



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**MANTENIMIENTO A SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA FRÍA PARA AIRES
ACONDICIONADOS A TRAVÉS DE TORRES DE ENFRIAMIENTO EN EDIFICIO DESIGN
CENTER**

Manuel Alejandro Policarpio de León

Asesorado por el Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

Guatemala, octubre 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MANTENIMIENTO A SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA FRÍA PARA AIRES
ACONDICIONADOS A TRAVÉS DE TORRES DE ENFRIAMIENTO EN EDIFICIO DESIGN
CENTER**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MANUEL ALEJANDRO POLICARPIO DE LEÓN
ASESORADO POR EL ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2021

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 Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Inga. Aurelia Anabela Cordoba Estrada
EXAMINADOR	Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
EXAMINADOR	Ing. Milton Alexander Fuentes Orozco
EXAMINADOR	Ing. José Ismael Véliz Padilla
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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:

**MANTENIMIENTO A SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA FRÍA PARA AIRES
ACONDICIONADOS A TRAVÉS DE TORRES DE ENFRIAMIENTO EN EDIFICIO DESIGN
CENTER**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 23 de julio 2019.

Manuel Alejandro Policarpio de León

Guatemala, 2 de abril de 2020

Ingeniero
Gilberto Enrique Morales Baiza
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Morales:

Respetuosamente le informo que he revisado el trabajo de graduación titulado **MANTENIMIENTO A SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA FRÍA PARA AIRES ACONDICIONADOS A TRAVÉS DE TORRES DE ENFRIAMIENTO EN EDIFICIO DESIGN CENTER** presentado por el estudiante Manuel Alejandro Policarpio de León con registro académico 2003 13107 y CUI 2644 54995 1001, después de haber realizado las correcciones pertinentes, considero que cumple con los objetivos que le dieron origen.

Por lo tanto, hago de su conocimiento que en mi opinión, dicho trabajo llena los requisitos necesarios para ser sometido a discusión en su Exámen General Público y recomiendo su aprobación para el efecto.

Atentamente,



Carlos Humberto Pérez Rodríguez
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL
Colegiado 3071

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Ingeniero Mecánico Industrial
Colegiado NO. 3071



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

El Coordinador del Área Térmica de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen favorable del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado **“MANTENIMIENTO A SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA FRÍA PARA AIRES ACONDICIONADOS A TRAVÉS DE TORRES DE ENFRIAMIENTO EN EDIFICIO DESIGN CENTER”** desarrollado por el estudiante **Manuel Alejandro Policarpio de León**, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Coordinador Área Térmica

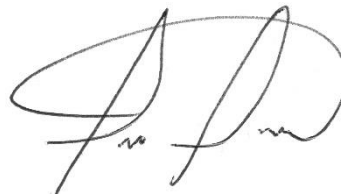
Guatemala, julio del 2,021

RGO/

Ref.E.I.M.138.2021

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 Térmica del trabajo de graduación titulado: **MANTENIMIENTO A SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA FRÍA PARA AIRES ACONDICIONADOS A TRAVÉS DE TORRES DE ENFRIAMIENTO EN EDIFICIO DESIGN CENTER** del estudiante de **Manuel Alejandro Policarpio de León, CUI 2644549951001**, Reg. Académico **200313107** y luego haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, octubre 2021
/aej



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

DTG. 523.2021

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: **MANTENIMIENTO A SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA FRÍA PARA AIRES ACONDICIONADOS A TRAVÉS DE TORRES DE ENFRIAMIENTO EN EDIFICIO DESIGN CENTER**, presentado por el estudiante universitario: **Manuel Alejandro Policarpio de León**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, octubre de 2021

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser quien bajo su protección y resguardo ha permitido que el estar aquí sea posible.
Mis padres	Héctor Policarpio y Guadalupe De León, por ser el ejemplo para seguir en mi camino.
Mi esposa	Mónica García, por ser el pilar más fuerte de mi vida.
Mis hijos	Emilio y Adriana Policarpio García, por ser mi motivación para seguir adelante, mi alegría, mi orgullo.
Mis hermanos	Paola, Héctor Alberto, Viktor y Mario Policarpio, por creer y confiar en mí.
Mis abuelitas	Everilda Barrios y María Antonieta Marín (q. e. p. d.), por sus infinitos consejos de vida.
Mis familiares	Familia Policarpio y familia De León, por estar siempre brindándome su apoyo.
Mis amigos	Por estar conmigo en las buenas y en las malas y haber compartido tantos momentos inolvidables.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por permitirme culminar esta etapa de mi vida en el tiempo, el momento y el lugar adecuado.
- Mi padre** Héctor Policarpio, por su perseverancia, su confianza y el apoyo incondicional hacia mí, no importando las adversidades.
- Mi madre** Guadalupe De León, por sus consejos, paciencia, entrega, soporte y por hacer el esfuerzo adicional para impulsarme a salir adelante.
- Mi esposa** Mónica García, por entrar a la batalla a entregar lo mejor y darme un motivo para poder seguir adelante. Por ser una buena madre, amorosa y entregada; esa persona admirable para mí y para los que le rodean, por ser mi mejor compañía, mi amiga, mi todo.
- Mis hijos** Emilio y Adriana Policarpio, por existir y ser ese motor que le da energía a mi vida en cada paso que doy.

María Consuelo Silva

Por ser parte de mi formación y darme la paciencia necesaria para poder seguir avanzando.

Manuel González

Por brindarme su apoyo, sus consejos que me han hecho avanzar profesionalmente. Por entregar sin recibir, por darme la oportunidad de trazarme nuevos retos a lo largo de mi carrera.

Mi asesor

Ingeniero Carlos Pérez, por su confianza desde el primer momento y su admirable compromiso con nuestra casa de estudios.

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser el *alma mater* de mi desarrollo profesional.

**Facultad de Ingeniería,
Escuela de Ingeniería
Mecánica**

Por ser una puerta abierta a un mundo de conocimiento inmenso y ser el apoyo correcto para sobresalir en lo personal y académicamente.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EDIFICIO DESIGN CENTER.....	1
1.1. Historia	1
1.2. Actividad económica.....	2
1.3. Visión.....	2
1.4. Misión	3
1.5. Diagrama de planta típica.....	3
1.6. Organigrama general.....	4
1.7. Áreas de operaciones y mantenimiento	5
1.8. Equipo y herramienta para mantenimiento	7
1.9. Administración del mantenimiento	11
1.9.1. Cuota de mantenimiento.....	11
1.9.2. Cuota de servicios generales.....	12
1.9.3. Personal de mantenimiento	12
1.9.3.1. Supervisores.....	13
1.9.3.2. Colaboradores	14
2. INFORMACIÓN TÉCNICA	19
2.1. Análisis del sistema general	19

2.2.	Condensadores.....	19
2.2.1.	Enfriado por aire.....	19
2.2.2.	Enfriado por agua.....	20
2.2.3.	Evaporativo	20
2.3.	Intercambiador de calor.....	21
2.3.1.	Tipo placa.....	22
2.3.2.	Carcasa y tubos	23
2.4.	Compresores.....	23
2.4.1.	Desplazamiento positivo.....	24
2.4.2.	Dinámicos.....	25
2.5.	Ventiladores	26
2.6.	Torre de enfriamiento	27
2.7.	Dispositivos de expansión.....	29
2.8.	Accesorios para la circulación del aire	31
2.9.	Dispositivos para la limpieza del aire	32
2.10.	Aislamientos.....	35
2.11.	Tubería para agua helada	36
2.11.1.	Tubería de cobre	37
2.11.2.	Tubería de acero galvanizado.....	37
2.11.3.	Tubería de policloruro de vinilo (PVC).....	38
2.11.4.	Tubería de hierro negro.....	39
2.12.	Bombas de agua	40
2.13.	Ductería.....	43
2.13.1.	Ductería rectangular rígida	43
2.13.2.	Ducto redondo flexible.....	44
2.14.	Tanque de expansión.....	45
2.15.	Dispositivos de control	45
2.15.1.	Accesorios básicos.....	46
2.15.2.	Controles de operación	47

	2.15.3.	Controles de seguridad.....	48
2.16.		Refrigerantes	49
	2.16.1.	Características termodinámicas.....	50
	2.16.2.	Características físicas y químicas.....	51
	2.16.3.	Seguridad	52
	2.16.4.	Efectos sobre el medio ambiente.....	53
	2.16.5.	Designación	53
	2.16.6.	Refrigerante R134a	58
	2.16.7.	Refrigerante R22	59
3.		PLAN DE EJECUCIÓN DE MANTENIMIENTO	61
	3.1.	Tipo de mantenimiento	61
	3.2.	Planificación del mantenimiento	61
	3.2.1.	Zonificación.....	62
	3.2.2.	Inventario	62
	3.2.3.	Codificación	62
	3.2.4.	Ficha técnica de los equipos.....	64
	3.2.5.	Diagnóstico y datos de trabajo.....	71
	3.2.6.	Orden de trabajo -OT-	74
	3.2.7.	Informe de trabajo realizado -ITR-	77
	3.2.8.	Hoja de inspección	79
	3.2.9.	Hoja de registro de fallas	80
	3.3.	Programación de las actividades de mantenimiento	81
	3.3.1.	Actividades de mantenimiento preventivo	82
	3.3.1.1.	Lista de actividades preventivas para sistemas de bombas.....	82
	3.3.1.2.	Lista de actividades preventivas para sistemas de aire acondicionado tipo agua helada.....	83

3.3.2.	Procedimiento Operativo Estándar -POE-.....	84
3.3.2.1.	Información técnica	99
3.3.2.2.	Mano de obra	99
3.3.2.2.1.	Cálculo Horas- Hombre disponibles	100
3.3.2.2.2.	Cálculo de Horas- Hombre necesarias para la ejecución de las actividades.....	102
3.3.2.3.	Normas de seguridad	103
3.4.	Flujo de materiales e información	104
3.4.1.	Flujo de materiales e información de actividades programadas	105
3.4.2.	Flujo de materiales e información de actividades no programadas	109
3.5.	Indicadores de gestión	113
3.5.1.	Cumplimiento del mantenimiento preventivo.....	113
3.5.2.	Fallas no detectadas con mantenimiento preventivo.....	113
3.5.3.	Repetición de fallas	114
3.5.4.	Paradas causadas por trabajo deficiente o no realizado.....	114
3.5.5.	Tareas retrasadas de mantenimiento preventivo ..	115
3.5.6.	Mantenimiento preventivo realizados por operadores de la institución.....	115
3.6.	Cálculo de costos para el plan de mantenimiento propuesto	116

4.	RESULTADOS DEL MANTENIMIENTO	121
4.1.	Capacitación al personal de mantenimiento	121
4.2.	Guía de operación	121
4.2.1.	Guía de operación	122
4.3.	Seguimiento del plan de mantenimiento.....	137
4.3.1.	Auditorías internas.....	137
4.3.2.	Auditorías externas.....	137
4.4.	Ampliaciones en operaciones del centro comercial.....	138
4.4.1.	Controles por demanda	138
4.4.2.	Refuerzos de personal en el área operativa	138
4.4.2.1.	Técnicas para mejora continua laboral.....	139
4.4.2.2.	Herramientas estadísticas	140
4.4.2.3.	Técnicas para evaluar la eficiencia del trabajador.....	141
4.4.2.4.	Técnicas para evaluar la productividad del trabajador.....	143
	CONCLUSIONES	145
	RECOMENDACIONES.....	147
	BIBLIOGRAFÍA.....	149

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Nivel 1, Design Center	3
2.	Nivel 2, Design Center	4
3.	Organigrama general	5
4.	Organigrama departamento de operaciones.....	7
5.	Representación del condensador evaporativo con tiro inducido	21
6.	Carga negativa en la bomba de agua	42
7.	Carga positiva en la bomba de agua.....	42
8.	Comparación de diagramas de presión-entalpía para un refrigerante zeótropo y un azeótropo	57
9.	Dígitos para la codificación de las actividades	63
10.	Horas operativas y otras no operativas.....	101
11.	Flujo de actividades programadas	108
12.	Flujo de información y materiales para actividades no programadas.....	112

TABLAS

I.	Ejemplo de la codificación de las actividades	63
II.	Clasificación del <i>status</i> del equipo	64
III.	Ficha técnica <i>chiller</i> 01-11-PT-CH03.....	65
IV.	Ficha técnica <i>chiller</i> 01-11-PT-CH04.....	66
V.	Ficha técnica <i>chiller</i> 01-11-PT-CH05.....	67
VI.	Ficha técnica <i>chiller</i> 01-11-PT-CH06.....	68

VII.	Ficha técnica bomba 02-S4-SH-BC01	69
VIII.	Bomba 02-S4-SH-BC02.....	70
IX.	Tabla de diagnóstico y datos de trabajo de un <i>chiller</i> 01-11-PT-CH03.....	71
X.	Tabla de diagnóstico y datos de trabajo de un <i>chiller</i> 01-11-PT-CH04.....	72
XI.	Tabla de diagnóstico y datos de trabajo de un <i>chiller</i> 01-11-PT-CH05.....	72
XII.	Tabla de diagnóstico y datos de trabajo de un <i>chiller</i> 01-11-PT-CH06.....	73
XIII.	Tabla de diagnóstico y parámetros de la bomba 03-S2-SC-BC01	73
XIV.	Tabla de diagnóstico y parámetros de la bomba 03-S2-SCBC02.....	74
XV.	Formato de la orden de trabajo.....	76
XVI.	Formato de informe de trabajo realizado	78
XVII.	Formato 1 de inspección de equipos	79
XVIII.	Formato 2 de inspección de equipos	80
XIX.	Hoja de registro de fallas	81
XX.	Procedimiento operativo estándar de chequeo de niveles de baja y alta presión de aceite de <i>chillers</i>	85
XXI.	Procedimiento operativo estándar de chequeo de presiones de entrada y salida del evaporador de <i>chillers</i>	86
XXII.	Procedimiento operativo estándar de chequeo general del tanque de aceite de <i>chillers</i>	87
XXIII.	Comprobación de los controles de seguridad. Conmutador de baja temperatura de aceite de <i>chillers</i>	88
XXIV.	Procedimiento operativo estándar de comprobación de los controles de seguridad. Control de alta presión del condensador de <i>chillers</i>	89

XXV.	Procedimiento operativo estándar de Comprobación de los controles de seguridad. Conmutador de baja presión en el enfriador de <i>chillers</i>	90
XXVI.	Comprobación de los controles de seguridad. Control de baja presión de aceite de <i>chillers</i>	91
XXVII.	Procedimiento operativo estándar de cambio de filtro de <i>chillers</i>	92
XXVIII.	Procedimiento operativo estándar de peinado de serpentines de <i>chillers</i>	93
XXIX.	Procedimiento operativo estándar de pintura de <i>chillers</i>	94
XXX.	Procedimiento operativo estándar de cambio de correas del ventilador de <i>chillers</i>	95
XXXI.	Procedimiento operativo estándar de baqueteo de tubos del condensador de <i>chillers</i>	96
XXXII.	Procedimiento operativo estándar de cambio de aceite de <i>chillers</i>	97
XXXIII.	Procedimiento operativo estándar de inspección del compensador de <i>chillers</i>	98
XXXIV.	Duración de actividades de mantenimiento preventivo	102
XXXV.	Costos estimados de materiales y repuestos.....	116
XXXVI.	Costos estimados de herramientas y equipos.....	117
XXXVII.	Costos estimados de mano de obra.....	118
XXXVIII.	Costo estimado total anual de mantenimiento	118
XXXIX.	Plan de mantenimiento preventivo	125

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Q	Calor
CLF	Factor de carga de enfriamiento
°C	Grado Centígrado
°F	Grado Fahrenheit
hr.	Hora
HR	Humedad relativa
PSI	Libra sobre pulgada cuadrada
%	Porcentaje
ton	Tonelada de refrigeración
ODP	Potencial de destrucción del ozono

GLOSARIO

Aire acondicionado	Es un sistema de refrigeración del aire que se utiliza de modo doméstico para refrescar los ambientes cuando las temperaturas del ambiente son muy altas y calurosas.
Aire de extracción	Aire normalmente viciado que se expulsa al exterior.
Aire de impulsión	Aire que se introduce en los espacios acondicionados.
Aire de recirculación	Aire de retorno que se vuelve a introducir en los espacios acondicionados.
Aire de retorno	Aire procedente de los espacios acondicionados.
Aislante térmico	Todo material que posee un bajo coeficiente de conductividad térmica.
Azeótropos	Mezcla líquida de composición definida entre dos o más compuestos químicos que hierve a temperatura constante y que se comporta como si estuviese formada por un solo componente.

Calor específico	Cantidad de calor que es necesario suministrar a la unidad de masa de un cuerpo para elevar un grado su temperatura.
Calor latente	Cantidad de calor que cede o absorbe un cuerpo al cambiar de estado.
Calor sensible	Cantidad de calor que cede o absorbe un cuerpo sin cambiar de estado.
Chiller	Unidad de refrigeración que permite mantener el agua a una temperatura bastante baja, y por medio de ella enfriar diferentes procesos.
Climatización	Proceso de tratamiento de aire que se efectúa a lo largo de todo el año, controlando, en los espacios interiores, temperatura, humedad, pureza y velocidad del aire.
Compresor	Bomba de un mecanismo de refrigeración que arrastra o introduce gas refrigerante del lado de baja presión o de absorción de calor, y lo comprime hacia el área de alta presión o de condensación del ciclo.
Condensador	Parte del mecanismo de refrigeración que recibe gas a alta temperatura y presión del compresor; y que enfría el refrigerante gaseoso hasta que éste regresa a su estado líquido.

Cooler	Nombre técnico de refrigeración que se le da al evaporador.
Ductería	Sistemas que se utilizan para la conducción de aire acondicionado, calefacción o ventilación; puede ser ducto rectangular rígido o ducto redondo flexible.
Evaporador	Parte del mecanismo de refrigeración en el que se evapora el refrigerante mediante la absorción de calor.
Halogenados	Son todos aquellos compuestos que poseen un átomo de halógeno. Estos elementos se diferencian del resto por ser más electronegativos, formando una diversidad de haluros inorgánicos y orgánicos.
Humedad específica	Relación entre la masa de vapor de agua y la masa del aire seco.
Humedad relativa	Relación de la densidad del vapor de agua en el aire con la densidad de saturación a la temperatura correspondiente.
Mantenimiento	Serie de trabajos que hay que ejecutar en algún equipo, planta o método, a fin de conservarlo con el fin de brindar el servicio para el que fue diseñado.

Refrigeración

Rama de la ciencia que trata del proceso de reducir y mantener más baja que su alrededor, la temperatura de un espacio dado o de un producto.

Zeótropicos

Mezclas formadas por dos o más componentes (refrigerantes puros) de diferente volatilidad.

RESUMEN

Debido a la necesidad de mantener un sistema completo de aire acondicionado reduciendo las pérdidas de energía y aprovechando los recursos naturales como lo son el agua y principalmente el aire, se genera un plan de mantenimiento enfocado en los equipos de suministro de agua fría. Los pasos para seguir son realizados según las características y capacidades de los equipos, con esto podemos lograr de una manera controlada, conducir agua fría de alimentación y agua caliente de retorno siguiendo siempre el principio de intercambio de calor.

El registro de los datos tomados en rutinas de inspección a las torres de enfriamiento es de gran utilidad para poder determinar el comportamiento de estas; los parámetros establecidos se deben de mantener en todo momento, de lo contrario los equipos presentaran fallas no deseadas y en algunos casos el paro total del sistema, ocasionando la incomodidad del usuario final.

OBJETIVOS

General

Encontrar las mejoras dentro del plan de mantenimiento para sistemas que están siendo utilizados como alternativa en el campo de la ingeniería, obteniendo un alto rendimiento y una mejor aceptación tanto en la industria como en el comercio.

