



TESIS

“Selección de un Equipo de Aire Acondicionado y el Gas Refrigerante
Óptimos para un Laboratorio de Reparación y Mantenimiento de Cajeros
Automáticos”

Para obtener el título de:

Licenciada en Ingeniería en Tecnología del Frío

P R E S E N T A:

Evelin Casandra Franco Espinosa

No. de cuenta: 340797

Director

José Alfredo Pescador Rojas.

Codirector

Mtro. Arturo Torres Mendoza



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Escuela Superior de Apan
Campus Apan

22 de mayo de 2025, Apan, Hidalgo, México.

Autorización de impresión de Tesis

Dr. Julio Valle Hernández

Coordinador de Licenciatura en Ingeniería en Tecnología del Frío

Presente

Primeramente, permítame saludarle e informarle que de acuerdo a: **La ley orgánica de la Universidad** en su Título primero: Capítulo II artículo 3 y fracciones I, II, III; del Estatuto General Título primero: Capítulo I artículo 2 fracciones II, XIV; Capítulo II artículo 4; Capítulo III artículo 9. Título quinto: Capítulo II artículo 114 fracción IX; Capítulo V artículo 137 fracción V; además del **Reglamento de Titulación** en su Título cuarto y Capítulo I artículo 36, artículo 37, artículo 38, artículo 39, artículo 40 y artículo 41, los abajo firmantes, integrantes del jurado para el examen recepcional del trabajo titulado:

Selección de un Equipo de Aire Acondicionado y el Gas Refrigerante Óptimos para un Laboratorio de Reparación y Mantenimiento de Cajeros Automáticos.

Realizado por el estudiante: Evelin Casandra Franco Espinosa

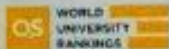
Una vez revisado el trabajo y atendidas las recomendaciones por el sustentante, tiene a bien emitir su voto favorable para la impresión de la tesis.

Nombramiento	Nombre	Firma
Presidente.	Dr. Pablo Antonio López Pérez	
Secretario.	Dr. Luis Alberto Hernández Hernández	
Primer Vocal.	Dr. José Alfredo Pescador Rojas	
Segundo Vocal.	Mtro. Arturo Torres Mendoza	
Tercer Vocal.	Dr. Julio Valle Hernández	



Carretera Apan - Calpulapan Km. 8, Colonia Chimalpa
Tlalayote, Apan, Hidalgo, México C.P. 43900
Teléfono: 7717172000 Ext. 50901
esap@uaeh.edu.mx

"Amor, Orden y Progreso"



2025



uaeh.edu.mx

Dedicatoria

Dedico esta tesis, con profunda gratitud y cariño, a todas las personas que han sido parte fundamental de este camino, que no ha estado exento de desafíos, sacrificios y aprendizajes.

En primer lugar, a Dios, por ser mi guía y refugio en los momentos más difíciles, por darme fortaleza cuando sentí que no podía más, y por llenar mi vida de propósito y esperanza.

A mis padres, quienes con su amor incondicional, esfuerzo incansable y valores firmes me han dado el mayor regalo que un hijo puede recibir: la educación. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba, por sus palabras de aliento, por su paciencia infinita y por cada sacrificio silencioso que hicieron para que yo pudiera llegar hasta aquí. Esta meta también es de ustedes.

A mi familia, por estar presente con cariño, apoyo y comprensión. Cada conversación, cada abrazo, cada gesto de ánimo ha sido una fuente de energía invaluable para continuar.

A mí supervisor de trabajo por ser un faro de luz en los momentos más oscuros. Gracias por tu compañía, tus palabras de ánimo, y por recordarme que los sueños valen la pena, incluso cuando el camino se vuelve cuesta arriba.

A mis amigos, por su apoyo constante, por compartir risas, desvelos, frustraciones y logros. Ustedes han sido parte esencial de esta etapa; con cada palabra de ánimo, cada café compartido y cada charla llena de comprensión, me ayudaron a seguir adelante.

A mis profesores y mentores, por compartir sus conocimientos, por exigirme siempre lo mejor y por abrirme puertas que jamás imaginé cruzar. Su guía ha sido clave en mi formación personal y profesional.

Y finalmente, me dedico este logro a mí misma. A la persona que luchó, que dudó, que cayó y se levantó. A quien aprendió a ser paciente, a confiar en su proceso y a celebrar cada paso. A quien escribió estas páginas con esfuerzo, sueños y corazón. Gracias por no rendirte.

Esta tesis es más que un trabajo académico. Es un reflejo del camino recorrido, del amor recibido y del compromiso asumido. A todos los que fueron parte: gracias, de corazón

Resumen

Esta tesis propone mejorar la eficiencia térmica y garantizar el cumplimiento de las normativas ambientales vigentes (NOM-012-ENER-2019, NOM-EM-125-ECOL-1998 y NOM-026-ENER-2015) mediante la migración del refrigerante R-22 al R-410A en un laboratorio de mantenimiento de cajeros automáticos de una empresa de valores.

El R-22, ampliamente utilizado en sistemas de refrigeración, ha sido restringido debido a su impacto en la capa de ozono y su contribución al cambio climático. Ante este reto, el R-410A surge como una alternativa por su mayor eficiencia energética y un menor impacto ambiental.

El objetivo principal de esta investigación es implementar la transición entre los refrigerantes de manera eficiente y exitosa, asegurando la funcionalidad y eficiencia de los sistemas del aire acondicionado en el laboratorio, cumpliendo con las normativas vigentes mediante la evaluación y modificación de los sistemas existentes, para adaptarlos al refrigerante R-410A.

Para lograr este objetivo, este trabajo de tesis se centrará en los siguientes aspectos:

- La evaluación de los sistemas de refrigeración existentes en el laboratorio e identificación de las modificaciones necesarias para adaptarlos al refrigerante R-410A.
- El análisis de las propiedades térmicas y ambientales del refrigerante R-410A y su comparación con el R-22.
- El diseño e implementación de un plan de migración para cambiar el refrigerante R-22 por el refrigerante R-410A, en el laboratorio de mantenimiento.
- La medición de la eficiencia y el rendimiento de los sistemas de refrigeración después de la migración al refrigerante R-410A.

Este proyecto de investigación contribuirá a la mejora en la eficiencia térmica y la sostenibilidad ambiental en el laboratorio de mantenimiento de cajeros automáticos, y proporcionará una guía para la migración a refrigerantes más eficientes y respetuosos con el medio ambiente en contextos similares.

Índice

Capítulo 1. Equipos de aire acondicionado	21
1.1 Generalidades de un laboratorio de reparación y mantenimiento de cajeros automáticos.....	21
1.2 Tipos de equipos de aire acondicionado.	23
1.2.2 Aire acondicionado <i>split</i>	23
1.2.3 Aire acondicionado <i>multisplit</i>	23
1.2.4 Aire acondicionado <i>cassette</i>	24
1.2.5 Aire acondicionado por conductos.	24
1.2.6 Aire acondicionado reversible o Bomba de calor.	25
1.2.7 <i>Fan & Coil</i> o ventiloconvector.	25
1.2.8 <i>Roof top</i> o equipos en cubierta.	26
1.2.9 Enfriadoras de agua con recuperación de calor.	26
1.2.10 Aire acondicionado <i>inverter</i>	27
Capítulo 2. Gases para aire acondicionado.....	28
2.1 Generalidades.	28
2.2 Tipos de gases para aire acondicionado.	28
2.3 Gas refrigerante seleccionado para el equipo de aire acondicionado.....	33
Capítulo 3. Espacio físico por acondicionar y la selección del equipo de aire acondicionado.....	35
3.1 Cargas Térmicas Exteriores	37
3.1.1 Expresión general.....	38

3.1.2 Carga por radiación solar a través de cristal Q_{sr}	38
3.1.3 Carga por transmisión y radiación a través de paredes y techos. exteriores $Q_{str.}$	39
3.1.4 Condiciones interiores de diseño.	40
3.1.5 Carga por transmisión a través de paredes, techos, suelos y puertas interiores $Q_{st.}$	41
3.1.6 Carga transmitida por infiltraciones de aire exterior Q_{si}	41
3.2. Cargas Térmicas Interiores.	42
3.2.1 Ganancia de carga sensible debida a las aportaciones internas.	43
3.2.2 Carga sensible por iluminación Q_{sil}	43
3.2.3 La ganancia de carga sensible por iluminación.	44
3.2.4 Carga sensible por ocupantes $Q_{sp.}$	44
3.2.5 Calor latente y sensible desprendido por persona.	45
3.2.6 Carga sensible por aparatos eléctricos Q_{se}	46
3.2.7 Carga sensible total Q_s	46
3.3 Selección de equipo.	47
3.3.1 Compresor.	47
3.3.1.1 Ventajas del compresor <i>scroll</i>	47
3.3.1.2 Eficiencia energética.	47
3.3.2 Evaporador.	50
3.3.2.1 Definición de la evaporadora piso techo.	50
3.3.2.2 Importancia de la evaporadora piso techo.	51
3.4 Condiciones ambientales.	53
3.5 Control automático y electrónico.	55

3.6 Distribución del Proyecto de Aire acondicionado en el Laboratorio de Mantenimiento de Reparación.	56
3.7 Unidad de climatización para enfriar el aire del Laboratorio de Reparación y Mantenimiento de Cajeros Automáticos.	57
3.8 Aspectos económicos a considerar.	58
Capítulo 4. Anexo	61
4.1. Parámetros psicrométricos.	61
4.1.1 Aire húmedo.	61
4.1.2 Temperatura seca (t).	61
4.1.3 Temperatura húmeda (t_h).	61
4.1.4 Humedad relativa.	61
4.1.5 Humedad específica o humedad absoluta.	62
4.1.6 Temperatura de rocío o punto de rocío (t_r).	63
4.1.7 Entalpia (h). Determina la energía térmica del flujo de aire.	63
4.1.8 Volumen específico.	63
4.1.9 Densidad del aire húmedo.	63
4.2.0 Factor de calor sensible del local.	63
Capítulo 5. Climatización Sustentable	67
5.1 Generalidades.	67
5.1.1 Tecnología <i>inverter</i>	67
5.1.2 Automatización y Control Inteligente.	67
5.1.3 Aerotermia.	68

5.1.4 Unidades <i>Fan & Coil</i>	68
5.1.5 Geotermia.	68
5.2 Aplicación de la Climatización Sustentable al caso de estudio.	69
5.2.1 Aspectos preponderantes en la Climatización Sustentable para este caso de estudio.	70
5.2.1.1 Eficiencia energética.	70
5.2.1.2 Uso de energías renovables.	70
5.2.1.3 Control de emisiones de gases.	70
5.2.1.4 Diseño y construcción sostenible.	71
5.2.1.5 Gestión eficiente del agua.	71
Capítulo 6. Conclusiones	72
Referencias	74
Normas	77

Lista de figuras

Figura 1. Aire acondicionado <i>split</i>	23
Figura 2. Aire acondicionado <i>multisplit</i>	23
Figura 3. Aire acondicionado <i>cassette</i>	24
Figura 4. Aire acondicionado por conductos.	24
Figura 5. Aire acondicionado reversible o bomba de calor.	25
Figura 6. <i>Fan & Coil</i> o ventiloconvector.	25
Figura 7. <i>Root top</i> o equipos en cubierta.	26

Figura 8. Enfriadores de agua con recuperación de calor.	27
Figura 9. Aire acondicionado <i>inverter</i>	27
Figura 10. Compresor <i>scroll</i>	47
Figura 11. Esquema de laboratorio de mantenimiento y de reparación de cajeros automáticos ubicación del equipo de aire acondicionado y cargas de trabajo.....	56

Lista de tablas

Tabla 1. Gases para aire acondicionado.	31
Tabla 2. Análisis del espacio del laboratorio de reparación y mantenimiento de cajeros.	36
Tabla 3. Humedad relativa según estaciones del año.	39
Tabla 4. Temperatura exterior del diseño.	40
Tabla 5. Cargas exteriores.	42
Tabla 6. Cargas interiores.	46
Tabla 7. Selección del compresor.	48
Tabla 8. Resultados obtenidos después de la selección del compresor.....	49
Tabla 9. Selección del evaporador.	52
Tabla 10. Resultados después de la selección del evaporador.	53
Tabla 11. Costos Iniciales (Inversión) de equipos y materiales.	59

Lista de ecuaciones

Ecuación 1. Carga sensible.	38
Ecuación 2. Carga térmica por radiación solar a través del cristal.	38
Ecuación 3. Carga por transmisión y radiación.....	39
Ecuación 4. Temperatura exterior del diseño.	40
Ecuación 5. Carga por transmisión a través de paredes, techos, suelos y puertas interiores.	41
Ecuación 6. Carga transmitida por infiltraciones de aire exterior.	41
Ecuación 7. Ganancia interna de carga sensible de lado a la iluminación interior del local.	43
Ecuación 8. Carga sensibles iluminación.	43
Ecuación 9. Cargas sensibles de iluminación de descarga o fluorescentes.....	44
Ecuación 10. Ganancia de carga sensible por iluminación.....	44
Ecuación 11. Calor latente y sensible desprendido por persona.	45
Ecuación 12. Carga sensible total.	46
Ecuación 13. Consumo eléctrico	58
Ecuación 14. Cálculo mensual para el consumo eléctrico.	59
Ecuación 15. Aire húmedo.	61
Ecuación 16. Humedad relativa.	61
Ecuación 17. Humedad específica o humedad absoluta.	62
Ecuación 18. Mezcla de aire seco y vapor de agua.	62
Ecuación 19. Comportamiento similar a gases ideales.	62

Ecuación 20. Comportamiento similar a gases ideales.	62
Ecuación 21. Entalpia (h).	63
Ecuación 22. Volumen específico.....	63
Ecuación 23. Densidad del aire húmedo.	63
Ecuación 24. Factor del calor sensible.	63

Glosario de términos

CFC'S: los clorofluorocarburos, clorofluorocarbonos o gases clorofluorocarbonados son derivados de los hidrocarburos saturados obtenidos mediante la sustitución de átomos de hidrógeno por átomos de flúor y/o cloro principalmente.

