



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA

PROPUESTA TECNOLOGIA

TÍTULO:

“Habilitación Técnica y Evaluación del Desempeño del Sistema de Climatización en el Departamento de Direcciones de Carreras de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi”

**PROPUESTA TECNOLOGICA PRESENTADO PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO.**

AUTORES:

**Pachacama Gualotuña Michael Javier
Sánchez Salas Daniel Alejandro**

TUTOR:

Dr. Héctor Luis Laurencio Alfonso

**Latacunga – Ecuador
2026**

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Michael Javier Pachacama Gualotuña y Daniel Alejandro Salas Sánchez declaramos ser autores de la presente propuesta tecnológica: **“Habilitación Técnica y Evaluación del Desempeño del Sistema de Climatización en el Departamento de Direcciones de Carreras de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi”**, siendo el Dr. Héctor Luis Laurencio Alfonso tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente Trabajo Investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, marzo del 2026.



Michael Javier Pachacama Gualotuña

C.I. 1718645672



Daniel Alejandro Salas Sánchez

C.I. 1755674585



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

AVAL DEL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

En calidad del Director de la Carrera de Ingeniería Electromecánica sobre el título:

“Habilitación Técnica y Evaluación del Desempeño del Sistema de Climatización en el Departamento de Direcciones de Carreras de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi”, de los estudiantes Michael Javier Pachacama Gualotuña, portador de la cédula de ciudadanía N.º 1718645672, y Daniel Alejandro Salas Sánchez, portador de la cédula de ciudadanía N.º 1755674585, pertenecientes a la carrera de Ingeniería en Electromecánica, certifico que el tema propuesto ha sido revisado y aprobado, considerando que cumple con los lineamientos académicos y técnicos establecidos por la institución.

Asimismo, se constata que el proyecto plantea una evaluación técnica adecuada del sistema de climatización instalado en el área de estudio, verificando su correcto funcionamiento y desempeño en relación con las condiciones de operación requeridas para en el Departamento de Direcciones de Carreras de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, marzo del 2026.

Ing. Cristian Fabián Gallardo Molina Ms.C

C.I. 0502847692



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACION

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

“Habilitación Técnica y Evaluación del Desempeño del Sistema de Climatización en el Departamento de Direcciones de Carreras de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi”, de los estudiantes: Michael Javier Pachacama Gualotuña portador de la cédula de ciudadanía 1718645672 y Daniel Alejandro Salas Sánchez portador de la cédula de ciudadanía 1755674585, de la carrera de Ingeniería en Electromecánica, considero que dicho informe investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, marzo del 2026.

Dr. Héctor Luis Laurencio Alfonso

C.I. 1758367252

TUTOR

AVAL DE APROBACIÓN DE LECTORES

Cumpliendo con el Reglamento de Titulación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en calidad de Lectores de Tribunal de Proyecto de Investigación con el Título **Habilitación Técnica y Evaluación del Desempeño del Sistema de Climatización en el Departamento de Direcciones de Carreras de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi**", propuesto por el o la estudiante Michael Javier Pachacama Gualotuña y Daniel Alejandro Salas Sánchez de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, me permito indicar que los estudiante han concluido todas las observaciones y realizado las correcciones señaladas por el Tribunal de Lectores, además de validar el funcionamiento de la propuesta tecnológica, por lo cual presentamos el Aval de aprobación del Proyecto de Titulación correspondiente a la modalidad presencial, en virtud de lo cual el o la postulante puede presentarse a la Defensa de su Proyecto de Titulación.

Particular que pongo en su conocimiento para los fines legales pertinentes.

Atentamente,



Lector 1 (Presidente)

PhD. Enrique Torres Tamayo

C.I. 1757121940



Lector 2

Ing. Efrén Damian Alban Andrade Ms.C

C.I. 0502529514



Lector 3

Ing. Cristian Fabián Gallardo Molina Ms.C

C.I. 0502847692

CERTIFICACIÓN DE INFORME DE SIMILITUD

En mi calidad de Tutor de la Propuesta Tecnológica con el tema: “Habilitación Técnica y Evaluación del Desempeño del Sistema de Climatización en el Departamento de Direcciones de Carreras de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi”, de Pachacama Gualotuña Michael Javier y Sánchez Salas Daniel Alejandro, de la carrera de Ingeniería Electromecánica, remito la captura de pantalla del reporte del sistema de reconocimiento de texto Turnitin, con un porcentaje de coincidencias del 7 %; y, expreso una vez más, mi conformidad en cuanto a la dirección del trabajo de titulación.


Pachacama Maikol

Sistema de climatización

- Quick Submit
- Quick Submit
- Universidad Técnica De Cotopaxi

Detalles del documento

| | |
|---|--------------------|
| Identificador de la entrega tmoid::1.350496791 | 83 páginas |
| Fecha de entrega 12 mar 2026, 8:11 a.m. GMT-5 | 19.682 palabras |
| Fecha de descarga 12 mar 2026, 8:15 a.m. GMT-5 | 112.121 caracteres |
| Nombre del archivo Tesis_revisión_2.docx | |
| Tamaño del archivo 11.2 MB | |

 Página 1 de 87 - Portada Identificador de la entrega tmoid::1.350496791


7% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

Fuentes principales

- 7%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 2%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarse.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Firma
Dr. Héctor Luis Laurencio Alfonso
C.C.: 1758367252
TUTOR

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que, de una u otra manera, me brindaron su apoyo, motivación y compañía a lo largo de este proceso académico.

A mi esposa Vicky, por su amor, paciencia y comprensión durante todo este tiempo. Su apoyo incondicional ha sido una de las fuerzas que me permitió continuar y alcanzar este objetivo.

A mi hijo Sebastián, quien es una de las mayores motivaciones de mi vida y la razón por la que busco superarme cada día.

De manera especial, agradezco a mis tíos Lucía y David, quienes en momentos difíciles me alentaron a continuar con mis estudios y me brindaron su apoyo de todas las formas posibles, incluso cuando yo mismo dudaba si podría seguir adelante. Su confianza en mí fue fundamental para continuar este camino.

Asimismo, agradezco a mis tíos Paola y Andrés, por su constante apoyo, por estar siempre atentos y acompañarme con su cariño y motivación a lo largo de este proceso.

A mi padre Fredy, por su apoyo constante y por impulsarme siempre a superarme y ser cada día una mejor persona. Su ejemplo de esfuerzo y dedicación ha sido una motivación permanente para seguir adelante.

Finalmente, expreso mi sincero agradecimiento a mi tutor, Dr. Héctor Laurencio, por su guía, paciencia y valiosos conocimientos compartidos durante el desarrollo de este trabajo de titulación, así como por su apoyo y orientación durante todo este proceso académico.

Michael Pachacama

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a mis padres por brindarme la educación, la salud, la fortaleza y la confianza necesarias para superar cada desafío presentado durante estos años de formación.

A mis abuelos, por su amor incondicional, comprensión y apoyo constante. Su confianza, sus consejos y esos gestos de cariño, como ofrecer siempre un plato de comida incluso a altas horas de la noche, han sido una muestra permanente de su afecto y respaldo.

A mis tíos, quienes a lo largo de mi formación compartieron sus conocimientos, experiencia y orientación, contribuyendo significativamente a mi crecimiento académico y personal.

A mi hermana, por estar siempre a mi lado tanto en los momentos buenos como en los difíciles, brindándome apoyo, compañía y motivación para seguir adelante.

De manera especial, agradezco a mi tutor de tesis por su guía, paciencia y valiosos aportes durante el desarrollo de esta investigación, así como a todas las personas que colaboraron directa o indirectamente en la realización de este trabajo.

A todos ellos, mi más profundo agradecimiento.

Daniel Salas

DEDICATORIA

Con profundo respeto y gratitud, dedico este trabajo a la memoria de mi madre, Betty, quien con su amor, esfuerzo y ejemplo marcó profundamente mi vida. Aunque hoy no se encuentre físicamente conmigo, sus enseñanzas, su fortaleza y los valores que me inculcó continúan guiando mis pasos y motivándome a seguir adelante.

A la memoria de mi querida abuelita María del Carmen, quien siempre me brindó su cariño y sabiduría. Su recuerdo permanece vivo en mi corazón y en cada logro que alcanzo.

A mis abuelos César y Josefina, por su cariño, sus consejos y por ser una parte fundamental de mi formación personal y familiar.

De manera muy especial, dedico este logro a mi esposa Vicky, por su amor, paciencia y apoyo incondicional durante todo este proceso. Su comprensión y confianza han sido fundamentales para culminar esta etapa de mi vida.

A mi hijo Sebastián, quien es una de las mayores motivaciones de mi vida. Que este logro sea también un ejemplo de esfuerzo, perseverancia y dedicación para su futuro.

Este trabajo no representa únicamente el resultado de un esfuerzo académico, sino también el reflejo del amor, el apoyo y los recuerdos de las personas que han marcado profundamente mi vida.

Michael Pachacama

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a mis padres, quienes con su esfuerzo, amor y sacrificio han sido el pilar fundamental en mi vida. Su ejemplo de trabajo, perseverancia y valores ha sido la inspiración que me impulsó a alcanzar esta meta.

A mi familia, por su apoyo constante, comprensión y palabras de aliento en los momentos más difíciles. Gracias por creer en mí y acompañarme en cada paso de este proceso.

Este logro también es de todos ustedes, quienes han sido parte importante de este camino.

Daniel Salas

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|---|------|
| PORTADA | i |
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA | ii |
| AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN..... | iii |
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN..... | iv |
| CERTIFICACIÓN DE INFORME DE SIMILITUD..... | v |
| AGRADECIMIENTO | vii |
| AGRADECIMIENTO | viii |
| DEDICATORIA | ix |
| DEDICATORIA..... | x |
| ÍNDICE DE CONTENIDO | xi |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xvi |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | xvii |
| RESUMEN | xix |
| ABSTRACT | xx |
| AVAL DE TRADUCCIÓN..... | xxi |
| 1. INFORMACION GENERAL..... | 1 |
| 2.1 El Problema | 2 |
| 2.1.1 Situación Problemática | 2 |
| 2.1.2 Formulación del Problema..... | 3 |
| 2.2. Objeto y Ámbito de Acción..... | 3 |
| 2.2.1 Objeto de Investigación | 3 |
| 2.2.2 Campo de Acción | 3 |
| 2.3 Beneficiarios..... | 3 |
| 2.3.1 Directos..... | 3 |
| 2.3.2 indirectos | 3 |
| 2.4 Justificación | 3 |
| 2.5 Objetivos..... | 4 |
| 2.5.1 Objetivo General..... | 4 |
| 2.5.2 Objetivos Específicos | 4 |
| 2.5.3 Sistemas de Tareas..... | 5 |
| 3. FUNDAMENTACION TEÓRICA | 6 |

| | |
|--|----|
| 3.1 Antecedentes..... | 6 |
| 3.1.1 Antecedentes a Nivel Mundial | 6 |
| 3.1.2 Antecedentes a Nivel de América Latina | 7 |
| 3.1.3 Antecedentes a Nivel de Ecuador | 8 |
| 3.2 Generalidades de los Sistemas de Climatización | 9 |
| 3.2.1 Clasificación de los Sistemas de Climatización | 9 |
| 3.2.1.1 Sistema de Aire Acondicionado Tipo Split | 9 |
| 3.2.1.2 Sistema Tipo Split Cassette | 9 |
| 3.2.1.3 Sistema de Aire Acondicionado Tipo Split Piso-Techo..... | 10 |
| 3.2.1.4 Sistema de Aire Acondicionado Tipo Ventana | 10 |
| 3.2.1.5 Sistema de Aire Acondicionado Tipo Portátil..... | 11 |
| 3.2.1.6 Sistema de Climatización Tipo Paquete (Rooftop) | 11 |
| 3.2.1.7 Sistema de Climatización Tipo VRF / VRV | 11 |
| 3.2.1.8 Sistema de Climatización Central por Agua Helada (Chiller). | 12 |
| 3.2.2 Ventajas Y Desventajas | 12 |
| 3.2.2.1 Ventajas | 12 |
| 3.2.2.2 Desventajas..... | 13 |
| 3.2.3 Tipos de Refrigerantes Utilizados en Sistemas de Climatización | 13 |
| 3.2.3.1 R-22 (Clorodifluorometano | 13 |
| 3.2.3.2 R-410A | 14 |
| 3.2.3.3 R-32 | 14 |
| 3.2.3.4 R-134a (Tetrafluoroetano)..... | 14 |
| 3.2.3.5 R-404A | 14 |
| 3.2.3.6 R-407C | 15 |
| 3.2.3.7 R-290 (Propano). | 15 |
| 3.2.3.8 R-717 (Amoníaco)..... | 15 |
| 3.2.4 Tipos de Refrigeración en Sistemas de Climatización | 17 |
| 3.2.5 Confort Térmico | 17 |
| 4. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 18 |
| 4.1 Descripción del Sistema de Aire Acondicionado | 18 |
| 4.2 Descripción de la Instalación del Sistema de Aire Acondicionado..... | 20 |
| 4.3 Variables a medir..... | 21 |
| 4.4 Instrumentos, Materiales y Equipos Utilizados | 22 |
| 4.4.1 Instrumentos de Medición | 22 |

| | |
|--|----|
| 4.4.1.2 Estación Meteorológica (AcuRite Iris)..... | 22 |
| 4.4.1.3 Multímetro | 23 |
| 4.4.1.4 Pinza Amperimétrica | 23 |
| 4.4.1.5 Termómetro Infrarrojo..... | 23 |
| 4.4.1.6 Manómetro de Refrigeración..... | 24 |
| 4.4.2 Equipos Utilizados..... | 24 |
| 4.4.2.1 Unidad Condensadora de Expansión Directa | 24 |
| 4.4.2.2 Unidad Evaporadora | 25 |
| 4.4.2.3 Motor eléctrico asíncrono bifásico (Ventilador centrífugo) | 25 |
| 4.4.2.4 Termostato | 26 |
| 4.4.3 Materiales | 27 |
| 4.4.3.1 Materiales Eléctricos | 27 |
| 4.4.3.1.1 Cable Incable Antihurto XLPE 3x6 (Aluminio) Antihurto | 27 |
| 4.4.3.1.2 Cable de Cobre 10# AWG..... | 27 |
| 4.4.3.1.3 Conector Perno Partido Bimetálico | 28 |
| 4.4.3.1.4 Breaker SQ Enchufable 2p 40 A | 28 |
| 4.4.3.2 Materiales de Refrigeración..... | 29 |
| 4.4.3.2.1 Gas Refrigerante R410A | 29 |
| 4.4.3.3 Material Estructural | 29 |
| 4.4.3.3.1 Cubierta de Tol Galvanizado | 29 |
| 4.4.3.3.2 Rubatex..... | 30 |
| 4.4.3.4 Herramientas de Diagnóstico..... | 30 |
| 4.4.3.4.1 Software ManTSys | 30 |
| 4.4.3.4 Materiales Complementarios de Instalación..... | 31 |
| 4.5 Procedimiento de Carga Térmica | 31 |
| 4.5.1 Ganancia de Calor por Radiación Solar a Través de Vidrios | 32 |
| 4.5.2 Ganancia de Calor a Través de Componentes Estructurales | 32 |
| 4.5.3 Diferencias Equivalentes de Temperaturas | 33 |
| 4.5.4 Concentración de Personas como Base de Diseño | 34 |
| 4.5.5 Ganancia por Ocupantes | 34 |
| 4.5.6 Ganancias de Calor Originadas por Equipos Instalados en el Interior de los Locales | 35 |
| 4.5.7 Ganancia por Iluminación | 35 |
| 4.5.8 Ganancia de Calor por Infiltración y Ventilación | 36 |

| | |
|--|-----------|
| 4.5.9 Ganancia por Infiltraciones | 36 |
| 4.5.10 Ventilación y Cargas Térmicas..... | 36 |
| 4.5.10.1 Ventilación Exterior | 37 |
| 4.5.11 Ciclo básico de Aire Acondicionado | 38 |
| 4.5.11.1 Método de cálculo | 38 |
| 4.5.11.1.1 Cálculo del Factor de Calor Sensible del Local (FCSL..... | 38 |
| 4.5.11.1.2 Factor de Calor Sensible Total (FCST) | 38 |
| 4.5.11.1.3 Factor de Calor Sensible Efectivo (FCSE). | 38 |
| 4.5.11.1.4 Determinación del APR..... | 39 |
| 4.5.11.1.5 Caudal de suministro al local..... | 39 |
| 4.5.11.1.6 Finalmente se calcula la carga total sobre la batería de enfriamiento | 40 |
| 4.6 Cálculos Eléctricos | 40 |
| 4.6.1 Calculo de Corriente Eléctrica de Operación | 41 |
| 4.6.2 Capacidad de Conducción del Conductor | 41 |
| 4.6.3 Calculo de Caída de Tensión en Conductores | 41 |
| 4.6.4 Porcentaje de Caída de Tensión..... | 42 |
| 4.6.5 Cálculo de Potencia Eléctrica | 42 |
| 4.6.6 Cálculo del Interruptor de Protección..... | 43 |
| 4.7 Evaluación del Estado Técnico..... | 43 |
| 4.8 Lugar de Estudio o Área de Análisis | 44 |
| 5. ANÁLISIS, RESULTADOS Y CONCLUSIONES..... | 45 |
| 5.1 Análisis de mantenimiento | 45 |
| 5.1.1 Mantenimiento Preventivo | 48 |
| 5.1.1.1 Unidad Evaporadora..... | 48 |
| 5.1.1.2 Unidad Condensadora | 48 |
| 5.2 Análisis eléctricos..... | 49 |
| 5.2.1 Análisis de la capacidad del centro de carga y el factor de potencia..... | 49 |
| 5.2.1.1 Estimación del consumo del centro de cargas y verificación del cableado..... | 50 |
| 5.2.1.2 Factor de potencia..... | 50 |
| 5.3 Análisis Eléctrico del Equipo | 50 |
| 5.3.1 Determinación de la corriente nominal del equipo..... | 51 |
| 5.3.2 Verificación del tipo de conductor | 51 |
| 5.3.3 Verificación del dispositivo de protección | 52 |
| 5.3.4 Calculo de caída de tensión | 52 |

| | |
|---|----|
| 5.3.5 Porcentaje de caída de tensión..... | 53 |
| 5.3.6 Calculo de Potencia Eléctrica | 53 |
| 5.4 Cálculo de la Carga Térmica | 53 |
| 5.4.1 Radiación solar a través de superficies acristaladas | 55 |
| 5.4.2 Ganancia de calor por estructura | 58 |
| 5.4.3 Ganancia Térmica por Ventilación..... | 60 |
| 5.4.4 Cálculo del caudal total de ventilación..... | 61 |
| 5.4.5 Ganancia térmica por infiltración | 61 |
| 5.4.6 Ganancia Térmica por Ocupantes..... | 62 |
| 5.4.7 Ganancia Térmica por Equipos e Iluminación | 63 |
| 5.5 Análisis de Resultados Térmicos..... | 63 |
| 5.5.1 Comparación de Desempeño Térmico en Distintas Variantes de Operación..... | 64 |
| 5.5.2. Variante 1: Ventilador Encendido (Sin Compresor) | 64 |
| 5.5.3 Variante 2: Ventilador Encendido + Compresor (A/A Completo)..... | 64 |
| 5.5.4 Comparación Gráfica entre Variantes | 65 |
| 5.5.5 Comparación Final de Desempeño..... | 67 |
| 5.5.6 Evaluación Comparativa del Desempeño Térmico | 67 |
| 5.5.7 Comparación Térmica Bajo Tres Condiciones de Operación | 68 |
| 5.6 Análisis Eléctrico Comparativo Y Eficiencia Energética..... | 70 |
| 5.6.1 Determinación de la Potencia Eléctrica Nominal del Sistema | 70 |
| 5.6.2 Determinación de la Potencia Eléctrica Real en Operación | 71 |
| 5.6.2.1 Comparación de Potencia Eléctrica..... | 71 |
| 5.6.3 Comparación de Corriente Entre Condiciones Nominales y Reales | 72 |
| 5.6.3.1 Calculo de caída de tención en operación | 72 |
| 5.6.4 Comprobación de consumo eléctrico frente al centro de carga..... | 73 |
| 5.6.5 Interpretación Energética del Comportamiento del Sistema | 75 |
| 5.6.6 Evaluación de la Capacidad del Sistema de Climatización en Relación con el Recinto | 75 |
| 5.6.7 Análisis Económico del Mantenimiento del Sistema Actual Vs Instalación de un Sistema Nuevo..... | 76 |
| 5.6.8 Relación entre Potencia Aparente y Potencia Activa | 77 |
| 5.6.9 Evaluación Global de Eficiencia Energética | 77 |
| 5.7 Evaluación Económica del Sistema de Climatización | 78 |
| 5.7.1 Determinación del Ahorro Anual | 79 |

| | |
|--|--------------------------------------|
| 5.7.2 Cálculo del Valor Actual Neto (VAN)..... | 79 |
| 5.7.3 Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR) | 79 |
| 5.8 Costo Global Del Presupuesto del Proyecto..... | 80 |
| 5.8.1 Costo de Materiales y Suministros | 80 |
| 5.8.2 Costo de Equipos e Instrumentos para Uso Directo | 81 |
| 5.8.3 Consolidación de Gastos Ejecutables | 82 |
| 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 82 |
| 6.1 Conclusiones..... | 82 |
| 6.2 Recomendaciones | 84 |
| 7. BIBLIOGRAFÍA | 86 |
| 8. ANEXOS..... | ¡Error! Marcador no definido. |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Tipos de refrigeración en sistemas de climatización..... | 16 |
| Figura 2. Condensador de Aire HW36Na/A-D | 19 |
| Figura 3. Unidad evaporadora y de Ventilación..... | 20 |
| Figura 4. Sistema de Aire Acondicionado por Expansión Directa..... | 21 |
| Figura 5. Estación Meteorológica..... | 22 |
| Figura 6. Multímetro | 23 |
| Figura 7. Pinza Amperimétrica..... | 23 |
| Figura 8. Termómetro Infrarrojo | 24 |
| Figura 9. Manómetro de Refrigeración | 24 |
| Figura 10. Unidad Condensadora GREE HW36NA/A-D..... | 25 |
| Figura 11. Unidad Evaporadora..... | 25 |
| Figura 12. Ventilador de Aire Acondicionado | 26 |
| Figura 13. Termostato | 27 |
| Figura 14. Cable de aluminio 3x6 | 27 |
| Figura 15. Cable de cobre 10# AWG | 28 |
| Figura 16. Conector Perno Partido Bimetálico..... | 28 |
| Figura 17. Breaker SQ Enchufable 2p 40 A..... | 29 |
| Figura 18. Gas Refrigerante R410A | 29 |
| Figura 19. Cubierta de Tol Galvanizado | 30 |
| Figura 20. Rubatex | 30 |