Específicos

1. Obtener toda la información necesaria del sistema y reconocer los procesos de mantenimiento en ejecución.
2. Brindar las temperaturas deseadas en puntos específicos de un edificio de oficinas de 16 niveles y un edificio de oficinas de 12 niveles, no incluyendo los sótanos.

INTRODUCCIÓN

El concepto de mantenimiento surge bajo la necesidad de contrarrestar los efectos del deterioro natural de todos los sistemas existentes, ya que es el encargado de garantizar la vida y el funcionamiento de tales sistemas por medio de diferentes técnicas que se han ido desarrollando a medida que las necesidades han ido surgiendo.

Los equipos de aire acondicionado de tipo comercial proporcionan comodidad para el usuario, de tal modo que se busca brindar un servicio constante y de uso práctico. Se reconocen varios métodos para poder obtener los resultados deseados, a bajos costos de mantenimiento, mayor eficiencia y de recursos renovables tales como el agua. Se propone una guía del mantenimiento adecuado para un sistema de dos torres de enfriamiento y sus complementos, de tal manera que los equipos puedan proporcionar el servicio requerido por el usuario final.

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EDIFICIO DESIGN CENTER

El edificio Design Center se encuentra ubicado en la diagonal 6 de la zona 10, cuenta con dos torres de oficinas y un área de centro comercial, rodeado de edificios ejecutivos, clínicas y comercio de alta gama. La torre más alta del conjunto mide 60 metros de altura y cuenta con un total de 16 niveles, la segunda torre mide 44 metros, con un total de 12 niveles. Cada nivel fue construido en base a un diseño que aloja los sistemas de servicios dentro de las mismas áreas midiendo estos 4 metros de altura. Cuenta con 5 niveles subterráneos de parqueos. Es el vigésimo octavo edificio más alto de Centroamérica y el décimo edificio más alto de Guatemala, su construcción empezó en enero de 2008 y terminó en mayo de 2011.

En este capítulo se recopila y presenta información general del edificio para conocerlo y entender a fondo lo necesario que es el mantenimiento al sistema que tienen. Además, se da a conocer la metodología a abordar.

1.1. Historia

El edificio Design Center tiene 7 años de estar funcionando como un centro comercial y empresarial, el cual fue diseñado para generar total comodidad a los usuarios, no dejando a un lado los mejores acabados arquitectónicos lo que hace que tenga una vista moderna y vanguardista.

Se enfoca en dos sectores que son el empresarial y el comercial, ya que por encontrarse en un punto de gran afluencia vehicular hace que sea un área ideal tanto para oficinas como para centro comercial, teniendo las dos opciones

en un mismo lugar, brindando el beneficio adicional al empresario para poder obtener alimentación y generar opciones de negocios en el mismo lugar sin tener que moverse de ubicación.

El diseño es único para atraer a todo público, pero especialmente a los que tiene gusto por este.

La arquitectura junto con el diseño hace de un espacio agradable a la vista lo que hace que la creatividad se exponga y se pueda apreciar e interactuar en espacios únicos.

1.2. Actividad económica

La principal actividad económica a la que se enfoca el edificio es de tipo empresarial y comercial haciendo de la renta de estos espacios una excelente inversión por parte de los usuarios, quienes adquieren un espacio agradable, acogedor y de alta calidad tanto en oficinas y locales comerciales, entregando arquitectura y diseños elegantes adecuados a su personalidad.

1.3. Visión

La visión refleja lo que se quiere llegar a ser en cuanto a la arquitectura y diseño: “Ser el complejo de arquitectura y confort para comercio y empresas número uno de Guatemala.”

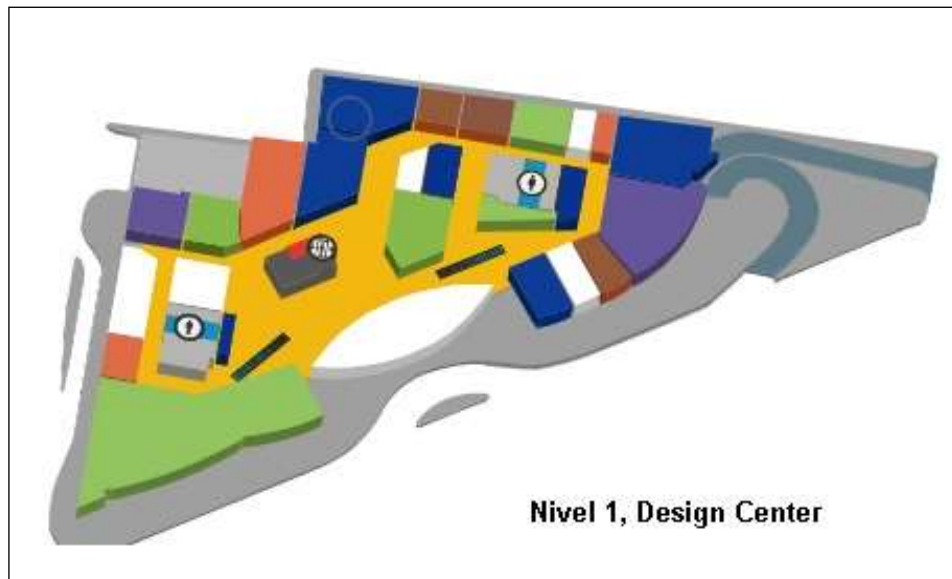
1.4. Misión

Por lo general la misión es la que define qué es lo que se hace en una empresa: “Somos el punto ideal para la reunión del diseño, el arte, la arquitectura y la creatividad guatemalteca¹.”

1.5. Diagrama de planta típica

El diseño y distribución en cada uno de los dos edificios es el mismo para los niveles 1 y 2, en estas áreas la demanda de agua fría es mínima por ser ambientes abiertos.

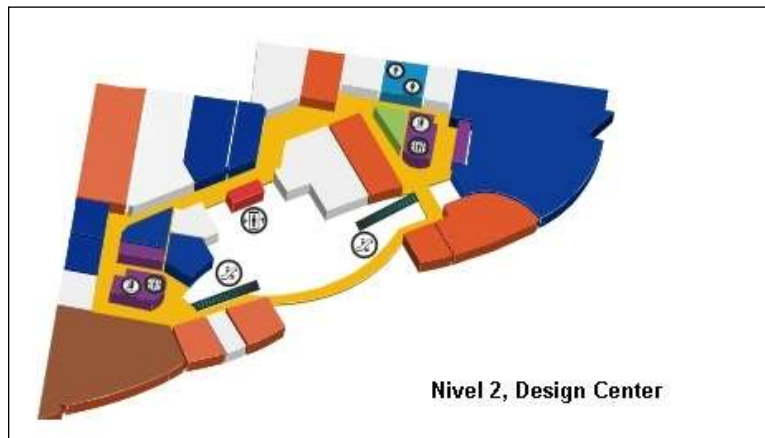
Figura 1. Nivel 1, Design Center



Fuente: Desing Center. *Centro de negocios*. <http://designcenterguatemala.com/centro-de-negocios-guatemala/>. Consulta 15 febrero 2021

¹ Desing Center. *Centro de negocios*. <http://designcenterguatemala.com/centro-de-negocios-guatemala/>. Consulta 15 febrero 2121.

Figura 2. Nivel 2, Design Center

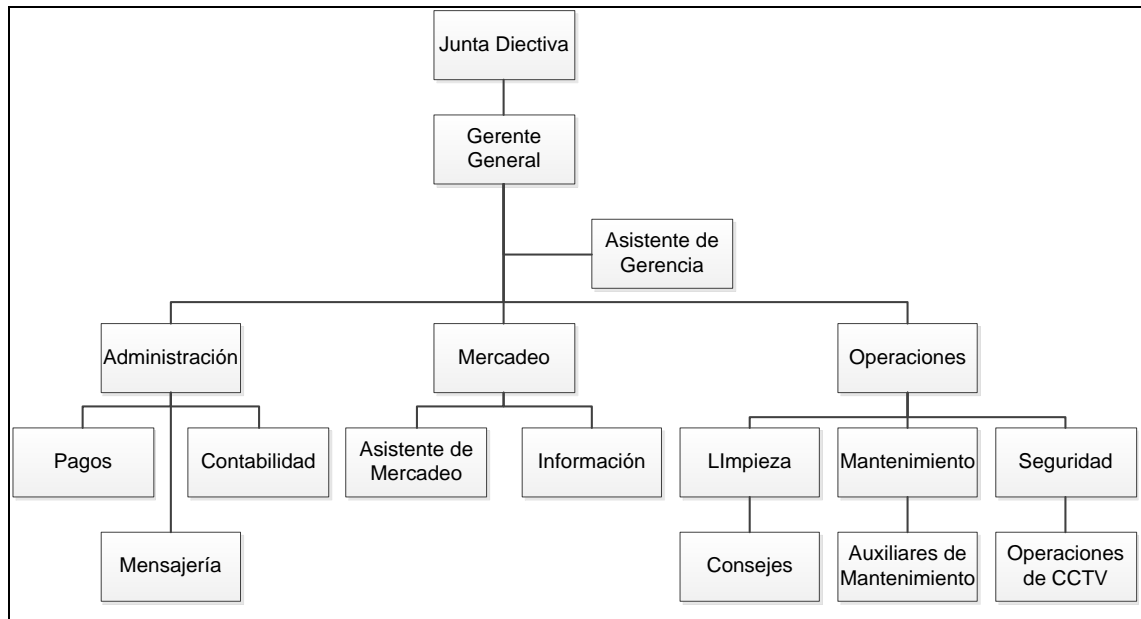


Fuente: Desing Center. *Centro de negocios*. <http://designcenterguatemala.com/centro-de-negocios-guatemala/>. Consulta 15 febrero 2021

1.6. Organigrama general

Es un gráfico de la estructura formal de una organización, señala los diferentes cargos, departamentos, jerarquías y relaciones de apoyo y dependencia que existe entre ellos. El gráfico puede ser vertical u horizontal. Para el organigrama de Design Center es de tipo vertical, el cual se muestra a continuación. Los organigramas a presentar definen la mayoría de áreas y puestos.

Figura 3. Organigrama general



Fuente: Área de administración, Design Center.

1.7. Áreas de operaciones y mantenimiento

El departamento de operaciones, se divide en tres áreas:

- Mantenimiento
- Seguridad
- Limpieza

Existe una sub-área, denominada imagen y ornato, que interrelacionada con mercadeo, se encarga de verificar que todo dentro del centro comercial este en funcionamiento.

El área de mantenimiento, esta integrada por supervisores en la materia, apoyadas por auxiliares de mantenimiento, de diversas profesiones, tales como:

albañiles, electricistas, plomeros, carpinteros, herreros, bodegueros, en fin todos auxiliares varios, para llevar a cabo la tarea de cuidar y mantener los equipos y bienes muebles e inmuebles de Design Center.

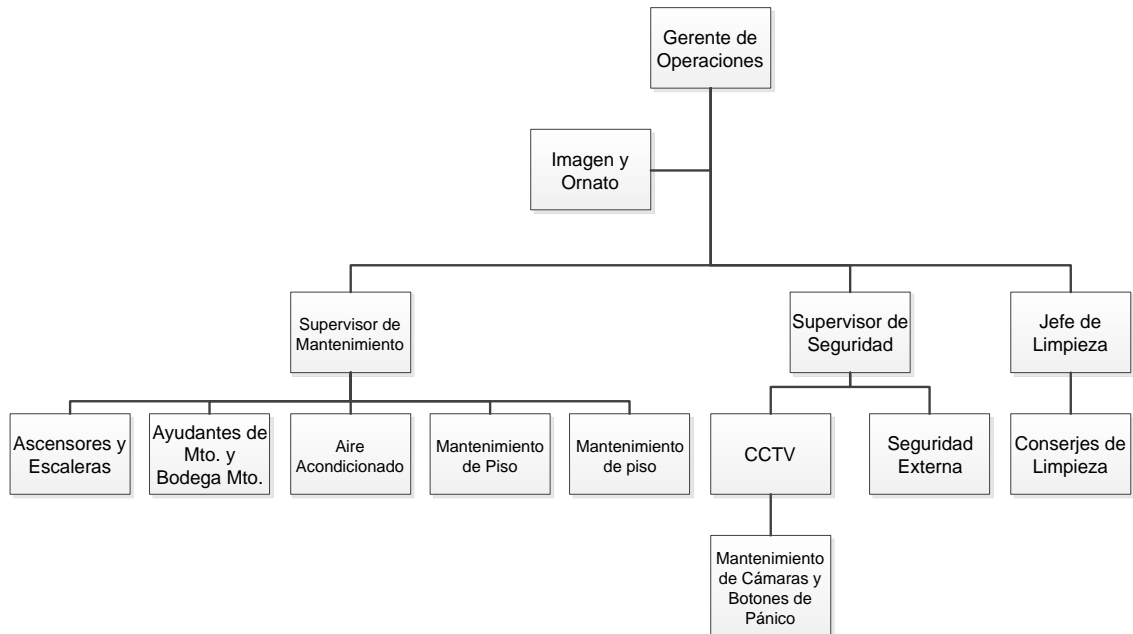
Dentro de mantenimiento, se tienen sub-contratos con ascensores y escaleras eléctricas, planta de tratamiento, pulido de piso, siempre supervisados por el supervisor de mantenimiento de turno.

El área de seguridad, tiene dos ramas: Seguridad propia, y seguridad externa, la seguridad propia, es la responsable de velar por el funcionamiento operativo de Design Center, a través de la seguridad externa, monitorea y atiende situaciones delicadas para una solución viable y favorable para el Centro Comercial. Tiene a su cargo, operadores de cámaras de circuito cerrado de televisión (CTV), quienes se encargan de monitorear y grabar todas las situaciones y anomalías que se presenten en una jornada de trabajo. En esta área se trabaja las 24 horas.

La seguridad externa, es sub-contratada por la administración de Design Center, bajo ciertos requerimientos de perfil de agentes y funciones respectivas para cada puesto de seguridad. Vela por cubrir cada área de Design Center, apoyándose con la seguridad propia, y CCTV, respaldada y evaluada por el departamento de operaciones.

Por último, el departamento de Operaciones tiene el área de limpieza, que se encarga de mantener el entorno limpio y ordenado, esto se hace a través de una empresa sub-contratada por la administración del edificio Design Center.

Figura 4. **Organigrama departamento de operaciones**



Fuente: Área de administración, Desing Center.

1.8. **Equipo y herramienta para mantenimiento**

Es el inventario de equipos, especificaciones, historia y localización, registro de adquisición y disposición, equipo asociado y actualizado de las unidades de operación. El sistema de pánico y alarma es muy usual en este tipo de inmuebles.

El equipo necesario para el funcionamiento de Design Center es:

- Ascensores y escaleras eléctricas.
- Hidrantes.

- Equipo contra incendios y extinguidores.
- Bomba clorinadora.
- Bombas de agua (pozo o depósito).
- Planta de emergencia.
- Distribuidor telefónico.
- Planta telefónica.
- Planta de tratamiento de aguas negras.
- Transformadores.
- Sistemas de protección internos y externos (alarmas, talanqueras, entre otros).

El rubro de herramientas dependerá de la administración de Design Center, ya que este puede abastecer en su totalidad al área de mantenimiento o sub-contratar total o parcialmente. La herramienta y accesorios que ingresen al centro comercial se deben de canalizar a través de la bodega para llevar un control interno, debido a que esta se deprecia y se puede costear en el inventario. Entre los ítems principales de herramienta, se tiene:

- Dispensadores de jabón y papel.
- Recipientes y baldes (varios tamaños).

- Cestos de basura.
- Aspiradora.
- Hidrolavadora.
- Máquina barredora.
- Equipo de seguridad industrial.
- Bolsas plásticas para basura.
- Cloro.
- Esmeril de banco.
- Juegos de llaves y copa en milímetros y pulgadas.
- Barrenos y juego de brocas.
- Escaleras (de extensión, de doble banda 6, 8, 10 y 12 pies).
- Cortalambres, alicates y pinzas, sencillos y aislados.
- Microteléfono para pruebas.
- Equipo de medición de variables eléctricas (amperímetro de pinzas, voltímetro).

- Pulidora de disco.
- Compresor de aire.
- Linternas.
- *Tricket o pallet.*
- Cajas de herramientas.
- Herramienta para pintura.
- Herramienta de albañilería (grifas, mezcladora, plomo , cinceles, entre otros).
- Carretas, piochas, palas, azadones, cernidores y rastrillos.
- Herramienta de plomería (llave stelson, llave de tubo, silicones, entre otros).
- Herramienta y equipo de protección para soldadura.
- Extensiones con lámpara de 50 pies de 110 voltios.
- Juegos de destornilladores (castigadera y phillips).
- Serruchos y sierras con arco.
- Martillos.

- Herramienta de carpintería básica. (trepano, cepillo, formones,entre otros).
- Guías de acero (mínimo de 30 metros).
- Pinzas de presión y llaves ajustables de 6, 8, 10 y 12 pulgadas.
- Mangueras de 50 y 100 pies.
- Estufa y /o microondas.
- Cafetera.

1.9. Administración del mantenimiento

Está distribuida en los siguientes rubros, los cuales son administrados por el edificio Design Center a través de la gerencia administrativa, y cuyo costo está destinado para la operación del comercial.

1.9.1. Cuota de mantenimiento

Se refiere a la cuota que cancelan los inquilinos de Design Center por concepto de mantenimiento por el espacio que ocupan. Este costo relacionado directamente con el servicio que presta el departamento de operaciones, en todas sus áreas, para el buen funcionamiento y operación.

Se le denomina también cuota de áreas comunes y se obtiene de la división de la suma de los gastos de mantenimiento, entre la suma de las áreas tributaria de Design Center. Esta cuota se deberá proyectar anualmente para

tomarse en cuenta dentro de los gastos generales, presupuesto, y será aprobada por la junta directiva del Design Center.

$$\text{Cuota de mantenimiento} = \frac{\text{Sumatoria de gastos de mantenimiento}}{\text{Sumatoria de áreas tributarias}}$$

Las áreas tributarias son aquellas por las que el dueño o inquilino pagará el área de su local. Esta puede variar de acuerdo con lo contemplado en el contrato de arrendamiento.

Existe cierto privilegio para locales mayores a cierta área, como por ejemplo aquellas que posean más área que otras, por las que pagarán entre el 50 % y 80 % sobre el área total. En el caso de las anclas, locales que son el punto de mayor atracción, son un ejemplo típico de lo anteriormente descrito.

1.9.2. Cuota de servicios generales

Se refiere a la cuota que cancelan los inquilinos por concepto de agua y luz, la cual esta monitoreada por contadores específicos o generales, en el caso del agua. La energía eléctrica se compra a un distribuidor certificado, el cual cataloga al Design Center como gran usuario, facturando así una tarifa más económica que la EEGSA. Cada inquilino cuenta con un contador, para constatar su consumo eléctrico mensual.

1.9.3. Personal de mantenimiento

El personal de mantenimiento es seleccionado para tareas y actividades específicas, de estas dependen sus necesidades de contratación, pero como un servicio importante del departamento de operaciones, tendrán que velar por la

manutención, larga vida de equipos, herramienta, infraestructura y áreas comunes, satisfaciendo las necesidades del cliente interno y externo.

1.9.3.1. Supervisores

Velar por que se mantengan los equipos y que el funcionamiento operativo del centro comercial sea óptimo.