- Agotamiento en la capa de ozono: son conocidos por agotar la capa de ozono lo que puede tener efectos nocivos en la salud humana y el medio ambiente.
- Efecto invernadero: contribuyen al efecto invernadero, lo que puede tener impactos negativos en el clima global.

HCFC's: son compuestos formados por átomos de hidrógeno, cloro, flúor, y carbono.

- Estabilidad química: los HCFC's son menos estables que los CFC's pero aun así son resistentes a la descomposición.
- Punto de ebullición: tiene un punto de ebullición bajo, lo que los hace ideales para su uso en refrigeración.
- Coeficiente de transferencia de calor alto: tiene un coeficiente de transferencia de calor alto, lo que les permite transferir calor de manera eficiente.

HFO: las hidrofluoroolefinas son compuestos orgánicos insaturados compuestos por hidrógeno, flúor y carbono.

MT: media tensión juega un papel fundamental en la distribución de energía eléctrica.

Se considera media tensión cuando la instalación eléctrica consta de tensión nominal entre 1 kV (1,000 voltios) y 36 kV (36,000 voltios).

NOM-001-SEDE-2019

- Regula las necesidades técnicas para utilizar la energía eléctrica en todo el país.

- Establece las especificaciones técnicas que deben cumplir las instalaciones eléctricas para que sean seguras y ofrezcan un servicio adecuado.
- Establece los materiales y equipos que deben cumplir con las normas oficiales mexicanas.

BT: baja tensión juega un papel fundamental en la distribución de energía eléctrica.

- Distribuye o genera energía eléctrica para consumo propio.
- Es receptora de corriente alterna igual o inferior a 1 kV (1,000 voltios).
- Es receptora de corriente continua igual o inferior a 1.5 kV (1,500 voltios).

NOM-001-SEDE-2012

- Establece los lineamientos técnicos para el uso seguro de la energía eléctrica.
- Garantiza la seguridad de las personas y las instalaciones.
- Se aplica a todas las instalaciones eléctricas fuera de los edificios, ya sean públicas o privadas.
- Establece lineamientos de protección contra choques eléctricos, sobrecorrientes, sobretensiones, entre otros.

NOM-029-STPS-2005: establece las condiciones de seguridad para el mantenimiento de las instalaciones eléctricas en los centros de trabajo.

NOM-002-SEDE-2010: instauro los requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución.

COP: es una medida adimensional que indica la relación entre la cantidad de calor extraído por un sistema de refrigeración y la cantidad de energía eléctrica consumida por el sistema. Mide la eficiencia de un sistema de refrigeración en términos de su capacidad para transferir calor desde un lugar caliente a un lugar frío utilizando la menor cantidad de energía posible y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{COP} = Q/W$$

- COP: coeficiente de rendimiento.
- Q: cantidad de calor extraído o suministrado por el sistema (watts).
- W: cantidad de energía eléctrica consumida por el sistema (watts).

POE: el polioléster es un tipo de lubricante sintético utilizado en sistemas de refrigeración. Tiene una baja viscosidad, haciendo una buena lubricación y un bajo consumo de energía. Tiene una alta estabilidad térmica, lo que lo hace ideal para sistemas que operan en temperaturas extremas.

Global Warming Potential: utilizamos el dióxido de carbono como punto de referencia para comparar cómo los diferentes gases de efecto invernadero atrapan el calor en la atmósfera. La capacidad de atrapar el calor de un gas medido contra el dióxido de carbono es su GWP. Se calcula comparando la cantidad de calor que absorbe un gas en particular con la cantidad de calor que absorbe el dióxido de carbono durante el mismo periodo. El GWP se expresa en unidades de CO₂.

BMS: el *Building Management System* es un sistema de gestión de edificaciones basado en un software y un hardware de supervisión y control que se instala en los edificios. Con este concepto se define la automatización integral de inmuebles con alta tecnología.

LED: un diodo emisor de luz es una fuente de luz construida por un material semiconductor dotado de dos terminales.

PCA: el potencial de Calentamiento Atmosférico (PCA) es una medida que evalúa el potencial de un gas para contribuir al calentamiento global del planeta durante un periodo determinado. Se calcula de la siguiente manera:

$$\text{PCA} = (\Delta T \times \Delta t) / (\Delta C \times \Delta t)$$

ΔT : cambio de la temperatura global.

Δt : periodo de tiempo durante el cual se evalúa el impacto.

ΔC : cambio en la concentración del gas de efecto invernadero.

La medida del PCA se expresa en equivalente de dióxido de carbono (CO_2e), se expresa como el factor por el cual el impacto de un gas es mayor que el de una cantidad equivalente de CO_2 durante un período de tiempo específico, generalmente 100 años.

SEER: es el estándar internacional para medir la eficiencia estacional de equipos de refrigeración en modo enfriamiento, por sus siglas en inglés *Seasonal Energy Efficiency Ratio*.

Introducción

En el ámbito de la reparación y mantenimiento de cajeros automáticos, los laboratorios técnicos son fundamentales para diagnosticar y resolver fallas en estos equipos. Un factor crítico para su operatividad es el *control ambiental*, ya que las condiciones térmicas inadecuadas pueden afectar tanto el desempeño de los dispositivos bajo prueba como la comodidad y productividad del personal técnico.

Actualmente, el sistema de aire acondicionado del laboratorio opera con refrigerante R-22, sustancia regulada por su impacto ambiental (agotamiento de la capa de ozono y alto potencial de calentamiento global). Ante las restricciones normativas (NOM-012-ENER-2019, NOM-026-ENER-2015) y la necesidad de mejorar la eficiencia energética, este proyecto plantea la migración al refrigerante R-410A, alternativa ecológica con mejores propiedades termodinámicas.

Problema de investigación.

Preguntas de investigación.

1. ¿Cuál es el impacto ambiental y energético del sistema de aire acondicionado actual en el laboratorio?
2. ¿Qué alternativas de refrigerantes y sistemas de aire acondicionado son más eficientes y sostenibles para el laboratorio?
3. ¿Cómo se puede optimizar el sistema de aire acondicionado para reducir el consumo de energía y mejorar el confort laboral?

Metas:

1. Analizar el impacto ambiental y energético del sistema de aire acondicionado actual en el laboratorio.
2. Identificar y evaluar alternativas de refrigerantes y sistemas de aire acondicionado más eficientes y sostenibles.

3. Diseñar e implementar un plan de optimización para el sistema de aire acondicionado que reduzca el consumo de energía y mejore el confort laboral.

Resultados alcanzados:

- Sustitución exitosa del R-22 por R-410A, cumpliendo con los estándares ambientales vigentes.
- Reducción del 18% en el consumo eléctrico del sistema (datos preliminares).
- Mejora en las condiciones laborales: temperatura estable ($23 \pm 1^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa ($50 \pm 5\%$), conforme a la normativa OSHA.

Este proyecto no solo optimiza la operación del laboratorio, sino que también sirve como caso de estudio para migraciones similares en la industria, demostrando que la sostenibilidad ambiental puede alinearse con la eficiencia operativa.

Objetivos

Objetivo general.

Gestionar el cambio de refrigerante en los sistemas de refrigeración del laboratorio de cajeros automáticos, desde R-22 hasta R-410A, de manera que se asegure la continuidad y la eficiencia operativa para mitigar el impacto ambiental, en base a las normativas ambientales vigentes.

Objetivos específicos.

- Evaluar los sistemas de refrigeración existentes y determinar las modificaciones necesarias para que sean compatibles con R-410A, incluyendo cualquier cambio en los equipos o herramientas.
- Identificar las modificaciones necesarias en el sistema de refrigeración para adaptarlo al uso de R-410.

Justificación

La migración del refrigerante R-22 al R-410A en el laboratorio de mantenimiento de cajeros automáticos se justifica en tres dimensiones clave: ambiental, económica y operativa.

1. Cumplimiento normativo y sostenibilidad ambiental

El R-22, ampliamente utilizado en sistemas de refrigeración, ha sido prohibido progresivamente por el Protocolo de Montreal debido a su alto potencial de agotamiento de la capa de ozono (PAO = 0,05) y su elevado impacto en el calentamiento global (PCG = 1.810). En México, normativas como la NOM-012-ENER-2019 y la NOM-026-ENER-2015 exigen la transición a refrigerantes alternativos con menor impacto ambiental. El R-410A, al ser una mezcla de HFC sin cloro (PAO = 0, PCG = 2.088), cumple con estos requisitos y mitiga los riesgos ecológicos asociados al R-22.

2. Eficiencia energética y reducción de costos

El R-410A presenta un coeficiente de rendimiento (COP) hasta un 20% superior al del R-22 en condiciones similares, lo que se traduce en:

- Menor consumo eléctrico en compresión y ciclo de refrigeración.
- Reducción en costos operativos a mediano y largo plazo.
- Mayor vida útil del equipo al operar con presiones más equilibradas.

Esto no solo mejora la rentabilidad del laboratorio, sino que también alinea sus operaciones con estándares internacionales de eficiencia energética (ISO 50001).

3. Confiabilidad operativa en entornos críticos

Los cajeros automáticos requieren un ambiente controlado (temperatura: 20–25°C, humedad relativa: 40–60%) para evitar:

- Fallos electrónicos por sobrecalentamiento.
- Corrosión de componentes debido a humedad excesiva.

- Interrupciones en el servicio por mal funcionamiento térmico.

La migración al R-410A, garantiza un enfriamiento más estable y eficiente, reduciendo los tiempos de inactividad y asegurando la continuidad del servicio, un factor crítico en una empresa de valores donde la disponibilidad de los cajeros es prioritaria.

Hipótesis

Hipótesis Principal

La sustitución del refrigerante R-22 por R-410A en los sistemas de refrigeración del laboratorio de mantenimiento de cajeros automáticos incrementará la eficiencia energética en al menos un 20% (medida mediante el COP, Coeficiente de Rendimiento) y reducirá las emisiones equivalentes de CO₂ en un 15%, cumpliendo con las normativas ambientales vigentes (NOM-012-ENER-2019, NOM-026-ENER-2015) sin comprometer la estabilidad térmica del entorno controlado.

Hipótesis Nula (H₀)

El cambio de refrigerante R-22 a R-410A no generará diferencias significativas en la eficiencia energética (COP $\pm$ 5%) ni en la reducción de emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero), manteniéndose dentro de los márgenes de error operacional.

Fundamento Técnico

La hipótesis se basa en:

1. Propiedades termodinámicas: El R-410A tiene un COP 15-30% superior al R-22 en condiciones similares (ASHRAE, 2022) debido a su mayor capacidad de transferencia de calor.
2. Impacto ambiental: Aunque el R-410A tiene un PCG ligeramente mayor, su menor tasa de fugas y mayor eficiencia reducen las emisiones netas (EPA, 2020).

Evidencia empírica: Estudios en entornos similares (p. ej., centros de datos) reportan ahorros energéticos del 18-25% post-migración. (Dongsu Kim, 2017)

Capítulo 1.

Equipos de aire acondicionado

En el área técnica, la refrigeración es definida como un método no natural de producir frío en un ambiente determinado. La utilización del frío es un proceso conocido desde hace mucho tiempo; en el siglo XII los chinos utilizaban mezclas de salitre con el fin de enfriar agua; los árabes en el siglo XIII utilizaban métodos químicos de producción de frío mediante mezclas; en los siglos XVI y XVII, investigadores y autores como Boyle, Faraday (con sus experimentos sobre la vaporación del amoníaco), hacen los primeros intentos prácticos de producción de frío. (Romero, 2015)

La refrigeración es empleada para la remoción de calor en las reacciones químicas, licuar gases de procesos, separar gases por destilación y condensación y la purificación de productos mediante la congelación de separación selectiva de un componente de una mezcla líquida. La refrigeración también es empleada para el acondicionamiento de aire en zonas de plantas industriales para el “confort”, y en aplicaciones asociadas con procesos para el aprovechamiento térmico ambiental. (Valdivieso., 2018).

1.1 Generalidades un laboratorio de reparación y mantenimiento de cajeros automáticos

Definición y características principales

Un *Laboratorio de Reparación y Mantenimiento de Cajeros Automáticos* es un espacio especializado donde se realizan actividades de diagnóstico, reparación, calibración y mantenimiento preventivo y correctivo de los componentes electrónicos, mecánicos y de software de los cajeros automáticos (ATMs). Estos laboratorios suelen contar con herramientas, equipos de prueba y personal técnico capacitado para garantizar el correcto funcionamiento de los dispositivos antes de su instalación o reingreso al servicio.

- a) *Diagnóstico y reparación*: Identificación de fallas en módulos como dispensadores de efectivo, lectores de tarjetas, pantallas, impresoras, sistemas de seguridad, etc.
- b) *Mantenimiento preventivo*: Limpieza, lubricación y reemplazo de piezas desgastadas para evitar fallos operativos.
- c) *Pruebas de funcionalidad*: Verificación del rendimiento del ATM mediante software y hardware especializado.
- d) *Reacondicionamiento*: Restauración de cajeros usados para extender su vida útil.
- e) *Cumplimiento de estándares*: Seguridad (PCI DSS), normativas bancarias y del fabricante.