| | |
|--|----|
| Figura 21. Software ManTSys..... | 31 |
| Figura 22. Nivel de criticidad..... | 46 |
| Figura 23. Informe de análisis de mantenimiento a nivel de maquina..... | 47 |
| Figura 24. Comportamiento de la radiación solar incidente..... | 57 |
| Figura 25. Comparación de temperatura interior por condición (promedios)..... | 65 |
| Figura 26. Gradiente térmico logrado con A/A ($\Delta T = T_{ext} - T_{int}$)..... | 66 |
| Figura 27. Comparación de humedad relativa por condición (promedios)..... | 66 |
| Figura 28. Comparación térmica bajo tres condiciones de operación..... | 68 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Sistemas de Tareas | 5 |
| Tabla 2. Variables a medir..... | 21 |
| Tabla 3. Materiales complementarios de instalación..... | 31 |
| Tabla 4. Determinación de la corriente nominal del equipo..... | 51 |
| Tabla 5. Verificación del tipo de conductor | 52 |
| Tabla 6. Cálculo de caída de tención..... | 53 |
| Tabla 7. Porcentaje de caída de tensión..... | 53 |
| Tabla 8. Cálculo de Potencia Eléctrica..... | 53 |
| Tabla 9. Condiciones de diseño interior y exterior del local..... | 54 |
| Tabla 10. Coeficientes de transmisión de calor para cerramientos del recinto | 58 |
| Tabla 11. Coeficiente global de transmisión térmica para cubierta | 59 |
| Tabla 12. Diferencia equivalente de temperatura (°C) para muros soleados o en sombra..... | 59 |
| Tabla 13. Factor de orientación solar para condiciones ecuatoriales (mes de febrero)..... | 60 |
| Tabla 14. Caudal de aire exterior recomendado para ventilación en el cubículo del ingeniero Cristian Gallardo | 60 |
| Tabla 15. Caudal total de ventilación | 61 |
| Tabla 16 Resumen de ganancia térmica por infiltración | 62 |
| Tabla 17. Ganancia térmica por ocupantes..... | 62 |
| Tabla 18. Equipos eléctricos y luminarias instaladas en el recinto | 63 |
| Tabla 19. Resumen estadístico de registros interiores (ventilador sin compresor) | 64 |
| Tabla 20. Resumen estadístico de registros (A/A con compresor)..... | 64 |
| Tabla 21. Comparación global entre variantes | 67 |
| Tabla 22. Índice de confort térmico..... | 67 |

| | |
|---|----|
| Tabla 23. Amplitud térmica por variante..... | 67 |
| Tabla 24. Reducción promedio lograda por el compresor | 68 |
| Tabla 25. Cálculo de potencia activa nominal..... | 70 |
| Tabla 26. Cálculo de Potencia aparente en operación | 71 |
| Tabla 27. Cálculo de Potencia activa en operación | 71 |
| Tabla 28. Comparación de potencia eléctrica..... | 71 |
| Tabla 29. Cálculo de Nivel de carga en porcentaje | 72 |
| Tabla 30. Datos para cálculo de caída de tención en operación | 72 |
| Tabla 31. Cálculo de caída de tención en operación | 72 |
| Tabla 32. Comparación del consumo de corriente antes y después de la operación del sistema de climatización..... | 73 |
| Tabla 33. Comparación entre la corriente medida y la capacidad del conductor | 74 |
| Tabla 34. Costos de mantenimiento del sistema actual | 76 |
| Tabla 35. Costos de adquisición e instalación de un sistema nuevo | 77 |
| Tabla 36. Determinación del ahorro anual | 79 |
| Tabla 37. Valor Actual Neto del sistema..... | 79 |
| Tabla 38. La Tasa Interna de Retorno corresponde a la tasa de rentabilidad generada por los flujos de ahorro..... | 79 |
| Tabla 39. Presupuesto global del proyecto por tipo de recurso (USD) | 80 |
| Tabla 40. Descripción de los gastos de personal (USD) | 80 |
| Tabla 41. Materiales y suministros (USD) | 80 |
| Tabla 42. Equipos e instrumentos utilizados (USD) | 81 |
| Tabla 43. Gastos totales del proyecto (USD)..... | 82 |

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: “Habilitación Técnica y Evaluación del Desempeño del Sistema de Climatización en el Departamento de Direcciones de Carreras de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi”

Autores: Pachacama Gualotuña Michael Javier

Sánchez Salas Daniel Alejandro

RESUMEN

El sistema de climatización instalado en el Departamento de Direcciones de Carreras de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi permaneció fuera de operación durante varios años, lo que generó condiciones térmicas inadecuadas dentro de la oficina analizada y afectó el confort de los usuarios. Ante esta situación, la investigación tuvo como objetivo habilitar técnicamente y evaluar el desempeño del sistema de climatización mediante procedimientos de diagnóstico, mantenimiento preventivo y verificación de las condiciones eléctricas de alimentación.

El estudio inició con un diagnóstico técnico del sistema a través de la inspección de sus componentes mecánicos y eléctricos. Posteriormente, se realizaron actividades de mantenimiento preventivo que incluyeron la limpieza del evaporador y del condensador, revisión de conexiones eléctricas y verificación del estado general del equipo. De forma complementaria, se efectuó el análisis del tablero de carga que alimenta el sistema, realizando mediciones de corriente en cada fase del circuito trifásico para determinar el consumo eléctrico del equipo.

Una vez habilitado el sistema, se evaluó su desempeño mediante el monitoreo de la temperatura interior de la oficina. Los resultados evidenciaron que el sistema restableció su funcionamiento de manera estable, manteniendo condiciones adecuadas de confort térmico y un consumo eléctrico acorde con sus características técnicas.

Finalmente, se concluyó que la aplicación de mantenimiento preventivo y la verificación del sistema eléctrico permiten recuperar la operatividad de equipos de climatización que han permanecido fuera de servicio por largos periodos.

Palabras clave: climatización, mantenimiento preventivo, consumo eléctrico, confort térmico.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

THEME: “Technical Enabling and Performance Air Conditioning Evaluation System at Directorships Department Career in the Faculty of Engineering and Applied Sciences at the Technical University of Cotopaxi”.

Authors: Pachacama Gualotuña Michael Javier

Sánchez Salas Daniel Alejandro

ABSTRACT

The air conditioning system installed at Career Directorships Department of the Faculty of Engineering and Applied Sciences at the Technical University of Cotopaxi had remained out of operation for several years, generating inadequate thermal conditions inside the analyzed office and affecting user comfort. In response to this situation, the objective was to enable and evaluate technically the air conditioning performance through diagnostic procedures, preventive maintenance, and the electrical supply conditions verification.

The study began with a system technical diagnosis through inspection of its mechanical and electrical components. Preventive maintenance activities were then carried out, including the evaporator and condenser cleaning, electrical connections verification, and general equipment condition inspection. Additionally, an analysis of the load panel supplying the system was performed by measuring the current in each phase of the three-phase circuit to determine the electrical equipment consumption.

Once the system was enabled, its performance was evaluated by monitoring the indoor office temperature. The results showed that the system restored stable operation, maintaining adequate thermal comfort conditions and electrical consumption consistent with its technical characteristics.

Finally, was concluded that preventive maintenance and electrical supply system verification allowing the air conditioning equipment recovery that has remained out of service for long periods.

Keywords: air conditioning, preventive maintenance, electrical consumption, thermal comfort.

AVAL DE TRADUCCIÓN

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

La traducción del resumen al Idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“Habilitación Técnica y Evaluación del Desempeño del Sistema de Climatización en el Departamento de Direcciones de Carreras de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi”** presentado por los estudiantes **Pachacama Gualotuña Michael Javier y Sánchez Salas Daniel Alejandro**, egresados de la carrera de **Ingeniería Electromecánica**, perteneciente a la **Matriz**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad por lo que autorizo a la petición hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, 12 de marzo 2026

Atentamente,

Mg. Lidia Rebeca Yugla Lema.
DOCENTE DEL CENTRO DE IDIOMAS-UTC
0502652340

1. INFORMACION GENERAL

Título del Proyecto:

“Habilitación Técnica y Evaluación del Desempeño del Sistema de Climatización en el Departamento de Direcciones de Carreras de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi.”

Fecha de inicio:

Octubre 2025

Fecha de Finalización:

Febrero 2026

Facultad:

Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Carrera:

Ingeniería Electromecánica

Tipo de Proyecto:

Propuesta Tecnológica

Equipo de Trabajo:

Pachacama Gualotuña Michael Javier
Sánchez Salas Daniel Alejandro

Tutor de Titulación:

Dr. Héctor Luis Laurencio Alfonso

Área de Conocimiento:

| | | |
|--|--|--------------------------------------|
| 07 ingeniería Industria y Construcción | 071 ingeniería y Profesiones Afines | 0713 electricidad y energía |
| | | 0714 electrónica y automatización |
| | | 0715 mecánica y metalurgia |

Línea de Investigación: Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental

Sub líneas de Investigación de la carrera: Mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos.

2. INTRODUCCION

2.1 El Problema

2.1.1 Situación Problemática

A nivel mundial, los sistemas de climatización representan un componente esencial en el confort ambiental y el control térmico de los espacios educativos, industriales y administrativos. Su correcto funcionamiento no solo garantiza condiciones adecuadas para el desempeño académico y laboral, sino que también contribuye a la eficiencia energética y sostenibilidad de las edificaciones. En países con climas variables, el mantenimiento y la optimización de estos sistemas son fundamentales para asegurar su rendimiento y prolongar su vida útil.

En Latinoamérica, muchas instituciones han incorporado sistemas de climatización con el objetivo de mejorar las condiciones térmicas de trabajo y estudio. Sin embargo, en varios casos se presentan deficiencias técnicas relacionadas con la instalación eléctrica, el dimensionamiento de los equipos o la falta de mantenimiento preventivo, lo cual limita su correcto desempeño y genera interrupciones en su funcionamiento.

En el caso particular de la Universidad Técnica de Cotopaxi, específicamente en el Departamento de Direcciones de Carreras de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, el sistema de climatización permaneció deshabilitado durante un periodo prolongado debido a problemas en la alimentación eléctrica y la falta de optimización de su conexión e infraestructura de potencia. Esta situación afectó directamente las condiciones térmicas del área, reduciendo el confort de los usuarios y dificultando las actividades curriculares y extracurriculares.

Por ello, se hace necesaria una habilitación técnica integral que permita no solo restablecer el funcionamiento del sistema, sino también evaluar su desempeño energético y eléctrico, garantizando su eficiencia, seguridad y fiabilidad operativa. Este proceso contribuirá al mejor aprovechamiento de los recursos eléctricos disponibles y al fortalecimiento de las prácticas técnicas dentro de la institución, alineándose con los objetivos de sostenibilidad y mejora continua que promueve la universidad.

2.1.2 Formulación del Problema

Inadecuadas condiciones térmicas y de confort ambiental, así como la deficiencia de ventilación en los espacios administrativos del Departamento de Direcciones de Carreras de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.2. Objeto y Ámbito de Acción

2.2.1 Objeto de Investigación

Sistema de Climatización.

2.2.2 Campo de Acción

330602 Instalaciones Eléctricas

330305 termotecnia (Refrigeración, Calefacción y Aire Acondicionado)

2.3 Beneficiarios

En la “Habilitación Técnica y Evaluación del Desempeño del Sistema de Climatización en el Departamento de Direcciones de Carreras de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi”, los beneficiarios podrían ser:

2.3.1 Directos

- Directores de carrera de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas dispondrán de condiciones térmicas y ambientales adecuadas que mejorarán el mecanismo de aprendizaje, enseñanza, así como la ejecución de los proyectos técnicos.

2.3.2 indirectos

- Investigadores que intervienen en los mecanismos de aprendizaje, enseñanza y la ejecución de proyectos técnicos.

2.4 Justificación

El presente trabajo de investigación de habilitación técnica y evaluación de la calidad y desempeño del sistema de climatización en el Departamento de Direcciones de Carreras de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi responde a la necesidad de recuperar y optimizar un sistema que permanecía inhabilitado debido a deficiencias en la alimentación eléctrica y a la falta de mantenimiento preventivo y correctivo. Estas condiciones afectaban el confort térmico del entorno y dificultaban el

correcto desenvolvimiento de actividades curriculares y extracurriculares.

La ejecución del proyecto permitirá restablecer el funcionamiento eficiente y seguro del sistema de climatización, garantizando condiciones ambientales estables que favorezcan el desempeño laboral y académico. La aplicación de procedimientos técnicos en el diagnóstico, corrección y evaluación del sistema permitirá mejorar la distribución de carga eléctrica, la eficiencia energética y la fiabilidad operativa del equipo, asegurando su sostenibilidad a largo plazo.

El proyecto representa una aplicación práctica desde la perspectiva técnica y formativa, de las habilidades obtenidas en la carrera de Ingeniería Electromecánica, incorporando Áreas de mantenimiento, control, sistemas térmicos e instalaciones eléctricas. Este proceso de intervención técnica promueve el fortalecimiento de competencias profesionales en diagnóstico, reparación y optimización de sistemas, generando un aporte directo al desarrollo académico y a la calidad educativa dentro de la facultad.

A nivel institucional, la rehabilitación del sistema de climatización contribuye al mejoramiento de la infraestructura universitaria y al cumplimiento de los estándares de eficiencia energética, confort ambiental y sostenibilidad promovidos por la Universidad Técnica de Cotopaxi. Finalmente, los resultados de la presente investigación servirán como referencia técnica para futuras implementaciones y programas de mantenimiento en otras dependencias, impulsando una cultura de prevención, responsabilidad y eficiencia en la gestión de recursos eléctricos y térmicos.

2.5 Objetivos

2.5.1 Objetivo General

Habilitar el Sistema de Climatización del Departamento de Direcciones de Carreras de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, mediante el diagnóstico integral, la corrección de deficiencias eléctricas, y la evaluación de su desempeño térmico y operativo.

2.5.2 Objetivos Específicos

- Diagnosticar el estado del sistema de Climatización y la infraestructura eléctrica asociada, identificando las causas técnicas del deficiente desempeño térmico y operativo.
- Ejecutar la habilitación técnica del sistema de Climatización, corrigiendo

deficiencias en la alimentación eléctrica, el ciclo de refrigeración y la distribución de aire, aplicando criterios de seguridad y eficiencia de energía.

- Evaluar el desempeño del sistema de Climatización una vez habilitado, mediante el análisis de criterios térmicos, eléctricos y de confort ambiental, y establecer recomendaciones de mantenimiento que garanticen su operación continua.

2.5.3 Sistemas de Tareas

Tabla 1. Sistemas de Tareas

| Objetivo específico | Actividades | Resultados esperados | Técnicas, medios e instrumentos |
|---|---|---|---|
| Diagnosticar el estado del sistema de Climatización y de la infraestructura eléctrica asociada, identificando las causas del deficiente desempeño térmico y de confort ambiental. | 1. Evaluación de las condiciones térmicas, de confort ambiental y ventilación del área de estudio. 2. Inspección del estado del sistema de climatización y de la instalación eléctrica asociada. | Identificación de las deficiencias térmicas, de ventilación y eléctricas que afectan el confort ambiental y el funcionamiento del sistema de Climatización. | Observación técnica; Inspección visual; Análisis descriptivo; Termómetro ambiental; Planos eléctricos; Ficha técnica del equipo. |
| Ejecutar la habilitación técnica del sistema de Climatización, corrigiendo deficiencias en la alimentación eléctrica y en el ciclo de refrigeración, bajo criterios de seguridad y eficiencia energética. | 1. Ejecución de los cálculos eléctricos y verificar la alimentación del sistema de Climatización. 2. Evaluación el funcionamiento del ciclo frigorífico y aplicar acciones correctivas básicas. | Sistema de Climatización habilitado técnicamente, operando bajo condiciones seguras y con parámetros eléctricos adecuados. | Cálculo técnico; Medición eléctrica; Análisis comparativo; Multímetro; Pinza amperimétrica; Normativa eléctrica vigente; Manual técnico del fabricante. |

| | | | |
|--|--|--|--|
| <p>Evaluar el desempeño del sistema de Climatización una vez habilitado, estableciendo recomendaciones que garanticen su operación continua.</p> | <p>1. Medición de los parámetros eléctricos y térmicos durante la operación del sistema de Climatización. 2. Analizar el confort ambiental alcanzado y definir recomendaciones de mantenimiento.</p> | <p>Verificación del desempeño térmico y eléctrico del sistema de Climatización y definición de estrategias de mantenimiento preventivo y correctivo.</p> | <p>Medición directa; Análisis de resultados; Evaluación técnica; Termómetro ambiental; Pinza amperimétrica; Registro de datos; Normativa de confort térmico.</p> |
|--|--|--|--|

3. FUNDAMENTACION TEÓRICA

3.1 Antecedentes

3.1.1 Antecedentes a Nivel Mundial

A nivel mundial, los sistemas de climatización por enfriamiento mecánico, particularmente el equipo de aire acondicionado cuya expansión es directa, han sido ampliamente estudiados dado su influencia en la eficiencia térmica y el uso de energía de edificaciones administrativas, educativas y comerciales.

Pérez-Lombard, Ortiz y Pout realizaron un análisis global del consumo energético en edificaciones no residenciales, identificando debido a que los sistemas de aire acondicionado constituyen uno de los principales consumidores de energía eléctrica. Mediante el análisis de datos energéticos, los autores concluyeron que la correcta selección, operación y mantenimiento de estos sistemas permite mejorar la eficiencia térmica y reducir significativamente el uso de energía en los bloques de la Institución [1].

La *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) ha realizado investigaciones orientadas a establecer criterios de confort térmico aplicables a los sistemas de aire acondicionado. A través de estudios experimentales en oficinas administrativas, se definieron rangos óptimos de temperatura, velocidad del aire y humedad relativa, los cuales sirven como referencia para la evaluación del desempeño térmico de sistemas de climatización por enfriamiento, aun cuando estos no incorporen calefacción [2].

Zhai y Helman evaluaron el impacto del mantenimiento preventivo en aquellos sistemas de aire acondicionado de expansión directa instalados en edificaciones administrativas. El estudio demostró que la limpieza de serpentines, el reemplazo periódico de filtros y la correcta carga de refrigerante incrementan la eficiencia del sistema y optimizan el confort término de las instalaciones [3].

Por su parte, Wang, Ma y Yang analizaron el rendimiento de los sistemas de aire acondicionado en edificios tipo inteligente por medio de sensores y monitoreo continuo de variables térmicas y eléctricas. Los resultados evidenciaron que la evaluación periódica del sistema permite detectar fallas tempranas, optimizar su operación y mantener condiciones estables de climatización en ambientes interiores [4].

3.1.2 Antecedentes a Nivel de América Latina

En América Latina, los estudios sobre sistemas de aire acondicionado han cobrado relevancia debido a las condiciones climáticas variables y al incremento del consumo energético en edificaciones administrativas y educativas.

González y Rodríguez realizaron una investigación en edificios administrativos de México, evaluando el funcionamiento de los sistemas de aire acondicionado mediante mediciones de temperatura, humedad y consumo eléctrico. Los resultados evidenciaron que la falta de mantenimiento preventivo afecta negativamente el confort térmico y genera un aumento considerable en el consumo energético, recomendando evaluaciones técnicas periódicas del sistema [5].

En Colombia, Martínez, Herrera y Cárdenas analizaron el confort térmico en oficinas universitarias climatizadas mediante sistemas de aire acondicionado de expansión directa. A través de mediciones ambientales y encuestas de percepción térmica, concluyeron que estos sistemas son adecuados para espacios administrativos, siempre que operen dentro de rangos establecidos por normas internacionales de confort térmico [6].

Salazar y Quispe evaluaron el rendimiento de los aires acondicionados instalados en edificios públicos del Perú. El estudio determinó que la instalación de planes, junto con el mantenimiento preventivo mejora el desempeño térmico de los equipos y reduce los costos operativos asociados al consumo eléctrico [7].

En Brasil, Silva, Costa y Almeida estudiaron la relación entre el confort térmico proporcionado por sistemas de aire acondicionado y la productividad laboral en oficinas administrativas. Los resultados demostraron que ambientes con temperatura controlada y adecuada distribución del aire influyen positivamente en el bienestar y rendimiento de los usuarios [8].

3.1.3 Antecedentes a Nivel de Ecuador

En el contexto nacional, las investigaciones relacionadas con los sistemas de aire acondicionado se han enfocado en el análisis del confort térmico, el consumo energético y la gestión del mantenimiento en edificaciones públicas y privadas.

Villacís y Herrera analizaron el consumo energético de sistemas de aire acondicionado instalados en edificios administrativos de la ciudad de Quito, concluyendo que el desempeño del sistema mejora significativamente cuando se corrigen fallas operativas y se aplican programas de mantenimiento preventivo estructurados [9].

López desarrolló un estudio sobre el confort térmico en oficinas universitarias del Ecuador climatizadas mediante sistemas de aire acondicionado. A través de mediciones ambientales y encuestas al personal administrativo y docente, se evidenció que condiciones térmicas inadecuadas afectan el rendimiento laboral, recomendando evaluaciones técnicas periódicas del sistema [10].

Morales y Paredes evaluaron el desempeño térmico y eléctrico de sistemas de aire acondicionado en edificaciones administrativas de Guayaquil. Los resultados indicaron que la falta de mantenimiento preventivo reduce la optimización del sistema, aumenta el consumo de energía y menoscaba la vida útil de estos aparatos [11].

Finalmente, Cueva y Andrade analizaron la gestión del mantenimiento de sistemas de aire acondicionado en instituciones públicas del Ecuador, concluyendo que la ausencia de planes de mantenimiento planificados genera fallas recurrentes y deficiencias en el confort ambiental, recomendando la implementación de evaluaciones técnicas periódicas y programas de mantenimiento integral [12].

3.2 Generalidades de los Sistemas de Climatización

Los sistemas de climatización son sistemas integrales que se han desarrollado para regular las condiciones ambientales que radican en el interior de las instalaciones, que regulan aspectos como la temperatura, el aire interior y la ventilación. Su uso es esencial en construcciones educativas y administrativas, donde el La salud, el bienestar y el confort térmico se ven directamente afectados por la ventilación apropiada y la actuación de los ocupantes.

En el ámbito de las construcciones universitarias, los sistemas de climatización tienen que responder a situaciones de ocupación inestable, cargas térmicas internas producidas por equipos eléctricos y las condiciones meteorológicas externas que son características de la zona. Por ello, la elección, instalación y evaluación adecuada del sistema de climatización es esencial para asegurar un entorno interno apropiado y eficaz.

3.2.1 Clasificación de los Sistemas de Climatización

3.2.1.1 Sistema de Aire Acondicionado Tipo Split. Los sistemas tipo split están conformados por dos unidades, una interior y otra exterior conectadas mediante tuberías de refrigerante. Esta configuración permite reducir el nivel de ruido en el espacio acondicionado y mejorar la eficiencia energética, siendo ampliamente utilizados en edificaciones residenciales y comerciales de pequeña y mediana escala [14].

Características principales:

- Dos unidades separadas (interior y exterior)
- Bajo nivel de ruido en el área climatizada
- Instalación flexible y eficiente energéticamente

Uso más común:

Viviendas, oficinas pequeñas, consultorios, locales comerciales.

Modelos comunes: Split pared, Split inverter, Split on/off.

3.2.1.2 Sistema Tipo Split Cassette. El sistema split cassette es un sistema de climatización por expansión directa diseñado para instalación empotrada en falsos techos, permitiendo una distribución uniforme del aire en varias direcciones. Se utiliza principalmente en espacios amplios donde se requiere una climatización homogénea sin afectar la estética del lugar [2].

Características principales:

- Instalación en techo falso
- Difusión de aire en 4 vías
- Mayor capacidad que el split pared

Uso más común:

Locales comerciales, oficinas grandes, restaurantes.