- Reportar e informar constantemente a gerencia de operaciones cualquier reparación, trabajo y/o emergencia que se presente.
- Estar comunicado y apoyado por el personal de seguridad, limpieza y ornato para la coordinación de actividades y seguimiento de operaciones.
- Mantener un *stock* de repuestos lo más ajustado a la demanda, para evitar costos innecesarios de almacenaje y presupuestar cada trabajo y/o proyecto a ejecutar, con el apoyo del departamento de operaciones.
- Cumplir con los procedimientos establecidos para el desarrollo de sus actividades.
- Administrar al personal operativo a cargo del mantenimiento en las instalaciones.
- Programar rondas de supervisión dentro de las instalaciones.
- Reunirse por lo menos 1 vez por semana con operaciones para programar el trabajo a realizar y evaluar el trabajo realizado en la

semana anterior, pudiendo generar de esta manera parámetros comparativos de incidencias en el desenvolvimiento del grupo de trabajo.

- Atención directa a inquilinos para resolución de problemas referentes al mantenimiento.

1.9.3.2. Colaboradores

- Eléctricistas y mecánicos

Los requisitos son estudios de nivel diversificado ó carrera técnica, y en algunos casos alguna especialización (programación lógica, hidráulica ó neumática). Se requiere de cierta experiencia para favorecer su contratación. Sus funciones principales son:

- Relaciones humanas con los clientes internos y externos.
- Responsables de insumos y abastecimientos de los mismos para la operación del edificio Design Center.
- Ejecución de tareas asignadas por el supervisor.
- Disponibilidad para todo tipo de actividad.
- Uso y responsabilidad de equipo y herramienta que utilice.
- Informar a su jefe inmediato del avance de su trabajo.
- Velar por el buen funcionamiento de los equipos.

- Dar mantenimiento preventivo y correctivo, según planificación.
 - Mantener en buen funcionamiento la red hidráulica.
 - Mantener la infraestructura en buen estado.
 - Efectuar trabajos de herrería donde se requiera.
 - Atención a la bodega de mantenimiento.
 - Mantener la red de energía eléctrica del centro comercial.
 - Apoyar a los departamentos de mercadeo, administración y áreas de mantenimiento, (limpieza, ascensores, planta de tratamiento, pisos).
- Personal de limpieza

La sub-contratación genera un costo-beneficio muy favorable al centro comercial, proporcionando el servicio de limpieza y a su vez mejorando la calidad del mismo.

Los costos generados por administrar un grupo de personas, se ven reducidos considerablemente, y son facturados al centro comercial como una prestación del servicio previamente solicitado, cotizado y evaluado (financieramente), dando por resultado un contrato comercial. Entre los costos más significativos se tienen: costos de almacenamiento, costos de distribución, contabilización y pagos, así como el costo financiero de proporcionar el servicio.

Dentro del contrato se especifica la cantidad de colaboradores o conserjes que pertenecerán a dicho proyecto, quienes tienen sus funciones establecidas y definidas.

- Sub-contrato con empresa
 - Colaboradores.
 - Ticketeros.
 - Supervisores.
 - Empresa de extracción de basura. Sus funciones principales son:
 - Limpieza de áreas comunes y baños.
 - Limpieza de sótanos y parqueos.
 - Limpieza de pisos.
 - Atención en área de restaurantes.
 - Recolección de basura.
 - Reciclaje de cartón.
 - Limpieza y desincrustado de sarro en azulejos y artefactos sanitarios.

- Limpieza de alfombras.
- Atención a la planta de tratamiento.
- Limpieza de mobiliario y equipo.
- Limpieza de ventanas y puertas.
- Limpieza de cenefas.
- Limpieza de rejas, barandas y pasamanos.
- Limpieza de escaleras eléctricas y ascensores.
- Limpieza de basureros.
- Abastecimiento de insumos a baños.

Existe una planificación de limpiezas profundas, evalúa y supervisa el trabajo más a detalle del servicio que la empresa brinda.

- Otras empresas sub-contratadas (*outsourcing*): para el Design Center, es recomendable contar con personal de planta, que reporte a mantenimiento sus operaciones, administrándose por una fuente externa. Son servicios necesarios para el buen mantenimiento y operación del edificio.
- Escaleras, ascensores y cámaras: de igual manera, se cuenta con un contrato de mantenimiento preventivo mensual para escaleras,

ascensores, y mantenimiento de cámaras para CCTV, recomendable con la empresa que instalo los equipo en la fase de construcción, para darle seguimiento a la garantía de los mismos. Es necesario contar con este personal en el horario de operación, ya que las emergencias que se presentan en estos equipos pueden ponen en riesgo al usuario de centro comercial y al personal de servicios en operación.

- Planta de tratamiento: también se tiene un contrato de mantenimiento con la empresa que instalo el sistema de tratamiento de aguas residuales, contando con personal de planta, para proporcionar el mantenimiento preventivo respectivo, y poder atender emergencias.

Este sistema esta ligado a un proyecto de riego con el agua tratada, resultado del proceso de tratamiento de la misma, razón doble por la cual se confirma la presencia de un operario. Servicio de operación.

- Pisos de mármol: por último, la arquitectura interna del Design Center, cuenta con un 75 % de acabados en áreas comunes con piso de mármol, razón por la cual, una empresa familiarizada con la materia deberá encargarse de mantener pulido el piso. Estos trabajos, por la naturaleza de la operación del comercial, es necesario hacerlo por la noche, por lo que se debe de generar un programa de pulido de piso (trimestral). Este programa se distribuye por áreas y se supervisa por mantenimiento.

2. INFORMACIÓN TÉCNICA

2.1. Análisis del sistema general

Los componentes básicos de un sistema de refrigeración típico son: el compresor, el condensador, el evaporador, la válvula de expansión y el sistema de control. En muchos casos también se utiliza una torre de enfriamiento para disipar el calor rechazado por el condensador.²

2.2. Condensadores

El condensador es un componente que sirve para realizar el cambio de fase del refrigerante, para ello se transfiere energía calorífica al medio en el cual se encuentra para enfriarse. Por economía o práctica suele aplicarse con agua o aire ambiente.

“Los condensadores reciben el vapor refrigerante recalentado procedente del compresor, eliminan el recalentamiento del vapor y, a continuación, lo licúan. El condensador es el lugar donde se produce la eliminación del calor en un sistema de refrigeración.”³

2.2.1. Enfriado por aire

En este tipo de condensador, el refrigerante está circulando a través de un serpentín (parecido al radiador que poseen los vehículos para enfriar el refrigerante o agua), sistema de tubería de varias vueltas desde su fase

² MCQUISTON, Faye; PARKER, Jerald; SPITLER, Jeffrey. *Calefacción, ventilación y aire acondicionado, análisis y diseño*. p.19.

³ STOECKER, Wilbert. *Refrigeración y acondicionamiento de aire*. p. 104.

gaseosa a líquida. Proceso en donde es enfriado por aire que se hace fluir en la tubería por flujo natural, inducido o forzado por medio de un ventilador, efecto que posee mayor capacidad de enfriamiento del refrigerante.

2.2.2. Enfriado por agua

Este tipo de condensador es parecido al enfriado por aire, la única diferencia es que se hace circular agua en vez de aire para enfriar el refrigerante. Este sistema es parecido al de un intercambiador de calor, cuenta con un cilindro cerrado y dentro de él se encuentra un serpentín que posee varias vueltas para realizar un intercambio de calor entre el agua y el refrigerante. Debido a su sistema de funcionamiento, generalmente se debe emplear con una torre de enfriamiento para recircular el agua en el sistema.

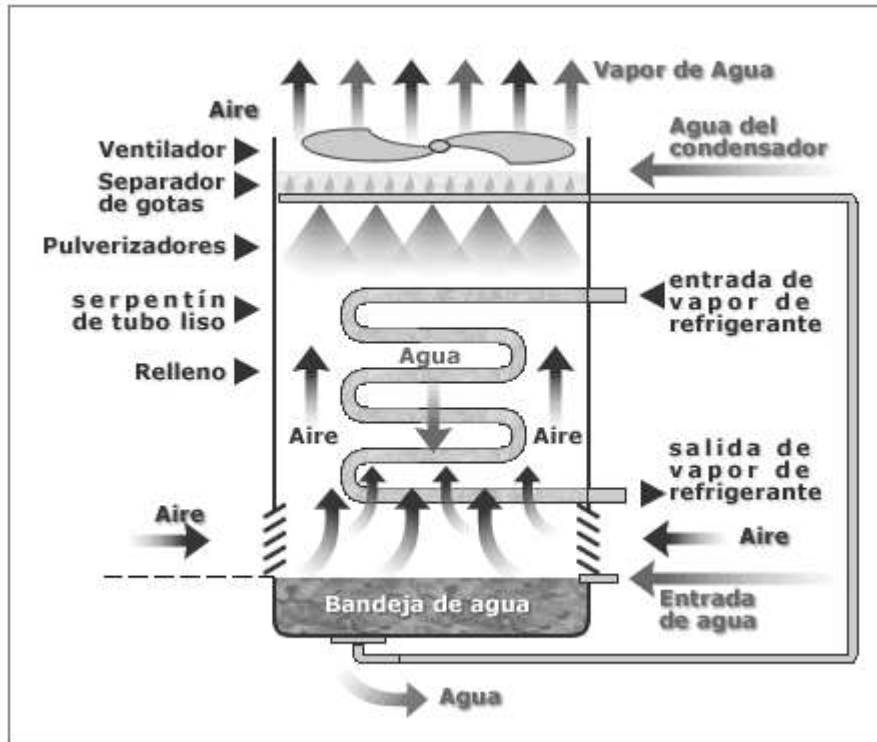
2.2.3. Evaporativo

Es considerado como un sistema de refrigeración semiabierto. Este diseño de condensador es un tanto complejo debido a la manera que se emplea para enfriar el refrigerante del sistema.

Consta de un diseño parecido al de una torre de enfriamiento, en el cual tiene un conjunto de serpentines por los que circula el refrigerante con temperatura elevada que van expuestos para el intercambio de calor.

Los serpentines son enfriados por agua que se les deja caer desde la parte alta por un conjunto de aspersores; posee un ventilador para introducir aire por medio de tiro inducido o forzado y posteriormente eliminar el vapor de agua que se produce debido a la transferencia de calor entre el refrigerante y los elementos considerados como medios fríos, los cuales son agua y aire.

Figura 5. **Representación del condensador evaporativo con tiro inducido**



Fuente: Condemex. *Condensadores*. <https://www.condemex.com/html/condensadores.html>.

Consulta: 20 de febrero de 2021.

2.3. Intercambiador de calor

Los intercambiadores de calor son componentes del sistema de refrigeración, importantes para poder realizar una transferencia de calor de un fluido a otro, generalmente se encuentran separados por un cilindro cerrado y en su interior poseen un conjunto de tuberías. Existe una amplia variedad en los diseños de los intercambiadores de calor que se utilizan en una diversidad de procesos industriales. Entre algunos de estos diseños están:

- Carcasa y tubos
- Doble tubo
- Tipo placa
- Enfriados por aire
- Tubo en espiral
- Para sólidos

El sistema está basado en un equipo *chiller*, se hace referencia a dos tipos de intercambiadores de calor, tipo placa y el de tipo carcasa y tubo, ya que son los tipos que más se utilizan en refrigeración con equipos *chiller*.

2.3.1. Tipo placa

Este diseño de intercambiador de calor consta de unas placas, que sirven para la conducción del calor y tuberías, las cuales posee dos entradas y dos salidas, una entrada sirve para el flujo que se utilizará para realizar la transferencia de calor y la otra para el fluido que se empleará en el proceso, el cual se requiere enfriar o calentar. Todo montado sobre una armadura que sostiene los tubos y las placas.

El intercambiador tipo placa se utiliza generalmente en los sistemas de *chiller* enfriado por agua, como un equipo auxiliar entre la torre de enfriamiento y el condensador del equipo; para evitar incrustaciones en el condensador.

2.3.2. Carcasa y tubos

Este tipo de intercambiador de calor es utilizado en diversos procesos industriales, empleado ampliamente en los sistemas de refrigeración que utilizan *chiller* enfriado por agua y por aire, debido a su gran capacidad de enfriar agua por la cantidad de tubos que posee y su longitud.

Construido de un cilindro cerrado con dos salidas y dos entradas, en los cuales se dirige el agua y el refrigerante, cuenta con una serie de tubos montados en forma de serpentín o a lo largo de la longitud de la carcasa, con una distancia entre sí. Consta de unos deflectores tipo media luna, conocidos como bafles, con una distancia prudente entre sí y montados alternadamente, para ir variando el sentido del flujo del agua, generalmente en tipo olas y realizar un intercambio de calor con mayor eficiencia.

2.4. Compresores

Los compresores son considerados como el principal de los elementos en los sistemas de refrigeración, ya que gracias a ellos se logra el aumento de la presión y temperatura del refrigerante en fase gaseosa en el ciclo, el cual se utilizará posteriormente para enfriar o calentar algún fluido.

“El compresor es el componente que más energía consume en un sistema de refrigeración, así que su rendimiento y confiabilidad tienen mucho peso dentro del rendimiento total del sistema de CVAA.”⁴

⁴ MCQUISTON, Faye; PARKER, Jerald; SPITLER, Jeffrey. *Calefacción, ventilación y aire acondicionado, análisis y diseño*. p. 19.

Existen diferentes maneras para realizar la compresión del refrigerante, así como capacidad y diseño del compresor, de acuerdo con la aplicación en la industria, comercio o domiciliario; son divididos en dos categorías:

- Desplazamiento positivo
- Dinámicos

Los compresores varían en diseño de acuerdo con 3 categorías:

- Abiertos: de tipo recíprocante, giratorio o de espiral. El compresor puede ser reparado en su totalidad al igual que el motor eléctrico, ya que se encuentran separados por medio de bandas.
- Semiherméticos: se encuentran sellados por medio de tornillos, encontrándose el motor dentro de la armadura, pueden ser reparados.
- Herméticos: están totalmente sellados, el motor se encuentra dentro de una lámina soldada, no se pueden reparar.

2.4.1. Desplazamiento positivo

Es el tipo de compresor de mayor utilidad en los sistemas de refrigeración y aire acondicionado, estos compresores realizan la compresión del refrigerante, disminuyendo el volumen, logrando un aumento de presión y temperatura de este, realizando movimientos circulares.

Los que tienen mayor uso son los recíprocantes, que realizan la compresión por un mecanismo conocido como biela-manivela; contando con

uno o varios pistones y realizando el movimiento de vaivén para comprimir el refrigerante.

Seguidos por el tipo giratorio, que realizan movimientos circulares continuos, poseen una alta eficiencia, debido a que poseen menos piezas para movilizar, reducen los puntos muertos de algunas piezas para hacerlas girar, disminuyendo la fricción.

Los de tipo tornillo o de rotor helicoidal, poseen dos tornillos para realizar la compresión del refrigerante, teniendo la capacidad de aumentar considerablemente la presión del sistema.

Por último, los de tipo espiral u orbitales, realizan movimientos giratorios por medio de espiras para comprimir el refrigerante, tienen amplio uso en aire residencial y comercial, son de alta eficiencia y generan muy poco ruido en comparación con los reciprocantes y giratorios; generalmente son de diseño hermético.

2.4.2. Dinámicos

Tipos de compresores que son capaces de proporcionar volúmenes elevados a presiones bajas. Se dividen en compresores centrífugos y axiales.

Los centrífugos, también conocidos como radiales, son compresores en donde se hace pasar el refrigerante en sentido perpendicular al del giro de las piezas, funcionan como mecanismos turbocompresores, pertenecientes a la rama de las turbomáquinas, en donde se encuentran las turbinas, bombas, ventiladores y propelas. Usados en diferentes industrias por poseer menos componentes que producen fricción, son eficientes; deben trabajar en serie para

alcanzar la relación de compresión. Utilizados en diversos procesos de refrigeración, por su ventaja de operar con la mayoría de los refrigerantes.

Los axiales o de flujo axial, operan con el flujo del refrigerante en paralelo al eje del compresor. Poseen la mitad de capacidad que un compresor centrífugo, por lo cual se debe colocar mayor cantidad en serie, son de altas velocidades y poseen una mayor eficiencia que los centrífugos.

2.5. Ventiladores

Son parte importante de los sistemas de ventilación, refrigeración y aire acondicionado, debido a que sin ellos no se podría realizar la circulación del aire hacia los recintos que se desean acondicionar. Los ventiladores se dividen en dos grupos: centrífugos y de flujo axial. La diferencia es el sentido del flujo del aire que se hace circular a través de ellos y la disposición de sus álabes.

Los ventiladores centrífugos funcionan como una turbina, en donde el aire se hace circular en forma perpendicular al eje de rotación, haciéndolo pasar a través de una armadura en forma de espiral. Se encuentran en diferentes disposiciones para los álabes del ventilador, siendo el factor que define el precio de acuerdo con la aplicación para la que se requiera. Son los tipos de ventiladores de mayor aplicación en los sistemas de aire acondicionado con ductería.

En los ventiladores de flujo axial, el aire se hace circular a lo largo del eje de rotación, no cambiando el flujo del aire respecto al eje del ventilador comparados con los del tipo centrífugo. Se encuentran en disposiciones donde está solo el ventilador o entre un cilindro, algunos con álabes fijos en el cilindro, las cuales mejoran el sentido del flujo de aire para el sistema. También usados

en sistemas de aire con ductería, su inconveniente es que producen mayor ruido que los ventiladores centrífugos. Una ventaja en este tipo de ventiladores es que debido a que su construcción puede ser compacta ayuda cuando no se cuenta con mucho espacio para la instalación de un ventilador centrífugo.

2.6. Torre de enfriamiento

Debido a que el líquido de trabajo más utilizado en los equipos *chiller* es agua y este líquido tiende a calentarse, se debe aplicar un sistema de enfriamiento para el fluido y que pueda repetir el ciclo de trabajo a una baja temperatura. Las torres de enfriamiento tienen aplicación en diferentes ramas industriales, en este caso se considera en operación con el equipo *chiller* enfriado por agua.

La torre de enfriamiento es un equipo que extrae el calor del agua mediante los procesos de evaporación o conducción. Sirven para disminuir la temperatura de fluidos que se encuentran a elevadas temperaturas a través del contacto con el aire.

Después que el agua realiza su trabajo, generalmente entre 40 y 60 grados centígrados, se envía a la parte superior de la torre de enfriamiento, al descender se produce un cambio térmico por el contacto con el aire que va en dirección ascendente o perpendicular al del agua, efectuando un enfriamiento entre 10 a 20 grados centígrados. Proceso en donde se da cierta evaporación de agua.

El principio básico de todas las torres de enfriamiento es que el aire que pasa sobre las superficies expuestas al agua capta pequeñas cantidades de vapor de agua. Esta pequeña evaporación del agua absorbe gran cantidad de calor en el agua que se queda. Este se llama calor latente de vaporización.

Todas las torres de enfriamiento dependen de la circulación del aire sobre el agua. La diferencia principal en los diversos tipos de torres es el método para circulación de aire.

Los dos métodos principales son circulación natural por el viento y circulación mecánica con ventiladores. Hay otras diferencias en construcción en la forma en que las superficies para agua están expuestas al aire.⁵

Las torres de enfriamiento de mayor uso en sistemas de refrigeración son:

- Tiro inducido: en este diseño, el aire es introducido a la torre de enfriamiento por la parte superior con ayuda de un ventilador. Son las más utilizadas.
- Tiro forzado: el aire es introducido por un costado de la torre de enfriamiento desde la parte inferior, por un ventilador, el cual se encuentra a cierto ángulo de inclinación.
- Flujo cruzado: en este diseño el aire es introducido a la torre de enfriamiento en sentido horizontal a la base de la torre, es decir, perpendicular al flujo de agua que se encuentra cayendo desde la parte superior.

Técnicamente se podría decir que la finalidad de una torre de enfriamiento es enfriar una corriente de agua por vaporización parcial, por consiguiente, realizar un intercambio de calor sensible y latente entre el agua y el aire seco y frío que se introduce.