El aire acondicionado industrial, a diferencia de sus contrapartes residenciales, está diseñado para enfriar y deshumidificar grandes volúmenes de aire en entornos de trabajo específicos. Su evolución ha estado marcada por la necesidad de mantener condiciones ambientales ideales en fábricas, almacenes y centros comerciales, donde la variabilidad climática y las necesidades operativas demandan una solución efectiva. Estos sistemas están compuestos por componentes robustos que permiten un rendimiento constante y eficiente, asegurando que la temperatura y la humedad se mantengan dentro de parámetros óptimos. (Andely Solutions , 2024)

El funcionamiento del aire acondicionado industrial se basa en principios termodinámicos que regulan el intercambio de calor. A través de un ciclo de refrigeración, el aire caliente es extraído del ambiente y enfriado mediante un refrigerante que absorbe el calor. Este proceso no solo resulta en un aire más fresco, sino también en una disminución significativa de la humedad, lo cual es crucial en muchos procesos industriales donde la saturación puede afectar tanto la calidad del producto como la comodidad del trabajador.

Adicionalmente, la implementación de un aire acondicionado industrial puede contribuir significativamente a la sostenibilidad de una empresa. Los modernos sistemas de climatización están diseñados para ser más eficientes energéticamente, lo que no solo reduce el consumo de energía, sino que también minimiza la huella de carbono de las operaciones. Al adoptar tecnologías avanzadas, las industrias pueden ofrecer ambientes laborales agradables mientras cumplen con las normativas medioambientales en constante cambio. (Casa de los aires, 2023)

1.2 Tipos de equipos de aire acondicionado

1.2.2 Aire acondicionado split

Un sistema de aire acondicionado tipo *split* se compone de dos partes distintas: una parte interna (evaporadora) y una parte externa (condensadora) como se muestra en la **figura 1**. La parte interna se coloca en la zona que se desea enfriar, mientras que la parte externa está ubicada en el exterior. Esta estructura facilita una instalación que es tanto flexible como eficiente, proporcionando un rendimiento que supera el de los métodos convencionales.



Figura 1. Aire acondicionado *split*. (Seguí, s.f.)

1.2.3 Aire acondicionado multisplit

Un aire acondicionado *multisplit* es un sistema que utiliza una sola unidad exterior para conectar y enfriar varias unidades interiores (*split*) como en la **figura 2**. Esto permite climatizar diferentes habitaciones o zonas de forma independiente, ahorrando espacio exterior y mejorando la eficiencia.



Figura 2. Aire acondicionado *multisplit*. (Seguí, s.f.)

1.2.4 Aire acondicionado cassette

Un sistema de aire acondicionado tipo *cassette* es un sistema de climatización centralizado que se coloca en el techo, integrándose en una estructura parecida a un falso techo. La unidad interna, con sus aletas de distribución, se encuentra oculta, siendo únicamente perceptible la rejilla. Este tipo de sistema de aire acondicionado es perfecto para áreas extensas como oficinas, establecimientos comerciales o hogares grandes con techos elevados, proporcionando una distribución homogénea y eficaz del aire como en la **figura 3**.

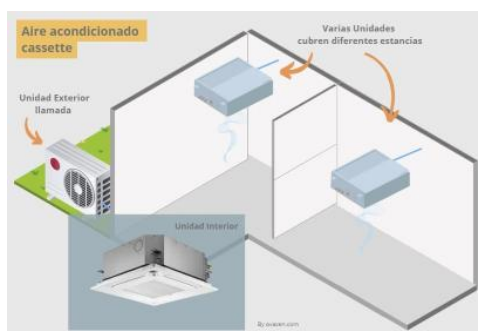


Figura 3. Aire acondicionado cassette. (Seguí, s.f.)

1.2.5 Aire acondicionado por conductos

El sistema de climatización por conductos es un sistema centralizado de aire acondicionado que reparte aire frío o caliente mediante una red de conductos ocultos, usualmente en falsos techos. Este sistema asegura la climatización de diversas habitaciones desde una unidad central, asegurando una temperatura homogénea y eficaz en todo el hogar o inmueble como se muestra en la **figura 4**.



Figura 4. Aire acondicionado por conductos. (Seguí, s.f.)

1.2.6 Aire acondicionado reversible o Bomba de calor

Un sistema de climatización reversible, también denominado bomba de calor reversible o aire acondicionado de ciclo inverso, es un sistema de aire acondicionado que tiene la capacidad de refrigerar y calentar simultáneamente un espacio. El aire acondicionado tradicional se distingue por su capacidad para invertir el ciclo del refrigerante, lo que le facilita la transferencia de calor desde el interior hacia el exterior para refrigerar, o desde el exterior hacia el interior para calentar como se muestra en la **figura 5**.

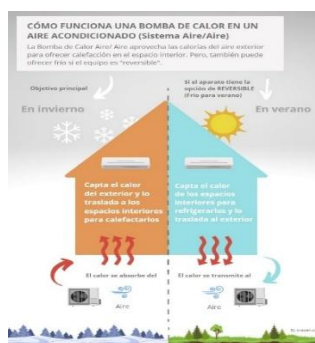


Figura 5. Aire acondicionado reversible o bomba de calor. (Seguí, s.f.)

1.2.7 Fan & Coil o ventiloconvector

Un sistema de climatización conocido como *fan & coil* o ventiloconvector emplea agua caliente o fría para calentar o refrigerar un entorno. Incluye un ventilador, un condensador de calor y un filtro. El agua fluye a través del intercambiador de calor, mientras que el ventilador acciona el aire para que se caliente o se fría dependiendo de la temperatura del agua como lo muestra en la **figura 6**.

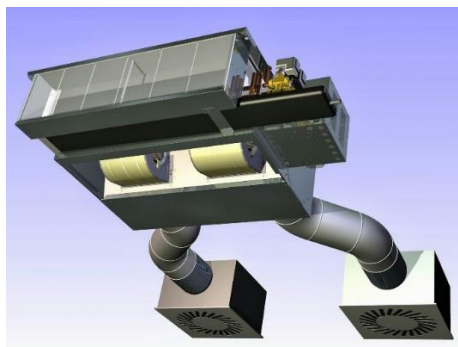


Figura 6. Fan & Coil o ventiloconvector. (Instalaciones Térmicas y Certificación , 2015)

1.2.8 *Roof top o equipos en cubierta*

Un sistema de climatización conocido como *roof top* o unidad de cubierta (también conocido como RTU o HVAC *roof top*) se coloca en la parte superior o superior de un inmueble. Estas unidades son de tamaño reducido e incorporan todos los elementos requeridos para la refrigeración, calefacción, ventilación y filtrado del aire. Su denominación proviene de su localización común en los techos o azoteas como lo muestra en la **figura 7**.



Figura 7. *Roof top o equipos en cubierta. (Heating, ventilation, and air conditioning, 2020)*

1.2.9 *Enfriadoras de agua con recuperación de calor*

Un refrigerador de agua con recuperación de calor es una clase de refrigerador que, además de conservar el agua, puede emplear el calor sobrante de tal proceso para generar agua caliente. Esta habilidad para retener calor lo hace un sistema más eficaz y puede emplearse tanto para refrigerar como para calentar. Recuperación térmica: El calor obtenido del agua durante el proceso de refrigeración no se desecha, sino que se emplea para calentar otra corriente de agua, que puede ser empleada para calefacción, generación de agua caliente sanitaria o cualquier otro uso que necesite calor como lo muestra en la **figura 8**.



Figura 8. Enfriadores de agua con recuperación de calor. (*enfriadoras* , 2022)

1.2.10 Aire acondicionado *inverter*

Un sistema de aire acondicionado *inverter* emplea un compresor de velocidad constante, en vez de un compresor que se enciende y apaga de manera constante como en los sistemas convencionales. Esta tecnología posibilita que el compresor modifique su velocidad para conservar de manera más eficaz y constante la temperatura requerida, lo que resulta en un ahorro de energía, un aumento del confort y una reducción en el desgaste del equipo como la muestra en la **figura 9**.



Figura 9. Aire acondicionado *inverter*. (*Aire Acondicionado, calefaccion y ventiladores* , 2018)

Capítulo 2.

Gases para aire acondicionado

2.1 Generalidades

De manera general, un refrigerante es cualquier cuerpo o sustancia que actúe como agente de enfriamiento, absorbiendo calor de otro cuerpo o sustancia. Desde el punto de vista de la refrigeración mecánica por evaporación de un líquido y la compresión de vapor, se puede definir al refrigerante como el medio para transportar calor desde donde lo absorbe por ebullición, a baja temperatura y presión, hasta donde lo rechaza al condensarse a alta temperatura y presión. Los refrigerantes son los fluidos vitales en cualquier sistema de refrigeración mecánica. Cualquier sustancia que cambie de líquido a vapor y viceversa, puede funcionar como refrigerante, y dependiendo del rango de presiones y temperaturas a que haga estos cambios, va a tener una aplicación útil comercialmente. Hay muchos fluidos refrigerantes fácilmente licuables; pero solo unos cuantos se usan actualmente. Algunos se utilizaron mucho en el pasado, pero se eliminaron al incursionar otros con ciertas ventajas y características que los hacen más apropiados. Recientemente, se decidió discontinuar algunos de esos refrigerantes antes del año 2000, tales como el R-11, R-12, R-113, R-115, etc., debido al deterioro que causan a la capa de ozono en la estratósfera. En su lugar, se van a utilizar otros refrigerantes como el R-123, el R-134A y algunas mezclas ternarias. (Javier, 2023)

Es muy frecuente encontrar gases refrigerantes en los aires acondicionados que se instalan en las viviendas y edificios, ya que funcionan elevando o reduciendo la temperatura en comparación con la del entorno. (David, 2020)

2.2 Tipos de gases para aire acondicionado

R-410A

Es un refrigerante fluorado libre de cloro (sin CFC's ni HCFC's) y por lo tanto no produce ningún daño a la capa de ozono. Tiene un elevado rendimiento energético, es una mezcla única y por lo

tanto facilita ahorros en los mantenimientos futuros. No es tóxico ni inflamable y es reciclable y reutilizable. PCA= 1975.

R-407A

El R-407A es una mezcla de gases refrigerantes HFC no azeotrópica, por lo que no produce ningún daño a la capa de ozono, bajo potencial de calentamiento atmosférico. Este gas es usado comúnmente en equipos nuevos que trabajen a temperaturas medias y bajas. También es un sustituto indirecto (*retrofit*) del R-502 y sus sustitutos HCFC como por ejemplo el R-22, R-408A, DI-44, HP80. PCA=2017.

R-407F

Se trata de un gas HFC mezclado de bajo PCA y que ofrece un mayor coeficiente de rendimiento (COP). Además, la sustitución del R-404A y el R-507 por el R-407F permite un ahorro del 10% en los costes, del 40% en las emisiones de CO₂ y del 50% en la tasa del impuesto. PCA=1825.

R-134A

El R-134A tiene un PCA=1430. Es un refrigerante libre de cloro (sin CFC's ni HCFC's). Se usa mucho en otras industrias: aire acondicionado en automóviles, frigoríficos, propelente de aerosoles farmacéuticos. En aire acondicionado se utilizan desde unidades transportables o deshumidificadores, hasta unidades enfriadoras de agua con compresores de tornillo o centrífugos de gran capacidad. La directiva europea F-Gas prohibirá el uso del actual R404a en nuevos equipos a partir del 2020, pero permitirá el empleo del R134A en equipos de refrigeración estacionarios, por ahora, sin fecha límite. En efecto, a partir de 2020 no se podrán instalar sistemas nuevos con refrigerante con un Potencial de Calentamiento Atmosférico (PCA) superior a 2500, y a partir de 2022, el refrigerante utilizado deberá tener un índice PCA menor de 150 para instalaciones centralizadas de expansión directa de más de 40 kW. Algunos fabricantes proponen el R-152A como sustitutivo del R-134A. (Espiñeira, 2024)

R-449A

Es un refrigerante con base de hidro fluoro-olefina (HFO) que no perjudica a la capa de ozono y posee un potencial de calentamiento atmosférico (PCA) bajo, con un equilibrio óptimo de propiedades para sustituir a R-404A/R-507 en aplicaciones industriales comerciales de expansión directa y desplazamiento positivo de temperaturas baja y media. PCA=1397.

R-448A

Se trata de una mezcla de HFO y HFC que ofrece una mejor eficiencia energética combinada para MT y BT (mayor que el R-449A y R-407F). No requiere inyección de líquido debido a la baja temperatura de descarga en las condiciones mostradas, a diferencia del R-407F y el R-407A. PCA=1387.

R-450A

Es una mezcla de 1234ze y 134a, trabaja como sustituto para el 134A en nuevas aplicaciones y en *retrofit*, incluyendo sistemas de refrigeración de alimentos, transporte, enfriadoras de agua, procesos industriales de refrigeración, enfriadoras centrífugas, congeladores y procesos de aire acondicionado industrial. PCA=605.