Modelos comunes: Cassette 4 vías, cassette inverter.

3.2.1.3 Sistema de Aire Acondicionado Tipo Split Piso-Techo. Este tipo de sistema split puede instalarse tanto en el piso como suspendido del techo, adaptándose a espacios donde no es posible el uso de unidades murales o cassette. Su diseño permite un alto caudal de aire, siendo adecuado para áreas de mayor tamaño [2].

Características principales:

- Instalación flexible (piso o techo)
- Alta capacidad de enfriamiento
- Difusión de aire longitudinal

Uso más común:

Salones, auditorios pequeños, áreas comerciales.

Modelos comunes: Piso-techo on/off, piso-techo inverter.

3.2.1.4 Sistema de Aire Acondicionado Tipo Ventana. Los sistemas tipo ventana concentran el evaporador, condensador, compresor y ventiladores en una sola carcasa, instalándose generalmente en aberturas de muros o ventanas. Su uso está limitado a espacios pequeños debido a su capacidad reducida y nivel de ruido [15].

Características principales:

- Equipo compacto
- Instalación sencilla
- Mayor nivel de ruido

Uso más común:

Dormitorios, oficinas pequeñas, bodegas.

Modelos comunes: Ventana convencional, ventana inverter (menos común).

3.2.1.5 Sistema de Aire Acondicionado Tipo Portátil. El aire acondicionado portátil consiste en un sistema autónomo cuyo diseño permita su fácil traslado entre diferentes espacios. Funciona mediante un sistema de expansión directa y requiere una salida de aire caliente hacia el exterior mediante un ducto flexible [2].

Características principales:

- Fácil movilidad
- No requiere instalación fija
- Menor eficiencia energética

Uso más común:

Habitaciones temporales, alquileres, espacios provisionales.

Modelos comunes: Portátil mono ducto, portátil biducto.

3.2.1.6 Sistema de Climatización Tipo Paquete (Rooftop). El sistema tipo paquete es un equipo de climatización compacto que integra compresor, condensador y evaporador en una sola unidad, normalmente instalada en la parte superior del edificio. Distribuye el aire climatizado mediante ductos hacia distintos ambientes [5].

Características principales:

- Unidad compacta
- Distribución por ductos
- Alta capacidad de climatización

Uso más común:

Centros comerciales, supermercados, locales industriales.

Modelos comunes: Rooftop enfriamiento solo, rooftop frío-calor.

3.2.1.7 Sistema de Climatización Tipo VRF / VRV. Los sistemas de volumen de refrigerante variable permiten regular de forma independiente la cantidad de refrigerante suministrada a cada unidad interior según la demanda térmica del espacio. Estos sistemas presentan alta eficiencia energética y flexibilidad de diseño, siendo adecuados para edificios administrativos y comerciales de gran tamaño [16].

Características principales:

- Alta eficiencia energética
- Control independiente por zonas
- Instalación compleja y costo elevado

Uso más común:

Edificios corporativos, hoteles, hospitales.

Modelos comunes: VRF inverter, VRV (Daikin).

3.2.1.8 Sistema de Climatización Central por Agua Helada (Chiller). Los sistemas con enfriadoras o chillers producen agua fría que es distribuida a través de tuberías hacia los diferentes espacios del edificio. Son utilizados principalmente en edificaciones grandes como hospitales, universidades y edificios administrativos debido a su alta capacidad y control centralizado [17].

Características principales:

- Alta capacidad térmica
- Sistema centralizado
- Requiere sala de máquinas

Uso más común:

Hospitales, industrias, edificios de gran tamaño.

Modelos comunes: Chiller aire-agua, chiller agua-agua

3.2.2 Ventajas Y Desventajas

3.2.2.1 Ventajas

- Alta eficiencia energética debido a que el intercambio de calor se lo realiza entre el aire junto con el refrigerante en el evaporador, reduciendo pérdidas térmicas.
- Bajo nivel de ruido en el área climatizada, debido a que el compresor se encuentra separado del espacio interior o aislado acústicamente.
- Facilidad y rapidez de instalación, al no requerir ductería ni sistemas hidráulicos adicionales.
- Respuesta térmica rápida, permitiendo alcanzar la temperatura deseada en menor tiempo.
- Menor costo inicial, en comparación con sistemas centralizados o de agua

helada.

3.2.2.2 Desventajas

- Cobertura limitada, ya que están diseñados para climatizar espacios individuales o áreas relativamente pequeñas.
- Ausencia de renovación de aire, pues generalmente recirculan el aire interior sin aporte de aire fresco.
- Impacto estético, debido a la presencia visible de la unidad interior.
- Escasa flexibilidad para ampliaciones, ya que la climatización de nuevas áreas requiere la instalación de unidades adicionales.
- Menor control de humedad, especialmente en aplicaciones donde la carga latente es elevada.

Los sistemas mencionados anteriormente cumplen funciones específicas lo que les permite adaptarse según sea las necesidades del establecimiento o local, en estos casos cada uno tiene sus diferencias no solo en su construcción si no también en su funcionamiento lo que deja en claro que para que tenga un correcto trabajo cada sistema con anterioridad debe ser estudiado de manera correcta teniendo en cuenta sus ventajas y desventajas.

3.2.3 Tipos de Refrigerantes Utilizados en Sistemas de Climatización

Cada sistema como se ha mencionado antes tiene funciones especiales y en algunas de ellas mantienen trabajos extendidos lo cual necesita ser apoyado por un gas refrigerante; existen varios tipos los cuales son:

3.2.3.1 R-22 (Clorodifluorometano). El refrigerante R-22 es un hidroclorofluorocarbono (HCFC) que fue ampliamente utilizado en sistemas de aire acondicionado y refrigeración por su buen desempeño termodinámico y estabilidad operativa. No obstante, su uso ha sido restringido debido a su impacto negativo sobre la capa de ozono, siendo reemplazado progresivamente por refrigerantes más amigables con el medio ambiente [16].

Sistemas donde se utiliza:

- Sistemas de aire acondicionado antiguos
- Equipos tipo split y compactos fabricados antes de su eliminación progresiva

3.2.3.2 R-410A. El R-410A consiste en un conjunto de hidrofluorocarbonos (HFC) desarrollada como sustituto del R-22. Se caracteriza por una mayor eficiencia energética y por no afectar la capa de ozono, aunque opera a presiones más elevadas, lo que exige componentes diseñados específicamente para este refrigerante [16].

Sistemas donde se utiliza:

- Sistemas split residenciales y comerciales
- Sistemas de climatización central
- Equipos tipo VRF y rooftop

3.2.3.3 R-32. El refrigerante R-32 es un hidrofluorocarbono de nueva generación que presenta un menor potencial de calentamiento global en comparación con el R-410A. Su elevada eficiencia energética y menor carga de refrigerante requerida lo convierten en una alternativa sostenible para sistemas modernos de climatización [15].

Sistemas donde se utiliza:

- Sistemas split residenciales modernos
- Equipos inverter de alta eficiencia

3.2.3.4 R-134a (Tetrafluoroetano). El R-134a es un refrigerante HFC utilizado en sistemas de climatización y refrigeración de media capacidad. No daña la capa de ozono y ha sido empleado ampliamente en aplicaciones comerciales e industriales, aunque actualmente se encuentra en proceso de sustitución por refrigerantes con menor impacto ambiental [18].

Sistemas donde se utiliza:

- Enfriadoras de agua (chillers)
- Sistemas de climatización automotriz
- Equipos de refrigeración comercial

3.2.3.5 R-404A. El R-404A es un conjunto de hidrofluorocarbonos empleada principalmente en sistemas de refrigeración comercial e industrial de baja temperatura. Presenta buenas propiedades térmicas, aunque su alto potencial de calentamiento global ha

impulsado su reemplazo progresivo por alternativas más sostenibles [18].

Sistemas donde se utiliza:

- Cámaras frigoríficas
- Sistemas de refrigeración comercial
- Aplicaciones industriales de baja temperatura

3.2.3.6 R-407C. El R-407C es una mezcla de HFC desarrollada como sustituto del R-22, ya que presenta presiones de operación similares. Su uso permite la reconversión de sistemas existentes con modificaciones mínimas, sin afectar la capa de ozono [14].

Sistemas donde se utiliza:

- Sistemas de aire acondicionado central
- Equipos split reconvertidos desde R-22
- Sistemas comerciales medianos

3.2.3.7 R-290 (Propano). El R-290 es un refrigerante natural perteneciente al grupo de los hidrocarburos. Destaca por su alta eficiencia energética y bajo impacto ambiental; sin embargo, su inflamabilidad limita su uso a equipos de pequeña y mediana capacidad con estrictas medidas de seguridad [14].

Sistemas donde se utiliza:

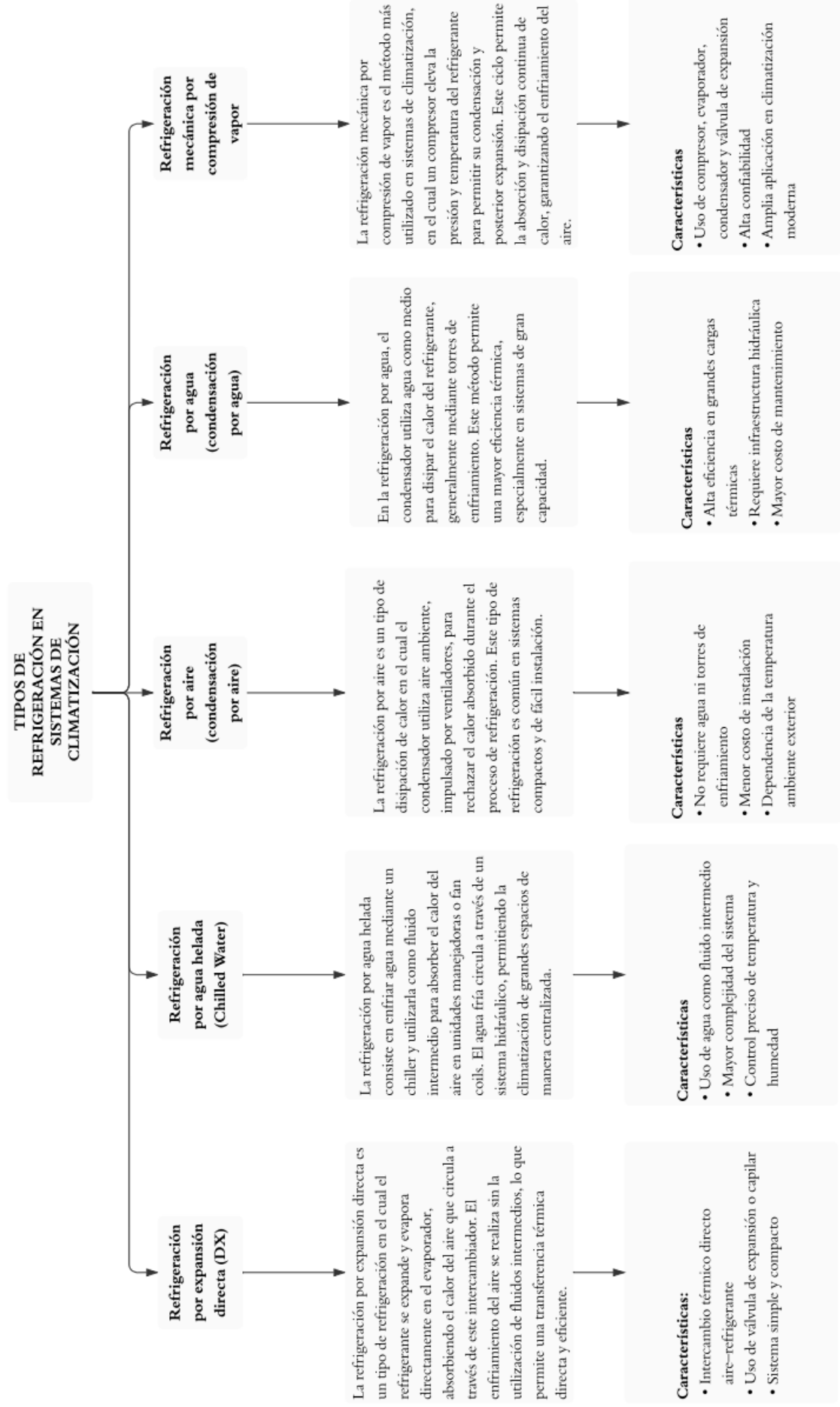
- Sistemas split de baja capacidad
- Refrigeración doméstica y comercial

3.2.3.8 R-717 (Amoníaco). El R-717 es un refrigerante natural ampliamente utilizado en aplicaciones industriales debido a su excelente eficiencia térmica y nulo impacto en la capa de ozono. Su toxicidad restringe su uso a instalaciones industriales con personal capacitado y sistemas de seguridad adecuados [18].

Sistemas donde se utiliza:

- Sistemas de climatización industrial
- Plantas de refrigeración de gran capacidad
- Instalaciones agroindustriales e industriales

Figura 1. Tipos de refrigeración en sistemas de climatización



3.2.4 Tipos de Refrigeración en Sistemas de Climatización

3.2.5 Confort Térmico

El confort término constituye una condición mental por la que existe una satisfacción del ambiente inmediato, en términos científicos, esto ocurre cuando el cuerpo humano puede mantener su temperatura interna (alrededor de los 37°C) con el mínimo esfuerzo de sus mecanismos de termorregulación, como sudar o temblar. Es esencialmente un estado de equilibrio térmico. [13]

Para que este estado se alcance, deben interactuar 3 variables fundamentales:

- **El factor humano:** La resistencia térmica de la vestimenta, el calor que genera internamente y la actividad que desarrolla.
- **El aire:** La temperatura, velocidad el nivel de vapor de agua en el ambiente.
- **El espacio:** El calor emitido por superficies como ventanas, paredes o maquinaria.

De estas 3 variables, solo el factor humano dependerá de la actividad que realice o tipo de vestimenta, las otras serian posible controlarlas para mejorar el confort térmico.

“La forma de construir los edificios, las modalidades de trabajo junto con los niveles de ocupación han devenido en nuevos criterios prioritarios para los diseñadores. Por consiguiente, actualmente los edificios tienen mayor carga térmica que hace un cincuentenario. Esto se debe a varios factores:

- **La temperatura externa:** Los elementos que separan el interior de un edificio junto con el exterior no son impermeables, sin perjuicio de que puedan aislarse de manera conveniente. Debido a este diseño, el calor se transmite desde el ambiente cálido hacia el frío en función de la diferencia de temperaturas entre ambos medios.
- **La radiación del sol:** El actual desarrollo de edificios y el aumento término en época de verano ha aumentado el uso de cristales, lo cual ha demandado una reducción para el uso de aires acondicionados. Pese a ello, el uso de cristales no es deseable en climas cálidos debido al calentamiento de las superficies y la transferencia del calor de un lugar a otro.
- **La ventilación:** La circulación de aire hacia el interior del edificio modifica su temperatura. Esto representa un problema cuando el aire externo supera los 30°C.
- **La ocupación:** El número de personas en un edificio es susceptible de aumentar la carga térmica, pudiendo ascender entre los 80 y 150 W.
- **La ofimática:** El uso de dispositivos inteligentes, computadores, fotocopiadores y

demás instrumentos que componen el mobiliario de una oficina deviene en un aumento de la carga térmica.

- **La iluminación:** La iluminación constituye un factor clave para el calentamiento debido a que se estima que genera una carga entre los 15 a 25 W/m². Por tal motivo, diversos almacenes pueden tener cierto nivel de calentamiento debido al sistema de iluminación y la carga generada por los usuarios. Esto es un fenómeno muy frecuente en el continente europeo” [13]

Un sistema de climatización influye directamente en el bienestar y la productividad de las personas, ya que un ambiente demasiado caliente, frío o mal ventilado puede generar incomodidad, fatiga y disminución del rendimiento. Por esta razón, estos sistemas deben ser correctamente seleccionados, instalados y mantenidos, considerando las características del espacio, la cantidad de personas, el clima de la zona y las condiciones de operación.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Descripción del Sistema de Aire Acondicionado

El sistema de climatización analizado corresponde a un sistema de aire acondicionado por expansión directa, de tipo sistema dividido con impulsión de aire por ductería, fabricado por la empresa GREE Electric Appliances Inc. of Zhuhai.

De acuerdo con la placa de características del fabricante, la unidad exterior del sistema corresponde al modelo HW36Na/A-D, mientras que el sistema está asociado a una unidad evaporadora modelo HNF36/A-D – HNTF36/A-D, lo que confirma que se trata de un sistema compuesto por dos conjuntos funcionales diferenciados, pero interconectados mediante tuberías de refrigerante y cableado eléctrico.

El sistema opera con refrigerante R-410A, con una carga nominal de 1,90 kg, lo cual confirma que se trata de un sistema de expansión directa, ya que el refrigerante circula directamente entre el evaporador y el condensador sin el uso de fluidos secundarios. Este tipo de refrigeración permite una transferencia térmica eficiente y una respuesta rápida a las variaciones de carga térmica.

El equipo está diseñado para operar con una tensión nominal de 220/230 V y una frecuencia de 60 Hz, con clase de aislamiento tipo I, lo que establece los requisitos eléctricos y de protección necesarios para su correcta instalación y operación segura. El nivel de protección contra ingreso de humedad y partículas sólidas es IP24, adecuado para instalaciones exteriores.

La capacidad nominal de enfriamiento del sistema es de 9 900 W para la unidad evaporadora HNF36/A-D y 9 350 W para la unidad HNTF36/A-D, valores que determinan la capacidad del sistema para remover calor del espacio climatizado. El consumo eléctrico nominal en modo enfriamiento es de 4 800 W / 4 700 W, con una potencia eléctrica absorbida de 4 300 W / 4 160 W, lo que permite evaluar el desempeño energético del equipo.

El sistema trabaja con presiones de operación de 4,2 MPa en el lado de descarga y 2,5 MPa en el lado de succión, parámetros fundamentales para la evaluación del ciclo frigorífico y el diagnóstico del estado operativo del compresor y del circuito de refrigeración.

Desde la perspectiva funcional y constructiva, el evaporador se encuentra integrado con el ventilador de impulsión de aire, ambos instalados en el exterior. El aire es aspirado por el ventilador, enfriado al atravesar el serpentín evaporador y posteriormente conducido hacia el espacio a climatizar mediante ductería, permitiendo una distribución controlada del aire acondicionado.

Por otro lado, el condensador y el compresor se encuentran ubicados en una estructura exterior independiente, lo cual facilita la disipación del calor hacia el ambiente y reduce la transmisión de ruido y vibraciones hacia el interior del recinto climatizado. Esta separación física responde a criterios de eficiencia térmica, facilidad de mantenimiento y seguridad operativa.

En conjunto, el equipo se clasifica correctamente como un sistema de climatización por expansión directa, con un sistema dividido que utiliza conductos para impulsar aire, utilizado comúnmente en edificaciones administrativas, comerciales y educativas que requieren climatizar áreas específicas mediante distribución de aire.



Figura 2. Condensador de Aire HW36Na/A-D



Figura 3. Unidad evaporadora y de Ventilación

4.2 Descripción de la Instalación del Sistema de Aire Acondicionado

Los sistemas de aire acondicionado se instalan en la parte exterior de la edificación, específicamente sobre la losa de cubierta, dispuesto de manera que se garantice una adecuada ventilación natural y accesibilidad para inspección y mantenimiento. Los equipos están apoyados sobre estructuras metálicas elevadas, lo que evita el contacto directo con la superficie y reduce la transmisión de vibraciones hacia la edificación.

La instalación contempla la separación física de los conjuntos funcionales, ubicando por un lado la unidad condensadora y, por otro, el conjunto que integra el evaporador con el ventilador de impulsión de aire. Esta disposición permite una correcta disipación del calor hacia el ambiente exterior y contribuye a un funcionamiento eficiente del sistema.

La conexión entre los conjuntos se realiza mediante tuberías de refrigerante, correctamente canalizadas y fijadas, las cuales permiten la circulación del refrigerante entre el evaporador y el condensador. Asimismo, se dispone de conducciones eléctricas que suministran energía y señales de control al sistema, instaladas de forma visible y accesible para su verificación.

El aire acondicionado producido por el sistema es conducido hacia el área a climatizar a través de un sistema de ductería, el cual parte desde el conjunto evaporador–ventilador y se dirige al espacio interior. La ductería permite transportar el aire enfriado sin pérdidas significativas y distribuirlo de manera controlada dentro del recinto.



Figura 4. Sistema de Aire Acondicionado por Expansión Directa

4.3 Variables a medir

Durante el análisis del sistema de climatización se consideraron las siguientes variables, fundamentales para evaluar su desempeño térmico y eléctrico:

Tabla 2. Variables a medir

| Tipo de variable | Variable | Descripción | Justificación técnica |
|-------------------------|---------------------------------|---|--|
| Ambiental | Temperatura del aire (°C) | Valor térmico del aire interior del ambiente climatizado. | Permite evaluar el confort térmico y verificar el cumplimiento de condiciones adecuadas para ocupación humana. |
| Ambiental | Humedad relativa (%) | Relación existente entre el vapor de agua que se mide en el aire y la máxima que se podría medir. | Incide directamente en la sensación térmica y la calidad del aire interior. |
| Ambiental | Temperatura radiante media (°C) | Promedio de temperaturas de las superficies del recinto. | Permite un análisis más preciso del intercambio térmico entre el cuerpo humano y el entorno. |
| Operativa | Temperatura de impulsión (°C) | Temperatura del aire suministrado por la unidad interior. | Permite evaluar el correcto funcionamiento del sistema y del evaporador. |

| | | | |
|------------|---------------------------------|--|---|
| Operativa | Tiempo de operación (h) | Horas totales de funcionamiento del equipo. | Relaciona el uso real del sistema con el consumo energético. |
| Operativa | Estado del mantenimiento | Condición general del equipo y frecuencia de mantenimiento. | Influye directamente en la eficiencia y vida útil del sistema. |
| Energética | Consumo eléctrico (kWh) | Energía eléctrica consumida por el sistema de climatización. | Permite evaluar el impacto energético del sistema en el edificio. |
| Energética | Potencia demandada (kW) | Potencia eléctrica requerida durante la operación del sistema. | Ayuda a identificar picos de demanda y comportamiento energético. |
| Energética | Índice de eficiencia energética | Relación entre capacidad de enfriamiento y consumo eléctrico. | Estos indicadores permiten evaluar la eficiencia del sistema de climatización relacionando la capacidad de enfriamiento con el consumo eléctrico. |

4.4 Instrumentos, Materiales y Equipos Utilizados

4.4.1 Instrumentos de Medición

Con el objetivo de medir las variables mencionadas *ut supra* se emplearon los siguientes equipos:

4.4.1.2 Estación Meteorológica (AcuRite Iris). La estación meteorológica constituye un cúmulo de instrumentos que permiten medir y registrar las variables atmosféricas como temperatura, humedad, precipitación y características del viento, con el fin de analizar las condiciones ambientales y climáticas de un lugar determinado [20].



Figura 5. Estación Meteorológica

4.4.1.3 Multímetro. El multímetro es un instrumento de medición eléctrica que integra en una sola unidad las medidas de voltios, amperios, ohmios, tensión, corriente y resistencia en circuitos electrónicos y eléctricos [21].