⁵ ELONKA, Stephen Michael. *Equipos industriales. Guía práctica para reparación y mantenimiento*. p. 181.

2.7. Dispositivos de expansión

Son elementos importantes del sistema para acondicionar aire, encargándose de disminuir la presión y regular la cantidad de refrigerante que pasará al evaporador para producir el efecto refrigerante. Existen diferentes dispositivos de expansión que se utilizan en diversos equipos, entre los que se encuentran:

- Tubo capilar
- Válvula de expansión a presión constante
- Válvula de flotador
- Placa de orificio
- Válvula de expansión termostática
- Válvula de expansión eléctrica
- Válvula de expansión termostática con compensación de presión

Algunos de estos dispositivos cuentan con otro accesorio que ayuda a mejorar el proceso de evaporación por medio de un bulbo, una pieza de compensación, que ayuda al sistema con la temperatura para indicar al dispositivo de expansión si debe abrir o cerrar, y hacer pasar un flujo adecuado de refrigerante al evaporador, el cual posee una línea de conexión hacia el dispositivo de expansión. Los dispositivos de mayor aplicación son el tubo capilar, válvula de expansión termostática y eléctrica.

El tubo capilar no es un tipo de válvula, consta de una tubería circular que depende de su longitud y diámetro. Utilizado en una diversidad de equipos de refrigeración, tanto domésticos como industriales; refrigeradoras, cámaras de refrigeración, congeladores, equipos *split*, *chiller*, tipo paquete, entre otros.

Cuando el refrigerante pasa por el tubo capilar, este tiende a disminuir su presión y temperatura para poder realizar el efecto refrigerante del ciclo de refrigeración. Posee sus ventajas y desventajas, tales como: se pueden fabricar lo bastante grandes, de acuerdo al proceso que se requiere, son de bajo costo y no posee piezas móviles, no puede ajustarse el flujo del refrigerante, pueden ser obstruidos por pequeñas partículas existentes en el sistema de tuberías.

La válvula de expansión termostática es el dispositivo de expansión más utilizado en los sistemas de refrigeración. Opera de acuerdo con la temperatura con que es expulsado el refrigerante del evaporador. En algunos diseños son ajustables, pero no cuentan con un rango amplio de temperatura para poder trabajar con diferentes refrigerantes y vienen equipadas con un bulbo de compensación de temperatura para aprovechar el rendimiento de esta.

Debe seleccionarse un tipo de válvula de expansión termostática de acuerdo con el tipo de refrigerante que se empleará en el equipo de refrigeración, la capacidad del equipo y la temperatura que se desea.

La válvula de expansión eléctrica cumple la misma función que una válvula de expansión termostática, diferenciándose en que es accionada por una línea eléctrica para poder realizar el control del proceso de expansión del refrigerante. Este diseño de válvulas conforme el tiempo irá reemplazando ampliamente a las termostáticas, debido a la cantidad de ventajas que posee.

Pueden ser operadas por impulsos, motor, magnéticamente y controladas por sistemas digitales o análogos.

2.8. Accesorios para la circulación del aire

Son elementos que sirven para controlar tanto la distribución, descarga y retorno del flujo de aire. Se encuentran en una amplia variedad de diseños, materiales y tamaños de acuerdo con la aplicación requerida.

Se tienen entre ellos algunos accesorios, tales como:

- Compuertas de regulación: conocidas como dampers, para regular el paso del aire o impedir el paso de cuerpos extraños al recinto, formado por láminas que giran por medio de engranajes.
- Motor de compuerta de regulación: para mover las rejillas y permitir el paso de aire hacia una dirección en el sistema de ductos.
- Difusores: son elementos para llevar a cabo la descarga del aire acondicionado hacia el recinto, fabricados en forma concéntricas circulares o cuadradas, ayuda para dar dirección al aire a una velocidad moderada y estética.
- Compuertas divisoras: instaladas en el sistema de ductería para hacer fluir el aire hacia los puntos de descarga controlando su volumen; pueden producir ruido debido a la velocidad del aire.
- Regulador de flujo: instalados para controlar el aire de recirculación y retorno, suelen ser operados mecánicamente o por motores eléctricos,

provocan caída de presión en el sistema debido a la obstrucción que generan.

- Anillos antipolvo: generalmente los accesorios de descarga del aire van instalados en cielo raso, se coloca alrededor del difusor un anillo para evitar la caída de polvo en el recinto, que se acumula en su alrededor.
- Cabezales de amortiguamiento: son una extensión del ducto en donde circula aire. Se diseña para que la descarga del aire no tenga dificultad al pasar por el difusor, aproximadamente abarcan la mitad del diámetro o longitud del difusor o seis pulgadas como mínimo.
- Rejillas de retorno: llamadas también de extracción, sirven para evacuar el aire que se encuentran en el recinto de acuerdo con la descarga de aire que se da en el sistema, generalmente constan de un marco cuadrado con varias aletas en disposición a 45 grados hacia abajo.

2.9. Dispositivos para la limpieza del aire

La limpieza del aire es de vital importancia en un sistema de acondicionamiento de aire, puesto que se requiere en algunos procesos industriales que el aire se encuentre libre de partículas contaminantes; tales como: el polvo o tierra, mota, bacterias del aire, polen u otras partículas contaminantes que se encuentran alrededor del área de trabajo.

En los sistemas de aire acondicionado, la calidad de este debe ser libre de impurezas, para esto el aire es forzado por un sistema de limpieza a través de filtros.

Los filtros pueden ser de: papel, algodón, espuma, algodón con fibra de vidrio, papel con fibra de vidrio, fibras sintéticas y antialérgicos. Algunos filtros son desechables y otros lavables, también se encuentran con una malla metálica variando en las medidas de las hendiduras para el paso del aire de acuerdo con el ambiente.

Los filtros que hay en el sistema de ductería, son principalmente de fibra de vidrio, en donde las fibras del material se encuentran cruzados y en diferentes densidades. Según el grado de pureza del aire, así será la densidad del filtro, tipo de material y el flujo del aire que debe pasar.

Existe un tipo de filtro que es de alta eficiencia, conocido como partículas de aire altamente eficientes (*high efficiency particulate air*, HEPA), constituido su material por microfibras del material; puede ser de papel o algún material sintético, elimina partículas que se encuentran en el aire relativamente pequeñas, entre 0,5 y 2 micras.

Se encuentran también algunos tipos de filtros que vienen incorporados con carbón activado para eliminar malos olores que el aire pueda tener, se utilizan mayormente en restaurantes.

La salud debido al aire y el confort de las personas que se encuentran en un recinto acondicionado se considera de vital importancia; así como la vida del equipo. La contaminación del aire es un asunto que debe ser tratado a plenitud por obvias razones, tales como:

- Salud y *confort*: las partículas que se encuentran en el aire ocasionan serios daños a la salud, tales como enfermedades respiratorias, alergias,

irritación en los ojos, congestión nasal, entre otros, provocando incomodidad a las personas.

- Mantenimiento del equipo de aire acondicionado: la vida del equipo se encuentra ligada al mantenimiento que se le brinda, el polvo y otras partículas que se acumulan en piezas del sistema, reduciendo la transferencia de calor en el evaporador y el flujo de aire por la obstrucción del filtro de aire, teniendo que trabajar mayor tiempo, generando mayor consumo eléctrico y un desgaste prematuro.
- Limpieza del recinto: se debe llevar a cabo una limpieza adecuada, para recoger restos de partículas que se encuentran en los muebles, es recomendable hacerlo con trapos húmedos.

Los filtros de aire pueden atrapar las partículas que se encuentran en el ambiente de tres formas: impacto, colado, precipitación electrostática y mezcla de ellos.

- Impacto: al momento de hacer contacto las partículas del aire con el filtro, estas se quedan atrapadas, pasando el aire limpio para el proceso.
- Colado: las fibras que componen el medio filtrante se encuentran traslapadas entre sí, provocando que el aire circule en forma de olas, lo cual retiene las partículas indeseadas que se encuentran en el ambiente, dejando pasar únicamente aire limpio.
- Precipitación electrostática: las partículas del aire al introducirse en el sistema pasan por una rejilla que se encuentra en disposición vertical, en donde se les aplica una carga eléctrica. Al seguir su camino se encuentra

una placa en disposición horizontal que sirve de atracción, quedándose las partículas atrapadas en ella.

La limpieza del aire, con frecuencia se trata casuísticamente cuando se diseña y se opera un sistema de acondicionamiento de aire. Se puede escoger un tipo incorrecto de filtro, o bien los filtros no se conservan en forma correcta. Esta negligencia es grave, porque se trata de un asunto de contaminación de aire y salud humana. Es necesaria la limpieza adecuada del aire por las siguientes razones: protección de la salud y confort humano, mantenimiento de la limpieza de las superficies y muebles del recinto, protección del equipo de acondicionamiento de aire y protección de la maquinaria acondicionadora de aire.⁶

2.10. Aislamientos

Son materiales que sirven para aislar tuberías o ductos que operan a temperaturas elevadas o bajas, en los diferentes sistemas en donde se realizan transferencias de calor o acondicionamiento de aire, y obtener mejores condiciones en la temperatura del fluido que se transporta para cierto proceso industrial, comercial o domiciliar.

Existe una amplia gama de materiales aislantes en procesos de acondicionamiento de aire, se utilizan comúnmente la fibra de vidrio y el armaflex. En algunos casos se realiza un enchaquetado con láminas de aluminio o acero galvanizado, esto se realiza con fines estéticos y para protección misma del aislante contra la intemperie.

El armaflex puede considerarse como un polímero tipo espuma, fabricado de caucho sintético, flexible y amplias características aislantes y control de condensación. Los fabrican en planchas y rollos en diferentes longitudes, espesores y diámetros, son autoadhesivos, de color negro, con alta resistencia a la formación de moho. Es de amplio uso en los sistemas de

⁶ PITA, Edward. *Acondicionamiento de aire, principios y sistemas*. p. 346.

acondicionamiento de aire, fácil de montar para recubrir sistemas de tuberías, ductería o depósitos, posee un bajo valor de conductividad térmica, por lo cual, al encontrarse el fluido de trabajo a una baja temperatura, en ocasiones no se percibe al tacto, dependiendo del espesor que se utilice; esto lo hace un aislamiento eficiente, beneficiando al sistema.

La fibra de vidrio es un compuesto sintético formado por capas de hilo de vidrio hasta obtener una malla a un cierto espesor, de bajo precio, flexible, de color amarillo generalmente. Ayuda a regular y mantener la temperatura del sistema, soporta altas temperaturas, por ello su uso es alto en sistemas de vapor. Para la manipulación de la fibra de vidrio, se recomienda la utilización de batas manga larga, guantes y lentes.

A pesar de que la fibra de vidrio suele ser un buen aislante térmico, cumple mejor esta función el armaflex en los sistemas de aire acondicionado.

2.11. Tubería para agua helada

Las tuberías transportan el fluido, gas o líquido al lugar del proceso o trabajo. Es importante el dimensionamiento de estas para evitar diferencias de presión que tiene efectos negativos en el funcionamiento del sistema de refrigeración.

Las tuberías de mayor aplicación en los procesos de aire acondicionado son las tuberías de cobre y acero galvanizado. También tienen aplicación las tuberías de policloruro de vinilo y hierro negro.

2.11.1. Tubería de cobre

El cobre es un material rojizo, capaz de producir una capa llamada pátina al ser expuesto al aire, ayudando a evitar su corrosión. Es muy buen conductor eléctrico y térmico, soporta alta presión y temperatura de acuerdo con proceso para el que se requiera, tiene una ductilidad especial que le permite adaptarse a diferentes espacios. Es utilizado en muchos procesos industriales, como alimenticios, farmacéuticos, químicos, entre otros.

La aplicación que posee este tipo de tubería en los sistemas de acondicionamiento de aire es en la línea del refrigerante, en serpentines para condensadores y evaporadores y en sistemas de conducción de agua helada y caliente. Los tubos capilares, también son fabricados de cobre.

Las tuberías de cobre son fabricadas tanto maleables como rígidas, en diferentes espesores de pared, diferentes diámetros y en una diversidad de longitudes. La tubería de cobre se puede soldar, teniendo ciertas precauciones y consideraciones para llevar a cabo esta tarea, utilizando como mejor material de adherencia la plata industrial.

2.11.2. Tubería de acero galvanizado

El acero galvanizado posee un recubrimiento de zinc, que cumple la función de proteger la superficie del metal del ambiente, es decir, que protege de la oxidación a la tubería al exponerse en contacto con el aire.

Se utiliza tubería de acero galvanizado para conducción de agua helada y caliente en una diversidad de procesos industriales, comerciales y domiciliarios; tales como: el consumo de agua, calefacción, refrigeración y aire comprimido,

ya que soporta alta presión. Fabricadas en diferentes diámetros, de acuerdo con este será el espesor de la pared de la tubería, en tramos longitudinales de seis metros.

También es utilizada en algunos procesos por estética, debido a que la tubería se encuentra a la vista de ciertas personas en una fábrica. Se puede encontrar con y sin costura, esto quiere decir que, la tubería que posee costura es conformada por extrusión a través de un cilindro para adquirir la forma y posteriormente soldada, la tubería sin costura es una sola pieza extruida.

2.11.3. Tubería de policloruro de vinilo (PVC)

Conocido como PVC, tiene un amplio uso en muchos procesos industriales, comerciales y domiciliarios para aislar cables eléctricos y en la conducción de líquidos generalmente, debido a su bajo peso, precio y manejo al momento de cortar, pegar y conectarla con otras piezas. Se fabrica en una amplia diversidad de formas. Tiene una desventaja: no se debe instalar a la intemperie debido a que la radiación del sol tiende a cristalizar el material, cambiando sus propiedades mecánicas volviéndolo un material frágil.

Las tuberías de PVC son fabricadas en diferentes diámetros y de acuerdo con su clase 40, 80, 120 y 250, estos valores indican el espesor de la pared y hacen referencia a que mientras mayor sea la pared, mayor será la presión que podrá soportar la tubería, son fabricadas en longitudes de seis metros.

La tubería de PVC no se debe utilizar para transportar líquidos a temperaturas elevadas, puesto que no se encuentra diseñada para cumplir ese propósito; en dado caso se debe utilizar tubería de policloruro de vinilo clorado (CPVC), fabricada en cédula 40 y 80, que es capaz de conducir líquidos a

valores máximos de temperatura de 94 grados centígrados y una presión de 100 PSI (libras por pulgada cuadrada); cabe destacar que mientras mayor es la temperatura, menor es la capacidad de la tubería de soportar una presión elevada. Este tipo de tubería es utilizada, generalmente, para sistemas de calefacción, duchas, lavamanos o conducción de agua caliente en sistemas de hidroterapias. Estas tuberías se fabrican con longitudes de tres metros.

2.11.4. Tubería de hierro negro

Es hierro fundido, es decir, que solo es una mezcla de hierro con cierto porcentaje de carbón en su contenido, posee una capa pasivante, la cual lo protege de la corrosión producida por el ambiente o en operación con bajas y altas temperaturas. Tiene una variedad de aplicaciones en la industria; tales como: conducción de vapor o algún otro gas, líquidos a bajas y elevadas temperaturas. Las tuberías de hierro negro poseen muy buenas propiedades, por ejemplo, muy buena conducción térmica y soporta mayor temperatura que la tubería de acero galvanizado; se emplea bastante en sistemas de transporte de vapor.

Fabricados en cédula 40 y 80; en cédula 40 posee una mayor ductilidad y en 80 suele poseer una mayor rigidez, en diversidad de diámetros y espesores de acuerdo con el diámetro, con longitudes de 6 metros aproximadamente; encontrándose con y sin costura. En las tuberías que poseen costura, las cargas no se distribuyen homogéneamente sobre el material; como suele pasar en las tuberías sin costura.

2.12. Bombas de agua

Son transformadores de energía debido a que convierten la energía procedente de un motor eléctrico o de un motor de combustión interna, usualmente en energía hidráulica, tal como: presión, velocidad, cambio de posición y caudal para poder transportar un líquido de un punto a otro.

Existen dos clasificaciones en las bombas de agua, las de desplazamiento positivo y las dinámicas. Las de mayor uso en los sistemas de agua para aire acondicionado son las del tipo dinámico, que, a su vez, en su división se utilizan las bombas centrífugas.

El bombeo puede definirse como la adición de energía a un fluido para moverse de un punto a otro. No es, como frecuentemente se piensa, la adición de presión, porque la energía es capacidad para hacer trabajo, adicionándola a un fluido obliga al fluido a hacer trabajo, normalmente fluyendo por una tubería o elevándose a un nivel más alto.⁷

Las bombas centrífugas son usadas en una amplia diversidad de procesos industriales, tales como: pozos de agua, agronomía, comerciales, textiles, procesos alimenticios, químicos; se dividen en tipo radial, axial y mixto. Las de mayor aplicación son las de tipo radial. Una bomba centrífuga se puede describir como una máquina construida adecuadamente, capaz de impulsar un líquido cualquiera, debido a la fuerza centrífuga que genera en el líquido cuando ingresa por el centro del tubo troncocónico al momento de girar, la velocidad a la que descarga el líquido se puede ver afectada por la densidad del fluido.

En las de tipo axial, el líquido se hace pasar en dirección del eje de la bomba debido al empuje producido por el impulsor. En las de tipo mixto, el

⁷ KARASSIK, Igor; CARTER, Roy. *Bombas centrífugas, selección, operación y mantenimiento*. p. 11.

sentido del flujo del líquido varía en radial y axial a la vez de acuerdo con la forma de las hélices del impulsor.

Las de tipo radial, que son las generalmente usadas, le cambian el sentido de dirección del flujo de agua, en donde entra en sentido axial descargándolo en forma radial o perpendicular al eje de rotación, en disposiciones horizontal y vertical; en sistemas de aire acondicionado las de mayor uso son en disposición horizontal, llamándoles así debido a que el eje de rotación se encuentra horizontal.

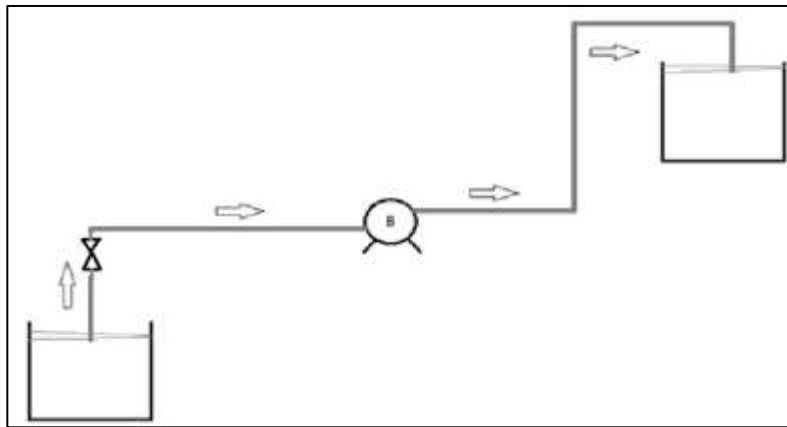
Están conformadas generalmente por: una carcasa, chumaceras, eje impulsor, eje cardan (usualmente en bombas de capacidad mayor a 5 caballos de potencia), flange, tubo troncónico, bujes, cuña, estopero, grasera, tuercas, tornillos, cojinetes y eje con manguito. En un sistema de bombeo se debe tomar en consideración el método de alimentación para la succión de la bomba, debido a que se puede dar una carga positiva o negativa. Según su disposición se debe de realizar una purga o cebado del sistema de agua y no dañar la bomba y evitar posible desgaste por cavitación.

