



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

**PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS EQUIPOS DE AIRE
ACONDICIONADO, EN LA TERMINAL DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL LA AURORA**

Roger Antonio Pérez González

Asesorado por el Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres

Guatemala, septiembre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS EQUIPOS DE AIRE
ACONDICIONADO, EN LA TERMINAL DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL LA AURORA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ROGER ANTONIO PÉREZ GONZÁLEZ

ASESORADO POR EL ING. BYRON GIOVANNI PALACIOS COLINDRES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivas
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García a.i.
EXAMINADOR	Ing. Victor Hugo Dardón Castillo
EXAMINADOR	Ing. Herbert Samuel Figuera Avendaño
EXAMINADOR	Ing. José Ismael Véliz Padilla
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS EQUIPOS DE AIRE
ACONDICIONADO, EN LA TERMINAL DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL LA AURORA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 4 octubre de 2017.



Roger Antonio Pérez González

Guatemala, 15 de julio de 2019

Ingeniero
Roberto Guzmán Ortiz
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Guzmán:

Por este medio hago constar que he finalizado la revisión del trabajo de graduación del estudiante **ROGER ANTONIO PÉREZ GONZÁLEZ**, quien se identifica con registro académico **201122892** y CUI **2052 06042 0401**, con el título: **"PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO, EN LA TERMINAL DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL LA AURORA"**, el cual encuentro satisfactorio.

En tal virtud, otorgo mi aprobación, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, atentamente,



Byron Giovanni Palacios Colindres
Ingeniero Mecánico
Colegiado 5641
ASESOR

Ing. Byron G. Palacios C.
Colegiado No. 5641

Ref.E.I.M.194.2019

El Coordinador del Área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO, EN LA TERMINAL DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL LA AURORA** presentado por el estudiante **Roger Antonio Pérez González**, CUI **2052060420401** y Reg. Académico No. **201122892**, recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador Área Complementaria
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, julio 2019

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área Complementaria del trabajo de graduación titulado: **PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO, EN LA TERMINAL DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL LA AURORA** presentado por el estudiante Roger Antonio Pérez González, CUI **2052060420401** y Reg. Académico No. **201122892**, y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"



Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, septiembre de 2019
/aej

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref.DTG.380.2019

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO, EN LA TERMINAL DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL LA AURORA**, presentado por el estudiante universitario: **Roger Antonio Pérez González**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Inga. Aurelia Anabela Córdova Estrada
Decana

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANA
FACULTAD DE INGENIERÍA

Guatemala, Septiembre de 2019

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por sus bendiciones, la vida, salud, fuerza para alcanzar este importante logro y de compartirlo como mis padres.

Mis padres

Abelardo Pérez Zamora y Silveria González Ramírez, por sus oraciones, consejos, comprensión y apoyo incondicional que me han brindado toda la vida.

Mis hermanos

Vivian Celeste, Heber Alejandro, Daniel Gustavo y Gerson Abelardo Pérez González, por su apoyo y por todos los momentos que compartimos en familia.

Mis compañeros

Con los que compartí valiosas experiencias en la universidad.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por el privilegio de estudiar en tan grande institución, por todo el conocimiento que me brindaron durante mi formación universitaria y por permitirme crecer profesionalmente.

Facultad de Ingeniería

Por todas sus enseñanzas, valores que me compartieron desde el primer día y darme la oportunidad alcanzar una de mis metas.

DGAC

Por abrirme las puertas en la Terminal del Aeropuerto Internacional La Aurora para realizar mi trabajo de graduación.

Asesor

Por su ayuda y recomendaciones en el desarrollo de mi trabajo de graduación.

**Personal administrativo
y técnico de la DGAC**

Por su valiosa colaboración en el desarrollo de mi trabajo de graduación dentro del Aeropuerto Internacional La Aurora.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Mantenimiento en el Aeropuerto Internacional La Aurora.....	1
1.2. Situación actual de los equipos de aire acondicionado en AILA.....	1
1.2.1. Sistema central de aire acondicionado	1
1.2.1.1. <i>Chillers</i>	2
1.2.1.2. Manejadoras de aire acondicionado	5
1.2.1.3. <i>Split</i> piso-techo	6
1.2.1.4. Torres de enfriamiento.....	6
1.2.2. Sistemas unitarios de aire acondicionado enfriado por gas.....	8
1.2.2.1. Mini <i>split</i>	9
1.2.2.2. <i>Split</i>	9
1.2.2.3. Tipo paquete.....	10
1.2.3. Sistema de distribución de agua de enfriamiento ...	11
1.2.3.1. Tubería de distribución	11
1.2.3.2. Bombas hidráulicas	13
1.2.3.3. Filtros	15

1.2.3.4.	Válvulas.....	17
1.3.	Inventario de los equipos	18
2.	MARCO TEÓRICO	25
2.1.	Fundamentos de refrigeración	25
2.1.1.	Ciclo de refrigeración por compresión	25
2.1.2.	Componentes del sistema de refrigeración	29
2.1.2.1.	Condensador.....	29
2.1.2.2.	Evaporador.....	30
2.1.2.3.	Compresor.....	31
2.1.2.4.	Válvula de expansión	32
2.2.	Aire acondicionado.....	34
2.2.1.	<i>Confort</i>	35
2.2.2.	Componentes de un sistema de aire acondicionado	35
2.2.2.1.	Equipo de enfriamiento	36
2.2.2.2.	Sistema de distribución de agua helada.....	38
2.2.2.3.	Unidad manejadora de aire	39
2.2.2.4.	Ductos de distribución de aire	40
2.3.	Equipos unitarios de aire acondicionado de gas refrigerante...	41
2.3.1.	<i>Mini split</i>	41
2.3.2.	<i>Split</i>	42
2.3.3.	Tipo paquete	43
2.4.	Torres de enfriamiento	43
2.5.	Mantenimiento.....	45
2.5.1.	Mantenimiento correctivo	46
2.5.2.	Mantenimiento preventivo	46
2.5.3.	Importancia del mantenimiento de los equipos	47

3.	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	51
3.1.	Actividades del mantenimiento preventivo.....	51
3.1.1.	Inspecciones de rutina	52
3.1.2.	Mantenimiento preventivo programado	54
3.1.2.1.	Limpieza de condensadores de <i>chillers</i>	55
3.1.2.2.	Limpieza de evaporadores de manejadoras.....	58
3.1.2.3.	Limpieza equipos unitarios de aire acondicionado.....	61
3.1.2.4.	Limpieza de filtros de aire	62
3.1.2.5.	Limpieza de torre de enfriamiento	64
3.1.2.6.	Revisión y ajuste de fajas	65
3.1.3.	Lubricación	69
3.1.3.1.	Aceite lubricante de los <i>chillers</i>	69
3.1.3.2.	Engrase motor de bombas hidráulicas.....	74
3.1.3.3.	Engrase de rodamientos.....	77
3.1.4.	Revisión de presión de refrigerante	78
3.1.5.	Revisión de componentes eléctricos	83
3.2.	Tratamiento del agua de enfriamiento	86
3.3.	Recursos	91
3.3.1.	Herramientas y equipo de trabajo.....	91
3.3.2.	<i>Stock</i> de repuestos	93
3.3.2.1.	Criterios para selección de repuestos..	93
3.3.2.2.	Tipos de repuestos	99
3.4.	Planificación y programación del mantenimiento de los equipos.....	101

4.	CONTROL Y SEGUIMIENTO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO.....	103
4.1.	Formatos	103
4.1.1.	Formatos de actividades de mantenimiento	103
4.1.2.	Ficha de seguimiento de las actividades de mantenimiento.....	105
4.1.3.	Ficha histórica de los equipos	106
4.2.	Indicadores de mantenimiento	107
4.2.1.	Disponibilidad	107
4.2.2.	Tiempo medio entre fallas	108
4.2.3.	Tiempo promedio entre reparaciones.....	109
4.2.4.	Número de paradas por mantenimiento	109
4.2.5.	Tiempo total de paradas por mantenimiento	110
4.2.6.	Costos de mantenimiento.....	110
	CONCLUSIONES.....	111
	RECOMENDACIONES	113
	BIBLIOGRAFÍA.....	115

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Enfriadora de agua tipo <i>chillers</i> marca Trane, modelo RTHD	3
2.	Unidad de control Tracer CH530 marca Trane	3
3.	Enfriadora de agua tipo <i>chiller</i> , marca Trane	4
4.	Manejadora de aire acondicionado (UMA 42)	5
5.	Vista interna torre de enfriamiento FXV	7
6.	Intercambiador de calor de la torre de enfriamiento	8
7.	Equipo de aire acondicionado tipo paquete	10
8.	Sistema de distribución de agua de enfriamiento	12
9.	Sistema de distribución de agua de la torre de enfriamiento al condensador de los <i>chillers</i>	13
10.	Bomba centrífuga de agua, para el condensador del <i>chiller</i>	14
11.	Bomba hidráulica de torre de enfriamiento.....	15
12.	Filtro hidráulico de malla o <i>strainer</i> , en la tubería de distribución de agua....	16
13.	Filtro <i>strainer</i>	17
14.	Válvula de mariposa en la tubería de distribución de agua de enfriamiento.	18
15.	Ciclo de refrigeración por compresión en el diagrama T-5.....	26
16.	Esquema del ciclo de refrigeración por compresión de los equipos de aire acondicionado	28
17.	Válvula de expansión electrónica EXV, <i>chillers Trane</i> modelo RTHD..	34
18.	Separador de aceite, <i>chiller Trane</i> modelo RTHD.....	37

19.	Impulsor de bomba centrífuga del sistema de distribución de agua de enfriamiento	39
20.	Limpieza interna de tuberías del condensador con equipo rotativo	58
21.	Medición de tensión en transmisiones por banda en V.....	68
22.	Determinación del nivel de aceite en el colector	71
23.	Gráfico de reemplazo de filtro de aceite (compresores marco E, D, C y B	73
24.	Intervalos de lubricación	74
25.	Condiciones de servicio	75
26.	Multiplicador de intervalos de relubricación	75
27.	Cantidad de grasa a agregar	75
28.	Juego de manómetro para equipos de aire acondicionado	80
29.	Tabla presión, temperatura de los refrigerantes	81
30.	Comprobación de presión de refrigerante en equipo mini <i>split</i> , lado de baja presión	82
31.	Medición de corriente con multímetro de pinza en equipo de aire acondicionado.....	84
32.	Formato de mantenimiento para actividades de mantenimiento.....	104
33.	Ficha de seguimiento de las actividades de mantenimiento	105
34.	Ejemplo de ficha histórica de los equipos	106

TABLAS

I.	Unidades manejadoras de aire (UMA) del sistema de aire acondicionado central.....	19
II.	Equipos de aire acondicionado de agua helada.	20
III.	Equipos tipo <i>chiller</i> para enfriamiento del agua	21
IV.	Torres de enfriamiento del sistema de enfriamiento de agua helada ...	21

V.	Equipos unitarios de aire acondicionado.....	22
VI.	Motores de bombas de condensador de chillers y torres de enfriamiento	23
VII.	Motores de bombas de circuito de distribución de agua primarios.....	23
VIII.	Motores de bombas de circuito de distribución de agua secundarios ..	24
IX.	Motores de bombas de recirculación de agua de la torre de enfriamiento	24
X.	Valores de referencia para el ciclo de vida de los equipos de aire acondicionado	49
XI.	Condiciones operativa a carga completa	54
XII.	Diámetro de la polea en pulgadas. Fuerza de deflexión en libras.....	67
XIII.	Características aceite Poe Trane	70
XIV.	Productos de engrase	77
XV.	Datos para el cálculo rápido del índice de estabilidad de Langelier del agua en torres de enfriamiento.....	90
XVI.	Criterios para el análisis de criticidad de los equipos de aire acondicionado	95
XVII.	Análisis de criticidad en <i>chillers</i>	96
XVIII.	Análisis de criticidad en bombas de los <i>chillers</i>	96
XIX.	Análisis de criticidad en bombas del sistema de distribución	97
XX.	Análisis de criticidad en torres de enfriamiento	97
XXI.	Análisis de criticidad en bombas de torres de enfriamiento	97
XXII.	Análisis de criticidad en equipos unitarios.....	98
XXIII.	Análisis de criticidad en manejadoras de aire	98
XXIV.	Análisis de criticidad en filtro de aire	98
XXV.	Programación de las actividades del plan de mantenimiento preventivo.....	102
XXVI.	Valores límites de disponibilidad	108

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
AILA	Aeropuerto Internacional La Aurora
Ode	Extremo opuesto a la transmisión
FC	<i>Fan-coil</i>
NIOSH	Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional
DE	Lado de la transmisión
LPC	<i>Low pressure capacity</i>
LRA	<i>Locked rotor amps</i> , corriente de arranque
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
PSI	<i>Pounds-force per square inch.</i>
Rla	<i>Running Load amps</i> , corriente de marcha
Frame	Tamaño de bastidor de los motores eléctricos
CFM	Unidad de medida del flujo de aire en pies por minuto
Ton	Unidad de medida en refrigeración
BTU	Unidad de medida térmica británica
Uma	Unidad manejadora de aire acondicionado
EXV	Válvula de expansión electrónica

GLOSARIO

<i>Chiller</i>	Es un equipo de enfriamiento de líquidos o generadora de agua helada.
<i>Fan-coil</i>	Son los equipos formados por un intercambiador de calor y un ventilador de agua-aire.
Fiabilidad	Probabilidad de que un equipo pueda funcionar sin presentar fallas en un intervalo de tiempo determinado.
<i>Finger</i>	Se refiere a la pasarela de abordaje a las aeronaves.
Hidrónico	Sistema que emplea agua para el proceso de enfriamiento del aire.
Isoentropico	En termodinámica es el procedimiento en el cual la entropía permanece constante, donde no existe intercambio de calor entre un sistema y su ambiente.
<i>Make Up</i>	Cantidad de agua agregada como reemplazo del proceso de purga de agua en la torre de enfriamiento.
Mantenibilidad	En mantenimiento se refiere a la rapidez con la cual se realiza una reparación.

RESUMEN

En la presente investigación se presenta el tema plan de mantenimiento preventivo para los equipos de aire acondicionado, en la Terminal del Aeropuerto Internacional La Aurora, describiendo inicialmente como se encuentran conformados los equipos de aire acondicionado, tanto del sistema central como de los equipos unitarios.

El segundo capítulo contiene lo referido al marco teórico, la información más importante para comprender el principio de funcionamiento de los equipos de aire acondicionado. Sobre el aire acondicionado se describen los componentes principales de los equipos de aire acondicionado comprendidos desde el proceso de enfriamiento hasta su distribución en áreas donde es solicitado. Del mantenimiento se presentan los tipos de mantenimiento y la importancia de su ejecución en los equipos.

En el tercer capítulo de la investigación se presenta el plan de mantenimiento preventivo, con los aspectos que se deben considerar para mantener los equipos de aire acondicionado en óptimas condiciones para prestar su servicio. Se describen tanto las actividades como los recursos necesarios a disponer para el mantenimiento preventivo.

En el último capítulo sobre el control del plan de mantenimiento preventivo, se presentan los modelos de formatos de mantenimiento y ficha histórica de los equipos. Además, de los indicadores para medir la gestión del mantenimiento preventivo en los equipos de aire acondicionado.

OBJETIVOS

General

Proponer un plan de mantenimiento preventivo para los equipos y unidades de acondicionamiento del aire de la Terminal del Aeropuerto Internacional La Aurora.

Específicos

1. Describir las condiciones actuales de los equipos de aire acondicionado en el Aeropuerto Internacional La Aurora.
2. Definir todos aquellos términos importantes de un sistema de aire acondicionado y su mantenimiento preventivo.
3. Plantear las actividades necesarias y los recursos para realizar el mantenimiento preventivo a los equipos que componen el sistema de aire acondicionado central y equipos unitarios.
4. Establecer los formatos para la ejecución y control de las actividades de mantenimiento en los equipos de aire acondicionado.
5. Establecer los indicadores de mantenimiento que permitan evaluar la eficiencia del plan de mantenimiento.

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento preventivo en el Aeropuerto Internacional La Aurora se llevará a cabo con el objetivo de mantener los equipos de aire acondicionado prestando su servicio mediante la implementación de una serie de actividades preventivas. Dada la importancia del aire acondicionado actualmente es necesario que los equipos se encuentren operando correctamente y con la mayor disponibilidad posible debido a las actividades propias dentro de la terminal del aeropuerto.

El aeropuerto cuenta actualmente con un sistema central de aire acondicionado encargado de acondicionar el aire en su interior, el cual se encarga de limpiarlo, enfriarlo y distribuirlo por medio de ductos de ventilación a todos los niveles de la terminal. Además, dentro de la terminal se cuenta con equipos enfriados por gas refrigerante utilizados en áreas específicas.

El plan de mantenimiento preventivo contempla la conservación de los equipos de aire acondicionado procurando su correcto funcionamiento durante su ciclo de vida. Con el seguimiento respectivo a las actividades a desarrollar para el mantenimiento y con los recursos necesarios que conllevan las actividades planificadas dentro del plan.

Para la medición de la gestión del plan de mantenimiento preventivo están establecidos métodos de control denominados indicadores de mantenimiento que permiten determinar la disponibilidad de los equipos contemplados en el plan, por medio de variables cuantitativas determinadas durante la ejecución del mantenimiento.

1. ANTECEDENTES

1.1. Mantenimiento en el Aeropuerto Internacional La Aurora

El mantenimiento de los equipos de aire acondicionado, en el Aeropuerto Internacional La Aurora, para el sistema central y equipos unitarios, se ha desarrollado por medio de personal interno de la institución para el mantenimiento preventivo y correctivo por empresas externas, que generalmente consiste en actividades que requieren de una mayor especialización y de herramientas de las cuales el personal interno no dispone.

El mantenimiento preventivo de los equipos se ha desarrollado con algunas limitantes en cuanto a recursos para llevar a cabo las principales actividades, de ahí la necesidad de diseñar un plan de mantenimiento que pueda establecer los recursos con anticipación y establecer un control de los equipos para su conservación.

1.2. Situación actual de los equipos de aire acondicionado en AILA

A continuación se realiza una descripción de los equipos de aire acondicionado.

1.2.1. Sistema central de aire acondicionado

En la Terminal del Aeropuerto Internacional La Aurora se encuentra instalado un sistema central de aire acondicionado que emplea agua helada

como fluido de enfriamiento para el proceso de acondicionamiento del aire de sus diferentes áreas.

El sistema completo está compuesto por torres de enfriamiento, *chillers*, las manejadoras de aire, bombas hidráulicas, tuberías de distribución del agua y los ductos del aire.

El agua helada es el fluido empleado como medio de transferencia de calor, el cual, al llegar a las manejadoras de aire, circula dentro de las tuberías del serpentín, absorbiendo el calor del aire y pasando después a la tubería de retorno donde vuelve de nuevo a los *chillers*.

1.2.1.1. Chillers

Los equipos de enfriamiento denominados *chillers*, del Aeropuerto Internacional La Aurora son cuatro, fueron instalados en el 2007 durante la remodelación de la terminal del aeropuerto, cada uno de una capacidad de 200 toneladas de refrigeración, marca TranE y modelo RTHD, de compresor semihermético tipo tornillo (de rotor helicoidal).

Los *chillers* están compuestos por un condensador del tipo de casco y tubos, horizontal de 2 pasos, con tubería interna de cobre. El evaporador es del tipo de casco y tubo, horizontal de 3 pasos. Posee una unidad de control Tracer CH530 del mismo fabricante.

Figura 1. **Enfriadora de agua tipo *chillers* marca Trane, modelo
RTHD**



Fuente: Aeropuerto Internacional La Aurora.

Figura 2. **Unidad de control Tracer CH530 marca Trane**



Fuente: Aeropuerto Internacional La Aurora.

Para el realizar el proceso de enfriamiento, en el interior del *chiller* circulan tres líquidos en circuitos cerrados diferentes. Dos de estos líquidos son agua, uno que circula del condensador del *chiller* a la torre de enfriamiento y el otro circula del *chiller* a las manejadoras y equipos que utilizan el agua helada. El tercer fluido es refrigerante R-134A, el cual circula en el condensador sobre la superficie de los tubos. El refrigerante en un circuito cerrado circula al evaporador pasando antes por la válvula de expansión electrónica, luego al compresor donde es impulsado como vapor hacia el condensador repitiendo el mismo proceso.