Figura 6. Multímetro

4.4.1.4 Pinza Amperimétrica. La pinza amperimétrica es una herramienta que mide la intensidad en la corriente que existe en un conductor sin que haya necesidad de abrir el circuito. Esto se lo realiza mediante la detección del campo magnético generado por la corriente eléctrica [22].



Figura 7. Pinza Amperimétrica

4.4.1.5 Termómetro Infrarrojo. El termómetro infrarrojo es un instrumento que mide los grados de temperatura de un objeto por medio del nivel de radiación infrarroja, permitiendo realizar mediciones sin contacto directo con la superficie evaluada [23].



Figura 8. Termómetro Infrarrojo

4.4.1.6 Manómetro de Refrigeración. El manómetro es un instrumento que permite medir la diferencia existente entre la presión de un fluido con la presión atmosférica. En refrigeración, se utilizan comúnmente los manómetros de tipo Bourdon, los cuales emplean un tubo metálico curvo que tiende a enderezarse bajo presión, moviendo una aguja sobre una escala graduada que indica la presión del refrigerante en el sistema [19].



Figura 9. Manómetro de Refrigeración

4.4.2 Equipos Utilizados

4.4.2.1 Unidad Condensadora de Expansión Directa

- **Marca / Modelo:** GREE HW36NA/A-D
- **Tipo de sistema:** Expansión directa con distribución por ductos
- **Refrigerante:** R410A (carga 1.90 kg)
- **Alimentación eléctrica:** 220–230 V / 60 Hz
- **Capacidad de enfriamiento:** $\approx 9.3 - 9.9$ kW
- **Nivel de ruido:** 61 dB(A)
- **Peso:** 59 kg
- **Protección:** IP24
- **Año de fabricación:** 2015

Equipo exterior del sistema de climatización de expansión directa que forma parte del circuito frigorífico y permite la continuidad del proceso de enfriamiento del aire interior.

Su función es comprimir el refrigerante y transferir energía térmica al aire exterior mediante un intercambiador y un ventilador, de modo que el refrigerante pueda circular nuevamente hacia la unidad evaporadora, donde se realiza el enfriamiento del aire que será impulsado al espacio acondicionado [20].



Figura 10. Unidad Condensadora GREE HW36NA/A-D

4.4.2.2 Unidad Evaporadora. Unidad evaporadora tipo serpentín en “V” para sistema de climatización de expansión directa diseñado para alto caudal de aire, compuesta por un intercambiador de calor en los tubos de cobre y las aletas de aluminio. Aquí el refrigerante se evapora absorbiendo energía térmica del aire que circula a través del serpentín. Este proceso reduce la temperatura del aire que posteriormente es impulsado mediante ductos hacia los espacios acondicionados [20].



Figura 11. Unidad Evaporadora

4.4.2.3 Motor eléctrico asíncrono bifásico (Ventilador centrífugo)

- Tipo: **Motor asíncrono de funcionamiento por condensador**
- Aplicación: **Para ventilador de aire acondicionado**
- Alimentación: **208–230 V**

- Frecuencia: **60 Hz**
- Potencia: **170 W**
- Corriente: **1.25 A**
- Velocidad: **6 polos**
- Protección: **Protegido térmicamente**
- Grado de protección: **IP20**

Motor eléctrico de inducción bifásico con capacitor permanente utilizado para accionar ventiladores en sistemas de climatización. La función de ello consiste en transformar la energía eléctrica en mecánica de rotación para movilizar el aire a través del serpentín evaporador y conducirlo por el sistema de ductos hacia el espacio acondicionado [20].



Figura 12. Ventilador de Aire Acondicionado

4.4.2.4 Termostato. Termostato digital de ambiente utilizado en sistemas de climatización para medir la temperatura del aire interior y regular automáticamente el funcionamiento del sistema, manteniendo las condiciones térmicas establecidas en el espacio acondicionado [21].

Este dispositivo:

- Mide la **temperatura del aire interior**
- Compara el valor medido con la **temperatura programada**
- Envía la orden de funcionamiento al sistema de climatización
- Activa o detiene el proceso de enfriamiento
- Controla el modo de operación (frío, ventilación o automático)



Figura 13. Termostato

4.4.3 Materiales

4.4.3.1 Materiales Eléctricos

4.4.3.1.1 Cable Incable Antihurto XLPE 3x6 (Aluminio) Antihurto. Es un conductor eléctrico para acometidas de baja tensión, conformado por tres conductores de aluminio con aislamiento de polietileno reticulado (XLPE), material que proporciona elevada resistencia térmica, dieléctrica y a la humedad. Su construcción tipo antihurto incorpora características mecánicas que dificultan la manipulación o extracción no autorizada del cableado, garantizando seguridad y confiabilidad en la alimentación eléctrica de instalaciones residenciales o comerciales. [21]



Figura 14. Cable de aluminio 3x6

4.4.3.1.2 Cable de Cobre 10# AWG. Es un conductor eléctrico formado por múltiples filamentos de cobre (conductor flexible) con calibre 10 según el sistema American Wire Gauge (AWG), utilizado en instalaciones de tensión baja en los equipos eléctricos. El cobre proporciona alta conductividad eléctrica y resistencia mecánica, mientras que su construcción multifilar facilita la manipulación e instalación en canalizaciones, permitiendo una conducción segura de corriente dentro de los límites térmicos del aislamiento especificado [25].



Figura 15. Cable de cobre 10# AWG

4.4.3.1.3 Conector Perno Partido Bimetálico. Es un conector eléctrico mecánico utilizado para unir conductores de distintos materiales, principalmente aluminio y cobre, garantizando continuidad eléctrica y resistencia mecánica en la conexión. Está conformado por un cuerpo bimetálico que evita la corrosión galvánica entre metales diferentes y un sistema de perno partido que permite ajustar y asegurar firmemente los conductores, siendo ampliamente empleado en empalmes y derivaciones de acometidas de baja tensión. [22]

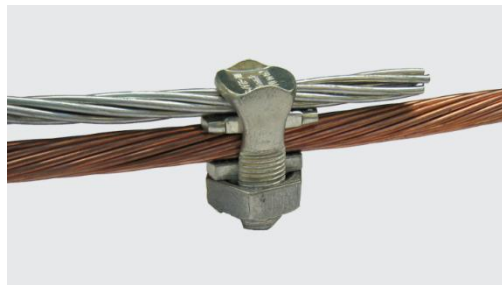


Figura 16. Conector Perno Partido Bimetálico

4.4.3.1.4 Breaker SQ Enchufable 2p 40 A. Es un interruptor automático termomagnético enchufable de dos polos, con capacidad nominal de 40 amperios, diseñado para la seguridad y protección de circuitos eléctricos en sistemas de baja tensión contra sobrecargas y cortocircuitos. Su sistema de conexión enchufable permite una instalación rápida y segura en tableros de distribución compatibles, interrumpiendo automáticamente el flujo de corriente cuando se presentan condiciones anormales de operación, garantizando la seguridad de los equipos y de la instalación eléctrica [23].



Figura 17. Breaker SQ Enchufable 2p 40 A

4.4.3.2 Materiales de Refrigeración

4.4.3.2.1 Gas Refrigerante R410A. El R410A es un refrigerante sintético de mezcla casi azeotrópica compuesto por difluorometano (R22) y pentafluoroetano (R125), utilizado ampliamente en sistemas de aire acondicionado modernos por su alta capacidad de transferencia de calor, mayor eficiencia energética y por no contener cloro, lo que evita daños a la capa de ozono. Opera a presiones más elevadas que refrigerantes tradicionales, por lo que requiere equipos diseñados específicamente para su uso [24].



Figura 18. Gas Refrigerante R410A

4.4.3.3 Material Estructural

4.4.3.3.1 Cubierta de Tol Galvanizado. Es un elemento de protección fabricado con lámina de acero recubierta de zinc (galvanizada), utilizado para resguardar el punto de ingreso de aire de un sistema de climatización frente a la lluvia, polvo y agentes corrosivos. Su función prolonga la vida de los componentes de un sistema y el mantenimiento de condiciones adecuadas de operación al evitar la entrada directa de contaminantes y humedad. [26]

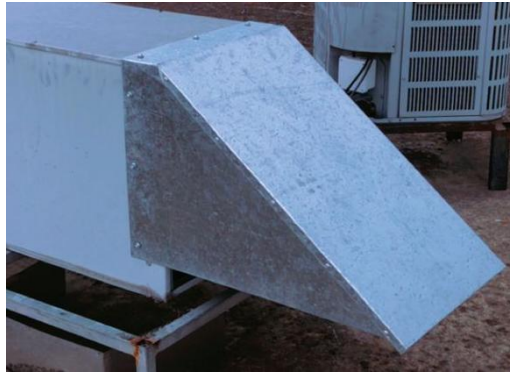


Figura 19. Cubierta de Tol Galvanizado

4.4.3.3.2 Rubatex. Rubatex es un material aislante térmico elaborado a base de espuma elastomérica flexible, utilizado principalmente en los sistemas de refrigeración, aire acondicionado y tuberías que reducen la transferencia de calor, así como evitar la condensación de gases en el interior de los conductos o tuberías.



Figura 20. Rubatex

4.4.3.4 Herramientas de Diagnóstico

4.4.3.4.1 Software ManTSys. El Software ManTSys Es una aplicación informática de apoyo al mantenimiento que permite determinar el tipo de mantenimiento requerido en equipos o elementos técnicos mediante el ingreso estructurado de datos operativos y de condición. La herramienta procesa información registrada por el usuario, organiza los parámetros de evaluación y genera automáticamente informes técnicos en formato PDF que documentan el estado del equipo y las recomendaciones de intervención a niveles de la maquina o de los componentes.



Figura 21. Software ManTSys

4.4.3.4 Materiales Complementarios de Instalación

Tabla 3. Materiales complementarios de instalación

| Material | Definición breve |
|------------------------------------|---|
| Banda asfáltica (Chova) | Banda impermeable usada para sellado y protección. |
| Caja hermética plástica 10x10 | Caja plástica sellada que protege conexiones eléctricas. |
| Caja de protección para termostato | Caja de policarbonato que protege al dispositivo de cambios no autorizados. |
| Autoperforantes 1/2 pulgada | Tornillos que perforan metal sin broca previa. |
| Taipe | Cinta adhesiva para sujeción y fijación ligera. |
| Silicona Industrial blanca | Sellador flexible resistente a humedad y temperatura. |
| Cinta aislante térmica 3M A/A | Cinta aislante para instalaciones de aire acondicionado. |

4.5 Procedimiento de Carga Térmica

El método técnico que se emplea para determinar la el volumen de calor que un sistema de climatización debe proporcionar o eliminar para conservar las condiciones de temperatura establecidas en un espacio específico. Este cálculo se tiene en cuenta las pérdidas y ganancias de calor generadas por el revestimiento del edificio, la radiación solar, la ocupación, la iluminación, los equipos y la ventilación

del recinto.

4.5.1 Ganancia de Calor por Radiación Solar a Través de Vidrios

Con el objetivo de determinar el incremento de insolación a través del vidrio resulta necesario tener en cuenta los siguientes criterios:

- a) La niebla por contaminación de la atmósfera
- b) El marco de ventana
- c) La altura sobre el nivel del mar
- d) La variación respecto del punto de rocío
- e) El hemisferio

$$Q_{RS} = I_T \cdot A \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5 \quad (4.1)$$

El significado de las letras de la fórmula es el siguiente:

- Q_{RS} : Ganancia térmica sensible (W).
- I_T : Intensidad de la radiación solar (w/m^2)
- A : Área de la ventana expuesta al sol (m^2).
- $f_{\#}$: Factores de corrección [13].

4.5.2 Ganancia de Calor a Través de Componentes Estructurales

La ley de Fourier explica que la conducción de calor depende de la rapidez del flujo por conducción en un sentido. Este valor es proporcional al nivel de temperatura y el área normal de la dirección del flujo calorífico.

$$Q_A = k \cdot a \cdot (t_e - t_i) \quad (4.2)$$

El significado de las letras de la fórmula es el siguiente:

- Q_a : Flujo de calor (kW).
- k : Coeficiente global de transferencia de calor ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$).
- A : Área (m^2).
- t_e : Temperatura en el aire exterior ($^\circ C$).
- t_i : Temperatura del aire interior ($^\circ C$).

Para utilizar esta fórmula se utilizan tablas que contienen el factor de transmisión de calor (Valor K) de vidrios, techos, paredes y pisos que se utilizan en la construcción [28].

El valor del coeficiente global de transferencia de calor (K) se calcula con la siguiente ecuación:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_E} + \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_L}} \quad (4.3)$$

Donde:

- α_E : Coeficiente de película en el aire exterior ($\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$).
- α_L : Coeficiente de película en el aire interior ($\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$).
- δ_i : Espesor de la estructura (m).
- λ_i : Conductividad térmica en el material estructural ($\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$).

4.5.3 Diferencias Equivalentes de Temperaturas

Resulta relativamente complicado determinar la ganancia de calor por medio de una estructura que ha recibido sol. Por tal motivo, se suele utilizar el método de diferencia de temperatura (Δt_e en $^\circ\text{C}$). Este valor permite identificar el flujo de calor total derivado de la radiación solar junto con la diferencia entre las temperaturas del aire externo e interno al emplear la ecuación prevista en el numeral 4.2.

$$Q_A = k \cdot A \cdot \Delta t_e \quad (4.4)$$

El valor de Δt_e varía en función de:

- La diferencia que existiere entre el aire interno y externo.
- Hora solar.
- Latitud.
- Orientación de la pared.
- Tipo de construcción de la estructura.

Los datos se los calculan en condiciones particulares. Por tal motivo, resulta necesario realizar las correcciones necesarias mediante el uso de la ecuación prevista en el numeral 4.5. [28].

$$\Delta t_e = a + \Delta t_{es} + b \cdot \frac{R_S}{R_m} (\Delta t_{em} - \Delta t_{es}) \quad (4.5)$$

El significado de las letras de la fórmula es el siguiente:

- Δt_e : Diferencia equivalente corregida
- a : Corrección prevista en la tabla 3.11. Relación existente en la temperatura exterior a las 15 horas en el mes previsto, menos la temperatura interna ($t_E - t_L$), y variación de la temperatura seca exterior en las 24 horas
- Δt_{es} : Diferencia equivalente de temperatura a la hora considerada para estructuras en la sombra
- Δt_{em} : Diferencia equivalente de temperatura a la hora considerada para las estructuras soleadas
- b : Este coeficiente depende del color de la cara externa de la pared
- RS : Máximo nivel de insolación en el mes y latitud previsto en la superficie Acristalada
- RM : El máximo nivel de insolación de julio 40° latitud norte en la superficie de cristal en la estructura analizada.
- RS/RM : Tabla 3.12 (Polaino; et al., 1987) [28].

4.5.4 Concentración de Personas como Base de Diseño

Las personas que utilizan el espacio aumentan el nivel de calor sensible y latente. Esto aumenta significativamente el nivel de enfriamiento necesario en el interior. Este cálculo debe realizarse respecto del número promedio de individuos insertos en un lugar durante el periodo de máxima carga de enfriamiento. El nivel de calor generado por las personas debe enmarcarse a la actividad desarrollada por este grupo (Manual de aire acondicionado, 1972). Esto se lo realiza por medio de las ecuaciones previstas en los numerales 4.6 y 4.7 [13].

4.5.5 Ganancia por Ocupantes

$$Q_{S.OCP.} = n \cdot I_{cs} \quad (4.6)$$

$$Q_{L.OCP.} = n \cdot I_{cl} \quad (4.7)$$

En esta ecuación los símbolos tienen el siguiente significado:

- S.OCP. Q y QL.OCP. : Ganancias térmicas sensible y latente (kW)
- n: Número de ocupantes
- ICS: Índice de carga sensible (W/h ocup.)
- ICL: Índice de carga latente (W/h ocup.)

4.5.6 Ganancias de Calor Originadas por Equipos Instalados en el Interior de los Locales

Las fuentes de calor en un espacio que se acondicionará serán las luces, equipo de cómputo, máquinas de oficina, electrodomésticos y demás motores.

Cuando un equipo que genera calor se cubre por una campana de extracción es necesario calcular la carga adicional debido al aire fresco que debe introducirse para compensar el aire que se extrajo por la campana. Lo mencionado se calcula mediante una secuencia de ganancias de calor ante infiltración y ventilación.

Las lámparas incandescentes transforman la luz en energía absorbida en un 10%. En cambio, el resto de esta energía se transforma en calor, el cual se disipa por convección, radiación y conducción. Alrededor del 80% de la energía absorbida es disipada por medio de la radiación y alrededor del 10% se disipa por convección y conducción [27].

Los tubos fluorescentes provocan que el 25% de la energía absorbida se transforme en luz; mientras que, el restante 25% se disipa por medio de radiación hacia las paredes del lugar y otro porcentaje por medio de convección y conducción. Finalmente, es necesario tener en cuenta que el calor que se emite por la reactancia representa alrededor del 25% de la energía que se absorbe por la lámpara. Esto se explica en la ecuación prevista en el numeral 4.8 [13].

4.5.7 Ganancia por Iluminación

$$Q_{S.ILUM.} = 1,25 \cdot N_{ILUM} \quad (4.8)$$

Donde:

- *NILUM*: Potencia de iluminación instalada (W).

En las estructuras analizadas, esta ganancia es despreciable debido a que existen motores de ventiladores en las computadoras, los cuales tienen un bajo consumo de potencia [13].

4.5.8 Ganancia de Calor por Infiltración y Ventilación

El aire externo fluye en una estructura por medio de la ventilación o infiltración. Al respecto, el aire externo es utilizado para diluir sustancias contaminantes en el aire, así como la energía asociada con el calentamiento o enfriamiento. La magnitud de estos valores debe ser conocida con el fin de poder calcular el tamaño del equipo y estimar el uso de energía promedio.

De la misma forma, resulta necesario conocer los valores de intercambio de aire con el fin de garantizar el adecuado control en los niveles de contaminación interno. En edificaciones grandes, estos valores deben ser determinados con base a la infiltración, ventilación y los patrones de flujo en el aire interzonal. Estos criterios se extienden a los patrones de circulación de humo en casos de incendio.

El intercambio de aire interno y externo se encuentra dividido por la ventilación (controlada e intencional) e infiltración (descontrolada e inintencional) [13].

4.5.9 Ganancia por Infiltraciones

$$Q_{S.INF} = 1,2 \cdot V_{INF} \cdot (t_e - t_i) \quad (4.10)$$

$$Q_{L.INF} = 1,2 \cdot V_{INF} \cdot (w_e - w_i) \quad (4.11)$$

Donde:

- $Q_{S.INF}$ y $Q_{L.INF}$: Ganancia térmica sensible y latente respectivamente (kW).
- V_{INF} : Volumen de aire infiltrado (m³/s)
- w_e : Humedad específica exterior (kga/kgas)
- w_i : Humedad específica interior (kga/kgas) [13]

4.5.10 Ventilación y Cargas Térmicas

El aire externo que ingresa a una estructura sólida se considera parte de la carga de acondicionamiento espacial. Lo descrito constituye un motivo para limitar el intercambio de aire en un edificio en el mínimo nivel requerido. Ante ello, el intercambio de aire

representa alrededor del 20-40% de la carga térmica de una estructura [29].

El intercambio de aire aumenta la carga térmica de un lugar de tres formas;

El intercambio de aire incrementa la carga térmica de una edificación de 3 maneras:

Primero: El aire que ingresa a una estructura debe ser enfriado con la temperatura del aire externo. Así, la tasa de consumo energético se compone de la siguiente forma:

4.5.10.1 Ventilación Exterior

$$Q_{SV} = 1,2 \cdot V_V \cdot (t_e - t_i) \quad (4.12)$$

Donde:

- Q_{SV} : Ganancia sensible por ventilación (kW)
- V_V : Volumen de ventilación (m³/s)
- t_e : Temperatura del aire exterior (°C)
- t_i : Temperatura del aire en el interior del local (°C)

Segundo: El intercambio de aire aumenta el nivel de humedad, específicamente en verano y los determinados lugares en el que el aire húmedo externo debe ser deshumidificado.

Ante ello, el consumo de energía asociada se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$Q_{LV} = 2790 \cdot V_V \cdot (w_e - w_i) \quad (4.13)$$

Donde:

- Q_{LV} : Ganancia latente por ventilación (kW)
- V_V : Volumen de ventilación (m³/s)
- w_e : Humedad específica exterior (kga/kgas)
- w_i : Humedad específica interior (kga/kgas)

Para culminar, el intercambio de aire es susceptible de incrementar la carga en una estructura al disminuir el rendimiento del sistema de aislamiento. Además, el aire que fluye alrededor y por medio del aislamiento incrementa la tasa de transferencia en las tasas de diseño. Por consiguiente, el efecto de este flujo de aire en el sistema de aislamiento es complejo de calcular, pero siempre debe ser considerado. Finalmente, el flujo de aire en estos sistemas de aislamiento puede disminuir el rendimiento del sistema dado la humedad dentro y fuera del sistema de aislamiento [13].

4.5.11 Ciclo básico de Aire Acondicionado

4.5.11.1 Método de cálculo

4.5.11.1.1 Cálculo del Factor de Calor Sensible del Local (FCSL). Este cálculo se refiere a la razón existente entre la carga térmica sensible y total del lugar. La pendiente de ello depende de la relación existente entre la carga sensible y latente del lugar, las condiciones de suministro que pueden ser mayores a cualquier punto de esta. Esto corresponde a lo determinado en el caudal de suministro (VSL).

$$FCSL = \frac{Q_{SL}}{Q_{SL} + Q_{LL}} \quad (4.14)$$

4.5.11.1.2 Factor de Calor Sensible Total (FCST)

$$FCSL = \frac{Q_{SB}}{Q_{TB}} \quad (4.15)$$

Donde:

- Q_{SB} : Carga sensible sobre la batería de enfriamiento (kW)
- Q_{TB} : Carga total sobre la batería de enfriamiento (kW)

La relación existente entre ΣQ_{SB} y la carga térmica total en la instalación, inclusive las demás cargas sensibles y latentes del aire externo, conocidas por las condiciones de la mezcla (M) que puede ser trazada por la recta FCST.

Resulta necesario que las condiciones en la salida de aire en la batería se encuentran sobre la recta. En función del Factor de Desvío (FD) del equipo junto con su Aparato de Punto de Rocío (APR) que corresponden a las condiciones de suministro de local (SL) desprecian las ganancias adicionales en conductos y ventiladores.

Finalmente, es posible afirmar que las condiciones de suministro del local (SL) radican en el punto de corte de las rectas FCSL y FCST [13].

4.5.11.1.3 Factor de Calor Sensible Efectivo (FCSE). Se considera como la carga sensible efectiva del local, a la carga sensible del local más la carga sensible del aire exterior (que durante el proceso de enfriamiento pasa por esta sin sufrir cambio alguno) determinada por el factor de desvío de la batería [13].

$$FCSE = \frac{\text{Carga Sensible Efectiva del Local}}{\text{Calor Total Efectivo del Local}} \quad (4.16)$$

4.5.11.1.4 Determinación del APR. La carga total efectiva se extiende a las cartas latentes del aire de ventilación que se desvía. Además, esta suposición facilita determinar el APR por medio de la intersección del FCSE, por medio de las condiciones de diseño del interior de la estructura con la curva de saturación. Además, el FCSE no representan ningún proceso real en el aire debido a que es solo un método para hallar la forma más sencilla del ciclo [13].