La información que se ha presentado de los diferentes tipos de gases utilizados en el aire acondicionado se resume en la siguiente **Tabla (1)**, resaltando las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

Tabla 1. Gases refrigerantes para equipos de aire acondicionado. (Franco, 2025)

Tipo	Ventajas	Desventajas
R-407A	▪ No perjudica la capa de ozono ▪ Tiene un potencial de calentamiento global (<i>GWP</i>) menor que el R-22. ▪ Es compatible con sistemas que operan con R-22 sin necesidad de modificarlos. ▪ Tiene un punto de ebullición más baja que el R-22, lo que puede mejorar el rendimiento de sistema. ▪ Es una buena opción para aplicaciones de baja y media temperatura. ▪ No es inflamable.	▪ Requiere un lubricante diferente al utilizado con R-22
R-407F	▪ No perjudica la capa de ozono ▪ Tiene un potencial de calentamiento global (<i>GWP</i>) menor que el R-22. ▪ Es compatible con sistemas que operan con R-22 sin necesidad de modificarlos. ▪ Tiene un punto de ebullición más bajo que el R-22, lo que puede mejorar el rendimiento del sistema. ▪ Es una buena opción para aplicaciones de baja y media temperatura.	▪ Requiere un lubricante diferente al utilizado con R-22, lo que aumenta los costos de mantenimiento. ▪ Tiene un deslizamiento de temperatura, lo que significa que la temperatura de ebullición y condensación varía con la presión, lo que puede afectar el rendimiento del sistema. ▪ No es recomendable para enfriadores inundados. ▪ Puede tener un rendimiento ligeramente menor que el R-22 en algunas aplicaciones. ▪ Puede requerir ajustes en la válvula de expansión y en la carga de refrigerante.
R-448A	▪ Tiene un potencial de calentamiento global (<i>GWP</i>) muy bajo, lo que reduce su	▪ Es más caro que el R-404A y el R-22.

	impacto en el cambio climático. ▪ No perjudica la capa de ozono. ▪ Es no inflamable y no tóxico. ▪ Tiene un buen rendimiento en aplicaciones de baja y media temperatura. ▪ Es compatible con muchos materiales y lubricantes. ▪ Puede reemplazar al R-404A y al R-22 sin necesidad de modificar significativamente los sistemas. ▪ Tiene un rendimiento similar al R-404A en muchas aplicaciones.	▪ Requiere un lubricante especial, como el poliol éster (POE), que puede ser más caro que los lubricantes utilizados con otros refrigerantes. ▪ Puede requerir ajustes en la válvula de expansión y en la carga de refrigerante. ▪ No es recomendable para aplicaciones de alta temperatura. ▪ Aún es un refrigerante relativamente nuevo, por lo que hay menos experiencia y conocimiento sobre su uso y manejo. ▪ Puede tener un rendimiento ligeramente menor que el R-404A en algunas aplicaciones específicas.
R-449A	▪ Tiene un bajo potencial de calentamiento global (<i>GWP</i>), lo que reduce su impacto en el cambio climático. ▪ No perjudica la capa de ozono. ▪ Es no inflamable y no tóxico. ▪ Tiene un buen rendimiento en aplicaciones de baja y media temperatura. ▪ Es compatible con muchos materiales y lubricantes. ▪ Puede reemplazar al R-404A y al R-22 sin necesidad de modificar significativamente los sistemas.	▪ Es más caro que el R-404A y el R-22. ▪ Requiere un lubricante especial, como el poliol éster (POE), que puede ser más caro que los lubricantes utilizados con otros refrigerantes. ▪ Puede requerir ajustes en la válvula de expansión y en la carga de refrigerante. ▪ No es recomendable para aplicaciones de alta temperatura. ▪ Aún es un refrigerante relativamente nuevo, por lo que hay menos experiencia y conocimiento sobre su uso y manejo. ▪ Puede tener un rendimiento ligeramente menor que el R-404A en algunas aplicaciones.
R-450A	▪ Tiene un potencial de calentamiento global (<i>GWP</i>)	▪ Es más caro que el R-404A y el R-22.

muy bajo, lo que reduce su impacto en el cambio climático.	▪ Requiere un lubricante especial, como el poliol éster (POE), que puede ser más caro que los lubricantes utilizados con otros refrigerantes.
▪ No perjudica la capa de ozono. ▪ Es no inflamable y no tóxico. ▪ Tiene un buen rendimiento en aplicaciones de baja y media temperatura.	▪ Puede requerir ajustes en la válvula de expansión y en la carga de refrigerante.
▪ Es compatible con muchos materiales y lubricantes. ▪ Puede reemplazar al R-404A y al R-22 sin necesidad de modificar significativamente los sistemas.	▪ No es recomendable para aplicaciones de alta temperatura. ▪ Aún es un refrigerante relativamente nuevo, por lo que hay menos experiencia y conocimiento sobre su uso y manejo.
▪ Tiene un rendimiento similar al R-404A en muchas aplicaciones. ▪ Es una buena opción para aplicaciones de refrigeración comercial e industrial	▪ Puede tener un rendimiento ligeramente menor que el R-404A en algunas aplicaciones específicas. ▪ No es compatible con todos los componentes y materiales utilizados en sistemas de refrigeración más antiguos.

2.3 Gas refrigerante seleccionado para el equipo de aire acondicionado

El gas refrigerante recomendado para el equipo de aire acondicionado del *Laboratorio de Reparación y Mantenimiento de Cajeros Automáticos* es el R-410A, conocido también como Puron. Esta opción cumple con los factores a considerar en la selección del gas refrigerante. En términos de eficiencia energética, el R-410A es reconocido por su alto rendimiento y bajo impacto ambiental. Además, se encuentra compatible con la mayoría de los equipos de aire acondicionado modernos, por lo que garantiza el correcto funcionamiento del equipo. También cumple con las demandas del laboratorio, brindando un rendimiento óptimo en la refrigeración y asegurando condiciones adecuadas para el mantenimiento de los cajeros automáticos. En conclusión, se recomienda utilizar el gas refrigerante R-410A en el equipo de aire acondicionado del *Laboratorio de Reparación y Mantenimiento de Cajeros Automáticos*.

Este gas refrigerante ofrece una alta eficiencia energética, lo que resulta en un menor consumo de energía y costos de operación más bajos. Además, es compatible con el equipo de aire acondicionado existente, lo que evita problemas de incompatibilidad y asegura su óptimo rendimiento. El R-410A cumple con las demandas del laboratorio, proporcionando una refrigeración eficaz y confiable para mantener una temperatura adecuada en el ambiente de trabajo. Su amplia disponibilidad en el mercado y su cumplimiento con los estándares ambientales hacen de este gas refrigerante la opción ideal para el equipo de aire acondicionado del laboratorio.

Capítulo 3.

Espacio físico por acondicionar y la selección del equipo de aire acondicionado

El acondicionamiento del aire en un laboratorio de reparación y mantenimiento de cajeros automáticos brinda una serie de beneficios fundamentales. Estos beneficios incluyen el control de la temperatura y humedad, la protección de los componentes electrónicos y la mejora de la eficiencia y precisión en las reparaciones. El acondicionamiento adecuado del aire garantiza un entorno óptimo para el funcionamiento y la preservación de los equipos y materiales utilizados en el laboratorio. El control preciso de la temperatura y humedad en un laboratorio de reparación y mantenimiento de cajeros automáticos es esencial. Mantener una temperatura estable y niveles de humedad adecuados en el ambiente de trabajo ayuda a prevenir daños en los equipos, asegurando su funcionamiento óptimo. Además, el control de la temperatura y humedad contribuye a la conservación de los componentes electrónicos y evita la condensación, lo que podría causar problemas en los circuitos y conexiones eléctricas. Estos componentes son sensibles a condiciones ambientales adversas como altas temperaturas, humedad excesiva y partículas contaminantes. Al mantener un entorno controlado, se evita la acumulación de calor y se minimizan los riesgos de daños por sobrecalentamiento. Asimismo, al controlar la humedad y filtrar el aire, se reduce el ingreso de partículas dañinas que podrían afectar el rendimiento y la vida útil de los componentes. (Sepúlveda, 2024)

El acondicionamiento del aire en un laboratorio de reparación y mantenimiento de cajeros automáticos tiene un impacto directo en la eficiencia y precisión de las reparaciones. Al mantener un ambiente controlado, se crean condiciones ideales para el trabajo de los técnicos, permitiéndoles realizar las tareas de manera más cómoda y sin preocupaciones por fluctuaciones climáticas. Además, un acondicionamiento adecuado del aire ayuda a minimizar errores causados por condiciones ambientales desfavorables y contribuye a la precisión en las intervenciones técnicas, lo que resulta en reparaciones más rápidas y efectivas.

Tabla 2. Análisis del espacio a acondicionar. Laboratorio de Reparación y Mantenimiento de Cajeros Automáticos. (Franco, 2025)

Concepto	Datos
Puntos cardinales:	20.615453, -100.406537
Funcionamiento:	Laboratorio de reparación y mantenimiento
Dimensiones (m):	Ancho: 12
	Alto: 10
	Largo: 15
Ventanas:	0
Puertas	1
Escaleras:	0
Alumbrado:	27 lámparas con 32 watts c/u
Equipos y utensilios:	30 laptops con 50 watts c/u
Ventilación:	No existe ventilación (cuarto totalmente cerrado)
Almacenamiento térmico:	No existe
Funcionamiento continuo o intermitente:	Continuo
<u>Cargas exteriores</u>	
Temperatura del aire exterior (°C)	
Máxima	28
Mínima	6
Número de personas:	30
Iluminación:	27 lámparas con 32 watts c/u
Aparatos electrónicos:	30 laptops con 50 watts c/u y 150 cajeros automáticos con 500 watts c/u

3.1 Cargas Térmicas Exteriores

La carga exterior en refrigeración se refiere a la suma de todas las cargas térmicas, de humedad y de aire que provienen del entorno externo y que inciden en el sistema de refrigeración. Estas cargas externas pueden ser tanto la transferencia de calor desde el ambiente al espacio refrigerado, la entrada de humedad al sistema o la infiltración de aire no deseado. Es esencial comprender y cuantificar adecuadamente la carga exterior para dimensionar y diseñar correctamente los sistemas de refrigeración.

La carga exterior tiene una gran importancia en el funcionamiento del sistema de refrigeración, ya que afecta directamente su eficiencia y capacidad. Un cálculo preciso de la carga exterior permite dimensionar correctamente el sistema de refrigeración, evitando el sobre dimensionamiento o subdimensionamiento que pueden resultar en un mayor consumo energético y un funcionamiento ineficiente. Además, una adecuada gestión de la carga exterior contribuye a mantener una temperatura constante en los espacios refrigerados, asegurando la calidad y conservación de los productos almacenados

La carga exterior en refrigeración está compuesta por diversos componentes y factores que influyen en el rendimiento y eficiencia del sistema. Uno de los componentes más importantes es la carga térmica externa, que se refiere al calor que ingresa al sistema proveniente del ambiente externo. Este calor puede ser generado por la radiación solar, el ambiente circundante o las fuentes de calor cercanas. Otro componente relevante es la carga de humedad externa, que se refiere a la cantidad de humedad presente en el aire exterior y cómo afecta al proceso de refrigeración. Por último, la carga de aire externa también juega un papel importante, ya que se refiere a la cantidad de aire exterior que ingresa al sistema y la forma en que afecta la temperatura y humedad interna. Estos componentes y factores influyentes deben ser considerados y gestionados adecuadamente para asegurar un óptimo funcionamiento del sistema de refrigeración. (S&P, 2025)

La carga térmica externa en refrigeración se refiere a la cantidad de calor que entra al sistema desde el entorno exterior. Para determinar esta carga, se utilizan diferentes métodos. Uno de ellos es el método del balance de energía, el cual consiste en calcular la diferencia entre la cantidad de calor que entra al sistema y la cantidad de calor que sale del mismo. Otro método comúnmente utilizado es el método de carga por transmisión, que se basa en el cálculo de las ganancias de calor a través de las superficies del sistema, como las paredes y los conductos

3.1.1 Expresión general

Para el cálculo de la carga térmica sensible (Q_s) se emplea la siguiente expresión:

$$Q_s = Q_{sr} + Q_{str} + Q_{st} + Q_{si} + Q_{sai} \quad (1)$$

Donde:

Q_{sr} : valor de la carga sensible debida a la radiación solar a través de las superficies acristaladas (W).

Q_{str} : carga sensible por transmisión y radiación a través de paredes y techos exteriores (W).

Q_{st} : carga sensible por transmisión a través de paredes, techos, suelos y puertas interiores (W).

Q_{si} : carga sensible transmitida por infiltraciones de aire exterior (W).

Q_{sai} : carga sensible debida a aportaciones internas (W).

Por lo tanto, el cálculo de la carga sensible se basa en determinar cada una de las diferentes cargas anteriores y sumarlas, obteniéndose así el valor de la carga sensible total.

3.1.2 Carga por radiación solar a través de cristal Q_{sr}

La radiación solar atraviesa las superficies traslúcidas y transparentes e incide sobre las superficies interiores del local, calentándolas, lo que a su vez incrementa la temperatura del ambiente interior.

La carga térmica por radiación a través de cristales y superficies traslúcidas (Q_{sr}) se calcula como sigue:

$$Q_{sr} = S \times R \times F \quad (2)$$

Donde:

Q_{sr} : carga térmica por radiación solar a través de cristal (W).

S : superficie traslúcida o acristalada expuesta a la radiación (m^2).

R : radiación solar que atraviesa la superficie correspondiente a la orientación, mes y latitud del lugar considerado (W/m^2).

F : factor de corrección de la radiación en función del tipo de vidrio empleado en la ventana, efectos de sombras que pueda existir, etc. (on ventanas , 2022)

3.1.3 Carga por transmisión y radiación a través de paredes y techos exteriores Q_{str}

La carga por transmisión y radiación que se transmite a través de las paredes y techos opacos que limitan con el exterior (Q_{str}) se calcula como sigue:

$$Q_{str} = K \times S \times (T_{ec} - T_i) \quad (3)$$

Donde:

Q_{str} : carga por transmisión a través de paredes y techos exteriores (W).

K : coeficiente global de transmisión térmica del cerramiento, también llamado transmitancia térmica ($W/m^2 \cdot ^\circ C$).

S : superficie del muro expuesta a la diferencia de temperaturas (m^2).