Figura 3. **Enfriadora de agua tipo *chiller*, marca Trane**



Fuente: Aeropuerto Internacional La Aurora.

1.2.1.2. Manejadoras de aire acondicionado

Las unidades manejadoras de aire (UMA), del Aeropuerto Internacional La Aurora son de marca Trane, los cuales incluyen modelos LPC, BCHC y FCC de varios tamaños. Están conectadas a la red de tuberías que distribuyen agua helada, desde los *chillers*. Los componentes de estos equipos son el serpentín de enfriamiento con tubería de cobre y aletas de aluminio, ventilador, motor de corriente alterna, sensores de temperatura y un variador de frecuencia.

Figura 4. Manejadora de aire acondicionado (UMA 42)



Fuente: Terminal Aeropuerto Internacional La Aurora.

1.2.1.3. Split piso y techo

Las consolas piso y techo del aeropuerto utilizan el agua de enfriamiento de los *chillers*, se componen internamente del evaporador del tipo serpentín y aletas de aluminio, dos ventiladores del tipo *fan-coil* para cada consola con un motor monofásico de corriente alterna, además, de contar con sus respectivos filtros, para evitar que las impurezas que se encuentran en el aire circulen en el aire enfriado o que obstruyan las aletas de evaporador.

1.2.1.4. Torres de enfriamiento

El aeropuerto cuenta con cuatro torres de enfriamiento, marca BAC y modelo FXV, con sistema de ventilación mecánica del tipo de tiro inducidos, que emplea dos ventiladores en la salida del aire de la torre accionados por un motor eléctrico, sistema de transmisión por poleas y fajas, intercambiador de calor, una bomba centrífuga, ramales de distribución del agua, pulverizadores, relleno de PVC y una balsa donde se almacena el agua que cae por gravedad para volver a circular nuevamente en la torre.

Figura 5. **Vista interna torre de enfriamiento FXV**



Fuente: Aeropuerto Internacional La Aurora.

El agua del condensador circula por los tubos del intercambiador de calor, ingresando en la parte más baja del intercambiador y saliendo por la parte más elevada. El agua de la torre de enfriamiento se encuentra en recirculación, es impulsada por medio de la bomba a la parte superior donde ingresa a los ramales de distribución, de los pulverizadores sale en forma de gotas muy finas, cubriendo las tuberías del intercambiador y produciendo su enfriamiento. El agua cae sobre el relleno, donde el aire circula a contracorriente, hasta caer a la balsa desde donde es puesta en circulación nuevamente.

Figura 6. **Intercambiador de calor de la torre de enfriamiento**



Fuente: Aeropuerto Internacional La Aurora.

1.2.2. Sistemas unitarios de aire acondicionado enfriado por gas

En la terminal del aeropuerto se cuentan con equipos unitarios de aire acondicionado del tipo mini *split*, *split* y paquete de diferentes capacidades. Estos equipos emplean un fluido refrigerante para realizar el procedimiento de enfriamiento del aire, entre los tipos de gas refrigerante necesarios en estos equipos están el R-410A y el R-22, respectivamente.

1.2.2.1. Mini split

Los equipos mini *split* son principalmente de capacidades de 1, 1½ y 5 tonelada de refrigeración, los cuales se encuentran en diversas áreas como lo son oficinas administrativas que ocupan áreas relativamente pequeñas y en lugares donde es necesario el enfriamiento de equipos de cómputo.

Estos equipos compuestos por dos unidades alojan la unidad interior dentro de las oficinas o lugar donde se requiere enfriar el aire, están conectados por medio de tubería de cobre a la unidad exterior que se encuentran generalmente sobre el cielo falso, desde donde se lleva a cabo el rechazo de calor absorbido del refrigerante.

1.2.2.2. Split

Los sistemas unitarios del tipo *split* se emplean en áreas de mayor dimensión a los de los equipos mini *split*. Estos equipos se encuentran localizados en el exterior sujetos al techo, con los ductos internos distribuidos sobre el cielo falso.

Los componentes como el condensador, el compresor y elemento expansor se encuentran agrupados en un solo conjunto, mientras el evaporador se encuentra ubicado junto con el motor y ventilador dentro de una unidad manejadora de aire.

1.2.2.3. Tipo paquete

Los equipos tipo paquete agrupan sus componentes básicos para el proceso de enfriamiento del aire en un solo gabinete, siendo estos el condensador, evaporador, condensador, motor, ventilador y su elemento expansión. Están ubicados en el exterior del edificio donde el condensador puede transferir el calor al aire externo y del cual los ductos, tanto de salida como de entrada del aire, son los que se conectan al interior de las áreas de la terminal del aeropuerto que son acondicionadas.

Figura 7. Equipo de aire acondicionado tipo paquete



Fuente: Terminal Aeropuerto Internacional la Aurora.

1.2.3. Sistema de distribución de agua de enfriamiento

El sistema de distribución del agua de enfriamiento se compone de una red de tuberías de PVC que conducen el agua helada por la terminal del aeropuerto hasta las manejadoras de aire acondicionado que lo utilizan. El agua es impulsada por bombas hidráulicas del tipo centrifugas.

1.2.3.1. Tubería de distribución

Las tuberías del sistema de distribución están conectadas desde los *chiller*, encargado de enfriar el agua, hasta las manejadoras de aire ubicadas en los cuatro niveles del aeropuerto, en los que se encuentran los diferentes equipos que requieren del agua helada. La red de tuberías está construida de Policloruro de Vinilo (PVC), clase 250 PSI (presión nominal de trabajo recomendada). Cuentan con un aislamiento de espuma de poliuretano de 1 pulgada de espesor en toda la tubería.

Se cuentan con dos circuitos de distribución que suministran el agua de enfriamiento a los equipos de la terminal del aeropuerto, abarcando las áreas denominadas *finger* central y norte. El circuito de distribución para el Finger Norte abarca los equipos del área del segundo nivel, lugar donde los pasajeros abordan y desembarcan de los distintos vuelos. El *finger* central es el circuito de agua helada que abastece las manejadoras de aire del primer, tercer y cuarto nivel de las instalaciones del aeropuerto.

Figura 8. Sistema de distribución de agua de enfriamiento



Fuente: Terminal Aeropuerto Internacional La Aurora.

Las tuberías de distribución del agua de la torre de enfriamiento al condensador de los *chiller* son de acero al carbón. Las tuberías se encuentran conectadas en un circuito cerrado con los *chiller* y la torre de enfriamiento. El agua impulsada en este circuito tiene dos bombas centrífugas para su distribución conectadas en paralelo que se usan de manera alterna, para cada conjunto de *chiller* y torre de enfriamiento.

Figura 9. **Sistema de distribución de agua de la torre de enfriamiento al condensador de los *chillers***



Fuente: Aeropuerto Internacional La Aurora.

1.2.3.2. Bombas hidráulicas

Las bombas hidráulicas son las máquinas encargadas de la impulsión del agua dentro de la tubería de distribución, son accionadas por un motor trifásico de corriente alterna. Las bombas del Aeropuerto Internacional la Aurora son un grupo motor-bomba horizontales, dinámicas del tipo centrífugas, el motor eléctrico se conecta con el eje de la turbina por medio de acoples flexibles.

Las bombas hidráulicas que se encuentran en el circuito de distribución de cada torre de enfriamiento y del agua del condensador de los *chiller*, son bombas dinámicas del tipo centrifugas.

Figura 10. **Bomba centrífuga de agua, para el condensador del *chiller***



Fuente: Aeropuerto Internacional La Aurora.

Figura 11. **Bomba hidráulica de torre de enfriamiento**



Fuente: Aeropuerto Internacional La Aurora.

1.2.3.3. Filtros

El filtro es el componente del sistema de distribución de agua encargado de evitar el paso de cualquier tipo de partícula contaminante externa o interna, provocados por la erosión o desgaste interno de la tubería. Se ubican antes de los equipos como las manejadoras y antes de las turbinas de las bombas para evitar que cualquier material extraño pueda dañar los componentes internos de las bombas o la tubería misma de los evaporadores.

Este tipo de filtros hidráulicos es conocido como *Strainer* (tipo colador), se compone de la carcasa y del elemento filtrante localizado internamente. Para el caso del sistema de distribución del aeropuerto el elemento filtrante lo constituye una malla metálica. Su acoplamiento a la tubería del sistema es por medio de bridas.

Figura 12. **Filtro hidráulico de malla o strainer, en la tubería de distribución de agua**



Fuente: Aeropuerto Internacional La Aurora.

Figura 13. **Filtro *Strainer***

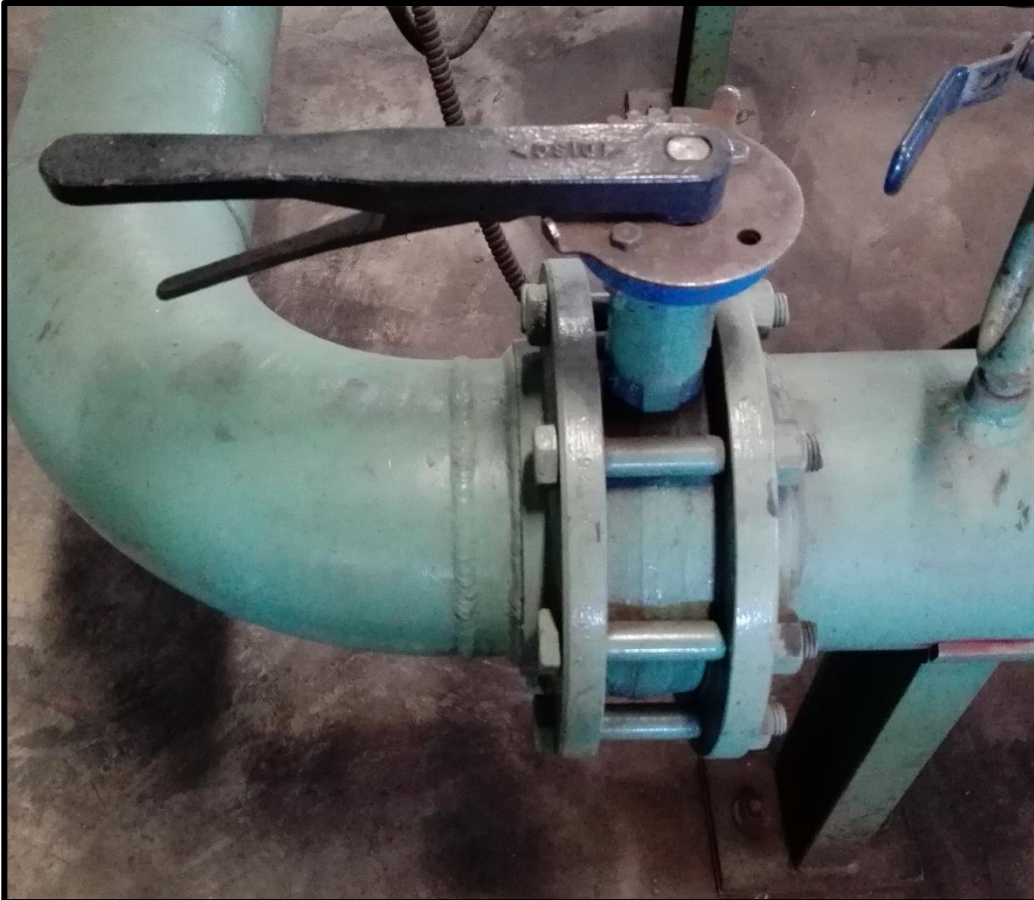


Fuente: *Filtro Strainer*, <https://www.bermad.com/wp-content/uploads/2016/05/WW-Strainer2070F.jpg>. Consulta: mayo de 201*.

1.2.3.4. Válvulas

Las tuberías de distribución del agua de enfriamiento cuentan con válvulas para la regulación del paso de agua en las tuberías, se utilizan cuando es necesario el mantenimiento en los equipos. Dentro del sistema de distribución de agua de enfriamiento se cuenta con válvulas de globo, de mariposa y de bola. Para las válvulas de globo son necesarias múltiples vueltas para el cierre o apertura al paso de agua, las válvulas de mariposa y de bola necesitan de $\frac{1}{4}$ de vuelta.

Figura 14. **Válvula de mariposa en la tubería de distribución de agua de enfriamiento**



Fuente: Aeropuerto Internacional La Aurora.

1.3. Inventario de los equipos

En la Terminal del Aeropuerto Internacional La Aurora se encuentran equipos de aire acondicionado que utilizan agua para el proceso de enfriamiento y equipos que usan refrigerante. Los equipos de agua helada conforman un sistema central, compuestos por *chillers*, torres de enfriamiento y

manejadora de aire. Los equipos unitarios son independientes cada uno, empleando refrigerante para su operación.

- Sistema de aire acondicionado central

Manejadoras de aire acondicionado Marca TRANE, con suministro de agua helada para el proceso de enfriamiento del aire.

Tabla I. **Unidades manejadoras de aire (UMA) del sistema de aire acondicionado central**

Equipo	Modelo	Ubicación
UMA1	LPC	Segundo nivel
UMA2	LPC	Segundo nivel
UMA3	LPC	Segundo nivel
UMA4	LPC	Segundo nivel
UMA5	LPC	Segundo nivel
UMA6	LPC	Segundo nivel
UMA7	LPC	Segundo nivel
UMA8	LPC	Segundo nivel
UMA9	LPC	Segundo nivel
UMA10	LPC	Segundo nivel
UMA11	LPC	Segundo nivel
UMA12	LPC	Segundo nivel
UMA13	LPC	Segundo nivel
UMA14	LPC	Cuarto nivel
UMA15	LPC	Cuarto nivel
UMA17	BCHC	Tercer nivel
UMA18	BCHC	Tercer nivel
UMA19	LPC	Tercer nivel
UMA20	LPC	Tercer nivel
UMA21	LPC	Tercer nivel
UMA22	LPC	Tercer nivel
UMA23	LPC	Tercer nivel
UMA24	LPC	Tercer nivel
UMA25	BCHC	Segundo nivel

Continuación de la tabla I.

UMA26	BCHC	Segundo nivel
UMA27	BCHC	Segundo nivel
UMA28	LPC	Segundo nivel
UMA29	BCHC	Segundo nivel
UMA30	LPC	Segundo nivel
UMA31	LPC	Segundo nivel
UMA32	LPC	Segundo nivel
UMA33	LPC	Segundo nivel
UMA34	LPC	Primer nivel
UMA35	LPC	Primer nivel
UMA36	BCHC	Primer nivel
UMA37	BCHC	Primer nivel
UMA38	BCHC	Primer nivel
UMA39	BCHC	Primer nivel
UMA40	LPC	Primer nivel
UMA41	LPC	Primer nivel
UMA42	LPC	Primer nivel
UMA43	BCVC	Primer nivel
UMA44	LPC	Primer nivel
UMA45	LPC	Primer nivel
UMA46	LPC	Primer nivel
UMA47	LPC	Primer nivel
UMA48	LPC	Primer nivel
UMA49	LPC	Primer nivel
UMA50	LPC	Segundo nivel
UMA51	LPC	Segundo nivel

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. **Equipos de aire acondicionado de agua helada**

Núm.	Equipos	Modelo	Ubicación
1	Unidad <i>Fan-coil</i>	FCC	Cuarto nivel
2	Unidad <i>Fan-coil</i>	FCC	Cuarto nivel
3	Unidad <i>Fan-coil</i>	FCC	Cuarto nivel

Continuación de la tabla II.

4	Unidad <i>Fan-coil</i>	FCC	Cuarto nivel
5	Unidad <i>Fan-coil</i>	FCC	Cuarto nivel
6	Piso-techo	Piso-techo	Segundo nivel
7	Piso-techo	Piso-techo	Segundo nivel
8	Piso-techo	Piso-techo	Segundo nivel
9	Piso-techo	Piso-techo	Segundo nivel
10	Piso-techo	Piso-techo	Segundo nivel
11	Piso-techo	Piso-techo	Segundo nivel

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Equipos tipo *chiller* para enfriamiento del agua**

Equipo	Modelo	Capacidad	Refrigerante
<i>Chiller 1</i>	RTHD	200 ton.	R-134A
<i>Chiller 2</i>	RTHD	200 ton.	R-134A
<i>Chiller 3</i>	RTHD	200 ton.	R-134A
<i>Chiller 4</i>	RTHD	200 ton.	R-134A

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Torres de enfriamiento del sistema de enfriamiento de agua helada**

Equipo	Modelo	Capacidad
Torre de enfriamiento 1	FXV-L443	110 ton.
Torre de enfriamiento 2	FXV-L443	110 ton.
Torre de enfriamiento 3	FXV-L443	110 ton.
Torre de enfriamiento 4	FXV-L443	110 ton.

Fuente: elaboración propia.

- Equipos unitarios

Equipos unitarios que emplean gas refrigerante para el proceso de enfriamiento del aire.

Tabla V. **Equipos unitarios de aire acondicionado**

Núm.	Equipo	Capacidad	Refrigerante	Ubicación
1	Tipo paquete	5 ton.	R-22	Terraza
2	Tipo paquete	5 ton.	R-22	Terraza
3	Tipo paquete	5 ton.	R-22	Terraza
4	Split	5 ton.	R-22	Primer nivel
5	Mini <i>split</i>	1 1/2 ton.	R-22	Primer nivel
6	Mini <i>split</i>	5 ton.	R-410A	Primer nivel
7	Mini <i>split</i>	5 ton.	R-410A	Primer nivel
8	Mini <i>split</i>	5 ton.	R-410A	Primer nivel
9	Mini <i>split</i>	1 1/2 ton.	R-410A	Primer nivel
10	Mini <i>split</i>	5 ton.	R-410A	Primer nivel
11	Mini <i>split</i>	5 ton.	R-410A	Primer nivel
12	Mini <i>split</i>	1 ton.	R-410A	Cuarto nivel
13	Mini <i>split</i>	1 ton.	R-410A	Cuarto nivel
14	Mini <i>split</i>	1 ton.	R-410A	Cuarto nivel
15	Mini <i>split</i>	1 1/2 ton.	R-410A	Cuarto nivel
16	Mini <i>split</i>	5 ton.	R-410A	Cuarto nivel

Fuente: elaboración propia.

- Motores de bombas del sistema de distribución de agua helada

Los motores eléctricos de las bombas hidráulicas se dividen en los motores de bombas de condensador de *chillers* y torres de enfriamiento, motores de bombas de circuito de distribución de agua primarios y motores de bombas de circuito de distribución de agua secundarios y motores de bombas de recirculación de agua de la torre de enfriamiento.

Tabla VI. **Motores de bombas de condensador de *chillers* y torres de enfriamiento**

Núm.	Equipo	Potencia (HP)	RPM	FRAME
1	Bombas de condensador	20	1 765	256
2	Bombas de condensador	20	1 765	256
3	Bombas de condensador	20	1 765	256
4	Bombas de condensador	20	1 765	256
5	Bombas de condensador	20	1 765	256
6	Bombas de condensador	20	1 765	256
7	Bombas de condensador	20	1 765	256
8	Bombas de condensador	20	1 765	256

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Motores de bombas de circuito de distribución de agua primarios**

Núm.	Equipo	Potencia (HP)	RPM	FRAME
1	Bombas circuito primario	20	1 760	256 T
2	Bombas circuito primario	20	1 760	256 T
3	Bombas circuito primario	20	1760	256T
4	Bombas circuito primario	20	1760	256T
5	Bombas circuito primario	20	1760	256T

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Motores de bombas de circuito de distribución de agua secundarios**

Núm.	Equipo	Potencia (HP)	RPM	FRAME
1	Bombas circuito secundario	60	1770	364T
2	Bombas circuito secundario	60	1770	364T
3	Bombas circuito secundario	40	1770	324T
4	Bombas circuito secundario	40	1770	324T

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Motores de bombas de recirculación de agua de la torre de enfriamiento**

Núm.	Equipo	Potencia (HP)	RPM	FRAME
1	Bombas torre de enfriamiento	3	1 745	182JM
2	Bombas torre de enfriamiento	3	1 745	182JM
3	Bombas torre de enfriamiento	3	1 745	182JM
4	Bombas torre de enfriamiento	3	1 745	182JM

Fuente: elaboración propia.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamentos de refrigeración

La refrigeración es el procedimiento en el cual se desplaza el calor innecesario de un ambiente para expulsarlo a otro ambiente en el cual este calor no afecte. Con base en las leyes de la termodinámica está establecido que el calor fluye en dirección de la mayor temperatura hacia la menor, esto lo hace de forma natural, cuando se requiere el procedimiento inverso es necesario el uso de equipos denominados refrigeradores, que mediante sus componentes realizan el trabajo de rechazar el calor innecesario del ambiente.