FCSL > FCSE > FCST. Esto representa la diferencia que existe entre los factores mencionados, los cuales dependen del caudal de ventilación. Ahora, si estos valores son de cero o iguales coincidirán sobre la misma gráfica.

4.5.11.1.5 Caudal de suministro al local. El cálculo de este factor es complejo debido a que resulta necesario realizar un trato del FCST a través de las condiciones de la mezcla “M”. Estos valores solo podrán evaluarse si es posible conocer el caudal de suministro de aire local, lo cual puede variar en función de las condiciones de suministro de FCSL.

Lo descrito *ut supra* se resuelve por medio del método del tanteo, el cual se compone de siete pasos. Si bien es cierto es engorroso, este puede simplificarse por medio de ciertas ideas preconcebidas sustentadas en los conceptos de FD y APR [13].

$$V_{SL} = \frac{Q_{SL} + Q_{SV'}}{1,2 \cdot (t_L - t_{APR})(1 - FD)} \quad (4.17)$$

La temperatura a bulbo seco de la mezcla de tM se lo puede cuantificar de manera aproximada por medio de los valores de volumen por cada unidad de tiempo. Esta ecuación es la prevista en el numeral 4.18 debido a que la mayor parte de procesos vinculados con la climatización de confort tiene diferencias de densidades pequeñas.

$$t_M = \frac{t_E \cdot V_V + t_L \cdot v_R}{V_{SL}} \quad (4.18)$$

Donde:

- VR: Caudal de retorno (m3/s)
- tE: Temperatura exterior (°C)
- tL: Temperatura del local (°C)
- VB: Caudal de aire tratado en la batería (m3/s), si no hay fugas: $V_B = V_R$

Conocidas t_M y APR , se determinará t_{SB} a partir de la ecuación 4.19.

$$t_{SL} = t_{SB} = t_{APR} + FD \cdot (t_M - t_{APR}) \quad (4.19)$$

La ecuación es susceptible de ser graficada por medio de la intersección de FCSB y FCSL sobre el modelo psicrométrico. Además, es necesario despreciar las ganancias de impulsión por medio de $t_{SL}=t_{SB}$ [13].

4.5.11.1.6 Finalmente se calcula la carga total sobre la batería de enfriamiento. La ganancia en la batería de enfriamiento se calcula sumando todas las cargas, esto es las sensibles y latentes de local, la carga sensible y latente en la ventilación; y, finalmente, las ganancias sensibles y latentes consideradas adicionales. Lo descrito se lo calcula por medio de la ecuación prevista en el numeral 4.20 [13].

$$Q_{TB} = Q_{SL} + Q_{LL} + Q_{SV} + Q_{LV} + Q_{SGA} + Q_{LGA} \quad (4.20)$$

Donde:

- QSGA y QLGA: Ganancias sensibles y latentes adicionales (kW)

4.6 Cálculos Eléctricos

El cálculo eléctrico permite verificar la capacidad de conducción de los conductores, la eficiencia del suministro de energía y la seguridad de la instalación que alimenta el sistema de climatización. Para ellos se emplean las siguientes expresiones:

4.6.1 Cálculo de Corriente Eléctrica de Operación

Esta expresión permite determinar la corriente de operación de un equipo eléctrico a partir de su potencia nominal, voltaje de alimentación y factor de potencia. Se utiliza para verificar la demanda de corriente del sistema y comparar el valor teórico con la corriente medida en funcionamiento.

$$I = \frac{P}{V \cdot Fp} \quad (4.21)$$

Donde:

- I= Corriente eléctrica (A)
- P= Potencia eléctrica (W)
- V= Voltaje de alimentación (V)
- Fp= Factor de potencia (Adimensional)

4.6.2 Capacidad de Conducción del Conductor

Esta relación establece que la capacidad admisible del conductor debe ser mayor o igual a la corriente demandada por la carga. Permite verificar si el calibre de cable instalado es adecuado para la operación segura del sistema

$$I_{adm} \geq I_{carga} \quad (4.22)$$

Donde:

- I_{adm}= Corriente admisible del conductor (A)
- I_{carga}= Corriente del equipo (A)

4.6.3 Cálculo de Caída de Tensión en Conductores

Permite determinar la reducción de voltaje que se produce a lo largo del conductor debido a su resistencia eléctrica. Este cálculo se emplea para evaluar la eficiencia del suministro eléctrico y verificar que la caída de tensión se mantenga dentro de los límites aceptables.

$$\Delta V = (2 \cdot \rho \cdot L \cdot I) / S \quad (4.23)$$

Donde:

- ΔV = Caída de tensión (V)

- 2= constante (ida y vuelta)
- P= Resistividad del material conductor ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)
- L= Longitud del conductor (m)
- I= Corriente (A)
- S= Sección del conductor (mm)

4.6.4 Porcentaje de Caída de Tensión

Expresa la caída de tensión como porcentaje del voltaje nominal del sistema. Se utiliza para verificar el cumplimiento de los criterios de calidad del suministro eléctrico en instalaciones de climatización.

$$\% \Delta V = (\Delta V / V_{\text{nom}}) \cdot 100 \quad (4.24)$$

Donde:

- $\% \Delta V$ = Caída de tensión porcentual (%)
- ΔV = Caída de tensión calculada (V)
- V_{nom} = Voltaje nominal del sistema (V)

4.6.5 Cálculo de Potencia Eléctrica

Permite determinar la potencia eléctrica consumida por el sistema de climatización a partir de la corriente de operación y el voltaje de alimentación.

$$P = V \cdot I \quad (4.25)$$

Donde:

- P= Potencia Eléctrica (W)
- V= Voltaje de alimentación (V)
- I= Corriente eléctrica (A)

Como dato importante la potencia que realmente se transforma en trabajo útil depende del factor de potencia. Sin factor de potencia se estaría calculando solo la potencia aparente, y

mas no la potencia real consumida para ello, la formula quedaría de la siguiente manera:

$$P = V \cdot I \cdot Fp$$

Donde:

- Fp= Factor de potencia (Adimensional)

(4.26)

4.6.6 Cálculo del Interruptor de Protección

Esta condición permite comprobar que el interruptor termomagnético tiene una capacidad nominal adecuada para proteger el circuito sin disparos innecesarios y sin comprometer la seguridad del sistema.

$$I_{breaker} \geq I_{operación}$$

(4.27)

4.7 Evaluación del Estado Técnico

La evaluación del estado técnico del sistema de climatización es una etapa clave en el diagnóstico técnico del equipo. Permite saber si su desempeño real coincide con las condiciones de operación para las que fue diseñado. En sistemas que han estado en uso continuo durante varios años, como el analizado en este estudio, las condiciones térmicas pueden verse afectadas por factores como el desgaste de componentes, cambios en la carga térmica del espacio, mantenimiento insuficiente o alteraciones en las condiciones ambientales de operación.

Para llevar a cabo una valoración objetiva del comportamiento térmico del sistema, se usó un software de mantenimiento que ayuda a organizar, procesar y documentar los parámetros técnicos relacionados con el funcionamiento del equipo. Al registrar de forma estructurada la información operativa, las condiciones de trabajo y las características del sistema, el programa facilita la identificación del tipo de mantenimiento necesario. También genera informes técnicos que respaldan el análisis realizado.

La evaluación térmica no solo observa el funcionamiento del equipo. También incorpora información técnica del sistema, las condiciones de operación y criterios de diagnóstico

que permiten establecer el estado funcional del proceso de climatización. Este proceso ayuda a determinar si el sistema mantiene su capacidad de transferencia de calor dentro de límites aceptables o si presenta desviaciones que requieran acciones de mantenimiento correctivo o preventivo.

Así, el análisis térmico realizado es una herramienta técnica para valorar el desempeño actual del sistema de climatización y establecer su condición operativa en el contexto real del funcionamiento del espacio acondicionado.

4.8 Lugar de Estudio o Área de Análisis

El presente estudio se desarrolló en la oficina del Ingeniero Cristian Gallardo, ubicada dentro del mismo recinto donde se encuentra instalado el sistema de climatización analizado en esta investigación. Este espacio fue seleccionado para la toma de datos y el análisis del comportamiento térmico debido a sus condiciones particulares de funcionamiento.

La oficina presenta una característica importante que influye directamente en la temperatura interior: el lugar no cuenta con ventanas ni con un sistema de ventilación natural. Debido a esto, cuando la radiación solar aumenta durante ciertas horas del día, el calor tiende a acumularse dentro del espacio, provocando un incremento considerable de la temperatura ambiente.

Esta situación genera condiciones poco favorables para el desarrollo de actividades profesionales, especialmente considerando que se trata de un espacio destinado al trabajo técnico y administrativo de ingeniería. Por esta razón, se decidió enfocar el estudio en esta área específica, ya que representa uno de los puntos donde se experimentan mayores niveles de calor dentro del recinto.

Durante el desarrollo del estudio se realizaron mediciones de temperatura ambiente y análisis del comportamiento térmico del espacio, con el objetivo de determinar la necesidad de habilitar el sistema de climatización que permita mantener condiciones confortables para el trabajo dentro de la oficina.

De acuerdo con lo establecido en el Artículo 54 del Decreto Ejecutivo 2393 del Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores, las condiciones térmicas en los lugares de trabajo deben mantenerse dentro de rangos que garanticen el bienestar y la seguridad de los trabajadores, evitando exposiciones prolongadas a temperaturas elevadas que puedan afectar el rendimiento laboral o la salud ocupacional [31].

- **Temperatura óptima para oficinas**

Rango recomendado para mantener comodidad y concentración durante la jornada laboral que sería entre: 21 – 25 °C.

- **Temperatura aceptable de trabajo**

El ambiente aun permite trabajar, aunque puede empezar a sentirse ligeramente cálido que sería entre: 24 – 26 °C.

- **Temperatura elevada**

Puede generar incomodidad, fatiga y menor rendimiento en las actividades que sería entre: 27 – 30 °C.

- **Temperatura critica en oficina**

Condiciones poco adecuadas para trabajar de firma eficiente que sería mayor a: >30 °C.


5. ANALISIS, RESULTADOS Y CONCLUSIONES

5.1 Análisis de mantenimiento

El software ManTSys solicita diferente información que es esencial para el diagnóstico del sistema de aire acondicionado, todas estas preguntas eh información se encuentra en las imágenes en **Anexos 1**.


Al ejecutar el programa acorde vayamos respondiendo las diferentes preguntas en el último paso a realizar solicita información sobre la maquina centrándose primeramente en los problemas que puede llegar a ocasionar, dicha información se presenta en la Figura 22.


Nivel de criticidad


Posicione el puntero sobre esta señal  para obtener información adicional.


Nombre de la empresa o institución
UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI


Nombre o codigo de la máquina a la que se va realizar el análisis 2:
Sistema de Aire Acondicionado GREE HW36NA/A-D

• Tiempo promedio entre fallas, en años. 
Es probable que ocurran varias fallas en un año.

• Daños al personal. 
Sin impacto en el personal de la planta

• Efecto en la población. 
Sin efectos en la población

• Impacto ambiental. 
Mínimos daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones

• Pérdida de producción al año. 
Hasta 10 mil



• Daños a la instalación al año. 
Daño severo, con riesgo estructural o eléctrico

Imagen de la máquina



Subir Imagen

Figura 22. Nivel de criticidad

En este último paso registra todo eh ingresa dentro del programa todos los datos, una vez analizado cada uno de los datos procede a ejecutar un análisis basado en el mantenimiento que deberíamos ejecutar y tomar en cuenta, todo esto es esencial para tener un detalle exacto de lo que se debe hacer en base al funcionamiento actual del Sistema de Aire acondicionado.

El archivo generado está en formato PDF, en el cual detalla el Análisis de Mantenimiento A nivel de Maquina; en este punto se presenta la información adquirida a partir del informe (Figura 23).

| INFORME DE ANÁLISIS DE MANTENIMIENTO A NIVEL DE MÁQUINA | | | | |
|--|--------------|--------------|-----------------|---------------------------------|
| Empresa/Instalación: UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI | | | | |
| Fecha del Informe: 22/02/2026 17:15 | | | | |
| ÁREA | TAi | Tpmáx | INGM (%) | EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN |
| Administración del mantenimiento | 9,00 | 81 | 11,11% | Deficiente |
| Servicio a terceros | 0,00 | 42 | 0,00% | Deficiente |
| Personal de mantenimiento | 0,00 | 51 | 0,00% | Deficiente |
| Gestión de piezas de repuesto | 0,00 | 69 | 0,00% | Deficiente |
| Evaluación y control | 1,00 | 60 | 1,67% | Deficiente |
| Infraestructura | 0,00 | 63 | 0,00% | Deficiente |
| Seguridad | 17,00 | 45 | 37,78% | Deficiente |
| Medio ambiente | 3,00 | 27 | 11,11% | Deficiente |
| Aseguramiento de la calidad | 4,00 | 45 | 8,89% | Deficiente |
| TOTAL | 34,00 | 483 | 7,04% | Deficiente |

Sistema de Aire Acondicionado GREE HW36NA/A-D



1. Evaluación de Criticidad

Suma de Criterios: 45

Nivel de Criticidad: Criticidad Media

Detalle de Criterios de Criticidad:

- Daños al personal: 1 (Sin impacto en el personal de la planta)
- Efecto de la población: 1 (Sin efectos en la población)
- Impacto ambiental: 2 (Mínimos daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones)
- Pérdida de producción: 1 (Hasta 10 mil)
- Daños a la instalación: 4 (Daño severo, con riesgo estructural o eléctrico)
- Tiempo promedio entre fallas: 5 (Es probable que ocurran varias fallas en un año.)

2. Análisis de Mantenimiento

Valores C1-C8 (0 o 1): C1=1, C2=0, C3=0, C4=1, C5=1, C6=1, C7=1, C8=1

Coefficiente Predictivo: 0,50

Fallas: 2,00

Pérdidas: 2,00

Correctivo/Predictivo: 0,80

Recomendación de Mantenimiento: **Preventivo con medición de parámetros y síntomas**

Figura 23. Informe de análisis de mantenimiento a nivel de maquina

El Análisis determina que el procedimiento a realizarse es un mantenimiento Preventivo con medición de parámetros y síntomas, teniendo esto en cuenta se procede a realizar las diferentes mediciones y cálculos establecidos.

Al momento de analizar el equipo y su funcionamiento se debe tomar en cuenta que el Sistema paso sin funcionamiento durante varios años por lo cual tomando en cuenta que se necesita un mantenimiento preventivo empezamos por ello, centrándonos primero en su

limpieza total a partir de lo que dictamina los pasos a seguir un mantenimiento preventivo.

5.1.1 Mantenimiento Preventivo

Se define como la ejecución de tareas planificadas de inspección, limpieza y sustitución de componentes, con el objetivo de reducir la probabilidad de falla o la degradación de un sistema o servicio.

Ya que se lo realiza al Sistema de Aire Acondicionado se debe tomar en cuenta que lo que se busca realizar es:

- Preservar el coeficiente de rendimiento (COP) del sistema.
- Garantizar la calidad del aire interior.
- Evitar el consumo excesivo de energía por suciedad en los intercambiadores.

Las revisiones se realizarán a los 2 diferentes unidades del sistema del cual se compone.

5.1.1.1 Unidad Evaporadora

- **Limpieza de Filtros de Aire:** Es la tarea más crítica. Filtros saturados reducen el flujo de masa de aire, lo que puede provocar que el evaporador se congele o que el compresor trabaje bajo un esfuerzo innecesario (retorno de líquido).
- **Revisión del Sistema de Condensado:** Se debe verificar que la bandeja de drenaje no tenga obstrucciones y que la tubería de desagüe tenga la pendiente adecuada para evitar desbordamientos.
- **Inspección de la Turbina (Ventilador):** Una turbina sucia genera vibraciones, ruido y disminuye el caudal de aire (CFM).

Todo el proceso se llevó a cabo y se puede verificar en los **Anexos 2**.

5.1.1.2 Unidad Condensadora

- **Limpieza Mecánica del Serpentin Condensador:** Se utiliza aire a presión o agua (hidrolavadora a baja presión para no doblar las aletas) para retirar polvo, hojas o grasa. Si el condensador está sucio, la presión de alta sube, aumentando el consumo eléctrico y el riesgo de fallo por alta presión.
- **Inspección del Motor-ventilador:** Verificar que el rodamiento no presente ruidos y que las aspas estén balanceadas.

- **Ajuste de Conexiones Eléctricas:** El calor y las vibraciones aflojan los bornes. Se deben reapretar los contactos del contactor, capacitor de marcha y regletas de conexión para evitar puntos calientes (efecto Joule).

Todo el proceso se llevó a cabo y se puede verificar en los **Anexos 2**.

Realizado estos pasos, se procede hacer los cálculos tanto Eléctricos como térmicos y al concluirlos la Eficiencia Energética.

5.2 Análisis eléctricos

5.2.1 Análisis de la capacidad del centro de carga y el factor de potencia

En este apartado se realizará el análisis del centro de carga existente, el cual está ubicado en el armario eléctrico del tercer piso de la Universidad Técnica de Cotopaxi Bloque B, con el propósito de verificar si la instalación eléctrica actual tiene la capacidad suficiente para incorporar el sistema de aire acondicionado propuesto.

Para ello, se evalúa el consumo eléctrico total de las cargas actualmente conectadas al tablero de distribución, considerando la corriente demandada por cada circuito.

Para verificar la demanda real de corriente del tablero de distribución, se realizará una medición directa utilizando una pinza amperimétrica alrededor de cada uno de los conductores de fase de la acometida eléctrica que alimenta el centro de carga. Este procedimiento permite obtener el valor de corriente que circula por los conductores de la acometida eléctrica bajo condiciones normales de operación del sistema.

Posteriormente, se compara la demanda eléctrica total con la capacidad nominal del centro de carga, así como con la capacidad del sistema de protección y del conductor de la acometida eléctrica. Este análisis permite determinar si el sistema eléctrico instalado puede soportar la nueva carga sin generar sobrecargas, caídas de tensión excesivas o riesgos para la seguridad de la instalación.

Existe un punto muy importante a tomar en cuenta y es el transformador de distribución el cual abastece a la universidad, para los análisis respectivos los datos son:

- **Transformador de Distribución:** 300kVA
- **Voltaje primario:** 13.8kV

- **Voltaje secundario:** 220V
- **Sistema:** Trifásico
- **Protección Principal:** 800A
- **Protección Bloque A:** 350A
- **Protección Bloque B:** 350A

Estos datos se obtuvieron de un análisis del sistema eléctrico de la Universidad Técnica de Cotopaxi realizado en el 2021, se puede revisar el diagrama unifilar en el **Anexo 7** [30].

5.2.1.1 Estimación del consumo del centro de cargas y verificación del cableado. El centro de carga del tercer piso del Bloque B tiene una acometida eléctrica trifásica con cable de Cobre #2 AWG Aislado Tipo XHHW-2 LS 600V el cual soporta hasta 130 amperios.

Se realizó la medición con una pinza amperimétrica en el cableado antes mencionado destacando el consumo de la L1 y la L3 ya que el sistema de climatización estará alimentado a estas líneas.

Las mediciones iniciales se realizaron con el sistema apagado dándonos un consumo real de:

- **L1:** 26.16 amperios
- **L3:** 18.22 amperios

Estos datos se pueden comprobar en **Anexos 8**.

5.2.1.2 Factor de potencia. El factor de potencia nos lo entrega la empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A ya que ellos llevan a cabo un análisis del sistema eléctrico, su consumo y comportamiento, este dato lo verificamos mediante la planilla eléctrica en **Anexo 9**.

El factor de potencia descrito en la planilla eléctrica es de:

- **Fp:**0.9989

El cual lo tomaremos como dato para para los siguientes cálculos.

5.3 Análisis Eléctrico del Equipo

El análisis eléctrico del sistema de climatización permitió evaluar el comportamiento real

de la instalación de alimentación, verificar la adecuación del conductor y determinar las condiciones energéticas de operación del equipo. Para ello se utilizaron los datos técnicos del fabricante y las mediciones durante el funcionamiento del sistema.

Datos Eléctricos proporcionados por el fabricante:

- **Modelo:** HW36Na/A-D
- **Alimentación:** 220–230 V
- **Frecuencia:** 60 Hz
- **Potencia eléctrica nominal (Cooling Rated Input):** 4800 W
- **Potencia de operación (Cooling Power Input):** 4300 W

5.3.1 Determinación de la corriente nominal del equipo

Se estimó la corriente de operación teórica mediante la relación entre potencia y voltaje de alimentación

Tabla 4. Determinación de la corriente nominal del equipo

| Descripción | Expresión | Resultado |
|---------------------|----------------------------|-----------|
| Corriente Eléctrica | $I = \frac{P}{V \cdot Fp}$ | 20,8 A |

La corriente teórica de operación del sistema se encuentra en los 20,8 A.

5.3.2 Verificación del tipo de conductor

El sistema se encuentra a una distancia de 30 metros en línea recta al tablero Eléctrico de alimentación, para este cálculo no se toma esta distancia si no que se busca la manera de llevar la acometida eléctrica hasta el tablero y para ello se debe llevar el cableado por la estructura del edificio como se indica en los Anexos 3, dicha distancia se logra determinar en 45 metros ya que se tuvo que acoplar a la infraestructura y los diferentes canales que hubo hasta el tablero eléctrico.

Teniendo en cuenta este dato se llegó a la conclusión que el cable a utilizar debe ser en aluminio específicamente en el modelo 3x6 AWG con chaqueta antihurto para mayor protección.

Este tipo de cable se seleccionó tomando en cuenta:

- El funcionamiento óptimo del sistema de aire acondicionado
- Los picos de arranque (Condensador)
- Distancia a instalarse

La capacidad típica del conductor de aluminio 6 AWG es de 40 amperios y la corriente máxima estimada en un estado de enfriamiento teórico es de 20.8 amperios, por lo tanto:

Tabla 5. Verificación del tipo de conductor

| I_{adm} | ≥ | I_{operacion} |
|------------------------|----------|------------------------------|
| 40 A | ≥ | 20,8 A |

Se verifica que el conductor posee capacidad suficiente para la demanda del equipo, garantizando la operación segura sin riesgo de sobrecalentamiento.

5.3.3 Verificación del dispositivo de protección

Tomando en cuenta la condición de la Tabla 5 y las comparaciones hechas se llegó a determinar que es factible un interruptor termomagnético de 32 Amperios de 2 polos Marca Schneider.

Protección: Interruptor termomagnético de 32 Amperios de 2 polos

5.3.4 Calculo de caída de tensión

La caída de tensión en el circuito de alimentación se determinó mediante la expresión basada en la resistividad del material conductor y el área transversal del cable, para ello se toma en cuenta los siguientes datos:

Cable 3x6 AWG

- Área transversal nominal: $13,3\text{mm}^2$
- Resistividad: $0,0282 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
- Longitud del cable: 45m

Tomando en cuenta estos datos la operación a realizar quedaría:

Tabla 6. Cálculo de caída de tensión

| Descripción | Expresión | Resultado |
|-----------------------------|--|-----------|
| Cálculo de caída de tensión | $\Delta V = (2 \cdot p \cdot L \cdot I) / S$ | 3,31V |

5.3.5 Porcentaje de caída de tensión

Una vez obtenida la caída de tensión en el conductor de alimentación, se procedió a determinar su valor porcentual respecto al voltaje nominal del sistema, con el fin de evaluar la eficiencia del suministro eléctrico hacia el equipo de climatización.