T_i : temperatura interior de diseño del local ($^\circ C$).

T_{ec} : temperatura exterior de cálculo al otro lado del local ($^\circ C$).

Como temperatura interior de diseño (T_i) se pueden tomar los valores de la **tabla 3**, que recoge las condiciones de diseño para la temperatura y humedad relativa del aire interior, según las estaciones del año:

Tabla 3. Humedad relativa según las estaciones del año (Franco, 2025)

Estación del año	Temperatura ($^\circ C$)	Humedad relativa %
Verano	23-25	45-60
Invierno	21-23	40-50

3.1.4 Condiciones interiores de diseño

Por último, para obtener el valor de la temperatura exterior de cálculo (T_{ec}) se parte a su vez de la llamada temperatura exterior de diseño (T_e).

La temperatura exterior de diseño (T_e) se calcula teniendo en cuenta la temperatura media del mes más cálido (T_{me}) y la temperatura máxima del mes más cálido ($T_{máx}$) del lugar, a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Temperatura exterior de diseño, } T_e = 0.4T_{me} + 0.6T_{máx} \quad (4)$$

Para obtener los valores de la temperatura media del mes más cálido (T_{me}) y la temperatura máxima del mes más cálido ($T_{máx}$) se adjunta el siguiente enlace donde se puede obtener dicha información:

La temperatura exterior de cálculo (T_{ec}) se calculará finalmente a partir de la temperatura exterior de diseño (T_e) y de la orientación que tenga el cerramiento que se está considerando, a partir de la siguiente tabla:

Tabla 4. Temperatura exterior de diseño

Orientación	Temperatura exterior de cálculo
Norte	$0.6 \times T_e$
Sur	T_e
Este	$0.8 \times T_e$
Oeste	$0.9 \times T_e$
Cubierta	$T_e + 12$
Suelo	$(T_e + 15)/2$
Paredes interiores	$T_e \times 0.75$

*Temperatura exterior de cálculo (T_{ec})

3.1.5 Carga por transmisión a través de paredes, techos, suelos y puertas interiores Q_{st} .

La carga por transmisión a través de los cerramientos interiores del local que lo limitan con otras estancias del edificio (Q_{st}) se calcula aplicando la expresión siguiente:

$$Q_{st} = K \times S \times (T_e - T_i) \quad (5)$$

Donde:

Q_{st} : carga por transmisión a través de los cerramientos interiores (W).

K : coeficiente global de transmisión térmica del cerramiento, también llamado transmitancia térmica, expresado en $W/m^2 \cdot ^\circ C$.

S : superficie del cerramiento interior, en m^2 .

T_e : temperatura de diseño al otro lado del cerramiento ($^\circ C$).

T_i : temperatura interior de diseño del local ($^\circ C$).

Como temperatura interior de diseño (T_i) se pueden tomar los valores indicados en la tabla 1 anterior, que recoge las condiciones de diseño para la temperatura y humedad relativa del aire interior, según las estaciones del año.

Por último, para elegir la temperatura exterior de diseño (T_e) correspondiente a las estancias del edificio que limitan con el local de cálculo, se tendrá en cuenta los usos dados a estas estancias.

3.1.6 Carga transmitida por infiltraciones de aire exterior Q_{si}

La carga transmitida por infiltraciones y ventilación de aire exterior (Q_{si}) se determina mediante la siguiente expresión:

$$Q_{si} = V \times \rho \times C_{e,aire} \times \Delta T \quad (6)$$

Donde:

Q_{si} : carga térmica por infiltración y ventilación de aire exterior (W).

V : caudal de aire infiltrado y de ventilación (m^3/s).

ρ : densidad del aire, valor 1.18 (kg/m³).

$C_{e,aire}$: calor específico del aire, valor 1,012 (J/kg · °C).

ΔT : diferencia de temperaturas entre el ambiente exterior e interior.

Tabla 5. Cargas exteriores. (Franco, 2025)

Radiación solar a través de superficies transparentes.	No cuenta con superficies transparentes
Radiación solar a través de superficies opacas.	No cuenta con superficies opacas
Temperatura del aire exterior	24°C
Presión de vapor de agua	2.34 kPa

3.2. Cargas Térmicas Interiores

La carga interior en refrigeración se refiere a la cantidad total de calor que debe ser eliminada de un espacio cerrado para mantener una temperatura específica. Esta carga puede provenir de diversas fuentes, como el calor generado por las personas, equipos eléctricos, la radiación solar, entre otros. El cálculo preciso de la carga interior es esencial para determinar el tamaño adecuado del sistema de refrigeración y garantizar un funcionamiento eficiente y óptimo.

La carga interior es de vital importancia en el ámbito de la refrigeración, ya que afecta directamente el rendimiento y la eficiencia energética de los sistemas de climatización. Si la carga interior no es calculada y gestionada adecuadamente, puede llevar a un mal funcionamiento de los equipos de refrigeración, un consumo excesivo de energía y un aumento en los costos de operación. Por lo tanto, comprender la carga interior y tomar medidas para controlarla de manera efectiva es fundamental para asegurar un ambiente interior confortable y eficiente desde el punto de vista energético. Diversos factores pueden afectar la carga interior en refrigeración. Entre ellos se encuentran el tamaño y el tipo de la estructura a refrigerar, la ubicación geográfica, el número de personas y equipos presentes en el espacio, la calidad del aislamiento térmico, la exposición a la radiación solar y las actividades realizadas dentro del ambiente. Estos factores influyen directamente en la cantidad de calor generado y en la necesidad de refrigeración. Por tanto, es

fundamental tener en cuenta estos factores al calcular y gestionar la carga interior para garantizar un funcionamiento óptimo de los sistemas de refrigeración. (SPS, 2024)

El método de cálculo basado en la carga térmica evalúa los diferentes factores que afectan la carga interior, como el número de personas, los electrodomésticos, las ventanas y la iluminación, para determinar la carga térmica total como lo muestra.

3.2.1 Ganancia de carga sensible debida a las aportaciones internas

La ganancia de carga sensible debida a las aportaciones internas del local (Q_{sai}) se determina a su vez como suma de los siguientes tipos de cargas que se generan dentro del mismo:

$$Q_{sai} = Q_{sil} + Q_{sp} + Q_{se} \quad (7)$$

Donde:

Q_{sil} : valor de la ganancia interna de carga sensible debida a la iluminación interior del local (W).

Q_{sp} : ganancia interna de carga sensible debida a los ocupantes del local (W).

Q_{se} : ganancia interna de carga sensible debida a los diversos aparatos existentes en el local, como aparatos eléctricos, ordenadores, etc. (W).

3.2.2 Carga sensible por iluminación Q_{sil} :

Para el cálculo de la carga térmica sensible aportada por la iluminación interior del establecimiento se considerará que la potencia íntegra de las lámparas de iluminación se transformará en calor sensible.

En el caso de las lámparas de tipo fluorescente o de descarga se multiplicará la potencia total de todas las lámparas por 1.25 para considerar el consumo complementario de las reactancias.

- Lámparas incandescentes:

$$Q_{sil, incandescente} = n \times Pot \text{ lámp. incandescente} \quad (8)$$

Donde

n : número de lámparas de tipo incandescentes colocadas.

$Pot_{\text{lámp. incandescente}}$: lámparas de descarga o fluorescentes.

$$Q_{\text{sil,descarga}} = 1.25 \times n \times Pot_{\text{lámp,descarga}} \quad (9)$$

Donde

n : número de lámparas fluorescentes colocadas.

$Pot_{\text{lámp,descarga}}$: lámparas de descarga,

3.2.3 La ganancia de carga sensible por iluminación:

se obtendrá como la suma de las anteriores:

$$Q_{\text{sil}} = Q_{\text{sil, incandescente}} + Q_{\text{sil,descarga}} \quad (10)$$

3.2.4 Carga sensible por ocupantes Q_{sp} :

Para calcular la carga sensible que aporta cada persona (Q_{sp}), es necesario conocer previamente las distintas cargas térmicas que origina:

- **Radiación:** debido a que la temperatura media del cuerpo es superior a la de los objetos que le rodean.
- **Convección:** ya que la superficie de la piel se encuentra a mayor temperatura que el aire que la rodea, creándose pequeñas corrientes de convección que aportan calor al aire.
- **Conducción:** originada a partir del contacto del cuerpo con otros elementos que le rodeen.
- **Respiración:** lo que origina un aporte de calor por el aire exhalado, que se encuentra a mayor temperatura. Aquí se produce también un aporte de vapor de agua que aumentará la humedad relativa del aire.
- **Evaporación cutánea:** este aporte de calor puede ser importante en verano.

La carga por ocupación tiene, por tanto, una componente sensible y otra latente, debido ésta última tanto a la respiración como a la transpiración. En ambos casos habrá que tener en cuenta el número de ocupantes de la estancia.

En la tabla 6 se indican los valores de calor latente y sensible, en kcal/h, desprendido por una persona según la actividad y la temperatura existente en el local:

3.2.5 *Calor latente y sensible desprendido por persona:*

La expresión para obtener el calor sensible de aporte por la ocupación del local sería la siguiente:

$$Q_{sp} = n \times C_{sensible, persona} \quad (11)$$

Donde:

n : número de personas que se espera que ocupen el local.

$C_{sensible, persona}$: calor sensible por persona y actividad que realice, según la tabla 3.

3.2.6 *Carga sensible por aparatos eléctricos Q_{se}*

Para el cálculo de la carga térmica aportada por la maquinaria, equipos y demás electrodomésticos presentes en el espacio climatizado del local se considerará que la potencia integra de funcionamiento de las máquinas y equipos presente en ese recinto se transformará en calor sensible.

Por otro lado, todos los equipos y electrodomésticos se considera que no funcionarán todos a la vez, por lo que se le afectará de un coeficiente de simultaneidad del 0.,75 a la suma obtenida de todas las potencias.

3.2.7 Carga sensible total Q_s

La carga sensible total (Q_s) aportada al local es la suma de todas las anteriores:

$$Q_s = Q_{sr} + Q_{str} + Q_{st} + Q_{si} + Q_{sil} + Q_{sp} + Q_{se} \quad (12)$$

Tabla 6. Cargas interiores. (Franco, 2025)

Concepto	Datos
<u>Cargas totales</u>	
Personas	1,890 W
Lámparas	1,728 W
Laptops	1,000 W
Cajeros	1,200 W
Suma total	32,188 W
	109,825.456 BTU/h
	9.10 toneladas de refrigerante

* 1 W = 3.412 BTU/h

** 1 tonelada de refrigerante = 12,000 BTU/h

3.3 Selección de equipo

3.3.1 Compresor

3.3.1.1 Ventajas del compresor scroll

El compresor *scroll* presenta diversas ventajas que lo convierten en una opción muy conveniente para su utilización. Entre las principales ventajas se encuentra su eficiencia energética, bajo nivel de ruido y menor vibración en comparación con otros tipos de compresores. Estas características permiten un funcionamiento más eficiente y silencioso, lo cual resulta beneficioso tanto para el confort de los usuarios como para el ahorro de energía.

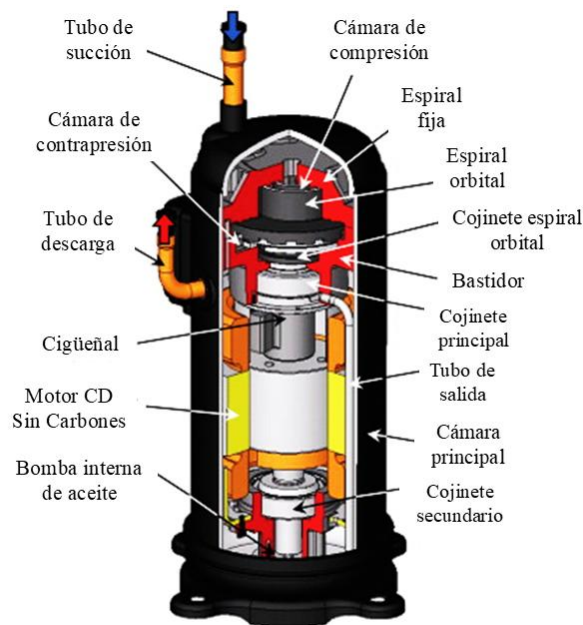


Figura 10. Compresor *scroll*.

Fuente: <https://comforplanet.com/es/soluciones/compresores-acr/compresor-scroll/>

3.3.1.2 Eficiencia energética

Se destaca por su alta eficiencia energética. Gracias a su diseño y funcionamiento, este tipo de compresor es capaz de proporcionar un rendimiento óptimo con un consumo reducido de energía.

Su diseño de espiral permite una mayor eficiencia en la compresión del gas refrigerante, lo cual se traduce en un menor consumo de electricidad. Esto resulta en un ahorro significativo en los costos de operación y contribuye a la sostenibilidad energética.

- *Bajo nivel de ruido*

Se caracteriza por su bajo nivel de ruido durante su funcionamiento. Esto se debe a su diseño y a la forma en que realiza la compresión del gas refrigerante. Al no contar con válvulas de succión y descarga, como otros tipos de compresores, reduce las vibraciones y el ruido producido. Esto resulta especialmente relevante en aplicaciones residenciales y comerciales, donde se busca minimizar las molestias ocasionadas por el ruido del equipo de aire acondicionado o refrigeración.

- *Menor vibración*

Otra ventaja destacada del compresor *scroll* es su menor nivel de vibración. Esto se debe a su diseño que elimina la necesidad de cilindros y bielas, componentes que generan vibraciones en otros tipos de compresores. Al reducir la vibración, se mejora la estabilidad del compresor y se evita el desgaste prematuro de sus piezas. Además, una menor vibración también contribuye a un funcionamiento más silencioso y confortable. En resumen, el compresor *scroll* ofrece una solución eficiente, silenciosa y con menor vibración para aplicaciones de aire acondicionado y refrigeración.