Como se representa en un sistema de carga de la bomba, la capacidad se determina por medio de su carga de succión positiva neta requerida (*required net positive suction head*) NPSHR, lo cual brinda características de una bomba de acuerdo con su velocidad, capacidad y posible existencia del fenómeno de cavitación en una bomba de agua.

Cuando un sistema de bombas posee carga negativa, debe instalarse una válvula de retención en la parte que se encuentra en contacto con el fluido en la tubería de alimentación para evitar que se produzca cavitación al momento de entrar en operación el equipo, muchos sistemas poseen un tornillo, el cual sirve

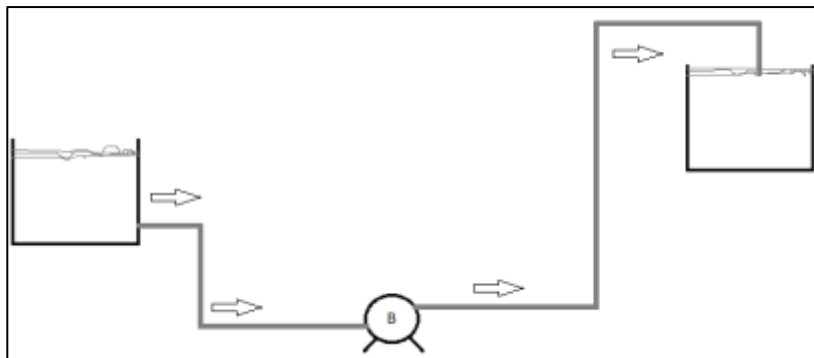
para cebar el sistema, ver figura 6. En un sistema de bombas con carga positiva no se requiere instalar una válvula de retención, debido a que la energía potencial que posee el fluido brinda la alimentación del sistema por propia gravedad. Algunos sistemas poseen un tornillo para poder realizar la purga al sistema.

Figura 6. **Carga negativa en la bomba de agua**



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Word 2007.

Figura 7. **Carga positiva en la bomba de agua**



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Word 2007.

2.13. Ductería

Los sistemas de ductería son importantes para poder conducir el aire acondicionado, calefacción o una simple ventilación a una determinada temperatura, desde el equipo de acondicionamiento hasta un recinto en específico. Se fabrican dependiendo las necesidades de un recinto en diferentes tamaños y estilos, así como la cantidad de accesorios que se utilizan para el montaje adecuado.

Se fabrican, principalmente, de lámina galvanizada, instalados arriba del cielo raso, en algunas longitudes cortas se utilizan lonas, para disipar vibraciones de acuerdo con tipo de instalación que se utiliza. Los ductos van soportados por pernos de acero, alambre galvanizado o de amarre, tuercas, roldanas, argollas, tensores, angulares de hierro dulce o placas de acero inoxidable, tarugos de expansión, entre otros.

Se construyen con áreas transversales en formas rectangulares y circulares; considerando la estética si ha de estar expuesto. De acuerdo con la distribución del aire se van realizando curvas y cruces en diferentes medidas para la conducción de una cantidad adecuada de aire hacia un recinto. El tamaño dependerá bastante de la velocidad, temperatura, viscosidad y flujo del aire.

2.13.1. Ductería rectangular rígida

Es el diseño de ductería más utilizado en la mayoría de los procesos que requiere acondicionamiento de aire o doble temperatura. Su área transversal mayor se encuentra en el punto de succión del equipo de acondicionamiento de aire (usualmente es una manejadora de aire) para su traslado hacia los

recintos, en su trayecto las medidas disminuirán, debido a una circulación menor de aire hacia los recintos. Realizando reducciones en las medidas de la ductería, así como evitar vueltas muy agudas, realizando cruces para división del aire; de acuerdo con la estructura de la edificación, para satisfacer las necesidades del proceso.

Se fabrican, comúnmente, con lámina galvanizada, realizando dobleces para lograr la forma deseada y en algunos casos se recubre con material aislante para evitar las pérdidas de calor del aire y lograr un mejor rendimiento tanto del equipo, como de la temperatura de descarga.

2.13.2. Ducto redondo flexible

Tipo de ducto usado para realizar las conexiones desde la ductería rectangular rígida que se encuentra sobre el cielo raso, hacia los accesorios de descarga, como los difusores y poder evitar la transmisión de posibles vibraciones de la ductería rígida hacia el cielo raso. También usados como ductos principales en algunos sistemas por estética y por el espacio que se requiere para su instalación, debido a que se encuentran instalados a la vista de las personas.

Fabricados también de lámina galvanizada, ayudando para realizar las conexiones de las curvas, ya que se realizan en figuras circulares, no como en la del tipo rectangular, en donde se debe realizar una mayor cantidad de dobleces para lograr obtener la curva y que logre encajar con la forma rectangular.

2.14. Tanque de expansión

En un sistema donde se utilizan tuberías para el manejo de agua helada o caliente, el tanque de expansión es de suma importancia, debido a que este equipo absorbe los cambios de volumen que sufre el fluido después que realiza la transferencia de calor con el aire, así elimina aire u otros gases indeseables que puedan existir en el sistema de agua y evitar un daño o desgaste por medio de cavitación en la bomba o en la tubería. Suelen ser diseñados de acuerdo a un porcentaje del volumen de agua total del sistema, el cual suele estar comprendido entre el 10 y el 15 por ciento del volumen total de agua que se requiere en el sistema.

2.15. Dispositivos de control

Los dispositivos de control sirven para poder llevar a cabo una correcta operación de un sistema; debido a las variaciones constantes que se dan en las cargas de un sistema de aire acondicionado, en el caso del sistema de acondicionamiento de aire ayudan a poder regular el flujo del refrigerante, establecer parámetros en la temperatura de aire, también para la operación segura en los equipos del sistema, accionamiento del sistema de bombas, ventilación, entre otros.

Estos llevan el control de ciertos procesos que se necesitan en el sistema, así como para poder proteger los equipos por un mal funcionamiento de otro accesorio, lo cual podría significar un gasto extra elevado.

El desarrollo de controles y de sistemas de control ha ido mano a mano con el desarrollo de todo equipo de calefacción y aire acondicionado. Determinados controles han servido para satisfacer la necesidad de mejorar la operación, la seguridad, la conveniencia personal y la economía, o una combinación de varios factores. Consiste en dos elementos, el aparato control y el aparato protegido o

regulado. Un controlador o aparato control mide algunas condiciones variables que deben ser mantenidas constantes.”⁸

Se dividen en tres categorías: controles básicos, de operación y de seguridad.

2.15.1. Accesorios básicos

Sirven para poder controlar un equipo de aire acondicionado, son necesarios para tener parámetros básicos y brindar observaciones en la operación del sistema, tales como:

- Filtro deshidratador de succión: su función es absorber la humedad que pueda existir en la línea de succión del refrigerante, de la misma manera, cualquier partícula contaminante del sistema que pueda provocar daños al compresor.
- Filtro deshidratador de líquido: cumple la misma función que el filtro deshidratador de succión, la única diferencia es que se ubica en la línea en donde se encuentra el refrigerante en fase líquida.
- Mira de cristal, visor de vidrio o indicador de líquido: se puede instalar en la línea de fase líquida o gaseosa del refrigerante y en el compresor, permitiendo observar que posea carga en el circuito del refrigerante, también que se encuentra funcionando adecuadamente el sistema y que posea su aceite lubricante.

⁸ Air-conditioning and Refrigeration Institute. *Refrigeración y aire acondicionado*. p. 671.

- Manómetros: sirven para obtener las presiones de trabajo; diseñados para brindar valores relativos o absolutos, tanto en la succión, que se encuentra a baja presión y en la descarga está en alta presión.
- Termómetros: accesorios que permiten obtener valores de temperatura tanto para el refrigerante, como del fluido que se desea enfriar.

2.15.2. Controles de operación

Son capaces de mantener una correcta operación del equipo de aire acondicionado, tales como:

- Circuito de control: es el encargado de indicar el momento de arranque o paro del equipo; es capaz de regular, filtrar y controlar el flujo del refrigerante.
- Temporizadores: Controlan el tiempo de operación que se ajusta en la carátula, pueden ser de función eléctrica, electrónica o neumática.
- Termostatos: actúan a través de cambios de temperaturas, capaces de activar o interrumpir un proceso, que ayuda al sistema de aire acondicionado a activarse cuando aumente la temperatura y desactivar cuando disminuya.
- Presostato: opera en función de la presión del sistema del refrigerante, realiza el accionamiento del compresor y cumple la función de control de seguridad del sistema.

- Calefactor del cárter: su función es elevar la temperatura del aceite del compresor para iniciar la operación, brindándole condiciones correctas en la viscosidad del aceite lubricante.
- Sensores de control: son elementos que sirven para el control de ciertos procesos del sistema, utilizan sensores de temperatura, presión, nivel y caudal principalmente. Son determinantes en el equipo para un mejor desarrollo del ciclo.

2.15.3. Controles de seguridad

Todos los sistemas de aire acondicionado deben de contar con varios dispositivos de protección, para evitar serios daños al equipo, entre ellos se encuentran:

- Presostato de alta presión: su función es desactivar el compresor, cuando el sistema excede la presión límite de operación.
- Presostato de baja presión: al igual que el de alta presión, su función es desactivar el compresor cuando se encuentra una presión muy por debajo de la mínima permitida en el sistema.
- Control de baja temperatura: sirve para poder controlar la temperatura mínima a la cual se debe encontrar el refrigerante y evitar su congelación. En este punto equipo debe apagarse, después la temperatura se recupera dentro de un rango deseado para que el compresor se vuelva a conectar.

- Control de presión de aceite: interrumpe el funcionamiento del equipo debido a una ineficiente presión del aceite lubricante.
- Interruptor de flujo: interrumpe el funcionamiento del equipo, cuando el flujo de agua es inadecuado para el sistema.
- Fusibles: elementos de protección eléctrica, sirven para proteger el equipo en el momento que se produzca una sobredemanda en el consumo de energía eléctrica. Pueden ser descartables, térmicos o de retardo.
- Luces indicadoras: sirven para indicar el lugar de una falla, por la cual se interrumpió el funcionamiento del equipo, instaladas usualmente en un tablero de control.

2.16. Refrigerantes

Son sustancias que se utilizan en sistemas de refrigeración, congelación, aire acondicionado y bombas de calor. Se puede definir como toda aquella sustancia que puede cambiar de fase gaseosa a líquida y viceversa, capaz de absorber calor cuando se encuentra en el proceso de evaporación y puede eliminar el calor cuando se produce la condensación.

Existe una amplia diversidad de refrigerantes, sin embargo, ya se han ido descartando gran cantidad del comercio debido a su alto grado de contaminación y seguridad. Los refrigerantes cumplen ciertas aplicaciones industriales, comerciales y residenciales de acuerdo con el tipo que se emplea, haciendo uso de sus propiedades termodinámicas, físicas, químicas, seguridad, medio ambiente.

Cuando se diseña un sistema de refrigeración, existen varios refrigerantes que pueden elegirse, como clorofluorocarbonos, amoníaco, hidrocarburos, dióxido de carbono, aire (en el acondicionamiento de aire en aviones) e incluso agua (en aplicaciones arriba del punto de congelación). Una adecuada elección del refrigerante depende de la situación específica.⁹

2.16.1. Características termodinámicas

Son las propiedades que indican ser los adecuados de acuerdo al proceso para el que se requiera y la temperatura que se desea en un sistema, se enlistan las siguientes:

- Alta entalpía latente de vaporización: medio por la cual se produce un amplio efecto refrigerante y de esta depende la capacidad de enfriamiento del sistema. Mientras mayor sea el calor latente de vaporización, mayor será el calor absorbido por la masa del refrigerante.
- Bajo punto de congelación: debe ser capaz de trabajar a bajas temperaturas sin llegar al punto de solidificación durante la operación del equipo.
- Presión de evaporación positiva: se debe encontrar por arriba de la presión atmosférica, por ende, debe operar a presiones positivas.
- Presión de condensación relativamente baja: se ve afectada por la temperatura ambiente.
- Temperatura crítica relativamente alta: es necesario debido a que de otra manera se requiere una gran potencia para poder realizar la compresión del refrigerante.

⁹ YUNUS, Cengel, BOLES, Michael. *Termodinámica*. p. 626.

- Volumen específico: debe poseer un volumen específico moderado, bajo valor en fase gaseosa y valor elevado en fase líquida.

2.16.2. Características físicas y químicas

Las propiedades físicas son las que posee una sustancia, en donde pueden indicar su color, densidad, punto de ebullición, punto de fusión mientras que las propiedades químicas de una sustancia son aquellas que indican las reacciones que sufren ciertas sustancias al ser combinadas con otras, en cierto para los refrigerantes poseen tales propiedades como:

- Alta fuerza dieléctrica del vapor: para poder ser instalados motores sellados en donde el vapor producido por el refrigerante no afecte a las bobinas de cobre del motor eléctrico.
- Químicamente estable: no debe generar reacciones químicas con las sustancias o materiales que se encuentran en el sistema.
- Características adecuadas de transferencia de calor: las propiedades como la densidad, calor específico, viscosidad y conductividad térmica, no se deben ver afectadas, para poder obtener una óptima transferencia de calor del refrigerante durante el ciclo de operación.
- Baja solubilidad del aceite: el refrigerante debe ser capaz de trabajar con aceite en el sistema sin llegar a mezclarse entre ellos y afectar sus propiedades lubricantes.

- Baja solubilidad en contacto con agua: no debe producirse miscibilidad con humedad o agua en el sistema, debido a que puede producir congelación afectando el proceso de refrigeración.

2.16.3. Seguridad

La seguridad en el manejo, trabajo y exposición del refrigerante deben ser controladas cuidadosamente, tomando en cuenta que se desean ciertas propiedades en beneficio del sistema, así como beneficios para las personas, se enlistan las siguientes:

- No corrosivo: debe asegurar que en la construcción del sistema puedan utilizarse materiales comunes y brindar larga vida a sus componentes.
- No inflamable: no debe producirse una combustión cuando se encuentra expuesto o en contacto con el aire.
- No tóxico: no debe ser dañino para el ser humano si llega a entrar en contacto con la piel o en alimentos.
- No irritante: no debe producir ningún tipo de irritación al momento de estar en contacto con el ser humano.
- Bajo costo: con el fin de mantener el precio del equipo en lo razonable y asegurar un servicio adecuado cuando se solicite.

2.16.4. Efectos sobre el medio ambiente

Debido a la contaminación ambiental que afecta a la Tierra, se deben utilizar sustancias que no contribuyan considerablemente al calentamiento global, entre aspectos que deberían poseer los refrigerantes tenemos:

- **Capa de ozono:** deben poseer un índice bajo de daño a la capa de ozono.
- **Fácil detección y localización de pérdidas:** producen disminución del efecto refrigerante y contaminación en el sistema; se puede realizar por medio visual o con equipo de detección de fugas.
- **Calentamiento global:** deben contener un bajo índice de contribución al calentamiento global.
- **Recuperación del refrigerante:** se debe realizar una buena práctica de recuperación del refrigerante con equipo adecuado, para evitar que se escape al ambiente e inducir contaminación.

2.16.5. Designación

Se utiliza para poder conocer el tipo de refrigerante que se emplea para un proceso de acondicionamiento de aire, para lo cual se utilizan de uno a cuatro sustancias: halocarburos, hidrocarburos, compuestos orgánicos y compuestos inorgánicos.

Los refrigerantes pertenecientes al grupo de halocarburos son el tipo de refrigerante de mayor uso en la industria de CVAA (Calefacción, Ventilación y

Aire Acondicionado), muchos de ellos se les conoce actualmente con el nombre de freones.

Debido a su fabricación y designación del nombre por las compañías, es de mayor utilidad referirse a los refrigerantes bajo la designación que brinda la ASHRAE, bajo su nivel de seguridad en la Norma 34, referente al nombre genérico de una publicación técnica, indica que deberán ir precedidos con la palabra refrigerante o refrigerantes y con la letra mayúscula R.

El número que posea determina la composición química del refrigerante de halocarburo o hidrocarburo de la serie del metano, etanol y ciclobutano, así como la estructura molecular del metano, etano y propano.

Se enlistan brevemente los aspectos principales de la designación de los refrigerantes según ASHRAE:

- El primer dígito de la derecha: indica el número de átomos de flúor (F) que se encuentra en su composición.
- El segundo dígito desde la derecha: indica el número de átomos de hidrógeno (H) que se encuentra en su composición, a este se debe sumarle uno más.
- El tercer dígito desde la derecha: indica el número de átomos de carbono (C) que se encuentran en su composición, a este se debe restarle uno. Cuando el dígito es cero, se hace caso omiso del número.

- Las mezclas de los refrigerantes: son designadas por sus respectivos números de refrigerante y sus proporciones másicas, con base al punto de ebullición normal (en orden creciente), ejemplo: R-22/12(90/10).
- Las mezclas de refrigerantes zeótropos comercializados: se designan con número de identificación de serie 400, seguidos por la proporción másica de los componentes, ejemplo: R-400(90/10), para las mezclas de los refrigerantes R-12 y el R-114.
- Los refrigerantes azeótropos comercializados: se designan con número de identificación de serie 500, sin mencionar su composición.
- Los refrigerantes de compuestos orgánicos: se designan en base a la serie 600.
- Los refrigerantes de compuestos inorgánicos: se designan sumando 700 al contenido de su masa molecular, ejemplo: 718, es agua. Cuando posee dos o más sustancias que tienen la misma masa molecular, se utilizan letras mayúsculas para diferenciarlos.
- Se emplea la letra C antes de las designaciones numéricas para identificar los derivados cíclicos, añadiendo letras minúsculas posteriormente para diferenciar de los refrigerantes isómeros.

La mayor preocupación debido al uso de los refrigerantes se debe a la exposición del cloro con el ambiente, ya que se produce una reacción con el ozono en la atmósfera. Los refrigerantes de mayor preocupación son los de la serie de los clorofluorocarbonos o CFC's, tales como: R-11, R-12, R-113, R-114 y R-115. En donde se puede referir a ellos como de la serie CFC; de la

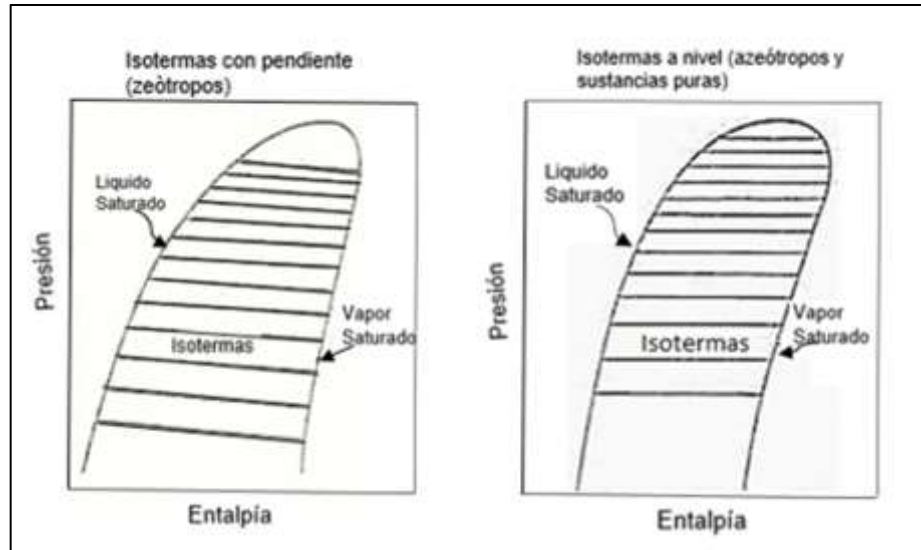
siguiente manera: CFC- 11, CFC-13, CFC-15. Se encuentra otro grupo de refrigerantes que poseen cloro, debido a que posee un átomo de hidrógeno, son menos dañinos para la capa de ozono que los CFC. Se les llama el grupo de hidroclorofluorocarbonos o HCFC's. Los refrigerantes que se encuentran en este grupo son los R-22, R-123, R-124 y el R-124B.