El porcentaje de caída de tensión se calculó mediante la siguiente expresión:

Tabla 7. Porcentaje de caída de tensión

| Descripción | Expresión | Resultado |
|--------------------------------|--|-----------|
| Porcentaje de caída de tensión | $\% \Delta V = (\Delta V / V_{nom}) \cdot 100$ | 1,44% |

El valor obtenido se encuentra por debajo del límite técnico recomendado a nivel de motores y máquinas que es del 5% , este dato nos lo especifica el Código Eléctrico Nacional (NEC) y también en la normativa IEC 60364-5-52, lo que indica que el conductor instalado permite una transmisión eficiente de energía sin pérdidas significativas por efecto resistivo.

5.3.6 Calculo de Potencia Eléctrica

La corriente eléctrica real del sistema se determinó a partir de la corriente medida tomando en cuenta la siguiente expresión:

Tabla 8. Cálculo de Potencia Eléctrica

| Descripción | Expresión | Resultado |
|-------------------------------|---------------|-----------|
| Cálculo de potencia eléctrica | $P=V \cdot I$ | 4,78 kVA |

5.4 Cálculo de la Carga Térmica

Después de establecer que el sistema de climatización es el componente principal para

controlar el ambiente del Departamento de Direcciones de Carreras, se lleva a cabo el cálculo de la carga térmica del enfriamiento en la zona con más ganancia térmica del lugar. Este cálculo se realiza utilizando la metodología detallada en el capítulo anterior, que tiene en cuenta los procesos de enfriamiento. Para mantener las condiciones térmicas apropiadas en un espacio administrativo es necesario eliminar el calor producido por diversas fuentes en el entorno. Esta eliminación se consigue a través del suministro o la recirculación de un caudal de aire tratado bajo condiciones particulares de humedad y temperatura, que tiene la capacidad de absorber tanto las ganancias térmicas sensibles como las latentes generadas en el interior del cubículo del Ingeniero Cristian Gallardo uno de los usuarios que más se ven afectado por la ganancia térmica. Se tomaron en cuenta las propiedades físicas del espacio estudiado para estimar la carga térmica, tales como el área acristalada, las particiones internas hechas de aluminio, el número de ocupantes, los aparatos eléctricos que están operativos y el sistema de iluminación. Asimismo, se tomaron en cuenta las condiciones ambientales reales registradas cuando el sistema de climatización se encontraba fuera de operación, con el propósito de evaluar el comportamiento térmico natural del espacio.

Las condiciones de diseño fueron establecidas a partir de los datos experimentales (**ANEXOS 6**), obtenidos durante los días 04, 05 y 06 de febrero de 2026, en el horario comprendido entre las 12h00 y las 17h00, período correspondiente a la mayor incidencia solar. Los registros fueron realizados sin la intervención del sistema de aire acondicionado ni ventilación mecánica, lo que permitió obtener valores representativos del estado térmico real del recinto.

Tabla 9. Condiciones de diseño interior y exterior del local

| Condiciones de diseño | Interior | Exterior* |
|--|-----------------|------------------|
| Temperatura de bulbo seco, T_{bs} (°C) | 25,45 | 26,50 |
| Temperatura máxima registrada (°C) | 28 | 29,6 |
| Humedad relativa, ϕ (%) | 41,98 | 55 |
| Presión atmosférica (hPa) | 1012,5 | 1012 |

La Tabla 9 Se analizaron las condiciones ambientales que se utilizaron como referencia para el cálculo de la carga térmica del recinto. Los datos del ambiente interior se obtuvieron mediante mediciones directas realizadas entre las 12h00 y las 17h00 durante tres días

consecutivos, en ausencia de aire acondicionado y ventilación mecánica. Para definir las condiciones exteriores de diseño, se seleccionaron valores representativos de la región andina central del Ecuador en horario diurno, utilizando una temperatura de bulbo seco aproximada de 26,5 °C y una humedad relativa promedio del 55 %. Estos parámetros permiten calcular el gradiente térmico necesario para evaluar las ganancias de calor por transferencia a través de los cerramientos, así como las posibles cargas debidas a infiltraciones de aire exterior.

Con estos valores iniciales, en los apartados siguientes se presentará el cálculo detallado de cada componente de la carga térmica, incluyendo la influencia de la radiación solar sobre las superficies acristaladas, la transmisión de calor por conducción en los cerramientos, las cargas internas generadas por ocupantes, iluminación y equipos eléctricos, así como el impacto de la infiltración de aire exterior en el balance térmico del espacio.

Para obtener los datos de temperatura, humedad relativa y presión atmosférica se empleó la estación meteorológica AcuRite Iris.

5.4.1 Radiación solar a través de superficies acristaladas

Dentro del análisis de carga térmica del departamento de direcciones de carreras de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, una de las principales fuentes de ganancia de calor corresponde a la radiación solar incidente sobre las superficies acristaladas.

El área de estudio dispone de una superficie de vidrio sencillo con un espesor de 6 mm, cuya dimensión total corresponde a una altura de 2,73 m y una longitud de 18,6 m. Por tanto, el área acristalada total es 50,78 m².

Esta superficie constituye el principal elemento de transferencia térmica por radiación directa durante las horas de mayor incidencia solar.

Para el presente estudio se consideraron las condiciones climáticas propias de la ciudad de Latacunga (≈ 2800 m s.n.m.), adoptando valores representativos de radiación solar durante el horario de mayor carga térmica (12:00 – 15:00), intervalo en el cual se registraron las temperaturas máximas interiores sin climatización.

De acuerdo con registros típicos de radiación en la región interandina del Ecuador, se adoptó un valor promedio de intensidad de radiación solar incidente de $I = 800W/m^2$.

No obstante, debido a factores reales como:

- Espesor del vidrio (6 mm),
- Posibles pérdidas por reflexión,
- Ángulo de incidencia solar,
- Condiciones atmosféricas locales,

Se incorpora un factor de corrección global f , el cual para vidrio sencillo puede adoptarse de manera conservadora entre 0,35 y 0,45. Para el presente cálculo se consideró:

$f=0,40$

Por tanto, la ganancia térmica sensible por radiación solar se determina mediante $Q_{RS} = 16.25kW$.

Este resultado evidencia que la radiación solar a través de la superficie acristalada constituye la mayor contribución térmica dentro del recinto evaluado.

Cabe destacar que durante los registros experimentales realizados los días 04, 05 y 06 de febrero de 2026, se observaron temperaturas interiores promedio entre 25,19 °C y 25,87 °C, alcanzando máximos de 28 °C en horas de la tarde. Este comportamiento térmico confirma la influencia directa de la radiación solar sobre el incremento de temperatura en el interior del local cuando el sistema de climatización no se encuentra en operación.

En consecuencia, el área acristalada orientada hacia la dirección de mayor exposición solar representa el principal elemento a considerar dentro del balance térmico del recinto, siendo determinante en el dimensionamiento y evaluación del sistema de climatización existente.

La tabla 9 presenta el comportamiento de la intensidad de la radiación solar incidente sobre la superficie acristalada del interior del cubículo del ingeniero Cristian Gallardo usuario más afectado en función del horario de mayor carga térmica correspondiente al intervalo comprendido entre las 12h00 y las 17h00, período en el cual se realizaron los registros experimentales sin el uso del sistema de climatización.

De acuerdo con las condiciones climáticas características de la ciudad de Latacunga y considerando que el área acristalada principal se encuentra orientada hacia la dirección de mayor exposición solar en el recinto analizado, se observa que la intensidad de radiación presenta un incremento progresivo a partir del mediodía, alcanzando sus valores máximos

aproximadamente entre las 13h00 y las 15h00 horas. Este comportamiento coincide con el aumento gradual de la temperatura interior registrada durante los días 04, 05 y 06 de febrero de 2026, donde se alcanzaron valores máximos de hasta 28 °C.

A diferencia de orientaciones con mayor incidencia matutina o vespertina, en el caso del cubículo estudiado la carga térmica por radiación solar se concentra principalmente durante el período central del día, cuando el ángulo de incidencia solar es más perpendicular a la superficie acristalada. Esta condición favorece una mayor transmisión de energía a través del vidrio sencillo de 6 mm de espesor, incrementando significativamente la ganancia térmica sensible del recinto.

El análisis gráfico permite evidenciar que la radiación solar constituye el factor predominante dentro del balance térmico del área estudiada, especialmente en ausencia de elementos de protección solar o dispositivos de control de sombreado. Por tanto, la evaluación del comportamiento horario de la intensidad de radiación resulta fundamental para el dimensionamiento adecuado del sistema de climatización y para la formulación de estrategias de reducción de carga térmica, tales como la incorporación de películas reflectivas, cortinas técnicas o protecciones externas.

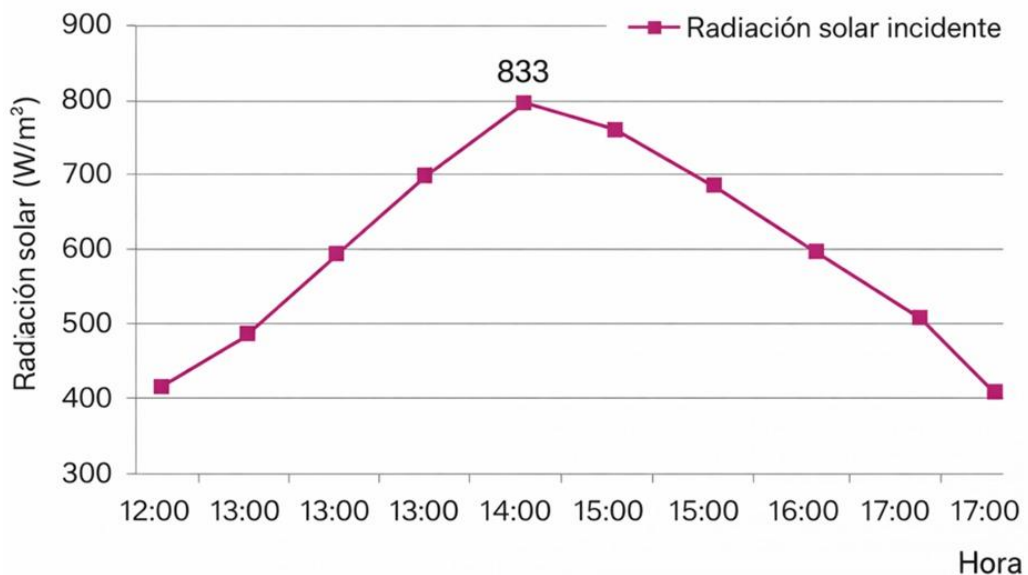


Figura 24. Comportamiento de la radiación solar incidente.

La figura muestra la variación horaria de la radiación solar incidente sobre la superficie

evaluada durante el intervalo comprendido entre las 12h00 y las 17h00, periodo correspondiente a las horas de mayor carga térmica del recinto. Se observa un incremento progresivo de la intensidad solar desde el mediodía, alcanzando un valor máximo aproximado de 833 W/m² alrededor de las 15h00, lo que representa el punto crítico de mayor aporte energético por radiación directa.

5.4.2 Ganancia de calor por estructura

Otra contribución relevante en el balance térmico del cubículo es la ganancia de calor a través de los elementos estructurales. Cuando hay una diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de un cerramiento se genera una transferencia de calor por conducción desde la zona más cálida hacia la más fría. Este proceso ocurre en paredes, techos y pisos. El coeficiente global de transmisión térmica (U) dependen del material y espesor del cerramiento.

Tabla 10. Coeficientes de transmisión de calor para cerramientos del recinto

| Tipo de construcción | Espesor (m) | Coefficiente U (W/m ² ·°C) |
|----------------------------|-------------|---------------------------------------|
| Vidrio sencillo | 0,006 | 5,7 |
| Panel/división de aluminio | 0,08 | 3,5 |
| Pared de bloque enlucido | 0,15 | 1,8 |

La Tabla 10 permite representar el efecto adicional de la radiación solar sobre cerramientos expuestos, mediante la diferencia equivalente de temperatura.

En el caso del vidrio sencillo de 6 mm, el valor de U es elevado debido a la baja resistencia térmica del material, lo que favorece una mayor transferencia de calor por conducción cuando existe diferencia térmica entre el interior y el exterior.

Las divisiones internas de aluminio de 8 cm de espesor presentan igualmente una conductividad térmica significativa, aunque su contribución depende principalmente de si existe diferencia térmica entre espacios contiguos.

Para el techo del recinto es un valor típico de coeficiente global de transmisión térmica para cubiertas planas livianas.

Tabla 11. Coeficiente global de transmisión térmica para cubierta

| Tipo de techo | Coeficiente U (W/m²·°C) |
|-------------------------------|---|
| Cubierta liviana convencional | 0,9 |

La Tabla 11 muestra el coeficiente global de transmisión térmica U para una cubierta liviana convencional, con un valor de 0,9 W/m²·°C. Este parámetro representa la facilidad con la que el calor atraviesa la cubierta por conducción, convección superficial y resistencias térmicas del material.

De acuerdo con los registros experimentales realizados, la temperatura interior promedio fue: 25,45°C

Para condiciones de cálculo conservadoras se puede considerar una temperatura exterior de diseño: 26,50°C por tanto la variación térmica es de 1,05°C

Este valor indica que, en el período evaluado sin climatización, la diferencia térmica por conducción no es elevada; sin embargo, cuando el sistema de aire acondicionado entra en operación y se busca mantener temperaturas interiores de 23–24 °C, la diferencia térmica se incrementa, aumentando así la transferencia de calor por estructura.

Cuando un el cubículo está expuesto a radiación solar directa, la transferencia de calor hacia el interior no se determina únicamente por la diferencia de temperatura entre el aire exterior e interior. En estas situaciones, se emplea la diferencia equivalente de temperatura (ΔT_{eq}), que representa el aumento térmico adicional causado por la radiación solar sobre la superficie del muro o cerramiento expuesto.

En el análisis realizado para el interior del cubículo del ingeniero Cristian Gallardo, este ajuste se aplica para reflejar el impacto de la radiación solar durante el período en que se registraron las temperaturas interiores más elevadas, en ausencia de funcionamiento del sistema de climatización.

Tabla 12. Diferencia equivalente de temperatura (°C) para muros soleados o en sombra

| Orientación del cerramiento | Condición | Hora crítica | ΔT_{eq} (°C) |
|------------------------------------|----------------------|---------------------|--|
| NE | Parcialmente soleado | 14h00 | 1,8 |
| SE | Parcialmente soleado | 14h00 | 1,5 |

| | | | |
|---------------|-----------------|-------|-----|
| NO | Soleado (tarde) | 14h00 | 2,6 |
| SO | Soleado (tarde) | 14h00 | 2,8 |
| N (en sombra) | Sombra | 14h00 | 0 |

La Tabla 12 presenta la diferencia equivalente de temperatura (ΔT_{eq}), la cual permite incorporar el efecto de la radiación solar sobre cerramientos expuestos. Este parámetro ajusta la transferencia térmica a través del muro, ya que el calentamiento superficial provocado por el sol incrementa la carga térmica real que ingresa al interior, incluso si la diferencia entre temperatura exterior e interior del aire es relativamente baja.

Los valores adoptados representan el efecto adicional de la radiación solar sobre el cerramiento en la hora crítica, ajustados al comportamiento térmico observado en el cubículo más afectado (incremento máximo entre 14h00–15h00).

Tabla 13. Factor de orientación solar para condiciones ecuatoriales (mes de febrero)

| Mes | NE | SE | SO | NO |
|---------|------|------|------|------|
| Febrero | 1,05 | 1,02 | 1,08 | 1,06 |

La Tabla 13 presenta un factor de ajuste asociado a la orientación y al mes de cálculo. Este factor permite ponderar el efecto de la radiación solar en función de la posición aparente del sol, considerando que la exposición no es uniforme a lo largo del año ni igual para todas las orientaciones.

5.4.3 Ganancia Térmica por Ventilación

En cualquier espacio climatizado, es fundamental tener en cuenta el aporte térmico que supone la entrada de aire exterior, ya que este es necesario para renovar el ambiente, disminuir las concentraciones de CO₂ y controlar olores y contaminantes internos.

En el caso del Departamento de Direcciones de Carreras se cuenta con:

- 7 personas

Se adopta el caudal recomendado por normativa para oficinas administrativas.

Tabla 14. Caudal de aire exterior recomendado para ventilación en el cubículo del ingeniero
Cristian Gallardo

| Aplicación | m ³ /s por persona | m ³ /s por m ² |
|------------|-------------------------------|--------------------------------------|
|------------|-------------------------------|--------------------------------------|

| | | |
|------------------------------------|-------|--------|
| Cubículo con mayor impacto térmico | 0,008 | 0,0008 |
|------------------------------------|-------|--------|

La Tabla 14 establece los valores mínimos de aire exterior requeridos para garantizar la renovación de aire. El caudal recomendado por persona (0,008 m³/s·persona) permite controlar la acumulación de CO₂, olores y contaminantes internos generados por la ocupación, mientras que el criterio por área (0,0008 m³/s·m²) se utiliza cuando la ocupación es variable o cuando se desea dimensionar el sistema en función del tamaño del recinto.

5.4.4 Cálculo del caudal total de ventilación

Tabla 15. Caudal total de ventilación

| Componente | Resultado |
|--------------------|-------------------------|
| Caudal ventilación | 0.056 m ³ /s |
| Sensible | 71 W |
| Latente | 574 W |
| Total | 645 W (0.645 kW) |

La Tabla 15 establece el caudal mínimo de aire exterior recomendado para garantizar renovación de aire en locales climatizados. Este componente es fundamental, ya que la ventilación no solo influye en el confort térmico, sino también en la calidad del aire interior (control de CO₂, olores y contaminantes).

5.4.5 Ganancia térmica por infiltración

En los locales acondicionados, el aire exterior puede ingresar de manera no controlada a través de rendijas en ventanas, marcos, puertas y uniones constructivas. Este fenómeno, conocido como infiltración, se origina principalmente por diferencias de presión provocadas por el viento y por el efecto chimenea. La infiltración representa una carga adicional para el sistema de climatización, ya que introduce aire con condiciones térmicas distintas a las del recinto, incrementando tanto la carga sensible como la latente.

En el área evaluada del Departamento de Direcciones de Carreras, aunque la ventilación mecánica no estuvo operativa durante las mediciones, se considera que existen infiltraciones inevitables por la presencia de ventanas y puertas de acceso. Para estimar el caudal de infiltración se empleó el método de la rendija, el cual aproxima el caudal

infiltrado en función de la longitud efectiva de abertura y de un coeficiente característico de infiltración.

Tabla 16 Resumen de ganancia térmica por infiltración

| Parámetro | Valor |
|---------------------|--|
| Longitud rendijas | 10 m |
| Caudal por rendija | $1.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / (\text{s} \cdot \text{m})$ |
| Caudal infiltración | 0,014 m ³ /s |
| Carga sensible | 18 W |
| Carga latente | 144 W |
| Total Qinf | 161 W (0.161 kW) |

La Tabla 16 presenta la estimación del caudal de infiltración mediante el método de rendijas. Se evidencia que, aunque el caudal infiltrado suele ser menor que el caudal de ventilación, su efecto no debe despreciarse, ya que ocurre de forma no controlada y puede introducir humedad adicional al cubículo.

5.4.6 Ganancia Térmica por Ocupantes

Los ocupantes representan una fuente interna de calor debido a la actividad metabólica, aportando energía tanto en forma sensible (incremento de temperatura) como latente (humedad por respiración y transpiración). En el cubículo más afectado evaluado se registró una ocupación promedio de 4 personas, correspondiente a actividades administrativas.

Tabla 17. Ganancia térmica por ocupantes

| Concepto | Resultado |
|-----------------|------------------------|
| Sensible | 560 W |
| Latente | 350 W |
| Total | 910 W (0,91 kW) |

La Tabla 17 cuantifica el aporte térmico por ocupación en el recinto, separando la carga en sensible y latente. La carga sensible representa el aumento directo de temperatura debido al metabolismo humano, mientras que la latente está asociada a la humedad emitida por respiración y transpiración.

5.4.7 Ganancia Térmica por Equipos e Iluminación

La potencia instalada de los equipos eléctricos y del sistema de iluminación constituye una fuente importante de carga térmica sensible dentro del recinto. En condiciones normales de operación, prácticamente toda la energía eléctrica consumida por luminarias y equipos se transforma en calor liberado al ambiente interior, incrementando la temperatura del local.

En el caso del Departamento de Direcciones de Carreras las cargas internas consideradas corresponden a luminarias fluorescentes y equipos de cómputo en funcionamiento durante la jornada laboral. Debido a la naturaleza de estos elementos, sus ganancias térmicas se consideran principalmente como carga sensible ya que no aportan humedad directamente al ambiente.

Tabla 18. Equipos eléctricos y luminarias instaladas en el recinto

| Elemento | Cantidad | Potencia unitaria (W) | Potencia total (W) | Carga térmica (kW) |
|----------------------------|-----------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Luminarias fluorescentes | 9 | 40 | 360 | 0,36 |
| Computadoras de escritorio | 7 | 250 | 1750 | 1,75 |
| Total | | | 2110 | 2,11 |

Se observa en la tabla 18 que las computadoras aportan una carga considerablemente mayor que la iluminación, debido a su potencia de operación continua durante horas laborales.

Este resultado es relevante porque confirma que las cargas internas no dependen del clima exterior: se generan dentro del recinto y elevan la temperatura incluso cuando no existe radiación solar intensa. En conjunto, la tabla evidencia que la gestión de equipos (eficiencia, apagado de pantallas, equipos de bajo consumo) y el uso de iluminación eficiente pueden contribuir a reducir la carga térmica total del recinto y mejorar el desempeño del sistema de climatización.

5.5 Análisis de Resultados Térmicos

5.5.1 Comparación de Desempeño Térmico en Distintas Variantes de Operación

Con el fin de evaluar el comportamiento térmico del recinto bajo diferentes condiciones de operación del sistema de climatización, se analizaron dos variantes principales:

1. Ventilador encendido (sin compresor)
2. Ventilador encendido + compresor (A/A completo)

Los datos fueron registrados en el intervalo 12h00–17h00, que coincide con el período de mayor carga térmica por radiación solar y actividad interna del local (ANEXOS 6).

5.5.2 Variante 1: Ventilador Encendido (Sin Compresor)

En esta condición el sistema trabaja únicamente con circulación de aire. Esto produce una mejora de la sensación térmica (por movimiento del aire), pero no realiza extracción efectiva de calor, ya que el ciclo de refrigeración no está activo.

Tabla 19. Resumen estadístico de registros interiores (ventilador sin compresor)

| Fecha | T mín (°C) | T máx (°C) | T prom (°C) | HR prom (%) |
|------------|------------|------------|-------------|-------------|
| 02/09/2026 | 21 | 26 | 23,55 | 41,48 |
| 10/02/2026 | 24 | 28 | 26,19 | 41,10 |
| 02/11/2026 | 26 | 28 | 26,71 | 38,06 |

Se observa en la tabla 19 que, sin compresor, la temperatura interior puede alcanzar valores de 28 °C en días representativos, lo que confirma que el ventilador por sí solo no limita el aumento de temperatura, sino que únicamente redistribuye el aire. La humedad relativa se mantiene en un rango medio (\approx 38–41 %), con ligeras variaciones asociadas al calentamiento del aire y a las condiciones del entorno.