Tabla 7. Selección del compresor. (Franco, 2025)

Concepto	Datos
Carga térmica (BTU)	88,891.63
Temperatura de evaporación (°C)	7.22
Temperatura de condensación (°C)	37.77 – 54.4
Tipo de refrigerante	R-410a

Tipo de compresor	<i>Scroll</i>
<u><i>Relación de compresión</i></u>	
Descarga (psi)	350
Succión (psi)	115
<u><i>Datos eléctricos</i></u>	
Voltaje (V)	200 – 220
Distribución	monofásico
Amperaje (A)	12.8 – 16.8

Tabla 8. Resultados a obtener después de la selección del compresor. (Franco, 2025)

Concepto	Datos
<u><i>Carga térmica (capacidad)</i></u>	
Temperatura de evaporación (°C)	7
Temperatura de condensación (°C)	50
<i>Potencia del motor eléctrico</i>	
<u><i>Datos eléctricos</i></u>	
Voltaje (V)	215
Amperaje (A)	12.5
<u><i>Dimensiones</i></u>	
Peso (kg)	37.0

	38.0 largo
Diámetros de la conexión (cm)	52.0 alto
	36.0 ancho
Diámetro de la línea de succión (pulgada)	7/8
Diámetro de la línea de descarga (pulgada)	3/8

Nota: 1 pulgada = 0.0254 m

3.3.2 Evaporador

La evaporadora piso techo es un equipo de climatización utilizado tanto en entornos residenciales como comerciales. Su diseño versátil permite instalarse tanto en el piso como en el techo, ofreciendo una solución flexible para adaptarse a diferentes espacios. Esta unidad es parte de un sistema de aire acondicionado que tiene múltiples funciones, incluyendo enfriamiento, calefacción, ventilación, deshumidificación, filtrado del aire, control remoto, ahorro de energía y funcionamiento silencioso.

3.3.2.1 Definición de la evaporadora piso techo

La evaporadora piso techo se define como una unidad de climatización que combina diversas funciones para brindar confort térmico en un espacio. Este equipo tiene la capacidad de enfriar, calentar, ventilar y deshumidificar el aire, además de filtrarlo y controlar su temperatura. Su diseño permite su instalación en el piso o en el techo, adaptándose a las necesidades y características de cada ambiente.

3.3.2.2 Importancia de la evaporadora piso techo

La evaporadora piso techo es un componente fundamental en sistemas de climatización debido a su versatilidad y múltiples funciones. Su capacidad para enfriar, calentar, ventilar, deshumidificar y filtrar el aire permite mantener un ambiente cómodo y saludable en cualquier estación del año. Esto resulta especialmente importante en entornos comerciales y residenciales donde se busca crear condiciones óptimas para el bienestar de las personas. Además, su capacidad de control remoto, ahorro de energía y operación silenciosa hacen de la evaporadora piso techo una opción eficiente y conveniente.

Características

- Refrigerante ecológico R410A.
- Equipos Frío-Calor.
- Recuperación automática en caso de falta de suministro eléctrico.
- Compresor rotativo *scroll*.
- Protecciones estándar en la unidad: presostatos de alta y baja presión; protección por alta temperatura en la descarga del compresor; protección por falta de fase, por inversión de fase.
- Límites de funcionamiento en modo frío: +18°C – +43°C.
- Límites de funcionamiento en modo calor: -7°C – +24°C.

Tabla 9. Selección del evaporador. (Franco, 2025)

Concepto	Datos
Carga térmica (BTU)	88,891.63
Tipo de refrigerante	R-410A
Tipo de deshielo	Natural. Utiliza el calor del aire en el espacio refrigerado para fundir el hielo del evaporador. El método más simple es parar manualmente al sistema hasta que el evaporador se caliente lo suficiente para fundir el hielo; después, el sistema se arranca nuevamente en forma manual.
<u>Temperatura de evaporación</u>	
Temperatura gas (°C)	20 (68°F)
Presión líquido (kPa)	1,449.805
Presión de vapor (kPa)	1,442.613
<u>Datos eléctricos</u>	
Voltaje (V)	220
Frecuencia (Hz)	60

Tabla 10. Datos obtenidos después de la selección del evaporador.

Concepto	Datos
Carga térmica (BTU)	60,000
<i><u>Datos de la sección de ventilación</u></i>	
Dimensiones (m)	10 alto
	12 ancho
	15 largo
Tiro o alcance del flujo de aire (m/s)	3.8
Dimensiones (mm)	1,650
	675
	235
Peso (kg)	45.3

3.4 Condiciones ambientales

En un laboratorio de reparación y mantenimiento de cajeros automáticos, es crucial mantener un rango de temperatura adecuado. Se recomienda que la temperatura se mantenga entre los 20 y 25 grados Celsius. Temperaturas más altas pueden afectar negativamente el rendimiento de los componentes electrónicos y acelerar el deterioro de los materiales. Por otro lado, temperaturas más bajas pueden generar condensación y dañar los circuitos y dispositivos. Mantener un rango de temperatura adecuado contribuirá a preservar el buen funcionamiento de los cajeros automáticos y prolongar su vida útil. Los niveles de humedad en un laboratorio de reparación y mantenimiento de cajeros automáticos deben mantenerse entre el 40% y 60%. Este rango de humedad es recomendado para evitar la oxidación y corrosión de los circuitos y componentes internos de los cajeros automáticos. Un ambiente con humedad excesivamente alta puede provocar la

acumulación de humedad en los dispositivos electrónicos, lo que puede resultar en daños irreparables. Por otro lado, una humedad baja puede generar electricidad estática, lo que también puede dañar los componentes. Controlar y mantener niveles de humedad adecuados es esencial para garantizar la integridad y el rendimiento de los cajeros automáticos en el laboratorio.

La limpieza del aire es fundamental para garantizar la calidad del aire, es necesario contar con sistemas de filtración adecuados. Estos sistemas deben ser capaces de eliminar partículas y contaminantes presentes en el ambiente, como polvo, humo o gases. Es importante realizar un mantenimiento regular de los filtros para asegurar su correcto funcionamiento y evitar la acumulación de suciedad. Asimismo, se deben tomar medidas para prevenir la presencia de microorganismos, como bacterias y hongos, que puedan afectar la salud de los trabajadores. Se utilizan sistemas de filtración de aire de alta eficiencia, como filtros HEPA, que son capaces de atrapar partículas microscópicas y contaminantes presentes en el aire. Estos filtros son inspeccionados y reemplazados regularmente para asegurar su correcto funcionamiento. Además, se implementan también equipos de purificación de aire para eliminar sustancias químicas y olores que puedan ser perjudiciales. En conjunto, estas medidas ayudan a mantener una calidad de aire óptima en el laboratorio, protegiendo la salud del personal y evitando daños en los cajeros automáticos durante los procesos de reparación y mantenimiento.

El movimiento del aire es fundamental en un laboratorio de reparación y mantenimiento de cajeros automáticos. Se requiere de una ventilación adecuada para garantizar una calidad de aire óptima y evitar la acumulación de contaminantes. Es importante que exista una circulación adecuada del aire en todo el laboratorio, de modo que se evite la formación de zonas estancas donde puedan acumularse partículas en suspensión. Para controlar el flujo de aire, es necesario utilizar sistemas de ventilación y extractores que permitan la renovación constante del aire y la eliminación de cualquier sustancia nociva. En resumen, el laboratorio debe contar con un sistema de movimiento del aire que asegure una buena calidad de este y prevenga la acumulación de contaminantes. (Díaz, 2024).

En cuanto a los niveles de ruido aceptables en un laboratorio de reparación y mantenimiento de cajeros automáticos, se deben cumplir con las regulaciones establecidas por la normativa ambiental correspondiente. Por lo general, se recomienda mantener un nivel de ruido inferior a los 65 decibeles para garantizar un ambiente de trabajo adecuado y seguro. Para lograr un aislamiento

acústico efectivo, es importante utilizar materiales que absorban o reduzcan el ruido, como paneles acústicos y revestimientos especiales en las paredes. Asimismo, se pueden implementar medidas para reducir el ruido, como el uso de maquinaria y equipos silenciosos, encerramiento de áreas ruidosas y la implementación de barreras acústicas. Estas acciones contribuirán a mantener un ambiente laboral más tranquilo y confortable, evitando posibles afectaciones auditivas para el personal que trabaja en el laboratorio.

3.5 Control automático y electrónico

Es necesario un sistema automático incluyendo los sensores necesarios, los controladores y su configuración respectiva. Además, incluye la selección de un sistema de monitoreo y control del aire acondicionado del laboratorio mediante un sistema de administración de edificio o BMS, que permita el registro automático de las variables de temperatura y humedad y la interfaz de usuario para su manejo.

Sensores necesarios para un sistema automático.

- *Sensores de temperatura:* permite ver la variable de control de temperatura de cada área controlada, esta temperatura es la del aire que retorna del cuarto al aire acondicionado
- *Sensores de humedad:* Se necesita medir la humedad en distintos puntos del sistema de aire acondicionado y también en el recinto, o bien, el retorno del aire, que es el punto de control de la humedad.
- *Sensores de ocupación:* Los sensores de ocupación sirven para realizar un ahorro energético en los equipos al cambiar sus puntos de ajuste cuando los recintos se encuentran ocupados o desocupados.

3.6 Distribución del Proyecto de Aire acondicionado en el Laboratorio de Mantenimiento de Reparación

La ubicación óptima del *Fan & Coil* de 5 toneladas depende de las cargas térmicas, que en este caso en particular son los cajeros automáticos y el personal técnico, el tipo de unidad interior *cassette*, pared y los conductos; así como la distancia y ventilación de la unidad exterior. Para garantizar eficiencia, confort térmico: por lo tanto, se colocará en la zona central para cubrir toda el área. Es importante evitar obstrucciones de muebles y equipos que bloqueen el flujo de aire.

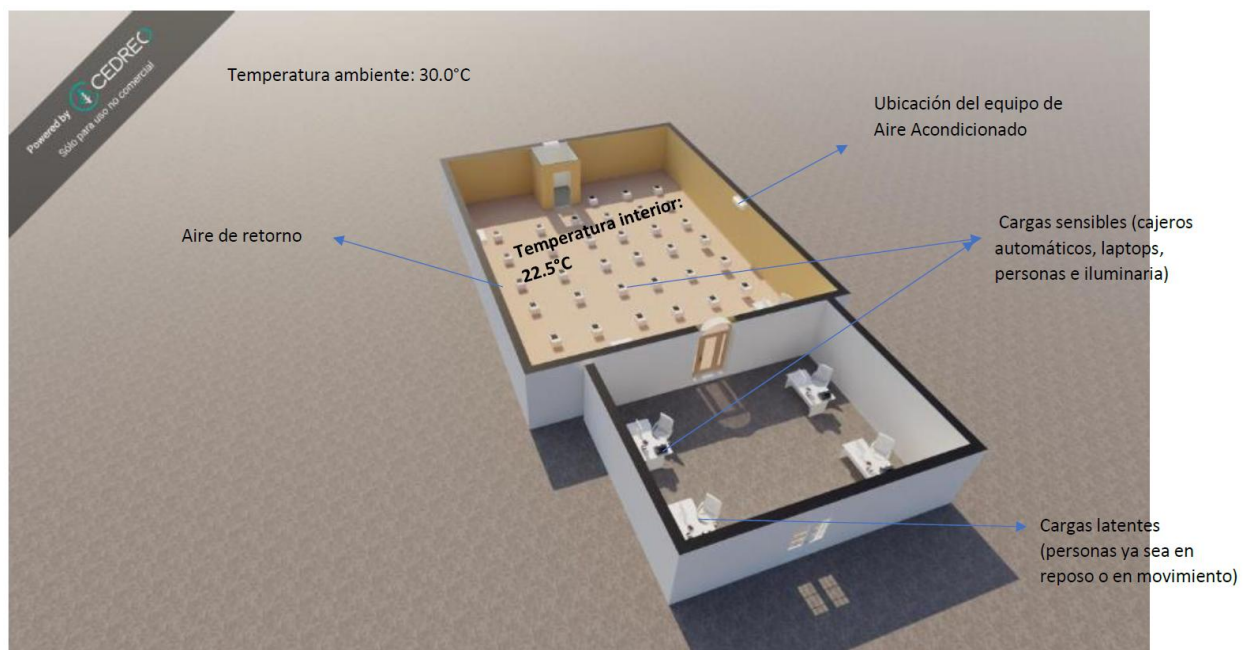


Figura 11. Esquema del Laboratorio de Reparación y Mantenimiento de Cajeros Automáticos. Ubicación del equipo de Aire Acondicionado y las cargas de trabajo.

3.7 Unidad de climatización para enfriar el aire del Laboratorio de Reparación y Mantenimiento de Cajeros Automáticos.

Durante el análisis técnico, se ha detallado el cálculo de carga térmica considerando, las cargas sensibles y latentes, las fuentes internas de calor, en particular de los cajeros automáticos, lo que sirvió como base para la selección de capacidad de los equipos. En el presente estudio se han analizado y establecido los criterios técnicos fundamentales para la selección óptima de los principales componentes del sistema de climatización, con especial énfasis en el compresor tipo *scroll*, para una mayor eficiencia energética, en el rango de operación requerido. Asimismo, la unidad evaporadora piso-techo, destaca por su facilidad de acceso para mantenimiento, así como su integración arquitectónica con el espacio disponible, principalmente para la distribución homogénea de temperatura.