De los refrigerantes de fluoro carbonos, los que menos afectan la capa de ozono pertenecen a la serie de los hidrofluorocarbonos o HFC's, ya que estos no poseen cloro en su estructura molecular, en donde se encuentran los refrigerantes R-125, R-134a, R-143a y el R-152a. Debido a ciertas propiedades termodinámicas de cada refrigerante no se ha encontrado un sustituto ideal para los refrigerantes que son peligrosos, así como los temas de seguridad, lubricación y el contacto con elastómeros en los sistemas a través del ciclo.

Los refrigerantes azeótropos son aquellos en donde se emplean dos o más refrigerantes para su composición, con lo que se logra una estabilidad en sus propiedades, tales como: su temperatura de evaporación y de condensación a un mismo valor; no afectando la composición volumétrica de las sustancias, obteniéndolas con una presión constante de operación.

En cambio, los refrigerantes zeótropos son aquellos en donde los procesos de evaporación y condensación se obtienen a diferentes temperaturas, varían en su composición volumétrica a presión constante.

Figura 8. **Comparación de diagramas de presión-entalpía para un refrigerante zeótropro y un azeótropro**



Fuente: MCQUISTON, Faye. Et Al. *Calefacción, ventilación y aire acondicionado, análisis y diseño*. p. 541.

De la serie del metano, debido a su composición, seis son inflamables, seis son tóxicos y cinco son halogenados. El refrigerante que se había empleado comúnmente es el R-22 (perteneciente al grupo de los HCFC) y el R-23 (perteneciente al grupo de HFC), siendo el R-22 el de amplio uso en equipos de aire acondicionado de tipo residencial y comercial, este ha sido discontinuado por ser altamente perjudicial a la capa de ozono. En la serie de los refrigerantes de etano, están: R-123, R-124, R-125 y el R-134, únicos en ser libres de tóxicos e inflamabilidad, por contener fracciones de sustancias halógenas. Es muy probable que el refrigerante R-134a pudiera ser el refrigerante del futuro.

2.16.6. Refrigerante R134a

Es un gas inerte, refrigerante de la serie HFC's derivado del etano, beneficia al medio ambiente, su ODP es cero, no causando ningún daño en la capa de ozono. Es el sustituto del refrigerante R-12 (del grupo CFC's), es uno de los refrigerantes de mayor impacto en la capa de ozono.

Tiene en su composición química: cuatro átomos de flúor, dos átomos de carbono y dos átomos de hidrógeno. Es un gas incoloro, conocido también como freón 134a o tetrafluoretano es su nombre químico. Es utilizado en muchos equipos de producción de aire acondicionado y calefacción, como refrigeración doméstica, industrial y vehicular, *chiller* entre otros. Sus ventajas son:

- No posee cloro en su composición molecular, por lo cual no daña la capa de ozono.
- Es un refrigerante ecológico.
- Realiza una mejor transferencia de calor que el R-12.
- Es seguro de usar, no es inflamable, libre de tóxicos, no irrita y no es corrosivo.

No hay un refrigerante óptimo, puesto que las diferentes aplicaciones requieren diferentes características. Unos cuantos refrigerantes gozan de más popularidad que otros. Algunos refrigerantes eran populares en el pasado, tal como el anhídrido sulfuroso y el cloruro de metilo, han sido sustituidos por otros más convenientes. La búsqueda de refrigerantes todavía mejores que los actuales continúa.¹⁰

¹⁰ STOECKER, Wilbert. Op. cit. p. 162.

2.16.7. Refrigerante R22

Perteneciente al grupo HCFC es altamente contaminante para la capa de ozono, menos contaminante que el R-12, pero es dañino por contener cloro en su estructura molecular.

Es uno de los refrigerantes de mayor uso en sistemas de aire acondicionado domiciliario, comercial e industrial. Tiene una capacidad de alcanzar temperaturas bajas, debido a sus excelentes propiedades termodinámicas, ya que posee un volumen específico bajo y un calor latente de vaporización alto, comparado con los CFC.

Es un gas incoloro, con olor similar al éter, puede trabajar con el mayor tipo de materiales que se emplean en sistemas de acondicionamiento de aire.

Debido a que afecta la capa de ozono, ya existen sustitutos para el R-22, se encuentran los refrigerantes R-417A, R-422A y el R-422D, pertenecientes al grupo de los HFC.

El refrigerante R-417A es un sustituto directo del refrigerante R-22, posee en su composición R-134a, no afecta la capa de ozono, no es tóxico, ni inflamable y se puede utilizar en los mismos equipos que utilizan R-22, es el único refrigerante que puede emplearse con aceite mineral y sintético.

El refrigerante R-422A, también es un sustituto directo para el refrigerante R-22, posee en su composición R-134a, no afecta la capa de ozono, no es tóxico, tampoco inflamable. Puede operar con la mayoría de los aceites minerales.

El refrigerante R-422D, al igual que los refrigerantes R-417A y el R-422A, es un sustituto directo del R-22, contiene en su mezcla de composición R134a, no afecta la capa de ozono, no es inflamable y se puede utilizar para bajas temperaturas, puede operar con lubricantes minerales y poliolester (aceite con características diferentes en relación con los aceites minerales y alquilato; utilizados en compresores con refrigerantes de los tipos CFC y HCFC, es el más adecuado para refrigerantes de tipo HFC, como el R-134a). En algunos casos se debe modificar el sistema de tuberías.

“Se están evaluando los compuestos más complejos de las series del propano y del éter como reemplazos potenciales para algunos de los refrigerantes actuales”¹¹.

¹¹ MCQUISTON, Faye. Et. *Al. Calefacción, ventilación y aire acondicionado, análisis y diseño*. p 542.

3. PLAN DE EJECUCIÓN DE MANTENIMIENTO

3.1. Tipo de mantenimiento

Se desarrolla a continuación un plan de mantenimiento preventivo, ya que representa el cambio de cara a la mejora del sistema de mantenimiento que se ha llevado a cabo hasta el momento.

Por otro lado, el mantenimiento predictivo permite a través de registros de control, manuales de fabricantes y experiencias de otros usuarios pronosticar el comportamiento de cada componente de los equipos, lo que facilitará el conocer con exactitud o buena aproximación los intervalos entre los cuales se tendrá que realizar la lubricación, limpieza o bien reemplazo piezas que componen los diferentes equipos.

3.2. Planificación del mantenimiento

Para la planificación de los procesos de mantenimiento es necesario recopilar y organizar de manera metódica la información que permita desarrollarlos de la mejor manera. La recopilación de información, diseño de planos esquemáticos de ubicación de equipos, codificación, creación de formatos son algunos de los pasos para estructurar los procedimientos operativos de las actividades de mantenimiento. La administración del Design Center no permite que se presenta la ubicación de los equipos dentro de las instalaciones.

3.2.1. Zonificación

Es necesario tener bien definida la distribución de los equipos a los cuales van destinados los planes de mantenimiento diseñados. Esto permite tener una visión espacial de la ubicación física y codificar, según la zona, cada equipo.

3.2.2. Inventario

Con el fichaje, la información recolectada y proporcionada por los operadores y gerentes del departamento, se levantó un inventario técnico que contempla cada uno de los equipos seleccionados señalando el código definido anteriormente para cada uno de ellos, la marca y/o modelo, el serial o lote de fabricación, descripciones como voltaje, capacidad y toneladas y su ubicación y área de trabajo.

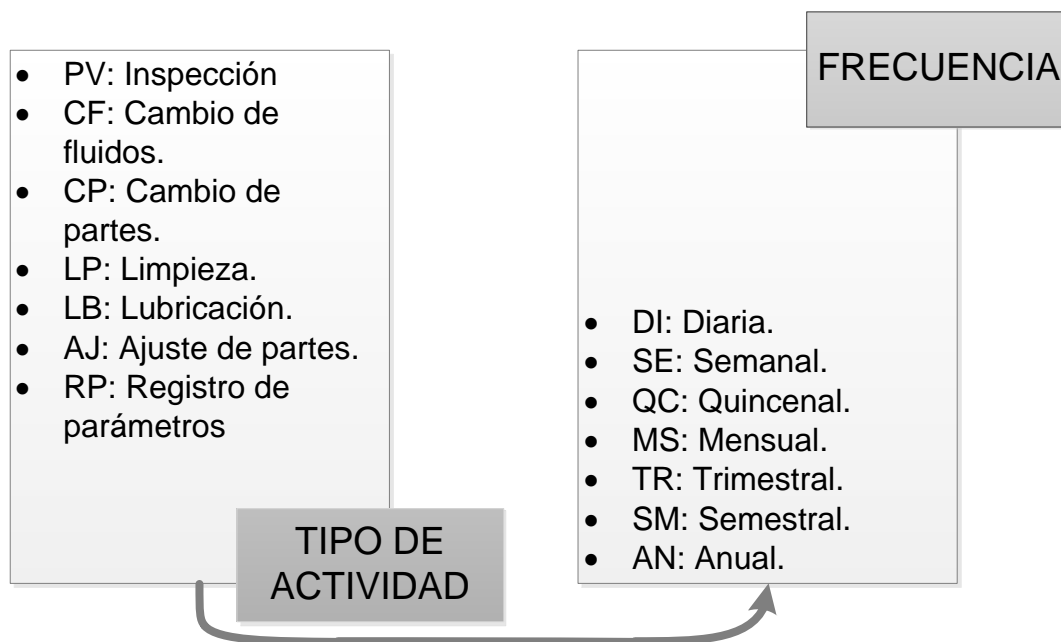
Es necesario acotar que no se tiene cierta información de algunos de los equipos, esto se debe al deterioro de las placas lo que imposibilita su lectura, la ausencia de los manuales de fabricante y que por el hecho de que algunos equipos están discontinuados no se encuentra información de estos no se consigue información de estos.

3.2.3. Codificación

La codificación representa una acción fundamental para la aplicación de planes de mantenimiento, ya que consiste en una serie de letras y números que le permiten tanto al supervisor como al operador conocer de manera sencilla pero detallada la ubicación exacta del equipo, área, el equipo al cual se le realizará el mantenimiento, el tipo de mantenimiento que se le aplicará, y la frecuencia con que el mismo será efectuado, entre otros aspectos.

Cada tipo de actividad de mantenimiento y la frecuencia de la misma se obtiene por medio del código de cada una de las actividades, el cual será utilizado para identificar los P.O.E. (Procedimientos Operativos Estándar).

Figura 9. **Dígitos para la codificación de las actividades**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2007.

A continuación, se presenta un ejemplo de la codificación.

Tabla I. **Ejemplo de la codificación de las actividades**

Rubro	Tiempo	Tipo	Codificación
Inspección	Diaria	Programada	IN-DI-PR
Cambio de Fluidos	Trimestral	Programada	CF-TR-PR
Cambio de partes	Anual	No Programada	CP-AN-NPr

Continuación de la Tabla I.

Limpieza	Semestral	Programada	LP-SM-PR
Lubricación	Trimestral	Programada	LB-TR-PR
Ajuste de partes	Anual	Programada	AJ-AN-PR
Registro de parámetros	Semanal	Programada	RP-SE-PR

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

3.2.4. Ficha técnica de los equipos

El fichaje consta de la recolección de información elemental de cada uno de los equipos para su identificación. Esto le permite al departamento contar con una base de datos para la rápida ubicación de repuestos según especificaciones.

Para establecer el estado (*status*) del equipo se utiliza la clasificación siguiente:

Tabla II. **Clasificación del *status* del equipo**

Código	Definición
EO	En operación
EM	En mantenimiento
SB	<i>Stan by</i>
BU	<i>Back up</i>
FS	Fuera de servicio
EF	Equipo futuro

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Las de fichas técnicas de los equipos se pueden ver a continuación.

Tabla III. **Ficha técnica *chiller* 01-11-PT-CH03**

FICHA TÉCNICA	
DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	<i>Chiller</i>
CÓDIGO INTERNO	01-11-PT-CH03
MARCA / MODELO	EVAPCO
FASES	3
VOLTAJE	460 V
TONELADAS (Peso del equipo)	300 TONR
<i>STATUS</i>	EO
ÁREA DE TRABAJO	Sistema de Enfriamiento

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla IV. **Ficha técnica *chiller* 01-11-PT-CH04**

FICHA TÉCNICA	
DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	Chiller
CÓDIGO INTERNO	01-11-PT-CH04
MARCA / MODELO	EVAPCO
FASES	3
VOLTAJE	460 V
TONELADAS (Peso del equipo)	300 TONR
<i>STATUS</i>	EO
ÁREA DE TRABAJO	Sistema de Enfriamiento
	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla V. **Ficha técnica *chiller* 01-11-PT-CH05**

FICHA TÉCNICA	
DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	<i>Chiller</i>
CÓDIGO INTERNO	01-11-PT-CH05
MARCA / MODELO	EVAPCO
FASES	3
VOLTAJE	460 V
TONELADAS (Peso del equipo)	300 TONR
<i>STATUS</i>	EO
ÁREA DE TRABAJO	Sistema de enfriamiento

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla VI. **Ficha técnica *chiller* 01-11-PT-CH06**

FICHA TÉCNICA	
DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	<i>Chiller</i>
CÓDIGO INTERNO	01-11-PT-CH06
MARCA / MODELO	EVAPCO
FASES	3
VOLTAJE	460 V
TONELADAS (Peso del equipo)	300 TONR
<i>STATUS</i>	EO
ÁREA DE TRABAJO	Sistema de Enfriamiento

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla VII. **Ficha técnica bomba 02-S4-SH-BC01**

FICHA TÉCNICA	
DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	Bomba agua caliente
CÓDIGO INTERNO	02-S4-SH-BC01
MARCA / MODELO	PACO Smart Pump / Baldor
SERIAL	Ser 92-539-p1 / Frame 213T serie F1192
VOLTAJE	440 V
CAPACIDAD	7 1/2 HP
TONELADAS	-
<i>STATUS</i>	EO
ÁREA DE TRABAJO	<i>Chiller</i>
	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla VIII. **Bomba 02-S4-SH-BC02**

FICHA TÉCNICA	
DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	Bomba Agua Caliente
CÓDIGO	02-S4-SH-BC02
MARCA / MODELO	PACO Smart Pump / Baldor
SERIAL	Ser 92-539-p1 / Frame 213T serie F1192
VOLTAJE	440 v
CAPACIDAD	7 1/2 HP
TONELADAS	-
<i>STATUS</i>	EO
ÁREA DE TRABAJO	Chiller
	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

3.2.5. Diagnóstico y datos de trabajo

El diagnóstico permite tener noción de las condiciones de los equipos y así aplicar el mantenimiento correcto y estar al tanto de los equipos disponibles en caso de que sea necesario poner en marcha un equipo adicional o que uno, en funcionamiento normal, supla a otro, el cual deba detener su funcionamiento para realizar alguna actividad de mantenimiento programada.

De igual manera es necesario conocer los parámetros normales de funcionamiento para el control y la inspección que permita corroborar el buen funcionamiento de los equipos.

Tabla IX. **Tabla de diagnóstico y datos de trabajo de un *chiller* 01-11-PT-CH03**

EQUIPO	<i>Chiller</i>	
CÓDIGO	01-11-PT-CH03	
ESTADO DEL EQUIPO	EO	
REVISIÓN DE PARÁMETROS	Agua helada	
	T entrada (agua)=10°C	P entrada (agua)=80 psi
	T salida (agua)=6°C	P salida (agua)=60 psi
	El equipo se encuentra en óptimo estado y no requiere ninguna acción.	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla X. **Tabla de diagnóstico y datos de trabajo de un *chiller* 01-11-PT-CH04**

EQUIPO	<i>Chiller</i>	
CÓDIGO	01-11-PT-CH04	
ESTADO DEL EQUIPO	FS	
REVISIÓN DE PARÁMETROS	Agua helada	
	T entrada (agua) = 10°	P entrada (agua) = 80 psi
	T salida (agua) = 6°	P salida (agua) = 60 psi
	El equipo se encuentra en optimo estado y no requiere ninguna acción.	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla XI. **Tabla de diagnóstico y datos de trabajo de un *chiller* 01-11-PT-CH05**

EQUIPO	<i>Chiller</i>	
CÓDIGO	01-11-PT-CH05	
ESTADO DEL EQUIPO	FS	
REVISIÓN DE PARÁMETROS	Presiones de gas y aceite	
	P de gas= 2,5 bar (baja)	P de gas= 2,5 bar (baja)
	P de aceite= 5 bar (alto)	P de aceite= 5 bar (alto)
	Presiones de gas y aceite	Presiones de gas y aceite
	Agua helada	
	T entrada (agua) = 10 °C	P entrada (agua) = 80 psi
	T salida (agua) = 6 °C	P salida (agua) = 60 psi
	Intercambiador (<i>Heat Discovery</i>)	
	T entrada (agua) = 35 °C	P entrada (agua) = 80 psi
	T salida (agua) = 45 °C	P salida (agua) = 60 psi
	El equipo se encuentra en optimo estado y no requiere ninguna acción.	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla XII. **Tabla de diagnóstico y datos de trabajo de un *chiller* 01-11-PT-CH06**

EQUIPO	<i>Chiller</i>	
CÓDIGO	01-11-PT-CH06	
ESTADO DEL EQUIPO	FS	
REVISIÓN DE PARÁMETROS	Presiones de gas y aceite	
	P de gas = 2,5 bar (baja)	P de gas = 2,5 bar (baja)
	P de aceite = 5 bar (alto)	P de aceite = 5 bar (alto)
	Agua helada	
	T entrada (agua) = 10°	P entrada (agua) = 80psi
	T salida (agua) = 6°	P salida (agua) = 60psi
	Intercambiador (<i>Heat Discovery</i>)	
	T entrada (agua) = 35°	P entrada (agua) = 80psi
	T salida (agua) = 45°	P salida (agua) = 60psi
	El equipo se encuentra en optimo estado y no requiere ninguna acción.	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla XIII. **Tabla de diagnóstico y parámetros de la bomba 03-S2-SC-BC01**

EQUIPO	Motor-bomba suministro
CÓDIGO	03-S2-SC-BC01
ESTADO DEL EQUIPO	FS
REVISIÓN DE PARÁMETROS	Agua helada
	T agua= 45 °C
	P agua= 140-170 psi

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla XIV. **Tabla de diagnóstico y parámetros de la bomba 03-S2-SCBC02**

EQUIPO	Motor-bomba suministro
CÓDIGO	03-S2-SC-BC02
ESTADO DEL EQUIPO	OK
REVISIÓN DE PARÁMETROS	Agua helada
	T agua= 45°C
	P agua= 140-170 psi

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Las tablas anteriores reflejan el estado del equipo o *status* de funcionamiento y los parámetros normales o los que trabaja dicho equipo, los cuales fueron tomados en el mes de febrero del año 2020, lo cuales demostraron que los equipos se encuentran funcionando en óptimo estado.

3.2.6. Orden de trabajo -OT-

Es un formato que permite suministrar la información necesaria de la actividad de mantenimiento a realizar. Sirve como medio de comunicación indirecto entre la gerencia de mantenimiento y los trabajadores, solicitando el cumplimiento de una actividad y permitiendo al departamento tener un registro de dichas actividades. Tiene la finalidad de entregar al técnico que realizará la actividad de mantenimiento preventivo una información detallada de lo que debe realizar y las herramientas y materiales que necesita para ello. Para visualizar las órdenes de trabajo ver a continuación.