5.5.3 Variante 2: Ventilador Encendido + Compresor (A/A Completo)

En esta variante el sistema opera de forma completa (circulación + refrigeración), por lo que se espera estabilidad térmica y reducción efectiva de temperatura interior.

Tabla 20. Resumen estadístico de registros (A/A con compresor)

| Fecha | T mín (°C) | T máx (°C) | T prom (°C) | HR prom (%) |
|------------|------------|------------|-------------|-------------|
| 14/02/2026 | 20 | 25 | 23,13 | 47,61 |

| | | | | |
|------------|----|----|-------|-------|
| 15/02/2026 | 20 | 25 | 23,13 | 47,65 |
| 16/02/2026 | 21 | 23 | 22,06 | 49,10 |

Se observa en la tabla 20 la temperatura interior se mantiene en el rango 22–23 °C en promedio, con máximos reducidos respecto a la variante sin compresor. Esto indica un control térmico real. La humedad relativa aumenta ligeramente ($\approx 48\text{--}49\%$), lo cual es coherente con la estabilización del ambiente interior al disminuir la temperatura y mantener el recinto con menor variación térmica.

5.5.4 Comparación Gráfica entre Variantes

A continuación, se presentan tres figuras comparativas elaboradas con el promedio de los tres días en cada variante (ventilador sin compresor vs A/A completo).

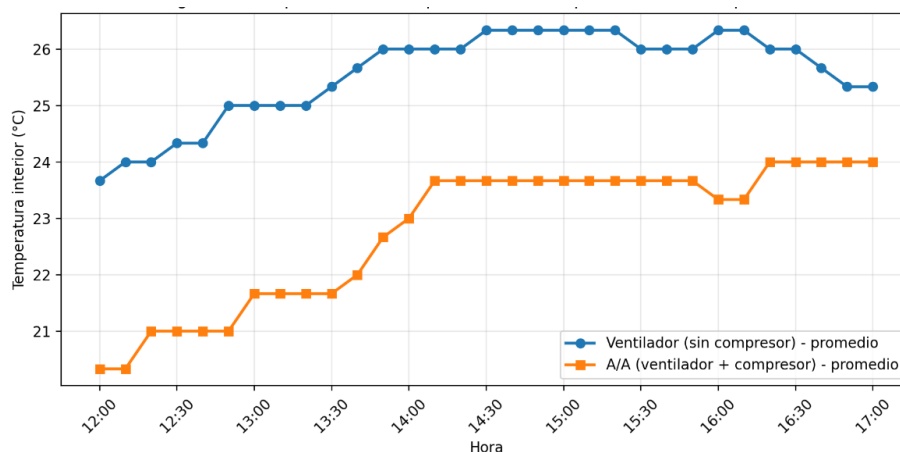


Figura 25. Comparación de temperatura interior por condición (promedios)

La curva del ventilador sin compresor presenta una tendencia creciente con el avance de la tarde, reflejando acumulación de calor. En cambio, con compresor activo la temperatura se mantiene notablemente más baja y estable. Esto confirma que el compresor es el elemento que realmente contrarresta la carga térmica del recinto.

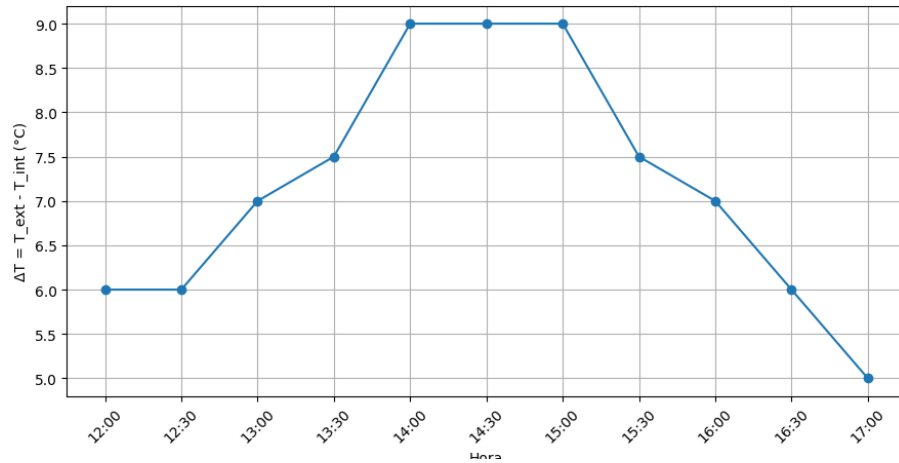


Figura 26. Gradiente térmico logrado con A/A ($\Delta T = T_{ext} - T_{int}$)

El gradiente térmico muestra la capacidad del sistema para mantener el interior por debajo del exterior. Valores de ΔT positivos y sostenidos indican que el sistema está logrando extracción de calor efectiva durante todo el periodo crítico. En términos operativos, una diferencia consistente exterior–interior respalda el “control” del recinto bajo condiciones reales.

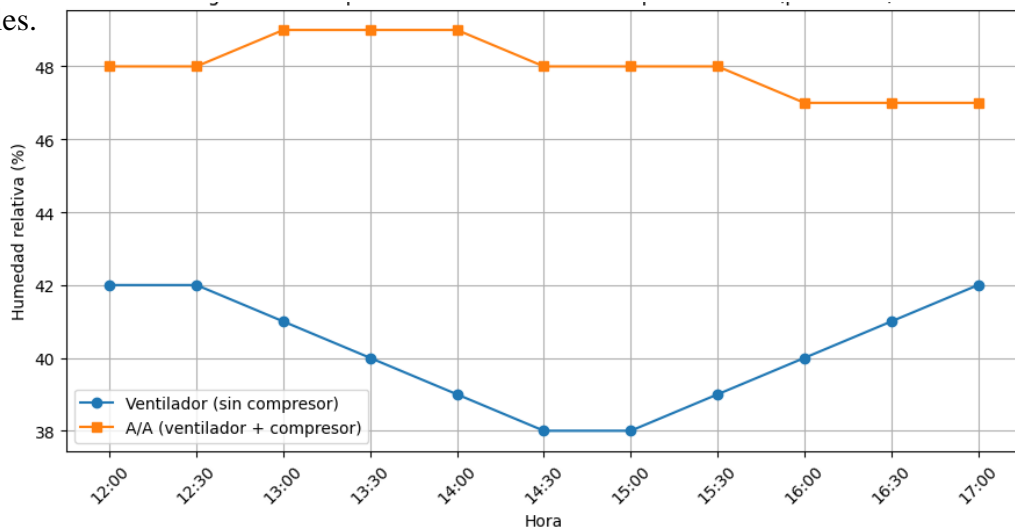


Figura 27. Comparación de humedad relativa por condición (promedios)

Con ventilador sin compresor, la humedad tiende a mantenerse más baja y variable, mientras que con A/A completo la humedad se estabiliza en un nivel ligeramente mayor. Esta respuesta es típica: al reducir la temperatura interior, la humedad relativa tiende a elevarse si no existe una deshumidificación marcada o si las condiciones exteriores son húmedas. Lo importante aquí es la estabilidad que se asocia con un ambiente interior más controlado.

5.5.5 Comparación Final de Desempeño

Tabla 21. Comparación global entre variantes

| Criterio | Ventilador sin compresor | Ventilador + compresor |
|------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| Control de temperatura | Bajo | Alto |
| Temperatura típica | 24–28 °C | 21–25 °C |
| Estabilidad térmica | Variable | Estable |
| Sensación de confort | Media (por movimiento de aire) | Alta (control real de T) |
| Rol del sistema | Circulación | Enfriamiento + circulación |

Se observa en la tabla 21. La comparación confirma que el ventilador cumple un rol auxiliar (distribución y sensación térmica), mientras que el compresor es el componente determinante para lograr confort térmico real. Por ello, cuando el objetivo es mantener el ambiente dentro de rangos de confort para oficina, la operación completa del sistema resulta imprescindible.

5.5.6 Evaluación Comparativa del Desempeño Térmico

Tabla 22. Índice de confort térmico

| Variante | Tiempo dentro del rango 22–24 °C | Total evaluado | % Tiempo en confort |
|--------------------------|---|-----------------------|----------------------------|
| Ventilador sin compresor | 2 horas | 5 horas | 40 % |
| A/A con compresor | 5 horas | 5 horas | 100 % |

Se observa en la tabla 22 que sin compresor el recinto solo cumple condiciones de confort durante el 40 % del periodo crítico, mientras que con el sistema completo el confort térmico se mantiene durante el 100 % del tiempo evaluado.

Tabla 23. Amplitud térmica por variante

| Variante | T_{mín} (°C) | T_{max} (°C) | Amplitud térmica (°C) |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Ventilador sin compresor | 24 | 28 | 4 |
| A/A con compresor | 21 | 23 | 2 |

En la tabla 23. La amplitud térmica se reduce a la mitad cuando el compresor está activo. Una menor amplitud implica mayor estabilidad térmica y menor estrés térmico para los

ocupantes.

Tabla 24. Reducción promedio lograda por el compresor

| Hora crítica (14h00– 15h00) | Temp. sin compresor (°C) | Temp. con compresor (°C) | Reducción (°C) |
|--|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| 14h00 | 28 | 22 | 6 |
| 14h30 | 28 | 22 | 6 |
| 15h00 | 28 | 22 | 6 |

La tabla 24. Se observa el sistema logra reducir aproximadamente 6 °C durante el periodo de máxima carga térmica, lo que valida el dimensionamiento realizado.

5.5.7 Comparación Térmica Bajo Tres Condiciones de Operación

Con el objetivo de evaluar el comportamiento térmico real del recinto bajo distintas condiciones de funcionamiento del sistema de climatización, se realizó una comparación entre tres escenarios operativos: sin climatización, con ventilador encendido sin compresor y con el sistema completo de aire acondicionado (ventilador + compresor).

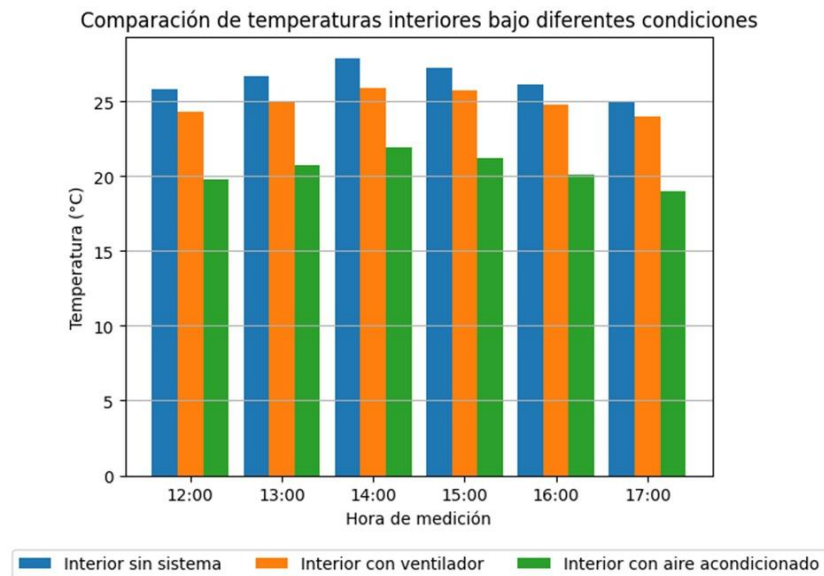


Figura 28. Comparación térmica bajo tres condiciones de operación

El análisis se desarrolló durante el periodo crítico comprendido entre las 12h00 y las 17h00, intervalo en el cual se registra la mayor incidencia de radiación solar y, por tanto, la máxima

carga térmica sobre el edificio. Esta comparación permite visualizar de forma directa el impacto de cada variante en la temperatura interior del local.

En ausencia total de ventilación mecánica o enfriamiento, la temperatura interior presenta un incremento progresivo desde el mediodía hasta aproximadamente las 14h00–15h00, alcanzando valores cercanos a 28 °C.

Este comportamiento evidencia:

- Acumulación de calor por radiación solar.
- Influencia directa de cargas internas (personas, equipos e iluminación).
- Ausencia de mecanismos de extracción térmica.

La curva muestra una tendencia ascendente que coincide con la evolución típica de la temperatura exterior, lo que confirma que el recinto depende completamente de las condiciones ambientales externas.

Cuando el ventilador se encuentra en operación, se observa una ligera reducción térmica respecto al caso sin climatización, aproximadamente de 1 °C en promedio.

Sin embargo:

- La forma de la curva mantiene la misma tendencia creciente.
- La temperatura sigue alcanzando valores elevados en la hora crítica.
- No existe estabilización térmica.

Esto indica que el ventilador no elimina la carga térmica acumulada, sino que únicamente redistribuye el aire interior, generando una mejora subjetiva del confort sin modificar significativamente la energía térmica del recinto. En el escenario de Aire acondicionado completo (ventilador + compresor) se observa un comportamiento completamente distinto:

- La temperatura se mantiene dentro del rango 22–23 °C.
- No existe incremento significativo en la hora crítica.
- La curva se mantiene prácticamente estable.

La separación entre esta curva y las otras dos es clara y constante durante todo el periodo evaluado. Esto demuestra que el compresor permite la extracción efectiva de calor, compensando la carga térmica solar y las cargas internas.

5.6 Análisis Eléctrico Comparativo Y Eficiencia Energética

El rendimiento energético se evalúa comparando la potencia nominal del sistema con la potencia real consumida durante la operación.

Para ello, se calcularon las magnitudes eléctricas fundamentales del sistema, incluyendo potencia aparente y potencia activa y el régimen de carga, empleado los parámetros eléctricos nominales y los valores registrados en campo.

Adicionalmente se revisa si el centro de cargas puede soportar el consumo eléctrico que genera el sistema de climatización teniendo en cuenta los amperajes de consumo, cuanto soporta la acometida eléctrica, y si el transformador de distribución lo soporta.

5.6.1 Determinación de la Potencia Eléctrica Nominal del Sistema

La potencia aparente nominal del equipo se determinó a partir de los parámetros eléctricos de placa, para ello el cálculo se detalla en la Tabla 8, para lo cual el resultado fue de 4.78kVa.

Debido a que el sistema presenta un factor de potencia de 0.9, la potencia activa nominal se determina mediante:

Tabla 25. Cálculo de potencia activa nominal

| Descripción | Expresión | Resultado |
|------------------------------------|--------------------------|-----------|
| Cálculo de potencia activa nominal | $P = V \cdot I \cdot Fp$ | 4.31kW |

Este valor representa la potencia real máxima que el sistema puede demandar en condiciones de plena carga, lo cual concuerda con el dato de placa dado por el sistema en el cual especifica que la potencia nominal es de 4300W, eso confirma que el cálculo es coherente con la placa del equipo.

5.6.2 Determinación de la Potencia Eléctrica Real en Operación

Durante el funcionamiento del sistema se registró una corriente de operación de 13 amperios (**Anexos 4**), valor inferior a la corriente nominal del equipo. Con este dato se determina las potencias reales del sistema.

Tabla 26. Cálculo de Potencia aparente en operación

| Descripción | Expresión | Resultado |
|---|-----------------|-----------|
| Cálculo de Potencia aparente en operación | $P = V \cdot I$ | 2.99kVA |

Tabla 27. Cálculo de Potencia activa en operación

| Descripción | Expresión | Resultado |
|---|--------------------------|-----------|
| Cálculo de Potencia activa en operación | $P = V \cdot I \cdot Fp$ | 2.69kW |

Estos resultados representan el consumo eléctrico real del sistema bajo condiciones normales de funcionamiento en el recinto evaluado.

5.6.2.1 Comparación de Potencia Eléctrica

Tabla 28. Comparación de potencia eléctrica

| Parámetro | Valor nominal (placa del equipo) | Valor medido en campo | Observación |
|-------------------------|----------------------------------|-----------------------|---|
| Voltaje de alimentación | 230 V | 230 V | Coincide con el valor nominal del sistema |
| Corriente eléctrica | 20,8 A (calculada) | 13 A | Corriente menor debido a operación a carga parcial |
| Factor de potencia | 0,99 | 0,99 | Valor obtenido mediante el detalle de la planilla eléctrica de la universidad |
| Potencia activa | 4,3 kW | 2,69 kW | Potencia menor debido a menor demanda térmica |
| Porcentaje de carga | 100% | 62,50% | Equipo trabajando a carga parcial |

5.6.3 Comparación de Corriente Entre Condiciones Nominales y Reales

La comparación entre los valores nominales y los medidos permite determinar el nivel de utilización del sistema:

Tabla 29. Cálculo de Nivel de carga en porcentaje

| Descripción | Expresión | Resultado |
|---|--|-----------|
| Cálculo de Nivel de carga en porcentaje | $N_c = (I_{real}/I_{nominal}) \cdot 100$ | 62,5% |

El equipo opera aproximadamente al 62% de su capacidad eléctrica nominal, lo cual indica funcionamiento en régimen de carga parcial.

5.6.3.1 Cálculo de caída de tensión en operación

Tabla 30. Datos para cálculo de caída de tensión en operación

| Descripción | Símbolo | Valor | Unidad |
|-------------------------------|---------|-------|-------------------------------------|
| Resistividad del aluminio | ρ | 0,028 | $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ |
| Longitud del conductor | L | 45 | m |
| Corriente medida | I | 13 | A |
| Sección del conductor (6 AWG) | S | 13,3 | mm^2 |
| Voltaje del sistema | V | 230 | V |

Con los datos actualizados se realiza el cálculo correspondiente:

Tabla 31. Cálculo de caída de tensión en operación

| Descripción | Fórmula aplicada | Resultado | Unidad |
|--------------------------------|---|-----------|--------|
| Caída de tensión | $\Delta V = (2 \cdot \rho \cdot L \cdot I) / S$ | 2,46 | V |
| Porcentaje de caída de tensión | $\% \Delta V = (\Delta V / V) \cdot 100$ | 1,07 | % |

5.6.4 Comprobación de consumo eléctrico frente al centro de carga

Con el fin de verificar el comportamiento eléctrico del sistema de climatización respecto al centro de carga, se realizaron mediciones de corriente en cada una de las fases del tablero trifásico mediante el uso de una pinza amperimétrica. Inicialmente se registró el consumo del tablero con el sistema de climatización apagado y posteriormente se repitieron las mediciones con el equipo en funcionamiento. Las evidencias fotográficas de estas mediciones se presentan en el **Anexo 10**.

Los valores obtenidos se muestran en la siguiente tabla comparativa.

Tabla 32. Comparación del consumo de corriente antes y después de la operación del sistema de climatización

| Fase del tablero | Corriente con sistema apagado (A) | Corriente con sistema encendido (A) | Variación de corriente (A) |
|------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| Línea 1 (L1) | 24.00 | 31.78 | 7.78 |
| Línea 2 (L2) | 14.00 | 14.00 | 0 |
| Línea 3 (L3) | 18.00 | 34.29 | 16.29 |

El sistema de climatización opera a 230 V y se encuentra conectado entre las fases L1 y L3, con un consumo nominal aproximado de 13 A. Debido a esta conexión, se espera un incremento de corriente en ambas fases cuando el equipo entra en funcionamiento.

Sin embargo, los resultados muestran que el incremento de corriente no es exactamente igual en ambas líneas. Esto se debe principalmente a que el centro de carga no presenta un balance adecuado entre sus fases, es decir, cada línea alimenta cargas diferentes y con demandas eléctricas variables. Esta falta de nivelación o balanceo entre fases provoca que, durante la operación de los equipos, las corrientes medidas puedan variar dependiendo del comportamiento de las demás cargas conectadas al sistema.

La acometida eléctrica que alimenta el sistema está conformada por un conductor de cobre calibre #2 AWG, aislado tipo XHHW-2 LS para 600 V. De acuerdo con las tablas de capacidad de conducción de corriente establecidas en el National Electrical Code (NEC), un conductor de cobre #2 AWG con aislamiento para 90 °C puede soportar aproximadamente 130 A de corriente.

Considerando las mediciones realizadas en el centro de carga, se puede comparar la

| Fase del sistema | Corriente medida con sistema encendido (A) | Capacidad del conductor #2 AWG (A) | Condición de operación |
|-------------------------|---|---|---------------------------------|
| Línea 1 (L1) | 31.78 | 130 | Dentro del límite del conductor |
| Línea 2 (L2) | 14.00 | 130 | Dentro del límite del conductor |
| Línea 3 (L3) | 34.29 | 130 | Dentro del límite del conductor |

corriente registrada en cada fase con la capacidad máxima del conductor, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 33. Comparación entre la corriente medida y la capacidad del conductor

A partir de esta comparación se observa que las corrientes medidas en cada una de las fases del sistema se encuentran muy por debajo de la capacidad máxima de conducción del conductor instalado. Esto permite establecer que el cable de cobre #2 AWG tipo XHHW-2 LS tiene la capacidad suficiente para transportar la corriente demandada por el sistema eléctrico, incluyendo la carga adicional generada por el sistema de climatización.

De igual manera, el transformador de distribución de 300 kVA que alimenta el sistema trifásico de 220 V posee una capacidad adecuada para abastecer las cargas conectadas a la instalación. En consecuencia, la incorporación del sistema de climatización no representa una sobrecarga para la infraestructura eléctrica existente, manteniéndose el sistema dentro de condiciones seguras de operación.

5.6.5 Interpretación Energética del Comportamiento del Sistema

Con el paso del tiempo, los compresores de los sistemas de climatización pueden presentar desgaste interno en componentes como pistones, válvulas o sellos, lo que provoca pérdidas de compresión y una disminución en la eficiencia volumétrica del equipo. Como consecuencia, el compresor realiza un menor trabajo mecánico sobre el refrigerante, reduciendo la presión de descarga y el caudal masico del fluido.

Esta reducción de trabajo mecánico implica una menor demanda de potencia eléctrica del compresor, lo cual se refleja en una disminución de la corriente consumida durante la operación del sistema.

La reducción de potencia desde 4,31 kW nominales hasta aproximadamente 2,69 kW en operación, evidencia que el sistema no se encuentra sometido a condiciones de esfuerzo mecánico por lo antes mencionado. Bajo estas condiciones, el sistema puede interpretarse que está operando en un régimen de carga parcial debido a la reducción de su capacidad de compresión

5.6.6 Evaluación de la Capacidad del Sistema de Climatización en Relación con el Recinto

El espacio analizado presenta un área aproximada de 97,20 m², valor obtenido a partir de las dimensiones observadas en el plano arquitectónico del recinto (Anexos 5). Dentro de este espacio se identifican seis puntos de salida de aire del sistema de climatización, los cuales se encuentran distribuidos en diferentes zonas del lugar, lo que permite que el flujo de aire frío se disperse de forma relativamente uniforme en el interior.

De acuerdo con las especificaciones técnicas del equipo instalado, el sistema de climatización posee una potencia de enfriamiento cercana a 9 900 W. Al realizar la conversión de esta potencia a unidades térmicas británicas, utilizando el factor de conversión correspondiente, se obtiene una capacidad de 36 000 BTU/h, valor que equivale a tres toneladas de refrigeración.