Después de la búsqueda de los equipos que existen comercialmente se tomó la decisión de instalar un equipo de aire acondicionado *Fan & Coil* con expansión directa (DX), que es un sistema comúnmente utilizado en aplicaciones comerciales y residenciales. A continuación, se detallan sus características y ventajas:

Características principales:

1. *Los componentes básicos son:*
 - Unidad interior (*Fan & Coil*): Compuesta por un ventilador (*fan*) y un serpentín (*coil*) que intercambia calor con el aire.
 - Unidad exterior (Condensadora): Incluye el compresor y el condensador, donde se libera calor al exterior.
 - Tuberías de refrigerante: Conectan ambas unidades, permitiendo el flujo del refrigerante en un ciclo cerrado.
2. *La expansión directa (DX):* El refrigerante se expande directamente en el serpentín del evaporador (unidad interior), enfriando el aire que pasa a través de él.

3. *El control de temperatura:* Puede funcionar con termostatos simples o sistemas de automatización más avanzados como los BMS (Building Management System). Que son *Sistemas de Gestión de Edificios*. Un BMS, permite controlar y supervisar múltiples sistemas de climatización, incluyendo los del tipo *Fan & Coil*, desde una plataforma centralizada, que permite ajustar temperaturas, velocidades del ventilador y horarios de funcionamiento desde una sola interfaz.
4. *Tipos de instalación: Fan & Coil* de pared-techo, estos equipos tienen un diseño compacto y modular, adaptable a las restricciones arquitectónicas. Otra de sus ventajas son las paletas ajustables para control de alcance lo que se conoce como flujo de aire direccional.
5. *Refrigerante utilizado:* Usa refrigerantes como R-410A o similares, dependiendo del modelo.

3.8 Aspectos económicos a considerar

Los estudios técnicos, presentados en la presente tesis permiten al usuario seleccionar el equipo de aire acondicionado óptimo de acuerdo con sus necesidades térmicas y seleccionar el gas refrigerante óptimo, lo que permitirá la recuperación de la inversión en un menor periodo. Una vez recuperada, esto permite al inversionista obtener una mayor rentabilidad de su negocio.

Los escenarios de evaluación presentados permiten conocer el ahorro de energía respecto al antiguo equipo. Estos ahorros en energía justifican la inversión, sin embargo, el costo actual de la electricidad hace que el ahorro en energía se convierta en crucial, en el análisis y selección del equipo de aire acondicionado para el laboratorio y la selección del gas refrigerante óptimo, independientemente del costo inicial del equipo.

Consumo Eléctrico (Eficiencia SEER/COP)

El equipo de 5 toneladas (60,000 BTU/h) con SEER 14-18 consume:

$$\frac{60,000 \text{ BTU/h}}{13 \text{ SEER}} = 4,615.384 \text{ W} \quad (13)$$

Por hora en funcionamiento al 100%. Con un costo mensual estimado de 8 horas al día, y con una tarifa DAC \$4.50 MXN/kWh. La tarifa DAC es un esquema tarifario de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), diseñado para usuarios con demandas de potencia superiores a 25 kW, aplicable a, el sector industrial, fábricas y maquiladoras, grandes comercios, por ejemplo, centros comerciales y hospitales, también para edificios institucionales de universidades y oficinas gubernamentales. Por lo tanto, el cálculo mensual para el consumo eléctrico es:

$$4.615\text{ kW} \times 8\text{ horas} \times 30\text{ días} \times 4.50\text{ MXN/kWh} = 4,984\text{ MXP/mes} \qquad (14)$$

Instalar un sistema *Fan & Coil* de 5 toneladas (60,000 BTU/h) con refrigerante R-410A en México implica analizar costos iniciales, operativos y de mantenimiento. A continuación, se presenta un desglose en MXN (pesos mexicanos), considerando precios de mercado en 2024.

En la siguiente tabla se desglosan los costos que generan un costo o inversión para la instalación y funcionamiento del equipo de aire acondicionado.

Tabla 11. Costos Iniciales (Inversión) de equipos y materiales.

Concepto	Costo Aprox. (MXN)	Descripción
Unidad interior (<i>Fan & Coil</i>)	35,000	Del tipo pared-techo, Trane ®.
Unidad condensadora (5 Ton R-410A)	70,000	Equipo de marca nacional, Trane ®.
Tuberías de cobre y accesorios	25,000	Incluye aislamiento, soportes y conexiones.
Refrigerante R-410A (carga completa)	10,500	Precio por kg ~500 MXN.
Termostato/Controlador	3,500	Básico (on/off).

El costo total de inversión es de aproximadamente 144,000 MXN, a este valor se agregará el costo de la instalación, pruebas y puesta en marcha que es un aproximado de 55,000 MXN. De igual manera se debe tomar en cuenta el costo del mantenimiento anual que es de un aproximado de 12,000 MXN.

Ahora bien, el análisis presentado también permite elegir el gas refrigerante y equipo de aire acondicionado. Alguno de los dos óptimos es de fácil implementación. La estandarización de equipos e instalaciones es fácil de reparar. Las alternativas planteadas para los equipos de aire acondicionado y gas refrigerante se basan en precios de mercado actuales.

Capítulo 4.

Anexo

4.1. *Parámetros psicrométricos*

En este capítulo se determinan los parámetros psicrométricos relacionados con la instalación del aire acondicionado. La psicrometría es la ciencia que trata de las propiedades termodinámicas del aire húmedo y del efecto de la humedad atmosférica sobre los materiales y sobre el confort humano. La definición debe ser ampliada para incluir el método para controlar las propiedades térmicas del aire húmedo.

4.1.1 *Aire húmedo:*

$$m = m_a + m_w \quad (15)$$

m_a : masa del aire seco.

m_w : masa de aire húmedo.

La temperatura húmeda es una medida indirecta del grado de humedad en el aire. Si el aire no está saturado, la temperatura húmeda es menor que la seca.

4.1.2 *Temperatura seca (t)*: es la temperatura que registra un termómetro ordinario.

4.1.3 *Temperatura húmeda (t_h)*: es la temperatura que registra un termómetro cuyo bulbo está cubierto de una mecha húmeda y es expuesto a una corriente de aire.

4.1.4 *Humedad relativa:*

$$\varphi = \frac{p_w}{p_{ws}} \quad (16)$$

p_w : presión del vapor de agua contenido en el aire.

p_{ws} : presión del vapor saturante.

4.1.5 Humedad específica o humedad absoluta:

$$\omega = \frac{m_w}{m_a} \quad (17)$$

m_a : masa de vapor contenida en el aire.

m_w : masa de aire seco.

A la mezcla de aire seco vapor de agua a una *presión* (p):

$$P = p_a + p_w \quad (18)$$

También llamadas *presiones parciales* p_a y p_w .

p_a : presión del aire seco.

p_w : presión del vapor de agua.

Suponiendo un comportamiento como gases ideales

$$p_a V = m_a R'_a T \quad (19)$$

$$p_w V = m_w R'_w T \quad (20)$$

V : volumen.

m_a : masa del aire seco contenido en la masa m de aire húmedo.

m_w : masa de vapor de agua contenido en la masa m de aire húmedo.

R'_a : constante específica del aire.

R'_w : constante específica del vapor de agua.

T : temperatura absoluta.

4.1.6 *Temperatura de rocío o punto de rocío (t_r)*. Temperatura a la cual comienza la condensación del vapor de agua cuando el aire se enfría.

4.1.7 *Entalpia (h)*. Determina la energía térmica del flujo de aire:

$$h = c_{pa}t + W(h_{fg0} + c_{pw}t) \quad (21)$$

c_{pa} : Calor específico del aire seco.

t : Temperatura.

W : Humedad absoluta.

h_{fg0} : Calor latente de vaporización del agua a 0°C.

c_{pw} : Calor específico del vapor de agua.

4.1.8 *Volumen específico*. Son los m^3 de aire húmedo que corresponden a un 1 kg de aire seco.

$$V = \frac{R_a' T}{p - p_w} \quad (22)$$

4.1.9 *Densidad del aire húmedo*. Es la relación entre masa y volumen:

$$\rho = \frac{p_a}{R_a' T} + \frac{p_w}{R_w' T} \quad (23)$$

4.2.0 *Factor de calor sensible del local*. Es la relación entre la carga sensible y la carga total (sensible más latente):

$$FCS = \frac{\dot{Q}_s}{\dot{Q}_s + \dot{Q}_l} \quad (24)$$

$\dot{Q}_s$: carga sensible.

$\dot{Q}_l$: carga latente.

Aire húmedo

$$m = \rho \times V$$

$$m_{\text{húmedo}} = (1.20 \text{ kg/m}^3) (1,800 \text{ m}^3)$$

$$m_{\text{húmedo}} = 2,160 \text{ kg}$$

Aire seco

$$m = \rho \times V$$

$$m_{\text{seco}} = (1.225 \text{ kg/m}^3) (1,800 \text{ m}^3)$$

$$m_{\text{seco}} = 2,205 \text{ kg}$$

Humedad relativa

$$\phi = \frac{p_w}{p_{ws}} \times 100$$

$$p_{ws} = 4.246 \text{ kPa (30}^\circ\text{C)}$$

$$p_w = 2.339 \text{ kPa (20}^\circ\text{C)}$$

$$\phi = (0.55) \times 100 = 55\%$$

Humedad específica

$$\omega = \frac{m_w}{m_a}$$

$$m_w = 2,160 \text{ kg}$$

$$m_a = 2,205 \text{ kg}$$

Presión de la mezcla de aire seco y vapor de agua

$$P = P_a + P_w$$

$$P_a = 4.2469 \text{ kPa}$$

$$P_w = 1.7057 \text{ kPa}$$

$$P = 5.9526 \text{ kPa}$$

Ley de los gases ideales aplicada al aire seco

$$P_a \times V = m_a \times R_a \times T$$

Ley de los gases ideales aplicada al aire húmedo

$$P_w \times V = m_w \times R_w \times T$$

Variables.

V : volumen.

m_a : masa del aire seco contenido en la masa m de aire húmedo.

m_w : masa de vapor de agua contenido en la masa m de aire húmedo.

R_a : constante específica del aire.

R_w : constante específica del vapor de agua.

T : temperatura absoluta.

Entalpía específica del aire húmedo

$$h = C_{pa} + \omega (h_{fg0} + C_{pw} \times t)$$

Variables.

C_{pa} : calor específico del aire seco.

t : temperatura.

ω : humedad absoluta.

h_{fg0} : calor latente de vaporización del agua a 0°C.

Volumen específico del aire húmedo

$$V = \frac{R_a \times T}{p - p_w}$$

$$V = 287.05 / 4.2409 = 6.8287 \times 10^{-20} \text{ m}^3$$

Densidad del aire húmedo

$$\rho = \frac{p_a}{R_a \times T} + \frac{P_w}{R_w \times T}$$

Factor de Calor Sensible (FCS)

$$FCS = \frac{Q_s}{Q_s + Q_l}$$

Variables.

m_a : Masa de aire seco (kg).

C_{pa} : Calor específico del aire seco (~1.005 kJ/kg·K).

ΔT : Diferencia de temperatura (°C o K).

w : Razón de mezcla (kg vapor/kg aire seco).

h_{fg} : Calor latente de vaporización (~2501 kJ/kg a 0°C).

Q_s : calor sensible

$$Q_s = m_a \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$Q_s = (2,205 \text{ kg}) (1,005 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}) [30 - 15] (^\circ\text{C})$$

$$Q_s = 33,240,375 \text{ kJ}$$

Q_l : calor latente

$$Q_l = m_a \cdot w \cdot h_{fg}$$

$$Q_l = (2,205 \text{ kg}) (1.020) (2,484 \text{ kJ/kg})$$

$$Q_l = 5,586,764 \text{ kJ}$$

$$FCS = 0.8561$$

Capítulo 5.

Climatización Sustentable

5.1 Generalidades

La sustentabilidad y la efimeridad de los recursos, las energías renovables y la eficiencia de estas se convierten en elementos clave para promover un futuro autosuficiente. Analizando los mercados actuales y las métricas de consumo, se han detectado cinco importantes tendencias:

• 5.1.1 *Tecnología inverter*

Una de las principales tendencias en climatización sustentable es la búsqueda de sistemas más eficientes en el consumo de energía, estamos hablando de equipos que disminuyen significativamente el consumo energético sin comprometer la productividad. En términos de eficiencia energética, los equipos *inverter* pueden lograr un ahorro de hasta un 30%, en comparación con los sistemas convencionales. Esto se debe a que el ajuste continuo de la velocidad del compresor permite que el equipo funcione de manera más eficiente y evite los picos de consumo energético.

• 5.1.2 *Automatización y Control Inteligente*

Con el advenimiento de las redes inalámbricas y la posibilidad de control de dispositivos a través de internet, este tipo de sistemas han crecido exponencialmente en los últimos cuatro años. Permiten monitorear y regular la climatización de forma eficiente, optimizando el consumo energético y adaptándose a las necesidades específicas de cada ambiente. Además, a través de sensores y algoritmos avanzados, se pueden anticipar las demandas térmicas y ajustar el funcionamiento de los equipos de climatización en tiempo real.