A continuación, se describa la teoría con base en la cual los equipos de refrigeración se basan para llevar a cabo el ciclo de refrigeración por compresión, utilizado por los equipos más comunes de aire acondicionado comerciales e industriales.

2.1.1. Ciclo de refrigeración por compresión

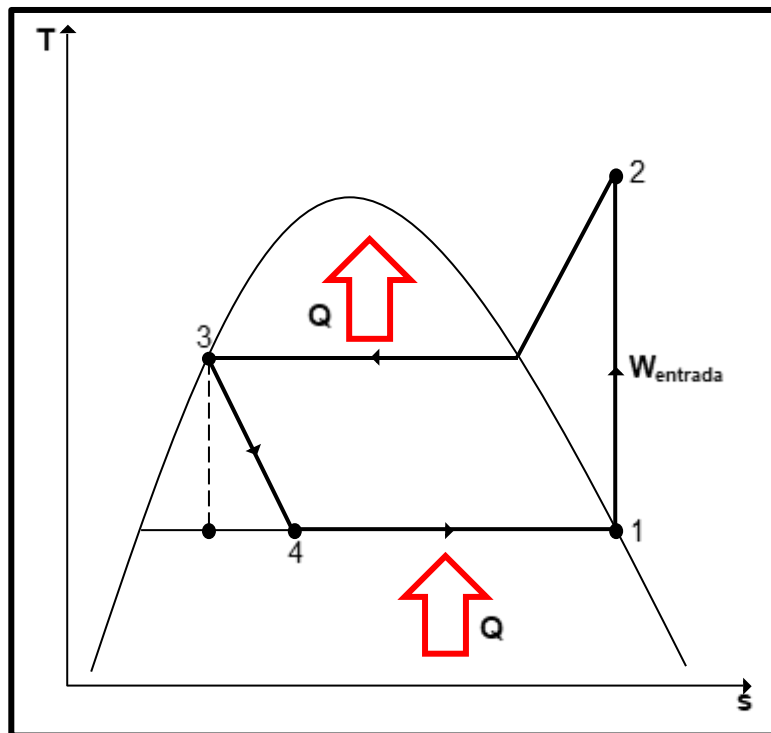
El ciclo de refrigeración por compresión de vapor es el ciclo que se emplea en los sistemas más comunes de acondicionamiento del aire. Para describir su principio de funcionamiento se usan diagramas que relacionan las propiedades principales de las sustancias empleadas como refrigerante.

En este ciclo de refrigeración por compresión se llevan a cabo cuatro procesos fundamentales para su desarrollo, los cuales son:

- Compresión isentrópica (estado 1-2 del diagrama T-s)
- Rechazo de calor a presión constante (2-3)
- Estrangulamiento (3-4)
- Absorción de calor a presión constante (4-1)

En la siguiente figura se describe el ciclo ideal de refrigeración por compresión, representado en el diagrama Temperatura-entropía (T-s), en el cual basan su funcionamiento los equipos de aire acondicionado.

Figura 15. **Ciclo de refrigeración por compresión en el diagrama T-s**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

En el ciclo de refrigeración por compresión el refrigerante entra al compresor en el estado 1 como un vapor saturado, el compresor realiza el

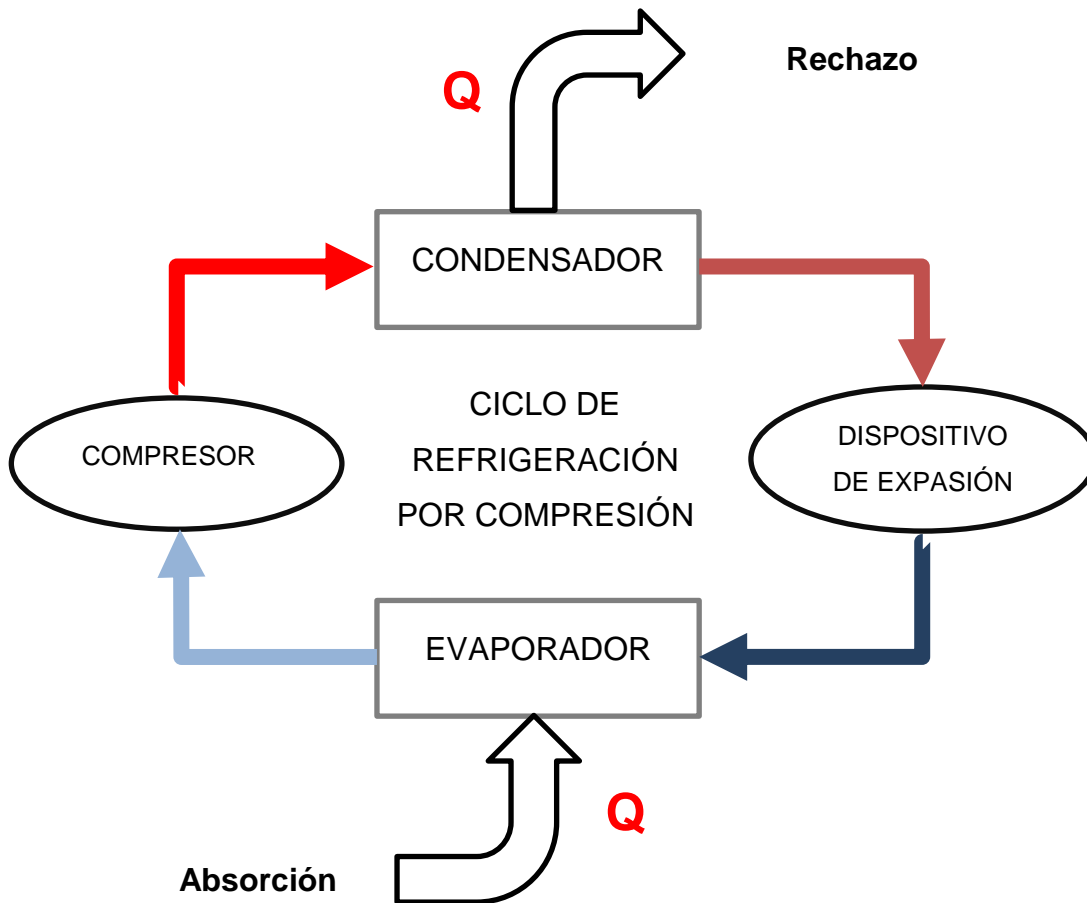
trabajo mecánico W_{entrada} hasta la presión de condensador en el estado 2. El refrigerante aumenta su presión y temperatura, debido al trabajo realizado por el compresor.

A continuación, el refrigerante entra al condensador como vapor sobrecalentado en el estado 2, aquí es donde se realiza el rechazo de calor a presión constante, por lo cual el refrigerante sale como líquido saturado en el estado 3. Durante este procedimiento se da un descenso en la temperatura del refrigerante, manteniéndose por encima de sus alrededores.

Luego el refrigerante que sale del condensador como líquido saturado en el estado 3, pasa por el dispositivo de expansión donde es estrangulado, reduciéndose la presión hasta igualar la presión del evaporador en el estado 4 como se muestra en el diagrama T-s. La temperatura del refrigerante desciende hasta por debajo de la temperatura del espacio refrigerado en el proceso. La presión saliendo del dispositivo de expansión es demasiado baja que una pequeña parte del refrigerante se evapora, la cual absorbe el calor del refrigerante no evaporado, para enfriar la mezcla líquido-vapor, provocando la baja temperatura en el estado 4.

La mezcla de líquido-vapor de refrigerante que sale del dispositivo de expansión en el estado 4, es un vapor húmedo de baja calidad, el cual pasa por el evaporador absorbiendo calor del ambiente a su alrededor y sale como vapor saturado ubicado en el estado 1 del diagrama T-s. El refrigerante saliente del evaporador entra al compresor repitiéndose el ciclo de refrigeración.

Figura 16. **Esquema del ciclo de refrigeración por compresión de los equipos de aire acondicionado**



Fuente: elaboración propia.

El ciclo ideal de refrigeración por compresión descrito anteriormente tiene variables con respecto a lo que sucede realmente en los equipos de aire acondicionado, debido a que no se toman en cuenta los aspectos como la fricción del fluido, esto ocasiona una caída de presión, además de la transferencia de calor hacia los alrededores.

2.1.2. Componentes del sistema de refrigeración

Los componentes básicos de los diferentes sistemas de aire acondicionado son el condensador, evaporador, compresor y válvula de expansión, los cuales son descritos en el ciclo de refrigeración por compresión. En los sistemas centrales de grandes dimensiones y los equipos unitarios se requieren de otros elementos para desarrollar el proceso completo, en este apartado se describirán únicamente los siguientes.

2.1.2.1. Condensador

El condensador es el componente que permite el rechazo de calor del refrigerante absorbido por el evaporador, los medios a los que se desecha el calor excesivo son el agua o el aire. El refrigerante entra al condensador como un vapor sobrecalentado, desplazado por el compresor a alta temperatura y presión. La temperatura de entrada es mayor a la del medio en la que el calor es desechado, por lo cual se produce la transferencia del calor hacia el agua o aire dependiendo del caso. El refrigerante cede su calor al pasar por el condensador, disminuyendo su temperatura hasta la temperatura de condensación, dando inicio al cambio de estado del refrigerante que se produce a presión constante.

En los condensadores que usan el aire como medio de enfriamiento del refrigerante, se hace circular este último a través de un serpentín generalmente construido de cobre por su buena transferencia de calor. El aire pasa por el exterior del serpentín extrayendo el calor del refrigerante. El flujo de aire que pasa alrededor del serpentín se da por convección natural, en los equipos de aire acondicionado se dispone de un ventilador para aumentar la velocidad del aire y la capacidad para extraer el calor del refrigerante.

Los condensadores que emplean agua para el enfriamiento del refrigerante son por lo general de tipo de casco y tubo. Estos equipos alojan múltiples tubos de cobre dentro del casco, el refrigerante se localiza entre el casco y los tubos de cobre. Los condensadores del tipo casco y tubo se clasifican con base en el número de veces que la tubería hace circular el agua de enfriamiento en una dirección dentro del casco. Por ejemplo, para los condensadores de dos pasos, el agua ingresa a los tubos por un lado del condensador, sigue esta dirección hasta el final del condensador, paso 1, luego el conjunto de tuberías cambia su dirección hacia el mismo lado donde ingreso donde se ubica la salida de los tubos, paso 2. El agua usada para el enfriamiento debe recircular, por lo cual se hace necesario el uso de torres de enfriamiento para reducir la temperatura del agua reutilizada.

2.1.2.2. Evaporador

El evaporador es el componente encargado de absorber el calor hacia el sistema de refrigeración, como se muestra en el diagrama T-s. El refrigerante se evapora a una temperatura menor a la del medio a refrigerar, que puede ser aire o agua, absorbiendo su calor y reduciendo la temperatura del aire o agua dependiendo del caso. El refrigerante entra al evaporador como una mezcla líquido-vapor y debido al proceso de adición de calor sale como un vapor saturado.

Los evaporadores usados para aire acondicionado se clasifican en dos tipos de expansión seca o directa y como evaporadores inundados. Los evaporadores de expansión seca se dividen en dos clases que son: serpentines de enfriamiento de expansión seca y enfriadoras de expansión seca. Los evaporadores de serpentín de enfriamiento de expansión seca son los que se utilizan para enfriar aire. El refrigerante circula en los tubos del serpentín, sobre

el cual están dispuestas aletas de aluminio que contribuyen al aumento de la transferencia de calor.

Los evaporadores inundados se usan para enfriar agua, este tipo se conocen también como enfriadores. Los más comunes son las de casco y tubo, contruidos de la misma forma que los condensadores, con múltiples tubos dentro del casco y de diferentes pasos. El agua para enfriar pasa por los tubos y el refrigerante se encuentra alrededor de los tubos, dentro del casco.

2.1.2.3. Compresor

El compresor es uno de los componentes más importantes en el proceso de enfriamiento. Comprime el refrigerante saliente del evaporador como vapor saturado, aumentando su presión y por ende su temperatura, enviándolo enseguida al condensador. El compresor aporta el trabajo mecánico, al ciclo de enfriamiento, por medio de un motor eléctrico.

Existen varios tipos de compresores usados en los sistemas de aire acondicionado. Estos se clasifican en compresores de desplazamiento positivo, el principio de funcionamiento de estos es la reducción del volumen de vapor refrigerante dentro de una cámara provocando el aumento de presión. Entre los compresores de desplazamiento positivo están los reciprocantes o alternativos, rotatorios y de tornillo. La otra clasificación de los compresores es la del tipo dinámicos, estos trabajan aumentando la energía cinética del vapor refrigerante descargándolo en difusores, convirtiéndose la energía cinética del vapor en presión.

Los compresores alternativos comprimen el vapor refrigerante por medio de un pistón dentro de un cilindro, el vapor es succionado y descargado por

medio de las válvulas, que son generalmente de placas delgadas o lengüeta. Existen compresores alternativos abiertos y herméticos, estos últimos tienen el compresor y el motor en un casco el cual se encuentra sellado.

El compresor rotatorio comprime el gas refrigerante por medio de un pistón giratorio, desplazándolo al orificio de descarga. Su construcción es sencilla debido a que necesita pocas partes para su funcionamiento, lo que lo hace silencioso. Otros de los compresores es el de tornillos que se componen de dos tornillos helicoidales que engranan comprimiendo el gas refrigerante hasta alcanzar el lado de la descarga, el motor del compresor mueve uno de los rotores, el cual a su vez acciona el otro rotor.

Los compresores del tipo centrífugo se componen de una rueda impulsora de paletas que giran por medio de un eje conectado a un motor eléctrico. Los impulsores de paletas proporcionan fuerza centrífuga al vapor refrigerante para comprimirlo debido a que el vapor es confinado entre el impulsor y la cubierta del compresor.

2.1.2.4. Válvula de expansión

La válvula de expansión es el dispositivo encargado de dosificar el refrigerante que entra al mismo como líquido del condensador y que al pasar por el mismo se expanda de su estado líquido a vapor. En este componente el flujo de refrigerante es restringido, provocando una caída de presión en el sistema, al salir el refrigerante es una mezcla de líquido-vapor.

El tubo capilar hace la función de la válvula de expansión, se usa generalmente en equipos pequeños de aire acondicionado. Este dispositivo es

un tubo de diámetro pequeño y una longitud bastante larga mediante el cual logran la caída de presión en el refrigerante.

Existen válvulas de expansión termostáticas, usadas en sistemas de expansión seca. Estos dispositivos regulan el flujo de refrigerante por medio de un bulbo lleno con fluido conectado con la válvula por medio de un tubo. La presión del fluido dentro del bulbo, que mide la temperatura del refrigerante, actúa sobre un resorte de cierre abriendo o cerrando la válvula.

La válvula de expansión electrónica emplea sondas de presión o temperatura que envían información a un controlador encargado de accionar la válvula permitiendo el paso del refrigerante al evaporador, la inyección se da por pulso o de forma continua. Con este tipo de válvulas se logra aprovechar al máximo la capacidad del evaporador controlando que se mantenga un nivel bajo de refrigerante líquido en la entrada del evaporador, este nivel es controlado abriendo y cerrando la válvula para mantenerlo estable.

Figura 17. **Válvula de expansión electrónica EXV, *chiller* Trane modelo RTHD**



Fuente: Aeropuerto Internacional La Aurora.

2.2. Aire acondicionado

El acondicionamiento del aire es el proceso de tratamiento del aire con el fin de mantenerlo en las condiciones de confort requerido dentro de un espacio confinado. Mediante el control de factores como la temperatura, humedad, limpieza y el movimiento del aire. La temperatura es uno de los primeros factores a tratar para lograr la comodidad de una persona, la humedad se refiere a la cantidad de vapor de agua en el aire, y el movimiento del aire es otro factor importante para el acondicionamiento del aire debido a la necesidad de sustituir el aire caliente y húmedo por aire nuevo en mejores condiciones.

2.2.1. Confort

El confort se refiere a las condiciones en las que una persona se siente cómoda. La comodidad de una persona depende de factores como la temperatura, humedad, limpieza y el movimiento de aire, incluyendo en este último su renovación. Las condiciones de un ambiente o recinto a la cual una persona generalmente se siente cómoda es de temperatura entre los 22 y los 27 °C, con una humedad relativa entre 40 y 60 % y con una velocidad de aire de aproximadamente 15 m/min, Estas condiciones son válidas para personas que se encuentran en estado de reposo o realizando actividades ligeras, debido a que el cuerpo genera más calor cuando realiza actividades continuas.

2.2.2. Componentes de un sistema de aire acondicionado

Los sistemas de aire acondicionado se encargan de proporcionar el enfriamiento del aire con base en el ciclo de refrigeración por compresión. Estos sistemas están compuestos por dispositivos que realizan cada función específica para el enfriamiento del aire de un recinto. Se componen de un equipo de enfriamiento, sistema de distribución de aire y agua, equipos de manejo del aire.

Los sistemas de aire acondicionado se pueden clasificar de dos tipos: sistemas de agua para el acondicionamiento del aire, llamados también hidrónicos. En este tipo de sistemas el agua es medio para el enfriamiento del aire. El agua se enfría en el equipo de enfriamiento y circula por el sistema de distribución hasta los equipos de manejo, donde absorbe el calor del aire proveniente de los recintos para su acondicionamiento.

El otro tipo es el sistema que usa aire para el acondicionamiento del aire del recinto. En este tipo de sistemas el aire caliente es conducido por medio de los ductos de distribución hasta una unidad compacta en la que puede alojar componentes como el filtro de aire, humidificadores, la fuente de enfriamiento y el ventilador. El aire frío ingresa a los recintos por medio de ductos de suministro de aire.

2.2.2.1. Equipo de enfriamiento

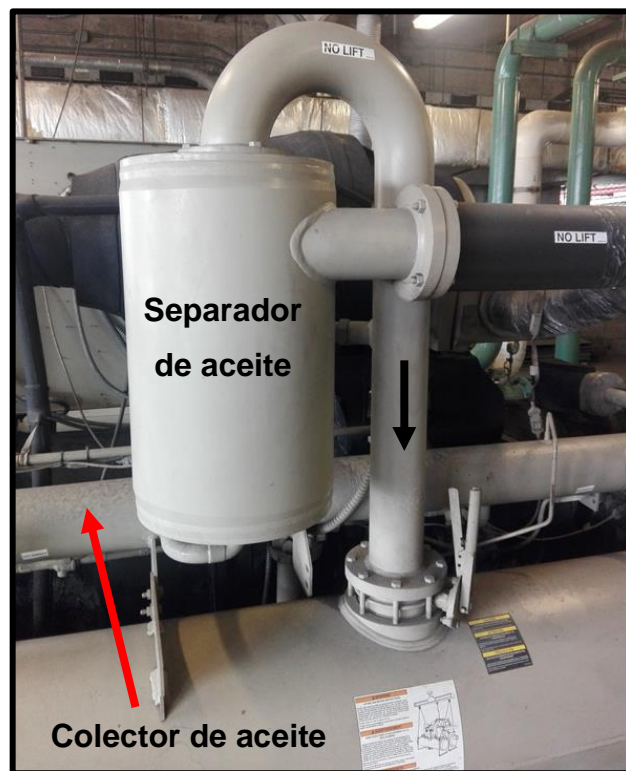
Los equipos de enfriamiento para un sistema de aire acondicionado central se denominan enfriadores o *chillers*, estos equipos están compuestos por un condensador, evaporador, compresor, válvula de expansión electrónica, sensores, unidad de control, sistema de lubricación y tuberías de interconexión.

Los *chillers* enfrían el agua del sistema de aire acondicionado, absorbiendo su calor cuando pasa por el evaporador del tipo de casco y tubo. El agua pasa dentro de los tubos, un fluido refrigerante se encuentra cubriendo los tubos, que al momento de evaporarse absorbe el calor, disminuyendo la temperatura del agua aproximadamente a 5 °C. En la entrada del evaporador se encuentra localizada la válvula de expansión electrónica.