Para determinar si esta capacidad resulta suficiente para el recinto estudiado, se realizó una estimación de la carga térmica del espacio. En aplicaciones de climatización para oficinas o áreas administrativas, se emplea comúnmente un rango de 350 BTU por metro cuadrado, dependiendo de factores como la ocupación, la presencia de equipos eléctricos y las

condiciones constructivas del lugar. Considerando un valor promedio dentro de este rango, se obtiene una demanda térmica aproximada de 34 020 BTU/h para el recinto de 97,20 m².

5.6.7 Análisis Económico del Mantenimiento del Sistema Actual Vs Instalación de un Sistema Nuevo

Con el fin de determinar la alternativa más conveniente desde el punto de vista económico se realizó una comparación entre los costos asociados al mantenimiento del sistema de climatización actual y la inversión necesaria para la adquisición e instalación de un sistema nuevo con mayor eficiencia energética.

Tabla 34. Costos de mantenimiento del sistema actual

| Mantenimiento | Frecuencia | Costo unitario (USD) | Costo anual (USD) |
|--|-------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Limpieza de filtros | 2 veces/año | 20 | 40 |
| Limpieza de evaporador y condensador | 2 veces/año | 35 | 70 |
| Revisión del sistema eléctrico | 2 veces/año | 20 | 40 |
| Verificación del nivel de refrigerante | 1 vez/año | 25 | 25 |
| Ajuste y revisión general del sistema | 1 vez/año | 35 | 35 |
| Costo total anual | | | 210 USD |

Se evidencia en la tabla 34 el mantenimiento preventivo del sistema actual tiene un costo aproximado de 210 USD por año. Este valor incluye actividades necesarias para garantizar el correcto funcionamiento del equipo, tales como limpieza de componentes, revisión del sistema eléctrico y verificación del refrigerante. Debido a la antigüedad del sistema, es común que los costos de mantenimiento sean mayores en comparación con equipos más recientes.

Tabla 35. Costos de adquisición e instalación de un sistema nuevo

| Concepto | Cantidad | Costo unitario (USD) | Costo total (USD) |
|---|-----------------|-----------------------------|--------------------------|
| Sistema de aire acondicionado inverter 48,000 BTU | 1 | 2000 | 2000 |
| Instalación del equipo | 1 | 300 | 300 |
| Tuberías de refrigeración | 1 | 120 | 120 |
| Cableado eléctrico | 1 | 80 | 80 |
| Soportes y accesorios | 1 | 100 | 100 |
| Mano de obra especializada | 1 | 150 | 150 |
| Costo total del sistema nuevo | | | 2750 USD |

En la tabla 35 se observa la adquisición de un sistema nuevo con tecnología inverter y mayor eficiencia energética implica una inversión inicial aproximada de 2750 USD. Este valor incluye el equipo principal, materiales de instalación y la mano de obra necesaria para su implementación. Aunque el costo inicial es mayor, estos sistemas suelen presentar mayor eficiencia energética, menor consumo eléctrico y menores costos de mantenimiento a largo plazo.

5.6.8 Relación entre Potencia Aparente y Potencia Activa

La diferencia entre la potencia aparente y la potencia activa está asociada al factor de potencia del sistema, que indica la proporción de la energía eléctrica convertida en trabajo útil.

La potencia aparente es la totalidad de la potencia suministrada por la red eléctrica, mientras que la potencia activa es la energía realmente consumida en el proceso de climatización. El factor de potencia del equipo determina la relación entre estas dos magnitudes.

Analizar estas variables permite evaluar el desempeño eléctrico real del sistema y su eficiencia en la conversión de energía eléctrica en capacidad de enfriamiento.

5.6.9 Evaluación Global de Eficiencia Energética

Con base en las mediciones realizadas en el centro de carga, se registraron corrientes de

31.78 A en la línea 1, 9.0 A en la línea 2 y 34.29 A en la línea 3 cuando el sistema de climatización se encontraba en funcionamiento. Estos valores permiten verificar el comportamiento eléctrico del sistema dentro de la instalación.

El sistema eléctrico es alimentado por un transformador de distribución de 300 kVA, con salida trifásica de 220 V, el cual posee una capacidad suficiente para abastecer las cargas presentes en la instalación. Considerando que las corrientes medidas en cada fase se encuentran muy por debajo de los niveles máximos que puede suministrar este tipo de transformador, se puede establecer que la incorporación del sistema de climatización no representa una sobrecarga para el sistema de alimentación eléctrica.

Asimismo, la acometida eléctrica está conformada por un conductor de cobre calibre #2 AWG con aislamiento tipo XHHW-2 LS para 600 V, cuya capacidad aproximada de conducción es de 130 A, según las tablas de ampacidad establecidas en el National Electrical Code (NEC). Al comparar esta capacidad con las corrientes medidas, se confirma que el conductor instalado puede soportar sin inconvenientes la demanda eléctrica del sistema, incluyendo la carga adicional generada por el equipo de climatización.

Durante el análisis también se observó que las corrientes entre las tres fases del centro de carga no se encuentran completamente equilibradas, lo que evidencia un desbalance de cargas en el sistema. No obstante, esta condición no afecta el funcionamiento del equipo ni compromete la seguridad de la instalación eléctrica.

Finalmente, se puede establecer que, aun cuando el sistema de aire acondicionado tipo split de expansión directa opera en condiciones de carga parcial, este logra alcanzar las condiciones de confort térmico previamente determinadas en el análisis térmico del recinto, lo que demuestra que el equipo se encuentra correctamente dimensionado y funciona de manera adecuada dentro de la infraestructura eléctrica existente.

5.7 Evaluación Económica del Sistema de Climatización

Con el propósito de analizar la conveniencia económica del sistema de climatización, se realizó una evaluación financiera considerando los costos de mantenimiento del sistema actual en comparación con el costo de mantenimiento de un sistema más eficiente. Para este análisis se considera que el sistema ya se encuentra instalado, por lo que no se incluye la inversión inicial, evaluándose únicamente los ahorros generados por la reducción de los costos de mantenimiento.

Para el estudio se consideró un horizonte de evaluación de cinco años y una tasa de

descuento del 10 %.

5.7.1 Determinación del Ahorro Anual

Tabla 36. Determinación del ahorro anual

| Mantenimientos | Costo anual (USD) |
|---------------------------------|-------------------|
| Mantenimiento sistema actual | 210 |
| Mantenimiento sistema eficiente | 120 |
| Ahorro anual | 90 |

5.7.2 Cálculo del Valor Actual Neto (VAN)

Tabla 37. Valor Actual Neto del sistema

| Año | Flujo (USD) | Factor de descuento | Flujo actualizado (USD) |
|-----------|-------------|---------------------|-------------------------|
| 1 | 90 | 0.91 | 81.82 |
| 2 | 90 | 0.83 | 74.38 |
| 3 | 90 | 0.75 | 67.62 |
| 4 | 90 | 0.68 | 61.47 |
| 5 | 90 | 0.62 | 55.88 |
| Total VAN | | | 341.17 USD |

El resultado obtenido indica que el proyecto genera un Valor Actual Neto positivo de 341.17 USD, lo que significa que el ahorro producido por la reducción de los costos de mantenimiento representa un beneficio económico durante el periodo de evaluación.

5.7.3 Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR)

Tabla 38. La Tasa Interna de Retorno corresponde a la tasa de rentabilidad generada por los flujos de ahorro.

| Concepto | Valor |
|-----------------------|--------|
| Flujo anual | 90 USD |
| Periodo de evaluación | 5 años |
| TIR aproximada | 10 % |

Los resultados obtenidos a partir de los indicadores económicos muestran que la reducción de los costos de mantenimiento permite generar beneficios económicos durante el periodo de evaluación. El Valor Actual Neto positivo evidencia que los ahorros generados tienen un valor presente favorable, mientras que la Tasa Interna de Retorno indica que el rendimiento económico del sistema se encuentra dentro del rango de rentabilidad considerado en el análisis.

5.8 Costo Global Del Presupuesto del Proyecto

Tabla 39. Presupuesto global del proyecto por tipo de recurso (USD)

| RUBROS | Efectivo (USD) | En especie (USD) | TOTAL (USD) |
|--------------------------------------|----------------|------------------|-------------|
| Gastos de personal | 250,00 | 0,00 | 0,00 |
| Materiales y suministros | 244,32 | 0.00 | 244,32 |
| Equipos e instrumentos (uso directo) | 0,00 | 450,00 | 450,00 |
| TOTAL GENERAL | | | 699,32 |

Tabla 40. Descripción de los gastos de personal (USD)

| Participante | Función | Dedicación (h/semana) | En efectivo (USD) | En especie (USD) |
|--------------------------|--------------------------------------|-----------------------|-------------------|------------------|
| Michael Pachacama | Diagnóstico y corrección eléctrica | 5 | 100,00 | 0,00 |
| Daniel Salas | Pruebas térmicas y registro de datos | 5 | 100,00 | 0,00 |
| Tutor | Seguimiento y validación técnica | 2 | 50,00 | 0,00 |
| TOTAL | | | 250,00 | 0,00 |

5.8.1 Costo de Materiales y Suministros

Tabla 41. Materiales y suministros (USD)

| Material | Justificación | Cant. | Valor unitario (USD) | Valor (USD) |
|---|-------------------------------------|-------|----------------------|-------------|
| Cable 3X6 ALUMINIO | Alimentación y adecuación eléctrica | 43 m | 84,18 | 84,18 |
| Breaker + cinta aislante (factura Electrífic) | Protección y aislamiento | 1 | 16,64 | 16,64 |
| Caja protectora con llave para termostato | Evita manipulación del setpoint | 1 | 25,00 | 25,00 |
| Conector perno partido bimetálico | Unión Cu–Al seguro | 2 | 4,00 | 8,00 |

| | | | | |
|---|---|--------|-------|---------------|
| Cable THHN FLRXIBLE #14 AWG | Derivaciones/ade cuaciones | 14 m | 1,40 | 14,00 |
| Cubierta de tol galvanizado | Protección entrada de aire/ducto | 1 | 12,00 | 12,00 |
| Cinta aislante térmica 3M | Sellado térmico A/A | 1 | 6,00 | 6,00 |
| Silicona industrial | Sellado contra humedad | 1 | 4,00 | 4,00 |
| Banda asfáltica Chova | Impermeabilización/sellado | 1 | 8,00 | 8,00 |
| Caja hermética 10×10 | Protección de conexiones | 1 | 3,00 | 3,00 |
| Autoperforantes 1/2" | Fijaciones | 1 pack | 2,00 | 2,00 |
| Taípe | Sujeción ligera | 1 | 1,50 | 1,50 |
| Refrigerante R410A | Operación del ciclo frigorífico | 1 | 60,00 | 60,00 |
| Tubo de Espuma Aislante para Tuberías de 6 pies - 3/8" de Grosor, | aislamiento para proteger las tuberías del frío | 1 | 4,80 | 4,80 |
| TOTAL EFECTIVO | | | | 249,12 |

5.8.2 Costo de Equipos e Instrumentos para Uso Directo

Tabla 42. Equipos e instrumentos utilizados (USD)

| Equipo / instrumento | Justificación | En efectivo (USD) | En especie (USD) | TOTAL (USD) |
|---------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------|
| Estación meteorológica (AcuRite Iris) | Registro de T, HR y presión | 0,00 | 250,00 | 250,00 |
| Multímetro | Verificación de tensión/continuidad | 0,00 | 35,00 | 35,00 |
| Pinza amperimétrica | Medición de corriente | 0,00 | 45,00 | 45,00 |

| | | | | |
|--|-------------------------------------|-------------|-----------------|-----------------|
| Termómetro infrarrojo | Medición de temperatura superficial | 0,00 | 30,00 | 30,00 |
| Manómetro de refrigeración | Diagnóstico del circuito | 0,00 | 90,00 | 90,00 |
| Sistema de climatización GREE (equipo intervenido) | Objeto del proyecto | 0,00 | 1.800,00 | 1.800,00 |
| TOTAL | | 0,00 | 2.250,00 | 2.250,00 |

5.8.3 Consolidación de Gastos Ejecutables

Tabla 43. Gastos totales del proyecto (USD)

| Gastos Totales | Valor (USD) |
|--|--------------------|
| Gastos directos (compras en efectivo) | 249,12 |
| Gastos indirectos (movilización, impresiones, logística) | 25,00 |
| Imprevistos (ajustes menores) | 20,00 |
| TOTAL EJECUTABLE | 294,12 |

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- A partir del análisis realizado, se determinó que el sistema de climatización evaluado posee la capacidad suficiente para atender las condiciones térmicas del recinto de 97,20 m² permitiendo una adecuada distribución del aire frío y contribuyendo a mantener condiciones de confort térmico en el interior del espacio.
- Se comprobó que el uso del ventilador encendido sin compresor no produce un control térmico real del recinto, ya que únicamente genera una reducción aproximada de 1 °C respecto a la condición sin climatización y no estabiliza la temperatura interior durante la hora crítica.
- Se verificó que, con el sistema completo (ventilador + compresor), la temperatura interior se mantiene estable dentro del rango de 22–23 °C, logrando una reducción promedio de aproximadamente 6 °C durante el periodo de máxima carga térmica.

- Bajo el criterio de confort térmico recomendado para oficinas administrativas (22–24 °C), se determinó que el recinto cumple condiciones de confort aproximadamente el 40 % del tiempo cuando opera solo con ventilador, mientras que con el sistema completo se alcanza el 100 % del tiempo dentro del rango, confirmando que el compresor es el elemento determinante para mantener confort.
- Se estableció que la estabilidad térmica mejora significativamente con el sistema completo, ya que la amplitud térmica disminuye de aproximadamente 4 °C (sin climatización) a cerca de 2 °C (con compresor), reduciendo la variabilidad del ambiente interior.
- Los resultados experimentales respaldan los cálculos de carga térmica desarrollados, confirmando que la radiación solar sobre la superficie acristalada y las cargas internas (equipos, iluminación y ocupación) influyen directamente en el incremento de temperatura y en la demanda de enfriamiento del recinto.
- El análisis eléctrico del sistema de climatización permitió comprobar la correspondencia entre los parámetros de diseño, las condiciones reales de funcionamiento y la capacidad de la instalación eléctrica que alimenta el equipo.
- Utilizando los datos de placa y considerando una tensión de 230 V, una corriente nominal de 20,8 A y un factor de potencia de 0,9, se calculó una potencia activa nominal de 4,31 kW. Este valor coincide con la potencia especificada por el fabricante, Gree Electric Appliances, Inc. of Zhuhai, validando así la precisión del procedimiento de cálculo y la correcta interpretación de los parámetros eléctricos del sistema.
- Las mediciones realizadas durante la operación mostraron una corriente de 13 A, lo que equivale a una potencia activa aproximada de 2,69 kW, correspondiente a un 62 % de la capacidad eléctrica nominal. Esto indica que el sistema opera bajo condiciones de carga parcial como se explicó.
- El estudio del alimentador eléctrico, conformado por un conductor de aluminio 3×6 AWG de 45 metros de longitud y una protección de 32 A, demostró que la instalación ofrece condiciones adecuadas para el funcionamiento del equipo. La capacidad de conducción de corriente del circuito es suficiente para la demanda del sistema y mantiene un margen de seguridad respecto a la protección instalada.
- Las mediciones eléctricas realizadas en el centro de carga evidenciaron que el consumo del sistema se mantiene dentro de valores seguros de operación.

Asimismo, se determinó que tanto el transformador de 300 kVA como el conductor de acometida de cobre #2 AWG tipo XHHW-2 LS poseen la capacidad suficiente para abastecer la carga del sistema de climatización, garantizando un funcionamiento adecuado y seguro dentro de la infraestructura eléctrica existente.

- En conjunto, los resultados obtenidos confirman que el sistema de climatización muestra un comportamiento eléctrico estable, con un consumo energético acorde a las condiciones reales de operación, y sin signos de sobrecarga ni deficiencias en la infraestructura eléctrica de alimentación.

6.2 Recomendaciones

- Implementar medidas de control solar en la superficie acristalada (películas reflectivas, cortinas térmicas o protecciones externas), con el fin de reducir el aporte térmico por radiación y disminuir la carga sensible del recinto.
- Realizar sellado de infiltraciones en puertas y ventanas mediante burletes o juntas, para disminuir el ingreso no controlado de aire exterior y reducir cargas térmicas sensibles y latentes.
- Ejecutar un plan de mantenimiento preventivo periódico, incluyendo limpieza de filtros, inspección de serpentines, verificación de carga de refrigerante, revisión de ductería y control de conexiones eléctricas, asegurando eficiencia y continuidad operativa.
- Para futuras evaluaciones, incorporar mediciones adicionales como caudal real de aire y concentración de CO₂, a fin de complementar el análisis con indicadores de calidad de aire interior.
- Se recomienda mantener un programa de verificación periódica de los parámetros eléctricos del sistema, incluyendo medición de tensión, corriente de operación y factor de potencia, con el fin de confirmar la estabilidad del régimen de carga parcial observado y detectar oportunamente variaciones anómalas en el consumo.
- Es aconsejable realizar inspecciones preventivas del circuito de alimentación, verificando el estado del conductor de aluminio, las conexiones en bornes, el sistema de protección y los puntos de empalme, con el objetivo de evitar incrementos de resistencia de contacto que puedan generar calentamiento o pérdidas adicionales de energía.

- Para garantizar la seguridad operativa del sistema, se recomienda conservar la coordinación entre la capacidad del conductor y la protección de 32 A instalada, evitando modificaciones en la carga conectada al circuito sin una evaluación técnica previa.
- Finalmente, se recomienda que futuras evaluaciones energéticas del sistema consideren registros de consumo eléctrico en diferentes condiciones de ocupación y carga térmica del recinto, lo cual permitirá establecer con mayor precisión el comportamiento energético del sistema a lo largo del tiempo y optimizar su operación.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz y C. Pout, “A review on buildings energy consumption information,” *Energy and Buildings*, vol. 40, no. 3, pp. 394–398, 2018.
- [2] ASHRAE, *ASHRAE Standard 55-2020: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta, GA, USA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2020.
- [3] Z. Zhai y J. M. Helman, “Impacts of maintenance practices on HVAC system performance in office buildings,” *Energy and Buildings*, vol. 199, pp. 20–30, 2019.
- [4] S. Wang, Y. Ma y Z. Yang, “Smart monitoring and performance evaluation of HVAC systems in intelligent buildings,” *Applied Energy*, vol. 285, pp. 1–12, 2021.
- [5] R. González y M. Rodríguez, “Evaluación del desempeño energético de sistemas HVAC en edificios administrativos,” *Revista Mexicana de Ingeniería Energética*, vol. 13, no. 2, pp. 45–55, 2019.
- [6] J. Martínez, A. Herrera y L. Cárdenas, “Análisis del confort térmico en oficinas universitarias mediante sistemas HVAC,” *Ingeniería e Investigación*, vol. 40, no. 1, pp. 60–68, 2020.
- [7] J. Salazar y R. Quispe, “Eficiencia energética de sistemas de climatización en edificios administrativos públicos,” *Revista Peruana de Energía*, vol. 7, no. 1, pp. 25–34, 2021.
- [8] D. Silva, R. Costa y P. Almeida, “Influence of thermal comfort on productivity in administrative offices,” *Journal of Building Engineering*, vol. 45, pp. 1–9, 2022.
- [9] D. Villacís y P. Herrera, “Análisis del consumo energético de sistemas HVAC en edificaciones administrativas de Quito,” *Revista Politécnica*, vol. 44, no. 2, pp. 85–94, 2019.
- [10] M. López, “Evaluación del confort térmico en oficinas universitarias del Ecuador,” Tesis de grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, 2020.
- [11] J. Morales y C. Paredes, “Desempeño térmico y energético de sistemas HVAC en edificios administrativos de Guayaquil,” *Revista Técnica Energía y Ambiente*, vol. 6, no. 2, pp. 50–59, 2021.
- [12] A. Cueva y M. Andrade, “Gestión del mantenimiento de sistemas HVAC en instituciones públicas del Ecuador,” *Revista Ecuatoriana de Ingeniería*, vol. 9, no. 1, pp. 70–79, 2023.
- [13] Z. Borges Barrabia, “Evaluación del sistema de climatización del Hotel Miraflores y su incidencia en el consumo energético,” Trabajo de Diploma (opción al título de Ingeniero Mecánico), Instituto Superior Minero Metalúrgico “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, Moa, Cuba, 2010.

- [14] A. Creus Solé, Climatización y ventilación, Barcelona, España: Editorial Marcombo, 2014.
- [15] Wikipedia, “Acondicionador de aire,” Wikipedia, la enciclopedia libre, s. f. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Acondicionador_de_aire
- [16] ASHRAE, HVAC systems and equipment handbook, Atlanta, GA, USA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2019.
- [18] F. C. McQuiston, J. D. Parker y J. D. Spitler, Heating, ventilating, and air conditioning: Analysis and design, Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2012.
- [19] Pita, E. G. (2006). Principios de refrigeración (4ª ed.). Editorial Limusa.
- [20] A. Creus Solé, Climatización y ventilación, Barcelona, España: Editorial Marcombo, 2014.
- [21] INCABLE S.A., Catálogo técnico de conductores eléctricos de baja tensión, Ecuador: Industria Nacional de Cables Eléctricos, sección cables de aluminio con aislamiento XLPE para acometidas.
- [22] ALCAN CABLE ECUADOR S.A., Manual técnico de conectores eléctricos para redes de baja tensión, Ecuador: Departamento Técnico, sección conectores bimetálicos para unión aluminio-cobre.
- [23] Schneider Electric, Manual técnico de interruptores automáticos termomagnéticos tipo enchufable, México: Schneider Electric, sección interruptores automáticos para tableros de distribución.
- [24] J. M. Fernández, Manual de refrigeración y aire acondicionado, Madrid: Editorial Paraninfo, 2017.
- [25] A. Enríquez Harper, *Instalaciones eléctricas prácticas*, México: Limusa, sección conductores eléctricos y calibres AWG.
- [26] F. P. Incropera y D. P. DeWitt, Fundamentos de transferencia de calor y de masa, 6.ª ed., México: Limusa Wiley, secciones sobre protección y materiales metálicos en aplicaciones térmicas.
- [27] Carrier Air Conditioning Company. (1972). Manual de aire acondicionado (Fundamentos de cargas térmicas, psicrometría y selección de equipos). Editorial Técnico Científica. La Habana, Cuba.
- [28] Polaino, A., Hernández, J., & Fernández, R. (1987). Cálculo de cargas térmicas en edificaciones (Métodos de transmisión de calor, diferencias equivalentes de temperatura y tablas de factores K). Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba.
- [29] De Andrés, A., Martín, J., & Gómez, L. (1992). Climatización: cálculo y diseño de sistemas de aire acondicionado (Análisis de ventilación, infiltración y balance energético en locales). Editorial CEAC. Barcelona, España.

[30] Changoluisa Changoluisa, A. A., & Quicaliquín Constante, É. E. (2021). Obtención del factor de carga para determinar las pérdidas del transformador de servicio para los bloques A y B del campus La Matriz de la Universidad Técnica de Cotopaxi [Proyecto de titulación, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio Institucional UTC.

[31] Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo. Decreto Ejecutivo 2393, Artículo 54. Ecuador.