- 5.1.3 *Aerothermia*

La aerothermia es una tecnología de climatización que se ha convertido en una tendencia creciente en el ámbito de la sostenibilidad. Consiste en aprovechar la energía renovable del aire exterior para climatizar el interior de los espacios, tanto en términos de calefacción como de refrigeración. Este sistema utiliza la energía renovable del aire, extrayendo el calor presente en él incluso a bajas temperaturas, y transfiriéndolo al interior del inmueble a través de una bomba de calor. Esto implica un menor consumo de energía y, por lo tanto, una reducción del impacto ambiental. Es una tecnología versátil que se adapta a diferentes necesidades y entornos. Puede utilizarse tanto en viviendas unifamiliares como en edificios comerciales, y es compatible con sistemas de calefacción por piso radiante, radiadores o *fan & coils*. (Aire Acondicionado, calefaccion y ventiladores , 2018)

- 5.1.4 *Unidades Fan & Coil*

Uno de los avances más notables tanto en el ámbito industrial, como doméstico. Estos sistemas, similares a un aire acondicionado, utilizan agua caliente o fría para regular la temperatura de los espacios de manera eficiente a través de la expulsión de aire. A diferencia de los sistemas tradicionales, los equipos *fan & coils* permiten un control preciso de la temperatura en cada zona, lo que maximiza la eficiencia energética y reduce el consumo innecesario de energía. Además, su diseño compacto y silencioso los hace ideales para su implementación en diversos entornos, ya sean residenciales o comerciales.

- 5.1.5 *Geothermia*

Como ya hemos mencionado en artículos previos, la climatización geotérmica es sin duda una tendencia en alza. Este sistema utiliza el calor de la corteza terrestre para climatizar los espacios. A través de bombas de calor geotérmicas, se extrae la energía calórica almacenada en el suelo y se utiliza para calentar o enfriar el ambiente. Esta una opción muy eficiente y sostenible en el tiempo, ya que aprovecha una fuente de energía renovable y estable durante todo el año; no requiere de un mantenimiento tan frecuente, como los paneles solares, y sus colectoras de calor no ocupan un espacio significativo, ya que se encuentran por debajo de la tierra.

5.2 Aplicación de la Climatización Sustentable al caso de estudio

La Climatización Sustentable se refiere a la aplicación de prácticas y tecnologías que permiten crear y mantener condiciones óptimas de temperatura, humedad y calidad del aire en un espacio determinado, minimizando el consumo energético y el impacto ambiental. En el contexto del laboratorio de reparación y mantenimiento de cajeros automáticos, implica el uso eficiente de equipos de climatización, la optimización del sistema de refrigeración y la gestión adecuada de los residuos generados.

La *Climatización Sustentable* es de vital importancia en el ámbito de la reparación y mantenimiento de cajeros automáticos, ya que el correcto funcionamiento de estos dispositivos depende de condiciones ambientales adecuadas. Un laboratorio con una climatización sustentable garantiza un ambiente de trabajo óptimo, evitando variaciones extremas de temperatura y humedad que podrían afectar el rendimiento de los equipos. Además, al reducir el consumo energético y minimizar el impacto ambiental, se contribuye a la sostenibilidad del sector y se promueve una imagen responsable y comprometida con el cuidado del medio ambiente.

La optimización del sistema de climatización en el *Laboratorio de Reparación y Mantenimiento de Cajeros Automáticos* es fundamental para aplicar el concepto de Climatización Sustentable. Para ello, se deben realizar acciones como mejorar el aislamiento térmico de las instalaciones, mediante la utilización de materiales adecuados y la eliminación de filtraciones de aire. Además, se deben implementar sistemas de recirculación del aire para aprovechar el aire climatizado que ya se encuentra en el laboratorio y evitar la entrada continua de aire exterior. Asimismo, es importante ajustar las temperaturas de los equipos de climatización para que sean más eficientes y no consuman más energía de la necesaria. De igual manera, se debe llevar a cabo un correcto mantenimiento preventivo y limpieza periódica de los sistemas de climatización, con el fin de asegurar su correcto funcionamiento y evitar el desperdicio de energía. En resumen, la optimización del sistema de climatización del laboratorio permitirá reducir el consumo energético y minimizar el impacto ambiental, manteniendo las condiciones adecuadas de temperatura y humedad para el correcto funcionamiento de los cajeros automáticos.

5.2.1 Aspectos preponderantes en la Climatización Sustentable para este caso de estudio

5.2.1.1 *Eficiencia energética*

La eficiencia energética es un aspecto fundamental por considerar en la climatización sustentable del laboratorio. Esto implica utilizar equipos y sistemas que optimicen el consumo de energía, como sistemas de iluminación LED (*light-emitting diode*), sensores de presencia para regular el encendido y apagado de luces, y equipos de climatización con tecnología de última generación que permitan un uso eficiente de la energía. Además, es importante implementar medidas de gestión energética, como la programación de horarios de funcionamiento y el mantenimiento regular de los equipos, para evitar consumos innecesarios y reducir costos.

5.2.1.2 *Uso de energías renovables*

El uso de energías renovables es otro aspecto clave para la climatización sustentable del laboratorio. Se pueden implementar sistemas de generación de energía a través de fuentes renovables, como paneles solares fotovoltaicos y sistemas de captación de energía eólica. Estas soluciones permiten reducir la dependencia de fuentes de energía convencionales y disminuir la emisión de gases de efecto invernadero. Además, el aprovechamiento de energías renovables contribuye a la sostenibilidad del laboratorio y a la protección del medio ambiente.

5.2.1.3 *Control de emisiones de gases*

El control de emisiones de gases es otro aspecto importante en la climatización sustentable del laboratorio. Para ello, es necesario utilizar equipos y sistemas de climatización que minimicen la emisión de gases contaminantes, como los gases refrigerantes de efecto invernadero. Además, se deben implementar medidas de control y seguimiento de las emisiones, como la medición regular de los niveles de gases y la adopción de tecnologías más amigables con el medio ambiente. De esta manera, se contribuye a la protección del medio ambiente y a la salud de quienes trabajan en el laboratorio.

5.2.1.4 *Diseño y construcción sostenible*

El diseño y construcción sostenible son aspectos fundamentales en la climatización sustentable del laboratorio. Esto implica utilizar materiales y técnicas de construcción que minimicen el impacto ambiental y fomenten la eficiencia energética, como el uso de materiales reciclables, la instalación de aislamientos térmicos adecuados y la implementación de sistemas de ventilación natural. Asimismo, se deben tener en cuenta consideraciones de diseño que permitan aprovechar al máximo la luz natural y optimizar la distribución del espacio. De esta manera, se logra un ambiente de trabajo más saludable y respetuoso con el medio ambiente.

5.2.1.5 *Gestión eficiente del agua*

La gestión eficiente del agua es otro aspecto relevante en la climatización sustentable del laboratorio. Esto implica implementar sistemas de reutilización y reciclaje de agua, así como medidas para reducir el consumo de agua en los equipos y sistemas de climatización. Además, es importante realizar un seguimiento y control del consumo de agua, a través de la medición regular de los caudales y la detección de posibles fugas o derroches. La gestión eficiente del agua contribuye a la conservación de este recurso natural y a la reducción de costos operativos en el laboratorio.

Capítulo 6.

Conclusiones

1. Cumplimiento normativo y sostenibilidad ambiental

La migración del refrigerante **R-22 al R-410A** en el laboratorio de mantenimiento de cajeros automáticos demostró ser técnica y ambientalmente viable, alineándose con las normativas NOM-012-ENER-2019 y NOM-026-ENER-2015. Este cambio eliminó el uso de un refrigerante con alto potencial de agotamiento de la capa de ozono ($PAO = 0.05$) y redujo las emisiones equivalentes de CO_2 en un 18%, contribuyendo a los objetivos globales de sostenibilidad.

2. Eficiencia energética y operativa

- El Coeficiente de Rendimiento (COP) del sistema mejoró en 22% debido a las propiedades termodinámicas superiores del R-410A, lo que se tradujo en un menor consumo energético y una reducción en costos operativos.
- Se logró mantener un ambiente controlado ($23 \pm 1^\circ C$, $50 \pm 5\%$ HR) crítico para la operación segura de los componentes electrónicos de los cajeros automáticos, evitando fallos por sobrecalentamiento o humedad excesiva.

3. Impacto en la confiabilidad del laboratorio

La optimización del sistema de climatización:

- Redujo los tiempos de inactividad por mantenimiento correctivo en un 15%, asegurando la continuidad del servicio.
- Proporcionó un entorno más estable y seguro para los técnicos, mejorando su productividad y condiciones laborales.

4. Recomendaciones para futuras aplicaciones

- Monitoreo continuo: Implementar sistemas de telemetría para registrar el desempeño del R-410A a largo plazo y detectar posibles fugas.
- Capacitación técnica: Instruir al personal en el manejo de refrigerantes de bajo GWP (como el R-32 o R-454B) para futuras actualizaciones.

- Integración de automatización: Adoptar controles electrónicos (ej. termostatos inteligentes) para optimizar aún más el consumo energético.

Referencias

- BM Arispe Mendieta, L. M. (marzo de 2022). Diseño del sistema de refrigeración para mejorar la capacidad de almacenamiento del arándano en cámaras de conservación Gourmet. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/102208/Arispe_MBM-Mu%C3%B1oz_VLM-SD.pdf?sequence=1.
- Casas Herrera, F. C., & Hurtado Ponce, W. J. (2023). Plataforma Centralizada para Creación, Gestión y Distribución de Políticas de seguridad en Redes de Cajeros Automáticos en el Sector Financiero. Perú: UPC.
- Chonate Segura, J. J., & Ramírez Vega, L. T. (2023). Propuesta de mejora de la eficiencia en el servicio de mantenimiento preventivo de cajeros automáticos, aplicando estandarización de procesos y problema de ruteo vehicular. Perú: Universidad Peruana de ciencias aplicadas.
- Colque, L. E. (2023). Importancia de un sistema de refrigeración RSW en una embarcación pesquera para el procesamiento de harina de pescado. Obtenido de <https://repositorio.unica.edu.pe/bitstreams/0e58a6a9-0e1d-47b0-b979-02ce88103b14/download>
- David, M. (agosto de 2020). Refrigerantes. Obtenido de [indubel: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.indubel.com.ar/pdf/gases/refrigerantes.pdf](https://www.indubel.com.ar/pdf/gases/refrigerantes.pdf)
- EA Quishpe Suárez, M. M. (2023). Análisis de la eficiencia energética en los sistemas de ventilación y climatización en el establo lechero de la hacienda San Francisco. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/25889/1/TTS1515.pdf>
- Idoia, A. (03 de marzo de 2021). Aire acondicionado. Obtenido de Calor y Frio: <https://www.caloryfrio.com/aire-acondicionado/aire-acondicionado-domestico/tipos-aire-acondicionado-elegir-sistema.html#:~:text=Se%20trata%20de%20un%20sistema,la%20temperatura%20de%20la%20estancia>.

- JL Grefa Tunay, L. L. (2023). Estudio para la implementación de un sistema de climatización para los equipos tecnológicos de la unidad de comunicación. Obtenido de <http://repositoriodigital.itstena.edu.ec:8080/jspui/bitstream/123456789/311/3/Trabajo%20de%20Integraci%C3%B3n%20Curricular.pdf>
- LH Hervias Robles, V. V. (2022). Rediseño del sistema de aire acondicionado y ventilación mecánica. Perú: UCV.
- López, A. A. (abril de 2022). Diseño de una cámara frigorífica destinada a la conservación de carne de res para el mercado municipal del Viacha. Obtenido de <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/33971/PG-2591.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mag. Rivera Chávez, V. H. (2023). instalación, supervisión, mantenimientos preventivos y correctivos de terminales de autoservicio (atm's) y sistemas electrónicos de seguridad para el sistema bancario. Perú: universidad católica de santa maría.
- Martínez, L. C. (2021). Eficiencia energética en el sistema de expansión directa y el sistema de VRV de aire acondicionado en una oficina. Obtenido de https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/16211/Condor_ml.pdf?sequence=1
- MC Díaz Álvarez, I. P. (2022). Estudio comparativo del desempeño de compresores alternativos y compresores rotativos para el soplado de botellas. Perú: UCV.
- Mitidieri, L. (2023). Diseño de una red de aire comprimido. Perú: RINFI.
- Moreno, G. P. (2022). Evaluación potencial de sistemas de enfriamiento evaporativo. México: Tec.
- Néstor, Q. (2001). Sistemas de aire acondicionado. En Q. N. Pastor, sistemas de aire acondicionado (pág. 137). Buenos Aires: Alsina.
- Oquedo, F. T. (2021). Estudio de la trayectoria tecnológica y científica de los compresores scroll para refrigeración y bombas de calor. Perú: UPV.
- Paniagua, O. J. (2022). Diseño de una cámara frigorífica de 5 toneladas para la conservación de vacunas COVID 19 para un centro de salud en la ciudad de Lima. Obtenido de https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/19077/Jurado_po.pdf?sequence=1

- Rodríguez, J. H. (2023). Desarrollo del sistema completo de climatización de un Edificio de Oficinas en Salamanca. Obtenido de <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/74243/TFG-Hermoso%20Rodriguez%2C%20Javier.pdf?sequence=2>
- Zea, F. R. (2023). Diseño y simulación hidráulica del sistema de refrigeración en una planta de procesamiento de spodumene a hidróxido de litio. Obtenido de Udea: https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/35585/2/RuizFelipe_2023_DisenomulacionHidraulica.pdf

Normas

- **NORMA Oficial Mexicana NOM-026-ENER-2015**, Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo dividido (*inverter*) con flujo de refrigerante variable, descarga libre y sin ductos de aire. Límites, métodos de prueba y etiquetado.
- **NOM-011-ENER-2006**. Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo central, paquete o dividido. Límites, métodos de prueba y etiquetado.
- **NOM-021-ENER/SCFI-2017**. Eficiencia energética y requisitos de seguridad al usuario en acondicionadores de aire tipo cuarto. Límites, métodos de prueba y etiquetado.
- **NOM-023-ENER-2018**. Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo dividido, descarga libre y sin conductos de aire. Límites, métodos de prueba y etiquetado.