El refrigerante evaporado pasa el compresor elevando su temperatura y presión. El compresor cuenta con un sistema de lubricación compuesto por colector de aceite, filtro, válvulas solenoide maestra y de servicio. El sistema de lubricación cuenta con dos circuitos, uno de estos tiene la función de lubricar y enfriar los rodamientos, el otro se encarga de la inyección del aceite al compresor para lubricar y sellar los espacios libres entre los rotores de tornillo. Dentro del compresor se mezcla con el vapor refrigerante, al descárgalo pasa por un separador de aceite y por medio de fuerza centrífuga el aceite es

desplazado a las paredes del separador, para luego ser drenado hacia el fondo y recolectado por el colector de aceite.

Figura 18. **Separador de aceite, *chiller* Trane modelo RTHD**



Fuente: Aeropuerto Internacional La Aurora.

El condensador de los *chillers* tiene la misma forma que el evaporador, del tipo de caso y tubo, por el lado exterior de los tubos se encuentra el refrigerante que proviene del compresor en forma de vapor. Dentro de los tubos circula agua a menor temperatura que el fluido refrigerante, proveniente de la torre de enfriamiento. Se produce la condensación del refrigerante cuando este cede su calor hacia agua de la torre.

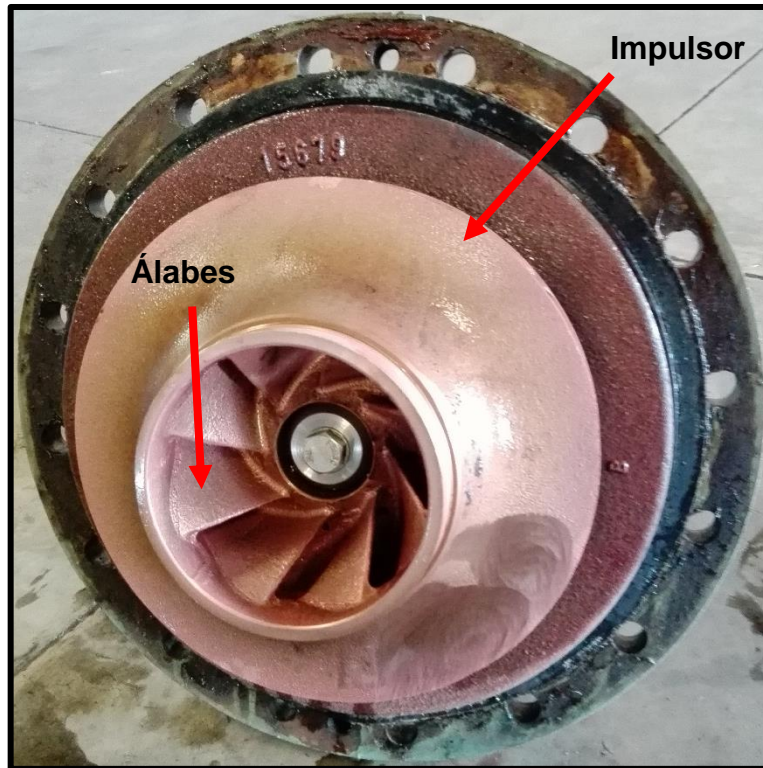
2.2.2.2. Sistema de distribución de agua helada

El sistema de distribución de agua helada lo componen todo el conjunto de tuberías, bombas hidráulicas y accesorios que conducen el agua enfriada por los *chillers* hacia las manejadoras de aire ubicadas cerca de los recintos a acondicionar. El agua sale de los equipos por la tubería de retorno regresando de nuevo a los *chillers*, formando así un circuito cerrado de distribución de agua.

La distribución del agua helada, aproximadamente a una temperatura de 5 °C, se hace por medio de tuberías de PVC las cuales tienen la ventaja de transportar agua a bajas temperaturas, resultando más económico que otros materiales. Las tuberías deben contar con un aislante para evitar condensación debido a que el aire del ambiente se encuentra a mayor temperatura. Uno de los aislantes empleados es el de espuma de poliuretano, con una capa de espuma cubriendo toda la tubería de distribución de PVC.

Las bombas hidráulicas son máquinas que transforman energía mecánica en energía hidráulica para el fluido, lo que conlleva a un aumento de su presión y velocidad. Se clasifican en bombas de desplazamiento positivo y dinámicas, las del tipo dinámicas son empleadas en el sistema de distribución del agua de enfriamiento en el Aeropuerto Internacional La Aurora. Estas son accionadas por un motor eléctrico que se encarga de mover el eje de la bomba acoplado a un rodete impulsor. La bomba crea un vacío provocando la succión del agua del lado de la entrada del impulsor, los alabes del rodete impulsor desplazan el agua por fuerza centrífuga hacia la carcasa de la bomba, que por su forma conduce el agua hasta la salida de la bomba.

Figura 19. **Impulsor de bomba centrífuga del sistema de distribución de agua de enfriamiento**



Fuente: Aeropuerto Internacional La Aurora.

Los accesorios de la tubería de distribución lo componen las válvulas de paso del agua de mariposa y de globo, conectores metálicos flexibles, filtros de malla, medidores de presión, sensores de temperatura y presión, localizadas próximas a los equipos de enfriamientos.

2.2.2.3. Unidad manejadora de aire

Las manejadoras de aire son las unidades de intercambio de calor con ubicación cercana a los recintos a acondicionar. El aire frío pasa al recinto por

medio de los ductos de distribución, luego a las rejillas de retorno donde vuelve para ingresar a las manejadoras, antes se puede mezclar con aire del exterior para la renovación del aire.

Los componentes de las manejadoras se ubican dentro de un solo gabinete, fabricado de lámina galvanizada con aislamiento para evitar pérdidas de calor en el aire exterior. Las tuberías del sistema de distribución se conectan tanto en la entrada como en el retorno del serpentín y los ductos del aire también tienen conexión a las manejadoras. Dependiendo de la configuración, los ductos de retorno de aire pueden estar directamente conectados a la manejadora o el equipo estar ubicado en un recinto específico.

Las manejadoras tienen de elementos para su funcionamiento un ventilador centrífugo, que provoca la succión del aire, el cual se encuentra montado sobre un eje que a su vez es accionado por un mecanismo de transmisión por fajas impulsadas por un motor eléctrico. Un serpentín de tubos de cobre y aletas de aluminio son el medio de transferencia del calor del aire hacia el agua de enfriamiento a menor temperatura, dentro de la manejadora existe una bandeja recolectora de condensación conectada a una tubería de drenaje. Delante del serpentín se ubican los filtros de aire encargados de eliminar las impurezas acumuladas por el aire en su trayectoria.

2.2.2.4. Ductos de distribución de aire

Los ductos de distribución de aire conducen el aire desde las manejadoras hacia el recinto o ambiente que se necesite acondicionar. Se fabrican principalmente de lámina de acero galvanizado, también como ductos moldeados de fibra de vidrio, este último incluso se usa como material aislante de los ductos fabricados de lámina.

El aislamiento tanto en ductos de lámina de acero galvanizado como en los de fibra de vidrio se recubre con hojas de aluminio, para evitar la condensación del agua contenida en el aire del exterior. El aislamiento puede ser de tipo rígido o una especie de colchoneta.

El aire frío ingresa al recinto por medio de los dispositivos de distribución de aire, de los cuales existen los de parrilla y registro formados por una serie por barras cruzadas dispuestas en un marco, las barras se pueden ajustar para desviar el aire en diferentes direcciones. Otro de los dispositivos de suministro de aire es del tipo de cielo raso, formado de una serie de anillo o persianas que, distribuyen el aire uniformemente. Los difusores de ranura son dispositivos con una salida larga y persianas, que se pueden abrir y cerrar dependiendo la necesidad del flujo de aire.

2.3. Equipos unitarios de aire acondicionado de gas refrigerante

Los equipos unitarios de aire acondicionado realizan todo el proceso de enfriamiento del aire independientemente por cada equipo. El fluido refrigerante de estos equipos por lo general es refrigerante R-410A o R-22. Cada equipo dispone de su propio condensador, compresor, evaporador, válvula de expansión, ventilador, motor, filtros y dispositivo de control electrónicos.

2.3.1. Mini split

Los equipos mini *split* son usado en recintos pequeños, generalmente están disponibles desde capacidades de 1 tonelada de refrigeración en adelante. Los mini *split* se dividen en dos unidades, una interior que aloja los componentes electrónicos, serpentín evaporador, ventilador y el motor. En esta unidad se realiza el procedimiento de acondicionamiento de aire, haciéndolo

circular por el evaporador donde transfiere su calor al refrigerante, para luego salir por los difusores de paletas móviles distribuyéndose así el aire por el recinto. Esta unidad cuenta también con una bomba de condensada encargada de retirar el agua condensada que puede alojarse en el interior de la unidad.

La unidad exterior en estos equipos aloja el condensador del tipo serpentín con aletas de aluminio, un compresor hermético, dispositivo de expansión del tipo tubo capilar, y el ventilador. La unidad exterior se ubica en lugares donde el calor pueda disiparse libremente al ambiente. En los equipos mini *split* por lo general se usa la disposición del ventilador de forma que descargue el aire por uno de los lados de condensador. Las unidades se conectan por medio de tubería de cobre, debidamente aislados para transportar el refrigerante entre las mismas unidades.

2.3.2. Split

Los *split* son equipos de mayor capacidad que los mini *split*, pueden suministrar aire acondicionado a varios recintos al mismo tiempo. Se compone de una manejadora de aire, debido a su tamaño esta no se suele ubicar dentro del recinto, el aire es suministrado por medio de ductos de distribución. La manejadora está compuesta por el serpentín de enfriamiento, un ventilador y el motor eléctrico.

El condensador para los equipos *split*, emplea un ventilador axial con descarga superior. El aire ingresa de forma lateral en la unidad, absorbiendo el calor de serpentín de aletas de aluminio y es descargado en la parte superior del equipo. El compresor suele estar en la parte interior del gabinete del condensador. Se conecta a la manejadora por medio de los ductos de cobre de distribución del refrigerante.

2.3.3. Tipo paquete

Los equipos de aire acondicionado tipo paquete agrupan todos los componentes para el funcionamiento del equipo, condensador, evaporador compresor y dispositivo de expansión, en un solo gabinete. Todo el equipo se ubica en el exterior de los recintos, los ductos de aire están conectados al gabinete, distribuyendo el aire al interior, tanto para el ingreso como para su retorno.

El gabinete generalmente se divide en dos secciones, en una se localiza el evaporador y en la otra el condensador, cada uno con un intercambiador del tipo serpentín y aletas de aluminio para el proceso de transferencia del calor. El aire del recinto ingresa por los ductos, debido a la succión provocada por el ventilador, pasando hacia el evaporador donde se produce la transferencia de calor, seguidamente este aire es descargado hacia el recinto.

En el condensador el aire ingresa lateralmente, pasando por el serpentín que contiene refrigerante a mayor temperatura que el ambiente produciéndose la transferencia de calor. Este aire es descargado nuevamente del exterior del equipo por la parte superior por medio de un ventilador axial.

2.4. Torres de enfriamiento

La torre de enfriamiento es el equipo utilizado para reducir la temperatura del agua usada en los condensadores de *chillers*. Debido a que absorbe calor del refrigerante en el proceso de enfriamiento, es necesario el rechazo del calor a un medio donde no afecte. El principio de funcionamiento de una torre es el enfriamiento evaporativo, por medio de la evaporación de una parte de agua en contacto con una corriente de aire que ingresa a la torre.

La torre de enfriamiento para su funcionamiento emplea un intercambiador de calor, ventiladores axiales accionados por un motor eléctrico, mecanismo de transmisión, bomba hidráulica de recirculación del agua de la torre, ramales de distribución del agua, pulverizadores, láminas de relleno de PVC y sensores de temperatura de entrada y salida del agua de la torre.

En un circuito cerrado el agua de los *chillers* ingresa a los tubos del intercambiador de calor, donde se produce la transferencia de calor del agua de enfriamiento hacia el agua de la torre, retornando a los *chiller* a una menor temperatura. El agua de la torre funciona en un circuito cerrado independiente, accionado por una bomba centrífuga. Del agua de la torre se evapora una pequeña cantidad, absorbiendo calor latente, que es rechazado de la torre por la corriente de aire, consiguiendo así el enfriamiento del agua restante.

Los pulverizadores dispersan el agua de la torre de manera uniforme sobre los tubos del intercambiador, el agua cae al relleno donde recorre la superficie de las láminas cruzándose con el aire entrante, este movimiento originado entre el flujo de aire y la caída de agua por gravedad se le denomina contracorriente.

El aire que ingresa a la torre de forma lateral es extraído por el ventilador desde la entrada en la parte inferior hacia la salida superior. Cuando el aire ingresa por la parte de abajo y el ventilador se ubica a la salida del aire se les denominan torres de enfriamiento de tiro inducido. Si el ventilador se ubica en la entrada de aire, se le denomina de tiro forzado.

Los ventiladores son accionados por un motor eléctrico mediante un mecanismo de transmisión de polea y fajas. El motor se coloca sobre una bancada que permite su movimiento de forma horizontal para el ajuste de las

fajas. El conjunto de ventilador y eje están soportados por rodamientos del tipo axial.

2.5. Mantenimiento

El mantenimiento es la acción de conservar o reparar los equipos, según sea el caso para que estos brinden el servicio para el cual son requeridos. Los equipos no solo deben prestar un servicio, lo deben hacer de forma que se garanticen la seguridad, eficiencia y economía de este. Actualmente, con el mantenimiento se trata de reducir el tiempo de reparación de los equipos y la planeación de un programa de mantenimiento que permita a los equipos brindar su servicio de forma eficiente.

- Los objetivos que se buscan con el mantenimiento son:
 - Tener los equipos en la mayor disponibilidad posible.
 - Evitar el deterioro anticipado de sus componentes.
 - Preservar la calidad del servicio que prestan los equipos.
 - Reducir los costes del mantenimiento.
 - Minimizar el tiempo de parada de los equipos por fallas.

- Las funciones principales del mantenimiento son:
 - La conservación, reparación e inspección periódica de los equipos.
 - La planeación y programación de las tareas de mantenimiento.
 - La gestión de los repuestos, materiales y herramientas necesarias.

2.5.1. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo fue el primer tipo de mantenimiento aplicado en la historia, se efectúa mediante reparaciones luego de producirse la falla en los equipos. Este tipo de mantenimiento presenta una serie de ventajas y desventajas en su aplicación.

- Ventajas
 - No se requiere de constantes inspecciones en los equipos.
 - Es realizado por empresas externas y especializadas, por lo cual no es necesario una gran infraestructura en el lugar.
- Desventajas
 - Las fallas se producen de forma imprevista, ocasionando el paro del equipo.
 - La reparación dura más tiempo debido a la adquisición de los repuestos.
 - El costo de reparación es mayor.
 - Se debe realizar en el menor tiempo posible para no afectar las áreas a las cuales el equipo brinda su servicio.

2.5.2. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo reúne todas aquellas acciones encaminadas a prevenir fallas en los equipos y de esta forma evitar realizar reparaciones costosas o el cambio total de los equipos, aprovechando su vida útil. Estas actividades abarcan desde la inspección de los equipos, su limpieza, hasta el

cambio de componente que sufren desgaste, de forma periódica y planificada con anterioridad.

La aplicación del mantenimiento preventivo tiene las siguientes características.

- Ventajas
 - Las actividades de mantenimiento se encuentran establecidas, por lo tanto, su ejecución se realiza en un menor tiempo.
 - Garantiza la calidad en el funcionamiento de los equipos por el cambio de componentes al cumplir su ciclo de vida.
 - Las inspecciones pueden determinar el estado de funcionamiento de los equipos, con lo cual se mantiene un control sobre los mismos.
 - Permite recopilar información del funcionamiento y de las actividades de mantenimiento para implementar mejoras técnicas.
- Desventajas
 - La gestión incorrecta de los repuestos y herramientas puede provocar excedentes y faltantes de los mismos.
 - El mantenimiento preventivo es más visto como un gasto innecesario que como un beneficio.

2.5.3. Importancia del mantenimiento de los equipos

El mantenimiento permite mantener los equipos en óptimas condiciones de funcionamiento, obteniendo de esta manera el máximo rendimiento y

minimizando el deterioro de los equipos, empleando el menor costo posible en el cumplimiento del programa de mantenimiento.

Todo equipo que se encuentre disponible para prestar un servicio tiende a sufrir de variaciones en sus componentes, las cuales son causa de futuras fallas en el equipo cuando no se le proporciona un mantenimiento adecuado. Estas variaciones se deben a muchas causas, entre las cuales están la fricción, corrosión, fatiga, contaminación como polvo y sobrecalentamiento.

Con el mantenimiento es posible verificar el funcionamiento de los equipos, mediante inspecciones, evaluar el comportamiento de los mismos, prevenir futuras fallas y determinar el ciclo de vida de los componentes en las condiciones específicas de su operación.

Con el mantenimiento preventivo se conserva la calidad en el servicio de los equipos de aire acondicionado los cuales debe mantener una temperatura de *confort* en el interior de los recintos de 22-23° C. Los *chillers* deben enfriar el agua helada para el sistema central a una temperatura de 5-6 °C. Las torres de enfriamiento deben mantenerse operando con una temperatura de entrada a la torre de 35 °C y una temperatura de salida de 29 °C para el buen funcionamiento del sistema de aire acondicionado. La calidad en mantenimiento en cuanto a nivel de servicio se refiere está asociada a la disponibilidad, con lo cual su busca mantenerse la mayor disponibilidad de los equipos con el menor costo posible.

Mediante la implementación de programas de mantenimiento los equipos de aire acondicionado pueden alcanzar su ciclo de vida. A continuación, se muestran valores que pueden tomarse como referencia para indicar el ciclo de vida de los distintos equipos y componentes de mayor importancia en un

sistema de aire acondicionado. Estos valores son orientativos, los cuales se han establecido por los mismos fabricantes y por los técnicos que han trabajado con estos equipos a lo largo de los años.

Tabla X. **Valores de referencia para el ciclo de vida de los equipos de aire acondicionado**

Equipo	Vida útil
<i>Chillers</i>	25 - 30 años
Torres de enfriamiento	20 - 25 años
Equipos unitarios (<i>Mini-split, split, paquete</i>)	8 - 10 años
Motores eléctricos	10 - 20 años
Filtros	1 – 2 años
Rodamientos	25 000 – 46 000 horas
Fajas	26 000 horas

Fuente: elaboración propia.

3. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

3.1. Actividades del mantenimiento preventivo

Las actividades para el mantenimiento preventivo son la serie de tareas establecidas dentro de este plan, las cuales se llevarán a cabo con el objetivo conseguir la mayor disponibilidad de los equipos de aire acondicionado en la Terminal del Aeropuerto Internacional La Aurora, minimizando su deterioro y que brinden el servicio de forma eficiente a lo largo de su ciclo de vida.

Las tareas de mantenimiento que el plan contempla son como primer recurso las inspecciones de rutina del sistema de aire acondicionado central y de los equipos individuales, examinando una serie de parámetros establecidos del funcionamiento de los equipos, de sus componentes y las condiciones de operación. El mantenimiento preventivo se realizará de forma programada, las acciones a ejecutar serán de forma sistemática, basadas en información del fabricante, instrucciones generales de mantenimiento de los equipos y experiencia del personal a cargo.

El plan de mantenimiento contempla las acciones a realizar para cada una de las tareas de mantenimiento preventivo programado, así como los recursos necesarios para su ejecución y los métodos que se podrán emplear para medir la gestión de plan de mantenimiento cuando este sea aplicado con base en el funcionamiento de los equipos.

3.1.1. Inspecciones de rutina

Una de las técnicas del mantenimiento que permiten diagnosticar el estado de funcionamiento de los equipos y sus componentes es el VOSO, esta técnica emplea los sentidos para comprobar el estado de cada equipo y descubrir potenciales fallas. Al detectar defectos en el estado o funcionamiento de algún componte se procede a su revisión y reemplazo de ser necesarios.