A continuación, se muestra la orden de trabajo la cual es utilizada para todos los trabajos, ya sea tareas programadas, no programadas o de urgencia, los trabajos de urgencia se refieren a los trabajos que surgen inesperadamente

y que tienen que ser realizados en el momento para evitar que los equipos se encuentren demasiado tiempo fuera de servicio, por lo cual es tan importante los trabajos programados que evitan que esto suceda, sin embargo, en ocasiones ocurre. En esta orden de trabajo se debe llenar con todos los datos que se requieren, iniciando con la fecha en que se realiza, la hora y el número de dicha orden, además, es necesario describir a que equipo se le realizará el trabajo, estableciendo en esta cual será la actividad a realizar, como mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo y el periodo en que se realizó el último mantenimiento, también se utilizará el código interno.

Este formato se debe llenar además con la cantidad de operarios necesarios para realizar las tareas y que es lo que realizaran, también es necesario que se llene las casillas de materiales y herramientas, con los datos de las herramientas utilizadas y los repuestos que fueron requeridos en el área de bodega, todo esto con el fin de mantener un inventario actualizado de los repuestos y las herramientas propiedad del Design Center.

Tabla XV. **Formato de la orden de trabajo**

ORDEN DE TRABAJO			
Día	Mes	Año	Hora: _____ Orden No.: _____
Equipo: _____		Código: _____	
Actividad: _____			
Prioridad de la actividad:	Emergencia		
	Urgente		
	Programado		
Descripción de la actividad			
Mano de obra			
Cantidad	Detalle		
Materiales y herramientas			
_____ Quién lo ordena Nombre y firma		_____ Quién lo recibe Nombre y firma	
Departamento de Mantenimiento			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

3.2.7. Informe de trabajo realizado -ITR-

El informe de trabajo realizado permite a la gerencia llevar un registro de las actividades realizadas para el mantenimiento preventivo de los equipos, permite llevar un control de quien efectúa cada actividad y cuánto tiempo emplea y así medir la eficiencia de los procesos de mantenimiento.

Por medio de este formato el operador puede indicar al gerente o supervisor la existencia de alguna falla que no quedó solventada con la actividad realizada. De la misma manera puede informar acerca de la ausencia de alguna herramienta, que no se encuentre en buen estado y que es necesaria para la ejecución de las actividades o cualquier otra observación que crea pertinente.

El reporte permite tener un registro de las herramientas y materiales que son necesarios, los cuales se deben mantener en buen estado, y así lograr controlar que en el almacén se encuentre lo necesario para llevar a cabo cualquier tipo de tarea que se requiera, además con este informe se puede realizar la solicitud de los repuestos utilizados y que según el caso se utilizará el último para que se reponga y se encuentre en el inventario para cuando se vuelva a necesitar.

Se informa también si es necesario realizar una actividad adicional, no programada, como cuando se detecta alguna fuga de fluidos o de aire, por lo cual se realizan observaciones y las correcciones correspondientes con el fin de prevenir este tipo de anomalías en el futuro, así como también el desgaste de partes, entre otros.

Tabla XVI. **Formato de informe de trabajo realizado**

INFORME DE TRABAJO REALIZADO -ITR-									
REPORTE NO.: _____ Código: _____ Equipo: _____ Actividad: _____	<table border="1"> <thead> <tr> <th>DÍA</th> <th>MES</th> <th>AÑO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>	DÍA	MES	AÑO					
DÍA	MES	AÑO							
<table border="1"> <tr> <td>Inicio de actividad (hora):</td> <td> </td> </tr> <tr> <td>Finalización de actividad (hora):</td> <td> </td> </tr> </table>		Inicio de actividad (hora):		Finalización de actividad (hora):					
Inicio de actividad (hora):									
Finalización de actividad (hora):									
Condiciones del equipo antes de la actividad									
Herramientas utilizadas		Materiales utilizados							
Condiciones del equipo después de la actividad									
Estado		Detalle							
Óptimo									
Bueno									
Regular									
Deficiente									
Observaciones y recomendaciones									
_____ Quién reporta Nombre y firma		_____ Quién recibe Nombre y firma							
Departamento de mantenimiento									

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

3.2.8. Hoja de inspección

La hoja de inspección es un formato que permite registrar los parámetros para asegurar que el operador efectivamente realizó la observación y llevar un control de estos permitiendo percatarse de cualquier variación que indique que algo no está funcionando como debe.

Se realizaron hojas para reflejar las inspecciones diarias, semanales y anuales y se contemplan a continuación.

Tabla XVII. **Formato 1 de inspección de equipos**

HOJA DE INSPECCIÓN ANUAL DE EQUIPOS												
EQUIPO: _____						CÓDIGO: _____						
AÑO: _____												
Marcar el recuadro de la inspección realizada, indicar día y quién la realiza												
	Verificación de arranque	Día/M	Operador	Nivel de agua baterías	Día/M	Operador	Nivel de combustible	Día/M	Operador	Nivel de aceite	Día/M	Operador
Enero		/01			/01			/01			/01	
Febrero		/02			/02			/02			/02	
Marzo		/03			/03			/03			/03	
Abril		/04			/04			/04			/04	
Mayo		/05			/05			/05			/05	
Junio		/06			/06			/06			/06	
Julio		/07			/07			/07			/07	
Agosto		/08			/08			/08			/08	
Septiembre		/09			/09			/09			/09	
Octubre		/10			/10			/10			/10	
Noviembre		/11			/11			/11			/11	
Diciembre		/12			/12			/12			/12	
OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES:												

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla XVIII. **Formato 2 de inspección de equipos**

HOJA DE INSPECCIÓN ANUAL DE EQUIPOS												
EQUIPO: _____						CÓDIGO: _____						
AÑO: _____												
Marcar el recuadro de la inspección realizada, indicar día y quién la realiza												
	Verificación temperatura	Día/M	Operador	Nivel de presión agua	Día/M	Operador	Nivel presión de gas	Día/M	Operador	Nivel presión aceite	Día/M	Operador
Enero		/01			/01			/01			/01	
Febrero		/02			/02			/02			/02	
Marzo		/03			/03			/03			/03	
Abril		/04			/04			/04			/04	
Mayo		/05			/05			/05			/05	
Junio		/06			/06			/06			/06	
Julio		/07			/07			/07			/07	
Agosto		/08			/08			/08			/08	
Septiembre		/09			/09			/09			/09	
Octubre		/10			/10			/10			/10	
Noviembre		/11			/11			/11			/11	
Diciembre		/12			/12			/12			/12	
OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES:												

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

3.2.9. Hoja de registro de fallas

Este formato permite llevar un conteo y registro de las fallas ocurridas en cada equipo con sus detalles, lo que genera una data estadística útil para análisis que arrojen información importante de los equipos que más fallan y la razón de esto y para calcular indicadores.

Tabla XIX. Hoja de registro de fallas

HOJA DE FALLAS	
<u>Equipo dónde ocurrió la falla:</u> _____ Código: _____	
DESCRIPCIÓN DE FALLAS	
Fecha de ocurrencia de la falla	
Hora de ocurrencia de la falla	
_____ Reportada por Nombre y firma	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

3.3. Programación de las actividades de mantenimiento

Para la programación del mantenimiento es necesario conocer las condiciones operativas de los equipos y el horario de funcionamiento de cada uno de ellos. En el Design Center, los *chillers* y las bombas, aunque algunos funcionan de manera alterna, son equipos que están operativos las 24 horas. Es por lo que se hace imperante la programación de las actividades de mantenimiento, principalmente las que requieren de una parada completa del

equipo de manera que se tomen las previsiones y no se vea afectado el servicio dependiente de dichos equipos.

Es importante tener puntualizadas cada una de estas actividades para su programación, así como para la construcción de los documentos que describirán detalladamente dichas actividades.

3.3.1. Actividades de mantenimiento preventivo

A continuación, se muestra la lista de las actividades de mantenimiento preventivo recomendada para cada equipo, de acuerdo con las recomendaciones de los fabricantes que se muestran en algunos de los catálogos de los equipos, así como por las opiniones de expertos en el área.

3.3.1.1. Lista de actividades preventivas para sistemas de bombas

- Tomar dos lecturas por turno de temperaturas y presiones.
- Limpiar rejilla de ventilación del motor.
- Medir amperaje de cada motor de bomba a plena carga.
- Revisar contactores y relés térmicos de los tableros eléctricos.
- Engrasar el motor.
- Revisar fugas de agua de tuberías de entrada y salida de la bomba.

- Cambiar sellos mecánicos.
- Revisar y ajustar sellos de grafito.
- Cambiar sello de grafito.
- Revisar funcionamiento del alternador de bomba.
- Lubricar rodamientos de la bomba.

3.3.1.2. Lista de actividades preventivas para sistemas de aire acondicionado tipo agua helada

- Revisar la presión de los circuitos de refrigeración.
- Revisar el nivel de aceite del Carter.
- Inspeccionar los componentes eléctricos de los tableros.
- Revisar los controles de seguridad y de operación.
- Inspeccionar los componentes de tuberías en busca de fugas.
- Restaurar pintura del equipo.
- Limpiar y peinar los serpentines del evaporador.
- Cambiar cartucho del filtro secador.

- Cambiar rodamientos de motores de condensador.
- Cambiar correas de los ventiladores.
- Realizar tratamiento químico al agua helada.

3.3.2. Procedimiento Operativo Estándar (POE)

Una vez puntualizadas las actividades de mantenimiento es necesario construir los POE, que son formatos o documentos que involucran todos los pasos que debe realizarse para el cumplimiento de la actividad citada así como el personal, las herramientas y los materiales necesarios para ello, de esta manera los procedimientos de dicha actividad quedan establecidos y registrados de manera que puedan ser constantemente mejorados por medio de las observaciones y la data analizada obtenida de los informes de trabajos realizados.

Con estos procedimientos se persigue estandarizar las actividades de mantenimiento con el fin de obtener mejores resultados.

La totalidad de los procedimientos operativos estándares (POE) se presentan a continuación.

Tabla XX. **Procedimiento operativo estándar de chequeo de niveles de baja y alta presión de aceite de *chillers***

CÓDIGO:			
ACTIVIDAD: Chequeo de los niveles de baja y alta presión de aceite.		EQUIPO: <i>Chiller</i>	
HERRAMIENTAS		MATERIALES	
Cantidad	Detalle	Cantidad	Detalle
-	-	-	Hoja de inspección.
MANO DE OBRA		Detalle	
1 operador		Conocimientos básicos del funcionamiento del equipo. Tener conocimientos de lectura de manómetros. Experiencia: De 2 (dos) a 6 (seis) años.	
FASES DE LA ACTIVIDAD			
1.- Colóquese las botas.			
2.- Tome la hoja de inspección de funcionamiento de la carpeta del equipo al cual le va a tomar las lecturas.			
3.- Lea en el manómetro los niveles de alta y baja presión, tome nota de ellas y cerciórese que la diferencia entre ellas sea entre 2 y 2,5 bar.			
4.- Si estos valores se encuentran fuera de los rangos normales, participe inmediatamente al supervisor.			
5.- Guardar la hoja de inspección en su carpeta respectiva.			
Frecuencia		Diaria, al inicio de cada turno (2 veces al día)	
Encargado de la actividad Nombre y firma			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla XXI. **Procedimiento operativo estándar de chequeo de presiones de entrada y salida del evaporador de *chillers***

CÓDIGO:			
ACTIVIDAD: Chequeo de las presiones de entrada y salida del evaporador.		EQUIPO: <i>Chiller</i>	
HERRAMIENTAS		MATERIALES	
Cantidad	Detalle	Cantidad	Detalle
-	-	-	Hoja de inspección.
MANO DE OBRA		Detalle	
1 operador		Conocimientos básicos del funcionamiento del equipo. Tener conocimientos de lectura de manómetros. Experiencia: De 2 (dos) a 6 (seis) años.	
FASES DE LA ACTIVIDAD			
1.- Colóquese las botas de seguridad			
2.- Tome la hoja de inspección de funcionamiento de la carpeta del equipo al cual le va a tomar las lecturas.			
3.- Lea los valores en los manómetros de entrada y salida del evaporador, ubicados en la zona externa del equipo. Asegúrese que la diferencia entre ellas sea entre 4 y 12 PSI.			
4.- Si estos valores se encuentran fuera de los rangos normales, particípelos inmediatamente al supervisor.			
5.- Guardar la hoja de inspección en su carpeta respectiva.			
Frecuencia		Diaria, al inicio de cada turno (2 veces al día)	
Encargado de la actividad Nombre y firma			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla XXII. **Procedimiento operativo estándar de chequeo general del tanque de aceite de *chillers***

CÓDIGO:			
ACTIVIDAD: Chequeo general del tanque de aceite.		EQUIPO: <i>Chiller</i>	
HERRAMIENTAS		MATERIALES	
Cantidad	Detalle	Cantidad	Detalle
-	-		-
MANO DE OBRA		Detalle	
1 operador		Conocimientos básicos del funcionamiento del equipo. Experiencia: De 2 (dos) a 6 (seis) años.	
FASES DE LA ACTIVIDAD			
1.- Colóquese las botas de seguridad.			
2.- Diríjase al tanque de aceite.			
3.-Revise que el nivel de aceite esté visible en el visor, debe estar entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{4}$ del nivel máximo			
4.-Si el nivel no es el especificado, verifique la razón antes de añadir más aceite.			
5.- Chequee el visor en la línea de líquido que conduce al motor del compresor. El visor debe indicar una clara lectura y sin burbujas.			
6.- Chequee el visor en la línea de líquido ubicado en el extremo del condensador, este vidrio debe indicar un color azul.			
7.- En caso de encontrar alguna anomalía, reportar a su superior para realizar la orden de trabajo.			
Frecuencia		Semanal	
Encargado de la actividad Nombre y firma			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla XXIII. **Comprobación de los controles de seguridad. Conmutador de baja temperatura de aceite de *chillers***

CÓDIGO:			
ACTIVIDAD: Comprobación de los controles de seguridad. CONMUTADOR DE BAJA TEMPERATURA DE ACEITE.		EQUIPO: <i>Chiller</i>	
HERRAMIENTAS		MATERIALES	
Cantidad	Detalle	Cantidad	Detalle
-	-	-	-
MANO DE OBRA		Detalle	
1 mecánico		Conocimiento total del funcionamiento del equipo. Experiencia: Mas de 6 (seis) años.	
FASES DE LA ACTIVIDAD			
1.- Colóquese las botas, guantes y lentes de seguridad			
2.- Informe a los interesados que va a desconectar el equipo y proceda a desconectarlo.			
3.- Coloque las herramientas en un lugar seguro y confiable y adaptar las condiciones de trabajo requeridas.			
4.- Ubique el calentador del aceite y desconéctelo.			
5.- El conmutador de baja temperatura de aceite deberá abrirse cuando la temperatura en el reservorio de aceite esté alrededor de los 50°C.			
6.- De no ser así, detectar los posibles factores que estén afectando el funcionamiento y reportarlo en el Informe de trabajo realizado.			
7.- Informe a los interesados el arranque del equipo y encienda el equipo.			
8.- Recoja sus implementos y herramientas.			
9.- Complete el informe de trabajo realizado, entregue a la secretaria y adhiera una copia a la carpeta de actividades de mantenimiento del equipo.			
Frecuencia		Trimestral	
Encargado de la actividad Nombre y firma			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla XXIV. **Procedimiento operativo estándar de comprobación de los controles de seguridad. Control de alta presión del condensador de *chillers***

CÓDIGO:			
ACTIVIDAD: Comprobación de los controles de seguridad. CONTROL DE ALTA PRESIÓN DEL CONDENSADOR		EQUIPO: <i>Chiller</i>	
HERRAMIENTAS		MATERIALES	
Cantidad	Detalle	Cantidad	Detalle
-	-	-	-
MANO DE OBRA		Detalle	
1 mecánico		Conocimiento total del funcionamiento del equipo. Experiencia: Mas de 6 (seis) años.	
FASES DE LA ACTIVIDAD			
1.- Colóquese las botas, guantes y lentes de seguridad.			
2.- Informe a los interesados que va a desconectar el equipo y proceda a desconectarlo.			
3.- Coloque las herramientas en un lugar seguro y confiable y adaptar las condiciones de trabajo requeridas.			
4.- Con 0 bar de presión en el aceite, desconecte los tubos de presión al control y compruebe con presión de aire calibrada.			
5.- Los contactos deberán abrirse a aproximadamente entre 11,3 y 11,5 bar cuando la presión se aumenta.			
6.- De no ser así, detectar los posibles factores que estén afectando el funcionamiento y reportarlo en el Informe de trabajo realizado.			
7.- Informe a los interesados el arranque del equipo y encienda el equipo.			
8.- Recoja sus implementos y herramientas.			
9.- Complete el informe de trabajo realizado, entregue a la secretaria y adhiera una copia a la carpeta de actividades de mantenimiento del equipo.			
Frecuencia		Trimestral	
Encargado de la actividad Nombre y firma			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla XXV. **Procedimiento operativo estándar de Comprobación de los controles de seguridad. Conmutador de baja presión en el enfriador de *chillers***

CÓDIGO:			
ACTIVIDAD: Comprobación de los controles de seguridad. CONMUTADOR DE BAJA PRESIÓN EN EL ENFRIADOR		EQUIPO: <i>Chiller</i>	
HERRAMIENTAS		MATERIALES	
Cantidad	Detalle	Cantidad	Detalle
-	-	1	Manguera
MANO DE OBRA		Detalle	
1 mecánico		Conocimiento total del funcionamiento del equipo. Experiencia: Mas de 6 (seis) años.	
FASES DE LA ACTIVIDAD			
1.- Colóquese las botas, guantes y lentes de seguridad			
2.- Informe a los interesados que va a desconectar el equipo y proceda a desconectarlo.			
3.- Coloque las herramientas en un lugar seguro y confiable y adaptar las condiciones de trabajo requeridas.			
4.- Con una manguera bombee el refrigerante al recipiente economizador hasta que la presión del aceite llegue a 0 bar.			
5.-Desconecte los tubos de presión al control y compruébelo con presión de aire calibrada.			
6.- Los contactos deberán abrir cuando la presión decrece al equivalente a 0,5 °C (2,13 bar).			
7.- De no ser así, detectar los posibles factores que estén afectando el funcionamiento y reportarlo en el Informe de trabajo realizado.			
8.- Informe a los interesados el arranque del equipo y encienda el equipo.			
9.- Recoja sus implementos y herramientas.			
10.- Complete el informe de trabajo realizado, entregue a la secretaria y adhiera una copia a la carpeta de actividades de mantenimiento del equipo.			
Frecuencia		Trimestral	
Encargado de la actividad Nombre y firma			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla XXVI. **Comprobación de los controles de seguridad. Control de baja presión de aceite de chillers**

CÓDIGO:			
ACTIVIDAD: Comprobación de los controles de seguridad. CONTROL DE BAJA PRESIÓN DE ACEITE		EQUIPO: <i>Chiller</i>	
HERRAMIENTAS		MATERIALES	
Cantidad	Detalle	Cantidad	Detalle
-	-	1	Manguera
MANO DE OBRA		Detalle	
1 mecánico		Conocimiento total del funcionamiento del equipo. Experiencia: Mas de 6 (seis) años.	
FASES DE LA ACTIVIDAD			
1.- Colóquese las botas, guantes y lentes de seguridad			
2.- Informe a los interesados que va a desconectar el equipo y proceda a desconectarlo.			
3.- Coloque las herramientas en un lugar seguro y confiable y adapte las condiciones de trabajo requeridas.			
4.- Con una manguera bombee el refrigerante al recipiente economizador hasta que la presión del aceite llegue a 0 bar.			
5.- Desconecte los tubos de presión al control y compruébelo con presión de aire calibrada.			
6.- Los contactos deberán cerrar a 1,2 bares y abrir cuando la presión se reduzca a 0,9 bares.			
7.- De no ser así, detectar los posibles factores que estén afectando el funcionamiento y reportarlo en el Informe de trabajo realizado.			
8.- Informe a los interesados el arranque del equipo y encienda el equipo.			
9.- Recoja sus implementos y herramientas.			
10.- Complete el informe de trabajo realizado, entregue a la secretaria y adhiera una copia a la carpeta de actividades de mantenimiento del equipo.			
Frecuencia		Trimestral	
Encargado de la actividad Nombre y firma			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla XXVII. **Procedimiento operativo estándar de cambio de filtro de chillers**

