carcasa (2 puntos de contacto)	PQDSBC
Rejilla autoelevable	PTEGMO	
Kit de ventilación	PTVK410 / PTVK420 / PTVK430	

Mando por cable

Mando inalámbrico



Deluxe
PQRCUDSO*



Estándar (negro)
PQRCVSLO



Estándar (blanco)
PQRCVSLOQW



Sencillo
PQRCVCLOQ(negro)
PQRCVCLOQW(blanco)



Sencillo para hotel
PQRCHCA0QW(blanco)
PQRCHCA0QW(negro)



PQWRHDF0



3 Datos técnicos

Atributo	Valor
Alimentación	5 V, < 10 mA
Tiempo de reconexión tras la desconexión	aprox. 1 s
Área de luminosidad configurable	aprox. 5 hasta 1000 Lux
Ángulo de apertura de la medición de luminosidad	60°
Rango de temperatura	-5 °C a 45 °C
Modo de protección	IP 20
Norma de producto	EN 60669-2-1

Article no.	Product name	Detection range	Usage	Mounting height
6131/20 -xxx-500	Busch- Presence detector mini KNX	Circular (details under "Technical Data")	For detection range of up to 8 m → individual rooms (e.g. office, living room, etc.). Wherever functionality is not greatly in demand.	2.5 m, 3 m and 4 m
6131/21 -xxx-500	Busch- Presence detector mini, premium, KNX	Circular (details under "Technical Data")	For detection range of up to 8 m → individual rooms (e.g. office, living room, etc.). Wherever increased functionality is required.	2.5 m, 3 m and 4 m
6131/30 -xxx-500	Busch- Presence detector KNX	Circular (details under "Technical Data")	For detection range of up to 12 m → large rooms (e.g. large-scale office, classrooms, etc.). Wherever functionality is not greatly in demand.	2.5 m, 3 m and 4 m
6131/31 -xxx-500	Busch- Presence detector, premium, KNX	Circular (details under "Technical Data")	For detection range of up to 12 m → large rooms (e.g. large-scale office, classrooms, etc.). Wherever increased functionality is required.	2.5 m, 3 m and 4 m