- V (Ver): se puede ver la condición de los componentes, el equipo completo y sus alrededores. Por medio de la vista es posible realizar inspecciones sin necesidad de aproximar demasiado a los equipos y exponerse al peligro.
- O (Oír): al oír se pueden detectar, ruidos extraños durante la operación de los equipos, se debe poner especial atención para establecer el origen del ruido extraño durante el funcionamiento del equipo.
- S (Sentir): principalmente por medio del tacto, se pueden descubrir posibles fallas como los son las vibraciones y sobrecalentamiento. Se debe tener cuidado en este caso para evitar posibles daños a la mano.
- O (Oler): por medio del sentido del olfato es posible detectar algún tipo de falla por fricción, o sobrecalentamiento. Además de posibles malos olores emanados de los equipos de aire acondicionado cuando los filtros se encuentran saturados de suciedad.

De la técnica del VOSO se pueden resaltar las principales cualidades que lo convierten en una herramienta adecuada para las labores de mantenimiento:

- Suele ser la primera técnica empleada en mantenimiento para la conservación de los equipos.

- Es una de las técnicas más sencillas y económicas que se pueden aplicar para el mantenimiento.
- Se debe tener conocimiento del funcionamiento del equipo para detectar cualquiera irregularidad en su funcionamiento.
- Con esta técnica se puede determinar el estado en el que operan los equipos y detectar potenciales fallas con anticipación.

Las inspecciones de los equipos de forma sistemática se realizan considerando la información del fabricante y el funcionamiento propio de los componentes de los equipos de aire acondicionado del aeropuerto. Mediante las inspecciones es posible verificar las condiciones de operación de los equipos y el estado de sus componentes, entre las cuales están:

- Condiciones generales de los equipos.
- Aislamiento de los equipos, tuberías de refrigerante y sistema de distribución del agua.
- Estado de filtros de aire.
- Condiciones de las fajas.
- Sistema eléctrico.
- Limpieza interna y externa de manejadoras y de torres de enfriamiento.
- Estado y condiciones de funcionamiento del sistema de distribución de agua.
- Condición del agua recirculación de la torre de enfriamiento.
- Limpieza general de los equipos.

Para los *chillers*, se deberán comprobar los valores reales de funcionamiento con los valores nominales proporcionados en el manual de operaciones del fabricante. Entre estos están:

- Temperatura de entrada y salida del refrigerante, agua del evaporador y condensador.
- Presiones del evaporador y del condensador.
- Corriente promedio de consumo.
- Códigos de diagnóstico.

La diferencia entre la temperatura de condensación del refrigerante y la temperatura de salida de agua del condensador debe ser menor a 10 °F. Si fuese mayor es recomendable la limpieza de los tubos del condensador.

Los valores nominales de funcionamiento de los *chillers* se describen en la tabla XI:

Tabla XI. **Condiciones operativa a carga completa**

Descripción	Condición
Presión del evaporador	40 – 55 psi
Presión de condensación	85 – 120 psi
Sobrecalentamiento de descarga	17°F
Subenfriamiento	5 – 10°F
Porcentaje abierto de EXV	40 – 50 % abierto en modo automático

Fuente: *Manual de instalación, operación y mantenimiento enfriadoras de líquido tipo tornillo.*
Series R. Modelo RTHD. Trane.

3.1.2. **Mantenimiento preventivo programado**

A continuación se describe el mantenimiento preventivo programado.

3.1.2.1. Limpieza de condensadores de chillers

La limpieza del condensador de los *chillers* se efectúa para eliminar todos los minerales contenidos en el agua circulante de las torres de enfriamiento y los contaminantes generados por el mismo proceso de enfriamiento del agua que absorbe el calor del refrigerante almacenado en el condensador del *chiller*.

El procedimiento de limpieza permite que los tubos de cobre del condensador estén libres internamente de suciedad o incrustación presentes en una especie de capa aislante evitando la eficiente transferencia de calor entre el refrigerante y el agua utilizada para el proceso de enfriamiento. Esto disminuye la capacidad de enfriamiento, provocando pérdidas económicas al consumir los *chiller* mayor energía para su funcionamiento.

La limpieza de los *chillers* se efectúa de manera mecánica, programada previamente, de la siguiente manera:

- Inspección de los tubos del condensador

Se debe verificar el estado de los tubos del condensador, para comprobar el nivel de suciedad interna de los mismos, siguiendo los pasos siguientes:

- Apagar el equipo y las bombas de circulación del agua de la torre de enfriamiento. Asegurarse de desconectar la fuente de energía del *chiller*.
- Cerrar las válvulas de la tubería de suministro de agua de la torre, tanto del lado de entrada como de salida del agua del condensador.

- Vaciar el agua acumulada dentro de los tubos del condensado hacia el drenaje.
- Desmontar la tapadera del condensador, retirando todos los tornillos.
- Verificar internamente las condiciones de los tubos y la cantidad de suciedad acumulada.

Limpeza de los tubos del condensador se puede realizar por procedimiento mecánico y procedimiento químico, dependiendo del nivel de suciedad interna o si existe incrustación de los tubos.

- Limpieza mecánica

La limpieza mecánica de los tubos del condensador se realiza para remover suciedad y el lodo acumulado en el interior de los tubos, por medio de un cepillo redondo bidireccional con cerdas de nylon o bronce.

- Procedimiento:
 - El cepillo debe ir unido a una varilla larga, que alcance la limpieza en todo el largo de los tubos.
 - Limpiar el interior de los tubos mediante un movimiento de entrada y salida, repetidamente en cada uno de los tubos del condensador.
 - Limpiar los tubos de la parte superior hasta terminar en la parte inferior.
 - Lavar internamente los tubos del condensador con agua limpia, asegurándose que los tubos queden completamente limpios internamente.
 - Al terminar el proceso de limpieza se deben examinar nuevamente los tubos para determinar el alcance de la limpieza mecánica.

- Se debe limpiar la tapadera del condensador, revisando cuidadosamente el estado del *O-ring*.
- Aplicar sellador a la tapadera para la formación de una junta que permita sellar completamente el equipo.
- Colocar nuevamente la tapadera y los tornillos de esta.

El procedimiento de limpieza puede realizarse con un equipo rotativo limpiador de intercambiadores de calor, al cual se conecta el cepillo. Al mismo tiempo que el cepillo limpia los tubos, la máquina aplica agua limpia en su interior, para remover toda la suciedad al exterior.

Los tornillos de la tapadera del condensador se deben de apretar siguiendo el patrón de estrella. El par que debe aplicarse a estos tornillos debe ser de 65 lb-ft o 88 Nm.

Figura 20. Limpieza interna de tuberías del condensador con equipo rotativo



Fuente: Aeropuerto Internacional La Aurora.

3.1.2.2. Limpieza de evaporadores de manejadoras

La limpieza de los evaporadores del tipo serpentín con aletas de aluminio se realiza para eliminar la suciedad que pueda acumularse en el interior de los

equipos. Se realiza el mismo procedimiento a serpentines de enfriamiento que emplean gas refrigerante como los del sistema de agua helada.

La suciedad en la superficie de los serpentines reduce la capacidad de transferencia de calor del aire al líquido de enfriamiento, obstrucción al flujo de aire entre las aletas del serpentín, incrementado el consumo de energía. Cuando la suciedad se humedece favorece al crecimiento microbiano, disminuyendo la calidad del aire distribuido a los recintos, lo que provocaría problemas en la salud de las personas.

El procedimiento por seguir para la limpieza de los serpentines de enfriamiento, aplicado a todas las manejadoras dentro de la terminal del aeropuerto, es el siguiente:

- Apagar el equipo y asegurarse de desconectar toda fuente de energía al equipo.
- Cerrar las válvulas de paso de agua de enfriamiento (sistema de hidráulico).
- Desmontar los marcos del filtro de aire.
- Evaluar el grado de suciedad del serpentín. Si se encuentran extremadamente sucios la mezcla del químico limpiador con agua deber ser de 1 a 3, de ser una suciedad moderada o con grasa la mezcla debe ser de 1 a 10. El fabricante recomienda mezclar la proporción de 1 parte de químico limpiador con 3 partes de agua, para la máxima acción del producto. Se deben seguir las indicaciones del fabricante en el uso de cualquier producto químico.
- Remover suciedad de la superficie del serpentín de aletas con la ayuda de un cepillo con cerdas plásticas.

- Aplicar el químico limpiador de serpentines por medio de un rociado, comenzando de la parte inferior hasta la parte superior. Por un lapso de 5 minutos se debe dejar que el químico actúe, generando la espuma que remueve la suciedad en la superficie del serpentín.
- Enjuagar todo el serpentín con agua limpia, para remover los residuos de químico.
- Revisar la bandeja de condensado y la tubería del drenaje, evitando que se rebalse y que no exista obstrucción a la salida del agua.
- Proceder a montar los marcos del filtro de aire, permitir el paso del agua de enfriamiento en las tuberías del serpentín y proceder a encender el equipo.

En el procedimiento de limpieza es conveniente limpiar primero el lado contrario al de entrada del flujo de aire en el serpentín, esto para evitar desplazar la suciedad que pudiera acumularse en el frente al interior del serpentín. Por último, se limpia el lado de ingreso del flujo de aire al serpentín.

Junto con la limpieza del serpentín se debe verificar las condiciones del ventilador centrífugo y del motor eléctrico procediendo a limpiarlos si se considera necesario. Para dicho procedimiento es necesario quitar la tapadera de inspección de las manejadoras, con *wipe* limpio remover la suciedad sobre la superficie del ventilador y del motor eléctrico. Verificar la tubería de drenaje de condensado y eliminar cualquier obstrucción a la salida del agua.

Se debe usar equipo de protección para el procedimiento de limpieza de los serpentines para evitar problemas de salud al estar manipulando químicos que pueden ser perjudiciales para la salud del personal encargado de realizar la operación de limpieza. El equipo básico de protección personal debe constar de gafas, mascarilla y guantes especiales para la aplicación de químicos.

3.1.2.3. Limpieza equipos unitarios de aire acondicionado

Los equipos unitarios de aire acondicionado mini *split* se componen de dos partes, la unidad interior que contiene al serpentín evaporador y la unidad exterior que contiene al condensador. Los equipos tipo paquete contiene todos los componentes en un solo gabinete dividido en dos secciones, una para el evaporador y la otra para el condensador.

Tomando en consideración las condiciones de operación de los equipos unitarios dentro de las instalaciones del aeropuerto, así como las recomendaciones del fabricante, el procedimiento de limpieza de los serpentines de evaporadores y condensadores se deben realizar como máximo en un tiempo aproximado a seis meses. Dicho procedimiento se debe realizar de la siguiente forma.

- Evaporador
 - Apagar el equipo y asegurarse de desconectar toda fuente de energía.
 - Desmontar la cubierta frontal de la unidad, junto con las aletas conductoras del aire.
 - Retirar los filtros de aire.
 - Remover suciedad de la superficie del serpentín de aletas con la ayuda de un cepillo con cerdas plásticas.
 - Aplicar el químico limpiador de serpentines por medio de un rociado, comenzando de la parte inferior hasta la parte superior. Por un lapso de 5 minutos se debe dejar que el químico actúe.

- Enjuagar todo el serpentín con agua limpia, para remover los residuos de químico.
 - Revisar la bandeja y bomba de condensado removiendo cualquier material que obstruya la salida del agua de condensado del equipo.
 - Armar el equipo, colocando los filtros y la cubierta frontal con sus aletas.
- Condensador
 - Apagar el equipo y asegurarse de desconectar toda fuente de energía.
 - Desmontar la tapadera superior para una completa limpieza del condensador. Para los condensadores con descarga en la parte superior, el ventilador y motor se encuentra acoplado a la tapadera, tomarlo en cuenta para el cuidado de los cables y conexiones eléctricas.
 - Remover suciedad de la superficie del serpentín de aletas con la ayuda de un cepillo con cerdas plásticas.
 - Aplicar el químico limpiador de serpentines por medio de un rociado, comenzando de la parte inferior hasta la parte superior. Por un lapso de 5 minutos se debe dejar que el químico actúe.
 - Enjuagar todo el serpentín con agua limpia, para remover los residuos de químico.
 - Montar nuevamente la tapadera superior del equipo.

3.1.2.4. Limpieza de filtros de aire

Los filtros de aire son parte importante de los equipos de aire acondicionado ya que se encargan de mantener la calidad del aire suministrado

a los recintos, reteniendo partículas en suspensión y de cualquier material que pueda obstruir el flujo del aire entre las aletas de los intercambiadores de calor.

Se debe verificar constantemente el estado de los filtros y realizar una limpieza adecuada de los mismos cuando se encuentren saturados de suciedad, para que esto no afecte en el consumo de energía, y en la calidad del aire que el equipo suministra. Con base en la experiencia obtenida durante las visitas al lugar se establece un intervalo de tiempo no mayor a dos semanas, para la limpieza de los filtros, a fin de garantizar el correcto funcionamiento de los equipos.

Con el uso de filtros de aire reutilizables en los equipos se puede realizar una limpieza de estos y usarlos nuevamente sin que esto afecte en la calidad del aire que se requiera. Tanto los fabricantes de los equipos como los técnicos de mantenimiento recomiendan enjuagar los filtros con agua limpia, en algunos casos será necesario remover la suciedad acumulada con la ayuda de un cepillo suave y la aplicación de productos limpiadores de aire acondicionado por medio de un rociado.

- El procedimiento de limpieza se realizará de la siguiente manera.
 - Desmontar los filtros de su marco o del equipo de aire acondicionado.
 - Ubicarlos a un área despejada y libre.
 - Proceder a enjuagarlos con agua limpia.
 - Remover la suciedad acumulada con ayuda de un cepillo suave.
 - Para desinfectar y eliminar malos olores, aplicar una pequeña cantidad de producto de limpieza para serpentines por medio de un rociador.

Los filtros deteriorados deben cambiarse por nuevos para evitar el paso de la suciedad al interior de los equipos. El estado de los filtros de aire debe ser verificado cada vez que se realiza la limpieza de estos, la cual debe realizarse como mínimo en periodos de 15 días, dependiendo del equipo y su ubicación.

3.1.2.5. Limpieza de torre de enfriamiento

La limpieza mecánica de la torre de enfriamiento permitirá mantener el equipo libre de suciedad y material microbiológico contaminante que puedan acumularse, tanto en las superficies de la torre como en las tuberías, debido a que estos equipos operan a la intemperie. Con el objetivo de lograr un funcionamiento óptimo del equipo, es decir, una libre circulación del agua y aire en la torre, para que el proceso de enfriamiento se realice de forma eficiente.

Para el procedimiento de limpieza de las torres se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Se debe apagar el motor del ventilador, la bomba de recirculación del agua de la torre y cerrar la válvula de paso de agua de relleno.
- Remover todo material acumulado en el exterior del relleno, con la ayuda de un chorro de agua a presión cuando estos estén adheridos al relleno.
- Limpiar la suciedad de todas las superficies con cepillo suave.
- Limpiar los pulverizadores, revisando que no se encuentren obstruidos.
- Desmontar el filtro del agua de recirculación, para una limpieza completa, procurando que no ingrese material extraño al interior de la bomba.

- Verificar que la superficie de los tubos del intercambiador esté libre de suciedad.
- Vaciar el agua de la balsa, removiendo los residuos acumulados de la limpieza.
- Reponer el agua de recirculación de la torre, verificando el correcto nivel y funcionamiento del flote y sus válvulas.

Acompañado de la limpieza mecánica se debe realizar una desinfección de la torre de enfriamiento, empleando cloro o biocidas aplicados por medio de bombas dosificadores, que aporten automáticamente una cantidad específica de químico. Usando cloro en el procedimiento de desinfección se debe hacer circular en el sistema por un aproximado de 6 horas, manteniendo un nivel residual de 5 a 15 mg/l de cloro libre. Al finalizar el procedimiento de desinfección es necesario purgar el sistema con agua limpia y desclorar el agua antes de su vaciado.

3.1.2.6. Revisión y ajuste de fajas

Las fajas son los elementos encargados de transmitir trabajo entre motor y ventilador. Es un elemento muy fiable del sistema de transmisión en las torres de enfriamiento y las manejadoras de aire. Requiere poco mantenimiento, pero el mismo debe ser constante en las inspecciones del estado y el ajuste de su tensión para aprovechar su eficiencia, debido a que un ajuste inadecuado de la faja puede afectar tanto a la faja como a los rodamientos.

En la inspección de las fajas se debe revisar minuciosamente el estado, buscando posibles grietas o desgaste. Para el ajuste no debe sobretensionarse, debe ser lo suficiente para que no se deslice sobre la guía de la polea y pueda transmitir la potencia, según los valores indicados en las tablas de fuerza de

deflexión de las bandas. La alineación de la polea debe revisarse, que no estén dañadas y eliminar oxido o residuos en su ranura que puedan deteriorar las fajas.

- Para el ajuste de las fajas, tanto al reemplazarlas como en el ajuste de mantenimiento se pueden considerar los siguientes aspectos:
 - Paro del motor que acciona el mecanismo de transmisión fajas-poleas.
 - Comprobación de la tensión de las fajas.
 - Ajustarlo cuando sea necesario. Según valores de tabla de deflexión de las bandas.
 - Cuando se realiza un cambio de fajas, limpiar la ranura guía de la polea para evitar un deterioro prematuro.
 - En el remplazo de las fajas, no se debe mezclar fajas nuevas con usadas, debido a que tienden a estirarse.
 - Se debe ajustar la tensión de faja durante las primeras 24 a 48 horas del reemplazo.
 - Las fajas se identifican por medio de letras y números, la letra indica su sección transversal y los números la longitud nominal.

El ajuste de tensión de las bandas se realiza con el apoyo de las tablas de deflexión, los valores de indicados en la tabla son proporcionados por el fabricante de las bandas trapezoidales. El procedimiento de ajuste según la figura 25 es el siguiente:

- Primero se debe medir el tramo de la banda *Belt Span*

- Colocando el medidor de tensión en el centro del tramo de la banda y el O-ring grande de la escala SPAN a una distancia correspondiente a 1/64 por cada pulgada del tramo de la banda.
- Aplicando fuerza la parte superior del medidor hasta que el O-ring se coloque a nivel de la parte superior de otra banda o con el borde de una regla lo suficientemente larga para alcanzar las dos poleas.
- La fuerza de deflexión marcada en la escala superior es la indicada por el O-ring, la cual debe corresponder a los valores establecidos en la tabla del fabricante.
- Los valores máximos corresponderán para bandas nuevas y los valores mínimos a bandas usadas.

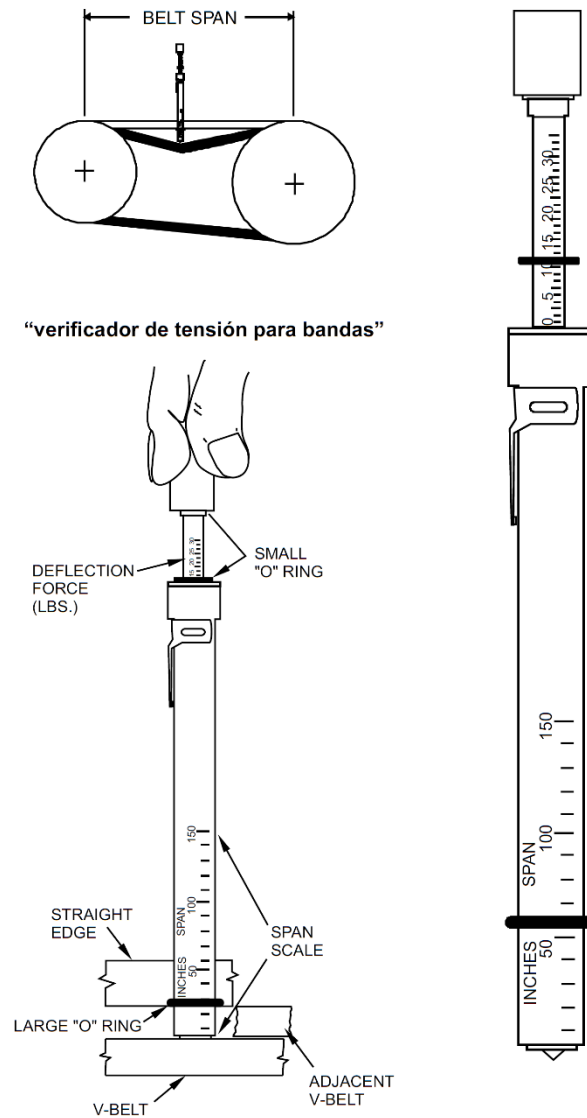
Tabla XII. Diámetro de la polea en pulgadas. Fuerza de deflexión en libras

Sección Transversal	Rango de diámetro de la polea más pequeña (in)	Rango en RPM	Fuerza de deflexión de la banda (LB)	
			Banda super <i>gripbelt</i>	
			Banda usada	Banda nueva
A - AX	3,0 – 3,6	1 000 – 2 500	3,7	5,5
		2 501 – 4 000	2,8	4,2
	3,8 – 4,8	1 000 – 2 500 2 501 – 4 000	4,5 3,8	6,8 5,7
B - BX	3,4 – 4,2	1 000 – 2 500	5,4	8,0
		2 501 - 400	4,7	7,0
	4,4 – 5,6	860 – 2 500 2 501 – 4 000	-- 5,3 4,5	-- 7,9 6,7
5V - 5VX	4,4 – 6,7	860 – 2 500 2 501 – 4 000	6,3 6,0	9,4 8,9
		500 – 1 749 1 750 – 3 000 3 000 – 4 000	-- -- --	-- -- --
	7,1 – 10,9	500 – 1 740 1 741 – 3 000	12,7 11,2	18,9 16,7
	11,8 – 16,0	500 – 1 740	15,5	23,4
		1 741 – 3 000	14,6	21,8

Fuente: *Diámetro de la polea en pulgadas. Fuerza de deflexión en libras*

https://www.regalpts.com/PowerTransmissionSolutions/Installation%20and%20Maintenance/Form_5453S.pdf. Consulta: mayo de 2019.

Figura 21. **Medición de tensión en transmisiones por banda en V**



Fuente: *Medición de Tensión en Transmisiones por Banda en*

[Vhttps://www.regalpts.com/PowerTransmissionSolutions/Installation%20and%20Maintenance/Form_5453S.pdf](https://www.regalpts.com/PowerTransmissionSolutions/Installation%20and%20Maintenance/Form_5453S.pdf). Consulta: mayo de 2019.

3.1.3. Lubricación

La lubricación es uno de los aspectos importantes dentro del plan de mantenimiento preventivo, por medio del cual se busca limpiar y reducir el desgaste por fricción de los componentes internos de cada equipo, principalmente de los rodamientos. Además, de prevenir problemas como corrosión, oxidación, exceso de calor por fricción.

La lubricación debe realizarse periódicamente, con base en las indicaciones del fabricante y los intervalos de tiempo que se establezca por medio del inciso de engrase de rodamiento. Esto debido a que acumulan suciedad por el desgaste de componentes, además, de perder sus propiedades con el tiempo. Para los *chiller* es necesario revisar el nivel del aceite lubricante, para los motores y rodamientos el engrase constante y correcto permitirá el funcionamiento eficiente de los equipos y mecanismos de transmisión.

3.1.3.1. Aceite lubricante de los chillers

El aceite lubricante recomendado para los *chiller* es el de Poliéster (POE), para los equipos modelo RTHD de 200 toneladas se requiere el aceite Trane OIL00048, con una viscosidad de grado 68, con capacidad de 4,5 galones.

Las principales características del aceite lubricante POE que debe cumplir para su uso en los *chiller* son:

Tabla XIII. **Características aceite POE Trane**

Descripción	Característica
Contenido de humedad	Menos de 300 ppm
Nivel de ácido	Menos de 0,5 TAN (mg KOH/g)

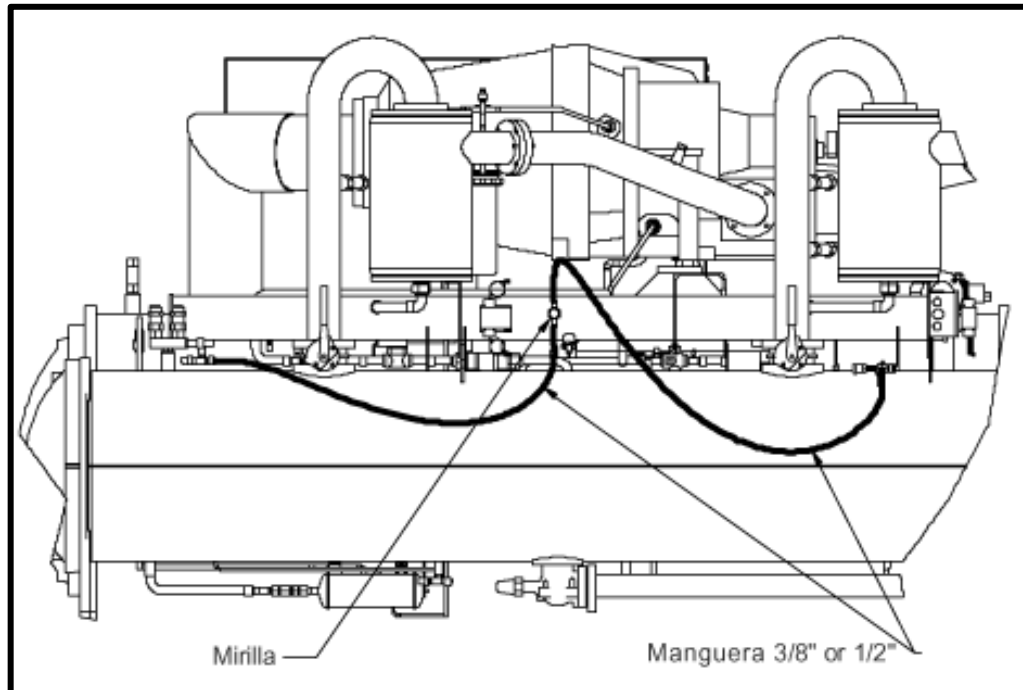
Fuente: *Manual de instalación, operación y mantenimiento enfriadoras de líquido tipo tornillo*
Series R, Modelo RTHD. Trane.

- Revisión del nivel de aceite

Para determinar el nivel de aceite, se mide el nivel de aceite en el colector de aceite del *chiller*. El procedimiento se describe a continuación:

- El equipo debe estar funcionando a carga normal, por un tiempo mínimo de 20 minutos. La lectura de la medición puede variar si el equipo se encuentra operando a carga mínima.
- Se debe detener el ciclo del compresor.
- Conectar una manguera con una mirilla, para revisar el nivel, con un extremo en la válvula de drene del colector y el otro en la válvula de servicio del condensador, como se muestra en la figura 22. La manguera puede ser transparente de alta presión, para mejorar el control del nivel.

Figura 22. **Determinación del nivel de aceite en el colector**



Fuente: Manual de instalación, operación y mantenimiento enfriadoras de líquido tipo y tornillo
Series R. Modelo RTHD, Trane.

- Se recomienda esperar unos 10 minutos para permitir que el aceite termine de fluir al colector, antes de tomar la lectura del nivel de aceite, el cual debe estar de 2" a 5" de la base del colector de aceite.
- Para valor por encima y debajo de los anteriores, se debe revisar componentes o retirar el aceite en exceso.
- Cuando el nivel está comprobado cerrar la válvula de servicio y retirar la manguera conectada.
- Para retirar aceite del sistema, se debe aislar el refrigerante, abrir la válvula de servicio del colector de aceite y drenarlo en un recipiente adecuado.

- Carga de aceite del *chiller*

Para el procedimiento de carga de aceite a los *chiller* se deben tomar en cuenta el siguiente procedimiento de llenado, asimismo, el llenado de las líneas de aceite que alimentan el compresor.

- Ubicar la válvula *Schrader* de ¼" posicionada entre la válvula de bola y el filtro de aceite.
- Se conecta a la bomba de transferencia de aceite, sin apretar, hasta que el aceite aparece en la conexión de la válvula de carga.
- Seguido cierre la válvula de bola justo en posición a la válvula *Schrader*.
- Se debe energizar el solenoide maestro de aceite. Esto permitirá que el aceite circule primero de la válvula *Schrader* a las líneas de alimentación del compresor.
- Las líneas de compresor necesitan aproximadamente 2 galones, luego de alcánzalos, se debe volver a desenergizar el solenoide.
- Se procede a la apertura de la válvula de bola, con lo que el resto de aceite circula hacia el colector de aceite. El resto de aceite puede ser cargado desde la válvula de servicio de ¼" en el colector.
- Es importante monitorear el estado del sensor del nivel de pérdida de aceite para comprobar el estado húmedo o seco del aceite cargado.

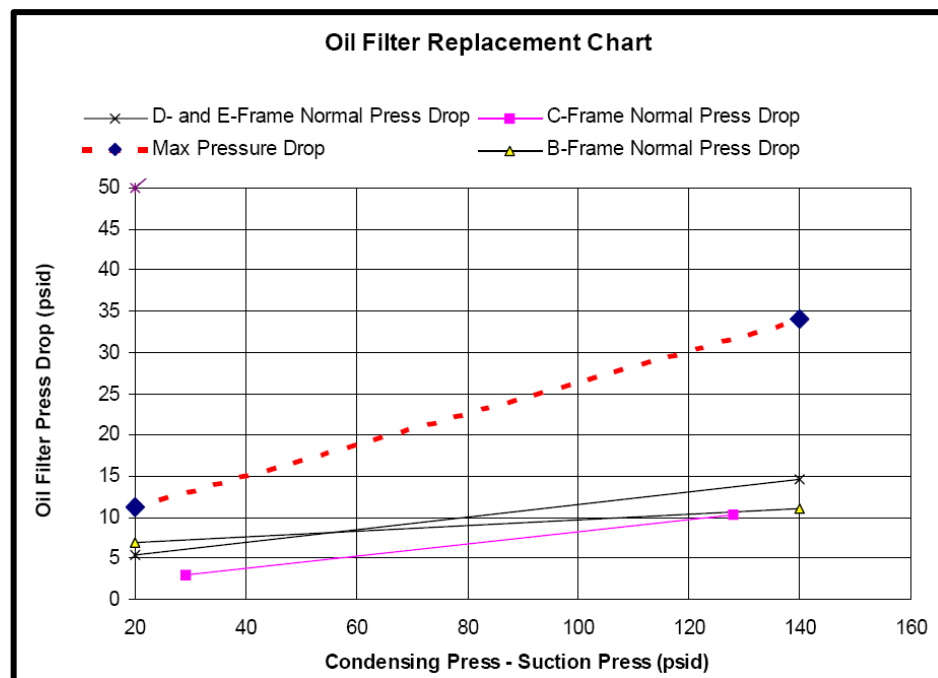
- Reemplazo del filtro de aceite

En el circuito de aceite de *chiller* se localiza el filtro de aceite el cual se debe reemplazar en caso de que se encuentre obstruido, esto puede suceder cuando en el tablero de control aparezca el mensaje bajo flujo de aceite o pérdida de aceite en el compresor.

Otro de los factores utilizado para el reemplazo del filtro de aceite es cuando la caída de presión entre las dos válvulas de servicio excede el nivel máximo de la figura 23. Se emplea la línea para caída normal de presión para compresores de marco B y la línea discontinua de caída de presión máxima.

La figura 23 muestra la relación entra la caída de presión medida en el circuito de lubricación comparada con el diferencial de presión de operación del *chiller*. Los niveles aceptables se encuentran entre la línea de operación normal y la línea de caída de presión máxima, para lo cual el reemplazo debe ser realizado.

Figura 23. **Gráfico de reemplazo de filtro de aceite (compresores marco E, D, C y B)**



Fuente: Manual de instalación, operación y mantenimiento enfriadoras de líquido tipo tornillo
Series R, Modelo RTHD, Trane.

3.1.3.2. Engrase motor de bombas hidráulicas

Para una lubricación apropiada de los motores de las bombas se debe emplear una grasa diseñada para rodamientos de motores eléctricos, el tipo de grasa recomendado por el fabricante es específicamente la grasa Mobil Polyrex EM grado NLGI 2. La clasificación de estas grasas se realiza con base en su consistencia, para el caso de rodamientos es recomendable un grado 2, considerada una grasa blanda.

La aplicación de la grasa se realizará en los intervalos recomendados por el fabricante de los motores, los cuales se basan en el tamaño del bastidor según la NEMA y de las revoluciones (rpm), que pueden verificar de la figura 24.

Figura 24. Intervalos de lubricación

Tamaño de bastidor NEMA (IEC)	Velocidad nominal (RPM)			
	3600	1800	1200	900
Hasta 210 incl. 132	5500 Hrs.	12000 Hrs.	18000 Hrs.	22000 Hrs.
Sobre 210 a 280 incl. (180)	3600 Hrs.	9500 Hrs.	15000 Hrs.	18000 Hrs.
Sobre 280 a 360 incl. (225)	2200 Hrs.	7400 Hrs.	12000 Hrs.	15000 Hrs.
Sobre 360 a 5800 incl. (400)	2200 Hrs.	3500 Hrs.	7400 Hrs.	10500 Hrs.

Fuente: BALDOR. *Instalación y mantenimiento de motores CC y AC, IMN416SP.*

Además, se debe considerar las condiciones de servicio de cada equipo figura 29, para el cual se multiplica por el factor de la figura 30. Esta figura contempla tanto las horas diarias de funcionamiento promedio de los equipos, la temperatura y las condiciones de operación.

Figura 25. Condiciones de servicio

Exigencia de servicio	Horas diarias de funcionamiento	Temperatura ambiente Máxima	contaminación atmosférica
Estándar	8	40° C	Limpia, poca corrosión
Pesada	16 o más	50° C	Suciedad moderada, corrosión
Extrema	16 o más	>50° C* o Aislamiento Clase H	Suciedad grave, polvo abrasivo, corrosión, Impacto o vibración pesada
Baja temperatura		<-29 ° C **	

Fuente: BALDOR. *Instalación y mantenimiento de motores CC y AC, IMN416SP.*

Figura 26. Multiplicador de intervalos de relubricación

Exigencia de servicio	Multiplicador
Estándar	1,0
Pesada	0,5
Extrema	0.1
Baja temperatura	1,0

Fuente: BALDOR. *Instalación y Mantenimiento de Motores CC y AC, IMN416SP.*

Figura 27. Cantidad de grasa a agregar

Tamaño del bastidor NEMA (IEC)	Descripción del cojinete (estos son los cojinetes “grandes” (extremo del eje) en cada tamaño de bastidor)			
	Cojinete	Peso de la grasa que se ha de agregar * oz (gramos)	Volumen de grasa que se ha de agregar	
			pulg. ³	cucharada
56 a 140 (90)	6203	0,08 (2,4)	0,15	0,5
140 (90)	6205	0,15 (3,9)	0,2	0,8
180 (100–112)	6206	0,19 (5,0)	0,3	1,0
210 (132)	6307	0,30 (8,4)	0,6	2,0
250 (160)	6309	0,47 (12,5)	0,7	2,5
280 (180)	6311	0,61 (17)	1,2	3,9
320 (200)	6312	0,76 (20,1)	1,2	4,0
360 (225)	6313	0,81 (23)	1,5	5,2
400 (250)	6316	1,25 (33)	2,0	6,6
440 (280)	6318	1,52(40)	2,5	8,2
440 (280)	6319	2,12 (60)	4,1	13,4
5000 a 5800 (315–400)	6328	4,70 (130)	9,2	30,0
5000 a 5800 (315–400)	NU328	4,70 (130)	9,2	30,0
360 a 449 (225–280)	NU319	2,12 (60)	4,1	13,4

Fuente: BALDOR. *Instalación y mantenimiento de Motores CC y AC, IMN416SP.*

Por ejemplo, para un motor del sistema de distribución del agua helada, de 60 HP, 1 770 rpm, Frame 364T, con rodamientos 6 313 (DE) información de la placa de datos y con una condición de servicio pesada (uso continuo las 24 horas) el intervalo de lubricación y cantidad de grasa serian de:

- De la figura 28, el intervalo de lubricación promedio debe ser de 3 500 horas, multiplicando por el factor de servicio: $3\,500 * 0,5 = 1\,750$ horas de funcionamiento. Un aproximado de 2 meses y medio.
- La cantidad de grasa necesaria se obtiene con base en el tamaño del bastidor y el tipo de cojinete siendo en este caso de 1,5 pulgadas.

Para el procedimiento de engrase es importante tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Revisar la información en la placa de datos del motor, para determinar el tamaño del bastidor (Frame), las RPM y el tipo de cojinetes (ODE y DE).
- Se debe seleccionar el intervalo de lubricación, la condición de servicio y la cantidad necesaria de grasa, según los datos de la figura 28, figura 29, figura 30 y figura 31, respectivamente.
- Se debe usar únicamente grasa nueva y libre de suciedad. No se deben mezclar diferentes tipos de grasas.
- El área de aplicación de la grasa debe estar limpio.
- El procedimiento de aplicación se debe realizar con el motor parado y cuando continúe caliente.
- La aplicación de la grasa por medio de graser manual en vez una de alta presión evita que los sellos de los cojinetes fallen prematuramente.

3.1.3.3. Engrase de rodamientos

Los rodamientos de manejadoras y torres de enfriamiento, que soportan los ejes de transmisión para accionar los ventiladores que se encuentran montados en las chumaceras, se deben engrasar para reducir la fricción entre los rodamientos y el eje, además, de contribuir a su limpieza interna.

La grasa empleada para los rodamientos de las chumaceras se especifica en la tabla XIV de productos de engrase del manual del fabricante.

Tabla XIV. **Productos de engrase**

Marca	Tipo de grasa	Rango de temperatura
Mobil	Mobilith SHC 100	-40 a + 175 °C
Shell	Grasa Alvania RL3	-20 a + 120 °C
Texaco	Multifak Premium 3	-20 a + 140°C
Kluber	Isoflex LDS Special A	-50 a + 120°C
Total Fina Elf	Multis 3	-20 a + 120 °C

Fuente: BALTIMORE AIRCOIL COMPANY. *FXVS Torres de enfriamiento de circuito cerrado.*
Instrucciones de Mantenimiento y Funcionamiento.

Una de las características principales de los productos de engrase de la tabla XIV es la resistencia al agua. Para el caso de los rodamientos de las chumaceras de las manejadoras de aire, el fabricante de los mismos recomienda una grasa Mobil Polyrex EM de grado 2.

Para el cálculo de la cantidad de grasa lubricante promedio utilizada por los rodamientos se puede aplicar la siguiente fórmula:

- $G_a = 0,005DB$ (gramos)

Dónde:

G_a = cantidad de grasa en gramos

D = diámetro interior del rodamiento en mm

B = anchura total del rodamiento en mm

Las consideraciones por tomar en cuenta en el procedimiento lubricación de rodamientos son las siguientes:

- Se debe usar únicamente grasa nueva y libre de suciedad. No se deben mezclar diferentes tipos de grasas.
- Ubicar el punto de lubricación. El área de aplicación de la grasa debe estar limpio.
- Aplicar la grasa de forma gradual, hasta visualizar que la grasa sale limpia del interior del rodamiento.
- La aplicación de la grasa por medio de graser manual en vez una de alta presión evita que los sellos de los cojinetes fallen prematuramente.
- Los rodamientos deben ser lubricación cada tres meses, como máximo seis.

3.1.4. Revisión de presión de refrigerante

La revisión de presión de refrigerante permitirá verificar el óptimo nivel de refrigerante en el equipo, pudiendo presentar problemas cuando el nivel es excesivo y en el caso de tener un nivel bajo, puede ser un síntoma de fuga de refrigerante lo cual debe evitarse tanto técnica como ambientalmente.

La medición de presión del refrigerante se realiza por medio del manómetro, además, de ser usado para proceso de carga, vacío de refrigerante y medición de presión del aceite. El manifold del equipo de medición cuenta con tres secciones, una para comprobar el lado de baja presión o de succión del refrigerante en el compresor y otra para el lado de alta o de descarga, la del medio es llamada de servicio. El lado de baja presión se caracteriza por tener una llave para la válvula de color azul y la de alta de color rojo, de igual color se emplean las mangueras para distinguirlas. La manguera para servicio suele ser de color amarilla.

En la carátula de cada manómetro se encuentra una escala de medición para cada tipo de refrigerante y el rango de medición. Un manómetro puede medir diferentes tipos de refrigerantes, los cuales se indican. La escala del manómetro cuenta con medidas para presiones en bar, psi o kg/cm^2 .

En la unidad exterior, donde se encuentra el condensador, se ubican las válvulas de servicio. Una para el lado de alta presión y el otro para el lado de baja presión. Los equipos pequeños no suelen contar con válvulas de servicio en el evaporador.

La medición de presión de refrigerante se debe realizar cuando el equipo se encuentre encendido esperando un tiempo aproximado de 10 minutos, para obtener una lectura correcta con el equipo trabajando bajo condiciones normales de funcionamiento.

El rango de operación de equipos de aire acondicionado que emplean R-22 para el lado de baja presión se encuentran entre 70 y 84 psi y para el lado de alta presión entre 233 y 266 psi. Para equipos que emplean el R410 el de baja presión está entre los 121 y 143 psi y el de alta entre 383 y 432 psi.

Figura 28. **Juego de manómetro para equipos de aire acondicionado**



Fuente: Aeropuerto Internacional La Aurora.

Las presiones se comparan con la tabla de presión-temperatura de saturación, para determinar el nivel de refrigerante en el equipo. Para este procedimiento se mide la presión de succión del refrigerante y establecer su correspondiente temperatura de saturación de las tablas. Luego se debe medir la temperatura del refrigerante en la línea de succión del compresor. A continuación, se restan la temperatura medida y el valor obtenido de las tablas de presión-temperatura. El valor conseguido es el sobrecalentamiento que no debe ser mayor a 5 °C. Valores superiores son señal de falta de refrigerante y valores inferiores indican el exceso de este en el equipo.

Figura 29. Tabla presión, temperatura de los refrigerantes

TABLA PRESIÓN-TEMPERATURA GASES FRIGORÍFICOS												
Temperatura		R22	R407		R410A	R134a	R404A	R406A		R409A		R408A
°C	°F		Presión líquido	Presión vapor				Presión líquido	Presión vapor	Presión líquido	Presión vapor	
-40,0	-40	0,5	3,0	4,4	11,6	14,8	4,3	8,8	16,7	—	—	2,8
-37,2	-35	2,6	5,4	0,6	14,9	12,5	6,8	5,9	14,7	—	—	5,1
-34,4	-30	4,9	8,0	1,8	18,5	9,9	9,5	2,6	12,4	0,2	9,9	7,6
-31,7	-25	7,4	10,9	4,1	22,5	6,9	12,5	0,4	10	1,8	7,0	10,4
-28,9	-20	10,1	14,1	6,6	26,9	3,7	15,7	2,3	7,1	3,9	3,8	13,5
-26,1	-15	13,2	17,6	9,4	31,7	0,6	19,3	4,4	4,1	6,2	0,3	16,8
-23,3	-10	16,5	21,3	12,5	36,8	1,9	23,2	6,7	0	8,7	1,7	20,4
-20,6	-5	20,1	25,4	15,9	42,5	4,0	27,5	9,2	1,5	11,4	3,8	24,4
-17,8	0	24,0	29,9	19,6	48,6	6,5	32,1	11,9	3,6	14,4	6,1	28,7
-15,0	5	28,2	34,7	23,6	55,2	9,1	37,0	14,9	5,8	17,6	8,6	33,3
-12,2	10	32,8	39,9	28,0	62,3	11,9	42,4	18,1	8,2	21,1	11,4	38,3
-9,4	15	37,7	45,6	32,8	70,0	15,0	48,2	21,6	10,9	24,9	14,4	43,7
-6,7	20	43,0	51,6	38,0	78,3	18,4	54,5	25,3	13,7	29,0	17,6	49,5
-3,9	25	48,8	58,2	43,6	87,3	22,1	61,2	29,3	16,9	33,4	21,2	55,8
-1,1	30	54,9	65,2	49,6	96,8	26,1	68,4	33,6	20,2	38,1	25,0	62,5
1,7	35	61,5	72,6	56,1	107	30,4	76,1	38,2	23,9	43,2	29,2	69,7
4,4	40	68,5	80,7	63,1	118	35,0	84,4	43,2	27,9	48,6	33,6	77,4
7,2	45	76,0	89,2	70,6	130	40,1	93,2	48,5	32,1	54,4	38,5	85,6
10,0	50	84,0	98,3	78,7	142	45,5	103	54,2	36,7	60,6	43,6	94,3
12,8	55	92,6	108	87,3	155	51,3	113	60,2	41,6	67,2	49,2	104
15,6	60	102	118	96,8	170	57,5	123	66,6	46,9	74,2	55,2	114
18,3	65	111	129	106	185	64,1	135	73,4	52,5	81,7	61,5	124
21,1	70	121	141	117	201	71,2	147	80,7	58,6	89,6	68,4	135
23,9	75	132	153	128	217	78,8	159	88,3	65,0	98,0	75,6	147
26,7	80	144	166	140	235	86,8	173	96,3	71,9	107	83,4	159
29,4	85	156	180	153	254	95,4	187	105	79,2	116	91,6	173
32,2	90	168	195	166	274	104	202	114	87,3	126	100	186
35,0	95	182	210	181	295	114	218	123	95,3	137	110	201
37,8	100	196	226	196	317	124	234	133	104	148	120	217
40,6	105	211	243	211	340	135	252	144	113	159	130	233

• En negrilla valores expresados en pulgadas columna mercurio in Hg
• Resto valores de presiones de vapor expresados en psig

Fuente: Tabla presión-temperatura de los refrigerantes. <https://1.bp.blogspot.com/-26H20lbwbHQ/U6eFrpDfbal/AAAAAAAAABVw/j0fTC2tnRTk/s1600/tabla+presion.png>. Consulta: mayo de 2019.

Figura 30. **Comprobación de presión de refrigerante en equipo mini *split*, lado de baja presión**



Fuente: Aeropuerto Internacional La Aurora.

La revisión de refrigerante en el equipo no es necesario realizarla constantemente, excepto cuando se sospecha de un mal funcionamiento del equipo. Debido a que puede escaparse una pequeña cantidad de refrigerante al momento de realizar la conexión con las válvulas de servicio.

Terminado el procedimiento de medición de presiones con el juego de manómetros, se debe liberar la presión para evitar dañar el equipo de medición, abriendo la válvula del manómetro utilizado.

En el caso de presentar un nivel bajo de refrigerante por fuga, se debe determinar inmediatamente el origen de la fuga y proceder a su reparación. Cuando sea necesario evacuar el resto de refrigerante, se debe procesar siguiendo todas las precauciones, tanto en la evacuación del refrigerante como su almacenamiento.

Las presiones en el lado de alta presión pueden provocar quemaduras, si no se tiene el cuidado respectivo, debido a las bajas temperatura del refrigerante, el procedimiento de conexión de las mangueras de los manómetros se debe realiza con el equipo apagado.

3.1.5. Revisión de componentes eléctricos

La revisión de eléctrica abarca la comprobación de los equipos, tanto como compresor, motores de los ventiladores y de las bombas del sistema de distribución de agua. Con las revisiones de los componentes se puede verificar el correcto funcionamiento de los equipos y si es necesario realizar labores de mantenimiento y revisiones de los demás componentes.

- Comprobación de amperaje

El consumo de corriente de los equipos puede determinar cómo esté funcionando el equipo y el estado de sus componentes internos. Para la medición se emplea el multímetro de pinza, en la función de corriente para medir el amperaje de consumo.

Se debe medir el equipo en funcionamiento, colocando el gancho de la pinza sobre la línea de alimentación. Los equipos de aire acondicionado tienen indicado en su placa de datos valores de consumo de corriente para el arranque L.R.A. y el consumo de corriente en plena carga R.L.A.

Figura 31. **Medición de corriente con multímetro de pinza en equipo de aire acondicionado**



Fuente: Aeropuerto Internacional La Aurora.

En motores eléctricos el valor de amperaje está indicado en su placa de datos. Dependiendo de la tensión de alimentación de equipo, suelen indicarse los valores de corriente para cada uno. En apoyo con la medición de presiones se puede obtener un diagnóstico más preciso del funcionamiento del equipo.

- Prueba de capacitores

Los equipos de aire acondicionado pueden disponer de dos tipos de capacitores, de arranque y de marcha. El de arranque se desconecta por medio del *relay* una vez que el compresor se encuentre en funcionamiento. El de marcha se mantiene conectado al circuito. Los capacitores pueden ser simples o dobles, cuando son dobles cuentan con tres polos agrupando la función de arranque y de marcha. Estos se identifican con las letras C para la línea corriente, HERM para el compresor en el arranque y FAN para el ventilador.

Para la comprobación de capacitores se deben descargar primero por medio de una resistencia conectando sus puntas en los polos. Los capacitores se miden en valores de microfaradios (μF o MFD). Por medio de un multímetro en función de capacitancia, se conectan las puntas en los polos C-HERM y entre C-FAN. Los valores deben estar impresos en el cuerpo del capacitor.

Para la comprobación de estos componentes se mide la continuidad entre los polos que disponga el capacitor. Además, se debe medir la continuidad entre cada polo y el cuerpo del capacitor. En cada uno de los polos no debe indicar continuidad en el multímetro, de lo contrario se debe reemplazar por un capacitor nuevo de las mismas características.

- Comprobación del aislamiento

Para los equipos eléctricos se debe verificar que internamente los cables de alimentación y de las bobinas no estén en contacto entre el armazón o bastidor del equipo. Por medio de un multímetro en función de continuidad o resistencia se puede realizar la comprobación sin necesidad de desarmar todo

el equipo, únicamente se debe tener acceso a las líneas de alimentación eléctrica.

Con el multímetro se revisa que cada línea de alimentación no tenga continuidad con el armazón, cuando exista continuidad en la línea el multímetro producirá un sonido de alarma. Puede comprobarse el valor de resistencia para el cual debe obtenerse un valor aproximado en todas las líneas, de obtener un valor cero de resistencia, la línea se encuentra aterrizada con el armazón.

- Comprobación de bobinas de los motores eléctricos.

En los motores eléctricos se puede comprobar que entre las bobinas no exista continuidad, generalmente existe pares de bobinas que se deben verificar con anterioridad para no confundirlos con un corto circuito. Las líneas que forman pares deben indicar un valor de resistencia idénticos, cuando no sea el caso puede ser indicio de falla en el embobinado. Con las otras líneas o bobinas no debe existir continuidad.

3.2. Tratamiento del agua de enfriamiento

Las torres de enfriamiento utilizan agua en recirculación en el sistema, el enfriamiento es provocado por la evaporación de una parte del agua en contacto con una corriente de aire entrante. De este proceso quedan acumuladas todas las impurezas arrastradas por el agua y por el aire. La concentración de estas impurezas y sólidos disueltos al alcanzar niveles elevados puede provocar incrustaciones y corrosiones.

Para mantener un control de impurezas y sólidos disueltos se debe eliminar una parte del agua en recirculación mediante el procedimiento

denominado purga, en el cual se vacía del sistema una parte del agua, llevando consigo todo el material concentrado en el equipo, para lo cual es necesario reponer el agua eliminada con el denominado *make up* o agua de relleno.

El agua de relleno se determina midiendo el flujo de agua entrante. El total de este contempla el agua del proceso de purga, el agua evaporada por la torre y el agua eliminada por la brisa de la torre. El agua eliminada por brisa se calcula multiplicando el caudal de recirculación por un factor, para torres tiro mecánicas, como el caso del aeropuerto, se aplica un factor de 0,001.

Los valores para el agua de relleno, purga, evaporación y brisa se calculan de la siguiente forma.

- $Make\ up = Purga + evaporación + brisa$
- $Purga = evaporación / C.C. - 1$
- $Evaporación = (g.p.m.) * \Delta T / 1\ 000$
- $Brisa = (g.p.m.) * 0,001$

Los C.C. (ciclos de concentración) son la relación de concentración de sales en el agua de recirculación y el agua de relleno. También es la relación entre el agua de relleno y el agua eliminada por el proceso de purga. Los C.C. afectan principalmente los valores de dureza, alcalinidad, conductividad del agua cuando tienden a aumentar los ciclos.

Los ciclos óptimos son los que se obtendrán cuando el agua de recirculación no tenga características incrustantes o corrosivas, determinados por el índice de estabilidad de Langelier y Reyznar. Para lograrlo se debe mantener cierto control en el manejo de químicos en conjunto con la purga del sistema.

- Índice de estabilidad

El índice de estabilidad se emplea para determinar la tendencia del agua de procesos de enfriamiento a formar incrustaciones o provocar corrosión, debido a las características fisicoquímicas del agua. Entre los índices más comunes están el de Langelier y Reyznar.

El índice de Langelier es un indicador del grado de saturación del agua con respecto a los carbonatos de calcio (CaCO_3), que pueden formar una capa protectora cuando se impide la difusión del oxígeno sobre una superficie de metal, evitando su corrosión. El índice de Langelier divide el agua en aguas saturadas con carbonatos de calcio y no saturadas con el mismo. Asociando los factores que contribuyen a la formación de la capa protectora se obtiene el denominado pH de saturación (pH_s).

El índice de Langelier establece el carácter incrustante o corrosivo del agua con base en la siguiente fórmula:

$$\text{ISL} = \text{pH} - \text{pH}_s$$

Donde:

ISL = índice de estabilidad de Langelier.

pH = valor de pH real del agua, tomado de su análisis fisicoquímico.

pH_s = pH de saturación obtenido de la tabla de datos para el índice de estabilidad.

Para el cual se evalúa el ISL comparado con los siguientes valores:

- 0 = agua en equilibrio
- + = tendencia incrustante
- - = tendencia corrosiva

El índice Reygnar es una modificación del índice de Langelier del cual se obtiene de una forma más precisa la probabilidad de formar depósitos o de corroer.

$$ISR = 2pH_s - pH$$

El índice de Reygnar se comprará con los valores siguientes, para determinar la tendencia del agua de enfriamiento:

- $ISR > 6$ = tendencia corrosiva
- $ISR < 6$ = tendencia incrustante

Tabla XV. **Datos para el cálculo rápido del índice de estabilidad de Langelier del agua en torres de enfriamiento**

I Conductividad Mmho/cm		II Temperatura °F		III Dureza de calcio ppm		IV Alcalinidad total (M) ppm	
50-299	0,1	32-35	2,6	9-11	0,6	10-11	1,0
300-2 999	0,2	36-42	2,5	12-13	0,7	12-13	1,1
3 000 +	0,3	43-48	2,4	14-17	0,8	14-17	1,2
		49-57	2,3	18-22	0,9	18-22	1,3
		58-62	2,2	23-27	1,0	23-27	1,4
		36-70	2,1	28-34	1,1	28-35	1,5
		71-80	2,0	35-43	1,2	36-44	1,6
		81-88	1,9	44-55	1,3	45-55	1,7
		89-99	1,8	56-69	1,4	56-69	1,8
		100-110	1,7	70-87	1,5	70-88	1,9
		111-122	1,6	88-110	1,6	89-110	2,0
		123-132	1,5	111-138	1,7	111-139	2,1
		133-146	1,4	139-174	1,8	140-176	2,2
		147-160	1,3	175-229	1,9	177-220	2,3
		161-178	1,2	230-270	2,0	221-270	2,4
				271-340	2,1	271-350	2,5
				341-430	2,2	351-440	2,6
				431-550	2,3	441-550	2,7
				551-690	2,4	551-690	2,8
				691-870	2,5	691-880	2,9
				871-1 000	2,6	881-1 000	3,0

Fuente: Diplomado Acondicionamiento del agua para la Industria. *Módulo 4. Sistemas de enfriamiento.*

El pH_s se determina mediante la tabla de datos del índice de estabilidad de Langelier aplicando la siguiente fórmula:

$$pH_s = (9,3 + \text{valor I} + \text{valor II}) - (\text{valor III} + \text{valor IV})$$

Un tratamiento del agua con parámetros adecuados de calidad de agua y un control en el método de purga del equipo tiene como finalidad.

- Reducir costos por mantenimiento correctivo
- Evitar corrosión
- Evitar incrustación
- Prevenir la concentración de impurezas y sólidos disueltos en el agua

Es mediante un análisis fisicoquímico completo donde se obtendrá toda la información relacionada al pH del agua, alcalinidad total, dureza de calcio, conductividad, temperaturas, sólidos disueltos para determinar las condiciones del agua recirculando en el sistema de enfriamiento y el agua de relleno.

3.3. Recursos

Los recursos son todas las herramientas, repuestos y materiales contemplados que permitirán la ejecución del plan de mantenimiento preventivo, con los cuales el desarrollo de las actividades programadas podrán realizarse correctamente y en el tiempo establecidos. La falta de estos provocará el retraso en la puesta en funcionamiento y la falta de disponibilidad para que el equipo preste su servicio. Debido a la importancia de los recursos y su coste, se debe gestionar los mismos con base en ciertos criterios para establecer un nivel apropiado de repuestos.

3.3.1. Herramientas y equipo de trabajo

Las herramientas son parte indispensable para realizar el mantenimiento preventivo ya que de los mismos dependen de ejecutar cada actividad correctamente. Se ha elaborado una lista de materiales que se debe disponer

en el aeropuerto para realizar las principales tareas de mantenimiento de los equipos de aire acondicionado. Entre las cuales están los siguientes:

- Destornillador de castigadera y *Philips*
- Destornillador de copa
- Juego de llaves cola corona
- Juego de llaves Allen
- Extensión eléctrica
- Llave Stillson de 12"
- Llave inglesa autoajustable de 12"
- Pistola engrasadora manual para cartuchos
- Bomba rociadora
- Bomba de vacío
- Hidro-lavadora
- Juego de manómetros para soldadura autógena
- Juego de manómetros para aire acondicionado, debe incluir medición para refrigerantes R-22, R134A y R410A, o contar con manómetros para la medición de cada uno en alta y baja presión.
- Mangueras
- Cepillos con cerdas de plástico
- Rociadores
- Multímetro digital de pinza
- Termómetro
- Escalera
- Equipo de protección: gafas de seguridad transparentes, respirador (mascarilla del tipo NIOSH N95), guantes de nitrilo o neopreno para productos químicos.

3.3.2. Stock de repuestos

Los repuestos son todos aquellos componentes que permiten el funcionamiento de los equipos, se caracterizan por ser elementos que tienden a ser reemplazados para permitir que los equipos continúen su funcionamiento. Se debe mantener un nivel con relación al tipo y cantidad de repuestos solicitados para el mantenimiento, para lo cual se establecen criterios para una selección apropiada de los mismos. Con ello se pretende evitar el exceso en abastecimiento de repuestos o mantener un nivel insuficiente para la ejecución de tareas de mantenimiento provocando indisponibilidad de los equipos por largos periodos.

3.3.2.1. Criterios para selección de repuestos

Para la selección de los repuestos que se necesiten en el mantenimiento se emplean los siguientes criterios con el fin de establecer el tipo de repuestos y materiales que se necesiten para las labores de mantenimiento.

- Criticidad del equipo. Se refiere a la importancia del equipo para un proceso.
 - Consumo
 - Costos de las piezas
 - Plazo de aprovisionamiento
-
- Análisis de criticidad de los equipos de aire acondicionado

El análisis de criticidad es el método por el cual se establecen valores de jerarquización entre un conjunto de equipos que prestan un servicio. De esta forma se pueden priorizar los recursos destinándolos principalmente a los de

mayor categoría, para lograr de esta manera aumentar la disponibilidad de los equipos.

Por medio del análisis de criticidad se distinguen los niveles de criticidad de los equipos o componentes, según las siguientes categorías.

- Equipos críticos (A): son los equipos que por el mal funcionamiento o la interrupción de su funcionamiento afectan significativamente el servicio prestado por el equipo.
- Equipos importantes (B): son los equipos que por mal funcionamiento o parada afectan en menor medida el servicio prestado por el equipo. Pueden considerarse su reemplazo o el paro de este por un corto tiempo.
- Equipos prescindibles (C): son los equipos que su efecto en el servicio prestado es insignificante o no representa problema alguno.

Para la categorización de los equipos dentro de los niveles anteriores se pueden emplear diversos criterios entre los principales que se pueden utilizar dentro del mantenimiento están: servicio, calidad, mantenimiento, seguridad. Los cuales se agrupan dentro de una tabla XVI.

Tabla XVI. **Criterios para el análisis de criticidad de los equipos de aire acondicionado**

Tipo de equipo	Servicio	Calidad	Mantenimiento	Salud y seguridad
A Crítico	Su mal funcionamiento afecta el servicio, provoca la suspensión del servicio completo o gran parte de este.	Es clave para la buena calidad del servicio	Alto costo de mantenimiento, fallas frecuentes Consume gran parte de los recursos	Su falla puede provocar accidentes graves Necesita revisiones frecuentes (mensual - semanal) Su falta de mantenimiento puede provocar serios problemas de salud.
B Importante	Afecta en menor medida en el servicio. Puede detener sus operaciones por corto tiempo o puede ser remplazado Afecta en el servicio prestado en áreas específicas.	Afecta en menor medida la calidad del servicio No afecta la calidad del servicio de todo el sistema	Para su mantenimiento no representa los costos más altos	Necesita de revisiones periódicas (trimestral - semestral)
C Prescindible	Su influencia puede pasar desapercibida	No afecta la calidad del servicio	Bajo costo de mantenimiento	Poca influencia en seguridad

Fuente: GARCIA GARRIDO. *Organización y Gestión Integral de Mantenimiento*. p. 150.

Al realizar la valoración de los equipos mediante la tabla XVI se coloca el equipo en el nivel correspondiente a la categoría más alta obtenida de la tabla de criticidad.

Con base en los criterios establecidos en la tabla XVI quedan establecidos los niveles correspondientes para los equipos de aire acondicionado del sistema central y equipos unitarios del aeropuerto

Tabla XVII. **Análisis de criticidad en *chillers***

<i>Chillers</i>	Servicio	Calidad	Mantenimiento	Salud y seguridad
A Crítico	X	X	X	
B Importante				X
C Prescindible				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Análisis de criticidad en bombas de los *chillers***

Bombas De Chillers	Servicio	Calidad	Mantenimiento	Salud y seguridad
A Crítico				
B Importante	X	X	X	
C Prescindible				X

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Análisis de criticidad en bombas del sistema de distribución**

Bombas sistema de distribución	Servicio	Calidad	Mantenimiento	Salud y seguridad
A Crítico				
B Importante	X	X	X	X
C Prescindible				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Análisis de criticidad en torres de enfriamiento**

Torre de enfriamiento	Servicio	Calidad	Mantenimiento	Salud y seguridad
A Crítico	X	X	X	X
B Importante				
C Prescindible				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Análisis de criticidad en bombas de torres de enfriamiento**

Bombas Torre de enfriamiento	Servicio	Calidad	Mantenimiento	Salud y seguridad
A Crítico	X	X		
B Importante			X	X
C Prescindible				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Análisis de criticidad en equipos unitarios**

Equipos unitarios	Servicio	Calidad	Mantenimiento	Salud y seguridad
A Crítico				
B Importante	X	X	X	X
C Prescindible				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Análisis de criticidad en manejadoras de aire**

Manejadoras de aire	Servicio	Calidad	Mantenimiento	Salud y Seguridad
A Crítico				X
B Importante	X	X	X	
C Prescindible				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Análisis de criticidad en filtro de aire**

Filtros de aire	Servicio	Calidad	Mantenimiento	Salud y seguridad
A Crítico		X		
B Importante	X		X	X
C Prescindible				

Fuente: elaboración propia.

3.3.2.2. Tipos de repuestos

Los repuestos se clasificarán de la siguiente forma, para establecer las condiciones y el uso de estos en el mantenimiento.

- Repuestos consumibles. son repuestos y materiales que tienen un uso limitado, en algunos casos son de costes bajo costo. Generalmente lo constituyen la mayor parte del *stock* de repuestos.
- Repuestos sometidos a desgaste. son piezas que sufren desgaste como cojinetes y fajas principalmente.
- Elementos de regulación y mando. Son las piezas que se emplean para el control de los procesos.
- Componentes eléctricos. son repuestos empleados en el sistema eléctrico de los equipos.

Dentro de los tipos de repuestos están comprendido el siguiente listado el cual se debe ser tomado en consideración para establecer un *stock* de repuestos dentro del aeropuerto para realizar las actividades de mantenimiento preventivo de los equipos de aire acondicionado.

- Limpiador de serpentines *Pro-red plus diversitech*, biodegradable
- Limpiador de serpentines *Pro-green diversitech*, biodegradable
- Rollo de filtro plástico azul
- Tubería aislante Armaflex
- Cinta adhesiva de aluminio
- Cinta aislante
- Terminales eléctricas tipo faston
- *Wipe* de color
- Limpia contactos

- Aceite penetrante
- Grasa para cojinetes
- Fajas trapezoidales
 - 5VX500
 - BX60
 - A32
 - A38
 - A41
 - A40
 - A44
 - A45
 - A55
 - A53
 - BX53
 - BX57
 - BX63
 - B108
- Cojinetes autoalineantes UC 209-111
- Cojinetes autoalineantes UC 206-103
- Bombas de condensado para aire acondicionado
- Termostatos
- Contactores
- Flipones
- Transformadores para aire acondicionado
- *Relay*

3.4. Planificación y programación del mantenimiento de los equipos

En el programa de mantenimiento preventivo de los equipos de aire acondicionado del aeropuerto se establecen las actividades a realizar para mantener los equipos disponibles para prestar un servicio, estas actividades fueron descritas en los incisos anteriores los cuales abarcan:

- Inspecciones de rutina
- *Mantenimiento de chillers*
- Mantenimiento de manejadoras de aire
- Mantenimiento de equipos unitarios
- Limpieza de filtros de aire
- Limpieza de torre de enfriamiento
- Tratamiento del agua de enfriamiento
- Lubricación de motores de bombas hidráulicas
- Lubricación de rodamientos

Debido a que los *chiller* son los elementos principales del sistema central de aire acondicionado en el aeropuerto es necesario realizar una revisión completa del funcionamiento de sus componentes vitales anualmente, estas deben incluir:

- Comprobación de sensores de temperatura
- Comprobación de sensores de presión
- Comprobación de presión del refrigerante
- Comprobación de válvulas de carga y descarga
- Comprobación de la bomba del refrigerante
- Comprobación de válvula de expansión electrónica
- Comprobación de sistema de control del *chiller*

Todas estas actividades encaminadas a conservar los sistemas y equipos de aire acondicionado es necesario realizarlas en determinados periodos de tiempo, el cual debe ser constante para cada equipo. El dejar de realizar las actividades por intervalos de tiempo indefinidos puede afectar en el funcionamiento general de los equipos y el sistema completo que acondiciona el ambiente dentro de la terminal del aeropuerto.

La programación de las actividades de mantenimiento preventivo para los equipos de aire acondicionado se ha establecido en un calendario general para llevar el control del tiempo de ejecución de estas actividades planificadas.

Tabla XXV. Programación de las actividades del plan de mantenimiento preventivo

Intervalo Actividad	Otros	Semanal	Mensual	Trimestral	Semestral	Anual
Mantenimiento <i>chillers</i>						X
Mantenimiento manejadoras				X		
Mantenimiento equipos unitarios					X	
Limpieza filtros de aire		X (x2)		X (Equipos Unitarios)		
Limpieza y desinfección de torre de enfriamiento					X	
Tensión fajas	24 – 48 después de su instalación			X		
Lubricación rodamientos (chumaceras)				X		
Lubricación rodamientos (bombas)				X	X	
Tratamiento agua de enfriamiento			X			
Revisiones eléctricas						X

Fuente: elaboración propia.

4. CONTROL Y SEGUIMIENTO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

4.1. Formatos

Los formatos describirán las actividades a realizar durante el mantenimiento preventivo de los equipos de aire acondicionado, en los cuales se describirán tanto el equipo, fecha, las actividades, los materiales necesarios y un apartado para las observaciones que sean importantes detallar para tomar en cuenta y darle su respectivo seguimiento.

4.1.1. Formatos de actividades de mantenimiento

Los formatos de mantenimiento tendrán la información de las acciones a realizar para desarrollar las actividades de acuerdo con el plan de mantenimiento establecido, en el cual se han previsto los procedimientos, herramientas, repuestos necesarios para su ejecución.

Figura 32. **Formato de mantenimiento para actividades de mantenimiento**

Aeropuerto Internacional La Aurora <u>PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</u> <u>Aire acondicionado</u>	
Fecha: / / Duración:	Equipo: Ubicación:
Actividades	Recursos (Repuestos, materiales, equipo)
Observaciones	
V.o.B.o.	

Fuente: elaboración propia.

4.1.2. Ficha de seguimiento de las actividades de mantenimiento

La ficha de seguimiento de las actividades de mantenimiento preventivo es una herramienta para llevar un control de las observaciones realizadas durante la ejecución de las inspecciones y de las tareas de mantenimiento programadas.

Figura 33. **Ficha de seguimiento de las actividades de mantenimiento**

Aeropuerto Internacional La Aurora	
<u>FICHA DE SEGUIMIENTO</u>	
<u>Manteniendo aire acondicionado</u>	
Fecha: / /	Equipo:
Fecha preliminar	
Descripción	
Anotaciones:	
V.o.B.o.	

Fuente: elaboración propia.

4.1.3. Ficha histórica de los equipos

Toda la información relacionada a las tareas de mantenimiento se deberá ingresar a la ficha histórica de los equipos, para tener toda la información relacionada de cada una de las actividades realizadas en el equipo, el cual se puede manejar de forma digital. La información recabada en las fichas históricas de los equipos se empleará para determinar los indicadores de mantenimiento. A continuación, se muestra el ejemplo de la ficha histórica de equipos elaborada en Excel.

Figura 34. Ejemplo de ficha histórica de los equipos

Aeropuerto Internacional La Aurora			
<u>Ficha Histórica de Equipos</u> <u>Aire Acondicionado</u>			
Equipo		Ubicación	
Fecha	Mantenimiento Preventivo	Observaciones	Duración del mantenimiento

Fuente: elaboración propia.

4.2. Indicadores de mantenimiento

Los indicadores de mantenimiento son índices que permiten la valoración del programa de mantenimiento preventivo con base en la gestión de los equipos. Por medio de la relación de variables cuantificables, obtenidas durante la ejecución del programa de mantenimiento, de las condiciones de funcionamiento de los equipos dentro del proceso de acondicionamiento del aire.

4.2.1. Disponibilidad

La disponibilidad se refiere al porcentaje de tiempo en el que los equipos se encuentran útiles para prestar un servicio. Está representado por:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo total} - \text{tiempo fuera de servicio}}{\text{Tiempo total}}$$

También puede determinarse de la siguiente manera.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} - \text{MTTR}}$$

Ejemplo:

Para el mantenimiento preventivo de los *chillers* es necesario un promedio de 4 días. El periodo por evaluar es anualmente.

$$\begin{aligned} \text{Tiempo fuera de servicio} &= 4 \text{ días} \\ \text{Disponibilidad} &= \frac{365 - 4}{365} = 0,99 * 100 \% \cong 99 \% \end{aligned}$$

Los *chillers* tendrían una disponibilidad de 99 % para prestar su servicio anualmente.

La disponibilidad como uno de los indicadores de mayor relevancia en el mantenimiento evaluará el nivel de gestión de este, conforme a los siguientes valores límites, en los que considera especialmente la criticidad de los equipos y su respectivo mantenimiento programado.

Tabla XXVI. **Valores límites de disponibilidad**

Disponibilidad > 95 %	Ideal
95 % > Disponibilidad > 85 %	Aceptable
85 % > Disponibilidad	Deficiente

Fuente: elaboración propia.

4.2.2. **Tiempo medio entre fallas**

Se refiere al intervalo de tiempo en el que un equipo puede presentar fallas. Se relación con la fiabilidad de un equipo. En inglés se identifica como MTBF (*Mid Time Between Failure*). Se representa por la relación:

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total}}{\text{Núm. de fallas}}$$

Ejemplo:

Para la torre de enfriamiento, el total de fallas presentes en un año como ejemplo se establece en dos, una cuando la faja del ventilador se rompa y la segunda cuando el filtro de agua de recirculación se obstruya siendo necesario el paro de funcionamiento de la torre para su posterior limpieza.

$$\text{Tiempo medio entre fallas} = \frac{1}{2} \text{ año}$$

El tiempo medio entre fallas resultante según el ejemplo es de medio año.

4.2.3. Tiempo promedio entre reparaciones

Es el intervalo de tiempo en el cual se realizan las reparaciones, correctivas y preventivas. Está ligado a la mantenibilidad de un equipo o facilidad de realizar las labores de mantenimiento. En inglés se identifica como MTTR (*Mid Time To Repair*).

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Tiempo total fuera de servicio}}{\text{Núm. de fallas}}$$

Ejemplo:

Según el caso anterior para el cambio de la faja del ventilador es necesario un tiempo promedio de 1 hora. Para la limpieza del filtro de la torre de enfriamiento es necesario que el equipo se encuentre fuera de servicio un total de 4 horas aproximadamente.

$$\text{MTTR} = \frac{1 + 4}{2} = \frac{5}{2} = 2,5 \text{ horas}$$

4.2.4. Número de paradas por mantenimiento

Es la cantidad de periodos que el equipo interrumpe sus operaciones para la ejecución de las tareas de mantenimiento preventivas y correctivas.

4.2.5. Tiempo total de paradas por mantenimiento

Se refiere el tiempo de total en el cual los equipos reciben algún tipo de mantenimiento. Abarca todo el periodo de tiempo relacionado a las tareas de mantenimiento preventivas y correctivas.

4.2.6. Costos de mantenimiento

Los costes de la implementación de un programa de mantenimiento será toda la inversión realizada tanto para los recursos, materiales y repuestos, además, de actividades que se realizan por tercerización. Es importante agrupar toda la información concerniente para determinar de qué forma minimizar coste relacionadas a reparación y adquisición de repuestos indispensables para el mantenimiento preventivo.

Dentro de los costos de mantenimiento existen dos clasificaciones. Los costos directos compuestos principalmente de la mano de obra y de los materiales empleados para realizar las actividades de mantenimiento. Los costos indirectos son los costos que provienen de la falta de disponibilidad, fallas y deterioro de los equipos. El costo integral de mantenimiento es la suma de estas dos clasificaciones.

CONCLUSIONES

1. El aire acondicionado en la Terminal del Aeropuerto Internacional La Aurora está conformado actualmente por un sistema central enfriador por agua y por equipos unitarios que utilizan refrigerante R-410A y R-22.
2. El sistema central de aire acondicionado está formado por cuatro enfriadoras de agua, de 200 toneladas cada una, con capacidad de enfriamiento del agua a una temperatura de 5° centígrados.
3. Los equipos de aire acondicionado operan por medio del ciclo de refrigeración por compresión, llevan a cabo los procesos fundamentales de compresión isoentrópica, rechazo de calor a presión constante, estrangulamiento y absorción de calor a presión constante.
4. El acondicionamiento del aire contempla como parámetros para el *confort* una temperatura entre 22 a 27 °C, humedad, la velocidad, limpieza y renovación del aire.
5. El mantenimiento preventivo es un conjunto de acciones planificadas y preparadas para prevenir fallos, aprovechando la vida útil de los equipos para obtener el máximo rendimiento de los equipos con un menor costo posible al aplicarlo según la criticidad de estos a través de un análisis de los indicadores de mantenimiento previamente establecidos.

6. El mantenimiento preventivo tiene como resultados ahorro energético, mayor disponibilidad y el máximo alcance del ciclo de vida de los equipos.
7. El tratamiento del agua tiene como propósito prevenir la formación de depósitos, evitar la corrosión y el ensuciamiento del agua y superficies de la torre, asociados al uso del agua en procesos de enfriamiento.
8. El control de los equipos, registro de las actividades y procedimiento llevado a cabo en las fichas, permite analizar el estado de los equipos tomando las acciones necesarias para prevenir fallos y paros imprevistos.
9. Los indicadores de mantenimiento son valores para medir y controlar la gestión del plan de mantenimiento por medio de datos obtenidos en la ejecución del mantenimiento preventivo de los equipos, así como de la calidad del servicio prestado por estos.

RECOMENDACIONES

1. A los encargados del mantenimiento de los equipos de aire acondicionado del Aeropuerto Internacional La Aurora, realizar las inspecciones programadas el personal técnico encargado del mantenimiento, deberá prestar atención a todos los componentes de los equipos y que el mantenimiento sea efectivo.
2. El personal técnico de mantenimiento debe realizar las inspecciones conscientemente, para prevenir posibles fallos en los equipos, cualquier factor puede afectar el funcionamiento del equipo y sus componentes.
3. Durante la limpieza mecánica de los *chillers*, debe revisarse el estado interno de los tubos, debido a que por el mismo procedimiento de limpieza sufren desgaste internamente.
4. Tanto la limpieza como revisiones y correcciones en el mantenimiento se deben realizar para que el mantenimiento preventivo logre su objetivo por el tiempo mayormente posible.
5. El seguimiento del programa de mantenimiento preventivo debe realizarse constantemente para no perder los avances logrados con anterioridad y realizar únicamente mantenimiento correctivo.
6. El tratamiento de agua de enfriamiento se debe realizar por medio de personal capacitado para el procedimiento, así como el empleo que

equipo de protección y tomar las consideraciones para el vaciado del agua de la torre.

7. En el tratamiento de agua de enfriamiento se debe considerar en primer lugar el uso de inhibidores de incrustación y corrosión en lugar de removedores de estos.
8. Se debe tomar en cuenta el procedimiento de desinfección de filtros de aire para evitar contaminar las áreas donde se distribuirá el aire.
9. Habilitar un sistema de automatización de edificios para mantener un control de los sistemas integrados en especial los de acondicionamiento del interior de la tTerminal.

BIBLIOGRAFÍA

1. Baltimore Aircoil Company. *FXVS Torres de enfriamiento de circuito cerrado. Instrucciones de Mantenimiento y Funcionamiento*. [en línea] >https://www.baltimoreaircoil.eu/sites/BAC/files/BAC_Mantenimiento-FXVS_MFXVSv04ES.pdf> [Consulta: mayo de 2019].
2. Browning. [en línea] <https://www.regalpts.com/PowerTransmissionSolutions/Installation%20and%20Maintenance/Form_5453S.pdf>. [Consulta: mayo de 2019].
3. CENGEL, Yunus A. y BOLES, Michael. *Termodinámica*. 7a ed. México: McGraw-Hill, 2012. 1041 p.
4. DÍAZ NAVARRO, Juan. *Técnicas de Mantenimiento Industrial*. Buenos Aires, Malaga: Calpe Institute of Technology, 2007. 296 p.
5. Diversitech. Ficha Técnica. Pro-Green. [en línea] <<http://media.diversitech.com/doc/DOC10401.pdf>>. [Consulta: mayo de 2019].
6. Divesitech. Limpiador de bobinas Pro-Red+ para exteriores. [en línea] <<http://media.diversitech.com/doc/DOC79903.pdf>> [Consulta: mayo de 2019].

7. GARCÍA GARRIDO, Santiago. Gestión del Repuesto (o qué debo tener en el almacén). Mantenimiento de máquinas y servicios a la producción. [en línea] <https://www.xing.com/communities/posts/gestion-del-repuesto-o-que-debo-tener-en-el-almacen1004888082>. [Consulta: mayo de 2019].
8. ———. *Organización y Gestión Integral del Mantenimiento*. España, Ediciones Díaz de Santos, 2003. 320 p.
9. GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, Francisco. Auditoría del mantenimiento e indicadores de gestión. España, FC Editorial, 2004. 259 p.
10. KEMMER, Frank N. Manual del Agua: Su Naturaleza, Tratamiento y Aplicación. Tomo I, II y III. España, McGraw-Hill, 1989. 826 p.
11. PITA, Edward G. Acondicionamiento del Aire: Principios y Sistemas. 2da ed. México: CECSA, 1998. 548 p.
12. TAVARES, Lourival. Administración Moderna del Mantenimiento. Brasil, Novo Polo Publicación, 2000. 136 p.
13. TRANE. Instalación, Operación y Mantenimiento. Enfriadoras de Líquido Tipo Tornillo Series R. Modelo RTHD, 2006.
14. ———. Instalación, Operación y Mantenimiento. Manejadora de Aire Modelo LPC, 2005.

15. WHITMAN, William C. y JOHNSON, William M. Tecnología de la Refrigeración y Aire Acondicionado: Fundamentos. Tomos I y III, España: Parainfo, 2000. 720 p.