CÓDIGO:			
ACTIVIDAD: Cambio de filtro.		EQUIPO: <i>Chiller</i>	
HERRAMIENTAS		MATERIALES	
Cantidad	Detalle	Cantidad	Detalle
1	Juego de llaves combinadas	1	Filtro nuevo
1	Juego de ratch	1	Junta de filtro
1	Paño limpio y seco		
MANO DE OBRA		Detalle	
1 mecánico		Conocimiento pleno del funcionamiento y partes del equipo Experiencia: Mas de 6 (seis) años.	
1 ayudante		Conocimiento parcial del funcionamiento y piezas del equipo Experiencia: Mas de 6 (seis) años.	
FASES DE LA ACTIVIDAD			
1.- Colóquese las botas, guantes y lentes de seguridad.			
2.- Informe a los interesados que va a desconectar el equipo y proceda a desconectarlo.			
3.- Coloque las herramientas en un lugar seguro y confiable y adaptar las condiciones de trabajo requeridas como escaleras, cintas de seguridad y avisos de prevención.			
4.-Abra los circuitos de alimentación principal y auxiliar.			
5.-Cierre las válvulas 1 y 2 para aislar el filtro.			
6.- Afloje los tornillos en el anillo de la abrazadera, retire la tapa, el filtro y la junta del recipiente.			
7.-Limpie el recipiente con un paño limpio y seco.			
8.- Coloque una nueva junta y un nuevo filtro.			
9.- Coloque de nuevo la tapa y apriete el anillo.			
10.- Abrir los servicios de las válvulas 1 y 2.			
11.- Informe a los interesados el arranque del equipo y encienda el equipo.			
12.- Recoja sus implementos y herramientas.			
13.- Complete el informe de trabajo realizado, entregue a la secretaria y adhiera una copia a la carpeta de actividades de mantenimiento del equipo.			
Frecuencia		1 vez al año.	
Encargado de la actividad Nombre y firma			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla XXVIII. **Procedimiento operativo estándar de peinado de serpentines de chillers**

CÓDIGO:			
ACTIVIDAD: Peinado de serpentines		EQUIPO: <i>Chiller</i>	
HERRAMIENTAS		MATERIALES	
Cantidad	Detalle	Cantidad	Detalle
1	Peine de serpentín	5 L	Desincrustante (diluido en spray)
1	Andamio		
1	Hidrojet		
MANO DE OBRA		Detalle	
1 mecánico		Experiencia en limpieza de serpentines. Experiencia: Mas de 6 (seis) años.	
FASES DE LA ACTIVIDAD			
1.- Colóquese las botas, guantes y lentes de seguridad.			
2.- Informe a los interesados que va a desconectar el equipo y proceda a desconectarlo.			
3.- Coloque las herramientas en un lugar seguro y confiable y adaptar las condiciones de trabajo requeridas como escaleras, cintas de seguridad y avisos de prevención.			
4.- Con la ayuda de un andamio introduzcase en el interior del área de serpentines.			
5.- Rocíe el desincrustante alrededor de todos los serpentines, espere 5 min.			
6.- Con la máquina de agua a presión rocíe suavemente y con presión moderada sobre los serpentines y espere 5 minutos antes de continuar.			
7.- Dezlizar el peine con mucho cuidado por cada ala del serpentín, en caso que la manipulación se muy brusca y pierda su forma llevar a su posición correcta con la utilización de las manos			
8.- Informe a los interesados el arranque del equipo y encienda el equipo.			
9.- Recoja sus implementos y herramientas.			
10.- Complete el informe de trabajo realizado, entregue a la secretaria y adhiera una copia a la carpeta de actividades de mantenimiento del equipo.			
Frecuencia		1 vez al año.	
<p>Encargado de la actividad Nombre y firma</p>			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla XXIX. **Procedimiento operativo estándar de pintura de *chillers***

CÓDIGO:			
ACTIVIDAD: Pintura del equipo		EQUIPO: <i>Chiller</i>	
HERRAMIENTAS		MATERIALES	
Cantidad	Detalle	Cantidad	Detalle
1	Brocha delgada	1	Lija (gruesa (180 granos) para corrosión avanzada y fina (12 granos) para corrosión moderada)
1	Rodillo	1/2 gal	Anticorrosivo
		1 gal	Base pósito
		1 gal	Pintura marina
MANO DE OBRA		Detalle	
1 pintor		Experiencia en lija y pintura de equipos. Experiencia: Entre 2 (dos) y 6 (seis) años.	
FASES DE LA ACTIVIDAD			
1.- Colóquese la braga, las botas de seguridad, guantes y tapabocas.			
2.- Coloque las herramientas en un lugar seguro y confiable y adapte las condiciones de trabajo requeridas como escaleras, cintas de seguridad y avisos de prevención.			
3.- Examine la pintura de todas las partes del equipo.			
4.- Las que se encuentren deterioradas, proceder a lijar para quitar los restos de óxido o material corrosivo.			
5.- Aplique el anticorrosivo.			
6.- Aplique dos (2) capas de base (pósito).			
7.- De ser necesario aplicar pintura marina del color que se desee.			
8.- Recoja sus implementos, herramientas y limpie el área.			
9.- Complete el informe de trabajo realizado, entregue a la secretaria y adhiera una copia a la carpeta de actividades de mantenimiento del equipo.			
Frecuencia		Anual	
Encargado de la actividad			
Nombre y firma			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla XXX. **Procedimiento operativo estándar de cambio de correas del ventilador de chillers**

CÓDIGO:			
ACTIVIDAD: Cambio de correas del motor del ventilador.		EQUIPO: <i>Chiller</i>	
HERRAMIENTAS		MATERIALES	
Cantidad	Detalle	Cantidad	Detalle
1	Juego de raches y dados.	3	Correas
1	Destornillador plano.		
Mano de obra		Detalle	
1 mecánico		Conocimientos en el área mecánica y funcionamiento de los equipos. Experiencia: Mas de 6 (seis) años.	
FASES DE LA ACTIVIDAD			
1.- Colóquese las botas, casco, guantes y lentes.			
2.- Informe a los interesados que va a desconectar el equipo y proceda a desconectarlo.			
3.- Coloque las herramientas en un lugar seguro y confiable y adaptar las condiciones de trabajo requeridas como escaleras, cintas y carteles de seguridad y protección a los equipos cercanos.			
4.- Desenrosque los tornillos de la protección metálica del motor del condensador.			
5.- Desenrosque los tornillos de las tapas laterales del chiller para acceder al interior del equipo.			
6.- Coloque los tornillos de manera ordenada, cerca y sin afectar el lugar de trabajo.			
7.- Tome un destornillador plano y sacar las correas sin dañar las poleas. En caso de que estén muy tensionadas desajustar levemente los tornillos del mecanismo motor-polea.			
8.- Coloque las correas nuevas ajustando el mecanismo motor-polea hasta que queden tensionadas.			
9.- Revise y logre la alineación del mecanismo motor-polea.			
10.- Apriete los tornillos de la puerta lateral del chiller así como los de la protección superior del motor del condensador.			
11.- Quite las cintas y protecciones de equipos cercanos.			
12.- Informe a los interesados el arranque del equipo.			
13.- Encender el equipo.			
14.- Comprobar ruidos o vibraciones del equipo.			
15.- Mida el amperaje del motor del condensador y compárelo con el amperaje nominal de la placa del equipo. Si no está en el rango vuelva al punto dos hasta lograr dicha condición. Registre en el ITR el valor.			
16.- Recoja sus implementos y limpie el área de trabajo.			
17.- Complete el informe de trabajo realizado, entregue a la secretaria y adhiera una copia a la carpeta de actividades de mantenimiento del equipo.			
Encargado de la actividad Nombre y firma			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla XXXI. **Procedimiento operativo estándar de baqueteo de tubos del condensador de chillers**

CÓDIGO:			
ACTIVIDAD: Baqueteo de los tubos del condensador.		EQUIPO: <i>Chiller</i>	
HERRAMIENTAS		MATERIALES	
Cantidad	Detalle	Cantidad	Detalle
1	Torquímetro.	5 L	Desincrustante
1	Equipo mecánico de baqueteo		
1	Manguera.	-	Agua
1	Juego de raches y dados.		
1	Linterna		
Mano de obra		Detalle	
1 mecánico		Conocimientos en el área mecánica y funcionamiento de los equipos. Experiencia: Mas de 6 (seis) años.	
FASES DE LA ACTIVIDAD			
1.- Colóquese las botas, casco, guantes y lentes.			
2.- Tenga preparado cerca del chiller un tanque de 208 litros que contenga la mezcla agua- producto.			
3.- Compruebe el funcionamiento del equipo mecánico de baqueteo.			
4.- Informe a los interesados que va a desconectar el equipo y proceda a desconectarlo.			
5.- Coloque las herramientas en un lugar seguro y confiable y adaptar las condiciones de trabajo requeridas como escaleras, cintas y carteles de seguridad y protección a los equipos cercanos.			
6.- Desenrosque las tuercas de las tapas del condensador usando el proceso de afloje en cruz, iniciando por la tapa delantera y culminando con la trasera.			
7.- Coloque las tuercas de manera ordenada, cerca y sin afectar el lugar de trabajo.			
8.- Visualizar el estado de los tubos del condensador utilizando luz adecuada, principalmente en los bordes exteriores de la cara frontal de cada tapa.			
9.- Si existe algún problema visible en uno de los tubos reportar al supervisor y anotarlo en el ITR.			
10.- Colocar el tanque en la parte opuesta.			
11.- Colocar una manguera, que succionara desde el tanque de mezcla, en la conexión del equipo de baqueteo y cepillar uno a uno los tubos, por lo menos de un tiempo de 5min para cada uno. Realizar la limpieza desde la parte delantera y luego desde la parte trasera.			
12.- Conectar la manguera al agua industrial de la instalación y proceder al baqueteo de los tubos por 5min.			
13.- Esperar la aprobación del supervisor.			
14.- Secar y limpiar el área.			
15.- Cerrar enroscando las tuercas de las tapas usando, de nuevo, el método de cruz dando el torque adecuado para cada tuerca utilizando el torquímetro.			
16.- Quite las cintas y protecciones de equipos cercanos.			
17.- Informe a los interesados el arranque del equipo y encienda el equipo.			
18.- Deje al equipo operando hasta que llegue a sus valores normales de temperaturas de entrada y salida del agua y regístrelos en el ITR.			
19.- Recoja sus implementos y limpie el área de trabajo.			
20.- Complete el informe de trabajo realizado, entregue a la secretaria y adhiera una copia a la carpeta de actividades de mantenimiento del equipo.			
Encargado de la actividad Nombre y firma			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla XXXII. **Procedimiento operativo estándar de cambio de aceite de chillers**

CÓDIGO:			
ACTIVIDAD: Cambio de aceite.		EQUIPO: <i>Chiller</i>	
HERRAMIENTAS		MATERIALES	
Cantidad	Detalle	Cantidad	Detalle
1	Bomba con capacidad de 100 psi. (ACEITE)	11 gal	Aceite CVAC
Mano de obra		Detalle	
1 mecánico		Conocimiento pleno del funcionamiento y partes del equipo. Experiencia: Mas de 6 (seis) años.	
1 ayudante		Conocimiento parcial del funcionamiento y piezas del equipo. Experiencia: Mas de 6 (seis) años.	
FASES DE LA ACTIVIDAD			
1.- Colóquese las botas, casco, guantes y lentes.			
2.- Informe a los interesados que va a desconectar el equipo y proceda a desconectarlo.			
3.- Coloque las herramientas en un lugar seguro y confiable y adaptar las condiciones de trabajo requeridas como escaleras, cintas y carteles de seguridad y protección a los equipos cercanos.			
4.- Abra los circuitos de alimentación principal y auxiliar.			
5.- Abra las válvulas de drenaje y vacie todo el aceite del tanque y del enfriador de aceite.			
6.- Cerrar las válvulas de drenaje y conectar una bomba capaz de bombear hasta 100 psi desde la válvula de drenaje hasta el tanque de aceite.			
7.- Abra la válvula de drenaje y bombee la cantidad necesaria para que se pueda observar el visor con media carga.			
9.- Colocar el tanque en la parte opuesta.			
9.- Cierre la válvula de drenaje y desconecte la bomba de aceite.			
10.- Cerrar los interruptores de circuito de alimentación principal y auxiliar del equipo.			
11.- Informe a los interesados el arranque del equipo y encienda el equipo.			
12.- Recoja sus implementos y limpie el área de trabajo.			
13.- Complete el informe de trabajo realizado, entregue a la secretaria y adhiera una copia a la carpeta de actividades de mantenimiento del equipo.			
FRECUENCIA			Anual
Encargado de la actividad Nombre y firma			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla XXXIII. **Procedimiento operativo estándar de inspección del compensador de chillers**

CÓDIGO:			
ACTIVIDAD: Inspección del compensador.		EQUIPO: <i>Chiller</i>	
HERRAMIENTAS		MATERIALES	
Cantidad	Detalle	Cantidad	Detalle
1	Juego de llaves combinadas.	1	Conjunto de embolo.
1	Juego de raches y dados.	1	O ring
1	Trapo seco	1	Cedazo
Mano de obra		Detalle	
1 mecánico		Conocimiento pleno del funcionamiento y partes del equipo. Experiencia: Mas de 6 (seis) años.	
FASES DE LA ACTIVIDAD			
1.- Colóquese las botas, casco, guantes y lentes.			
2.- Informe a los interesados que va a desconectar el equipo y proceda a desconectarlo.			
3.- Coloque las herramientas en un lugar seguro y confiable y adaptar las condiciones de trabajo requeridas como escaleras, cintas y carteles de seguridad y protección a los equipos cercanos.			
4.- Transfiera todo el refrigerante del aceite al recipiente economizador.			
5.- Quite la tapa a la cámara del flotador del compensador.			
6.- Limpie la cámara del flotador.			
7.- Asegúrese que la válvula del flotador funciona libremente por todo su recorrido.			
8.- Colocar el tanque en la parte opuesta.			
9.-Reemplace el cedazo que se encuentra antes del orificio.			
10.- Cerrar los interruptores de circuito de alimentación principal y auxiliar del equipo.			
11.- Informe a los interesados el arranque del equipo y encienda el equipo.			
12.- Recoja sus implementos y limpie el área de trabajo.			
13.- Complete el informe de trabajo realizado, entregue a la secretaria y adhiera una copia a la carpeta de actividades de mantenimiento del equipo.			
FRECUENCIA			
_____ Encargado de la actividad Nombre y firma			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Para la estructuración del procedimiento operativo estándar es necesario tener conocimiento de varios aspectos, tanto técnicos como operativos, del personal, los cuales serán descritos a continuación.

3.3.2.1. Información técnica

Permite tener acceso rápido al tipo de repuestos y materiales propios para cada equipo. Esta información se encuentra disponible en las placas de los equipos y en los manuales de fabricante. Con algunos equipos no fue posible la obtención de cierta información por el mal estado de las placas y ausencia de algunos manuales, en este caso se optó por la información suministrada por los jefes del departamento y los operadores de este.

En el POE deben detallarse las características de las herramientas específicas para la actividad, así como las de los materiales y herramientas. En este espacio se hacen las recomendaciones de cuales pueden o deben usarse, queda de parte del departamento tomar dichas recomendaciones o utilizar otras por ausencia en el mercado.

3.3.2.2. Mano de obra

Así como es necesario que las herramientas y los materiales tengan características específicas, es importante también que el personal encargado para la ejecución de la actividad cumpla con ciertas condiciones. Es fundamental que dependiendo de la naturaleza de la tarea la persona tenga los conocimientos necesarios, es decir que para las actividades mecánicas exista un mecánico y para las eléctricas un electricista. En general los trabajadores que conforman el departamento deben contar con cualidades como:

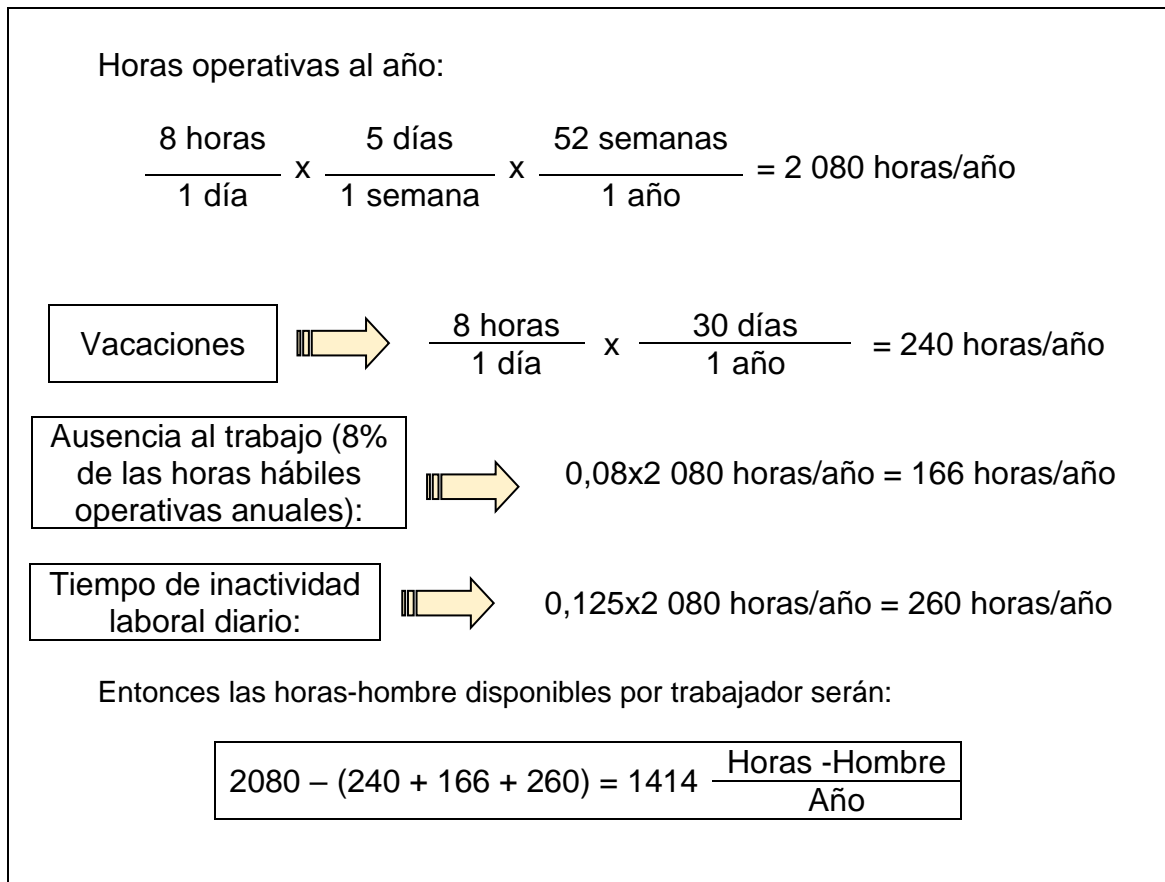
- Responsabilidad en el cumplimiento de sus labores.
- Disciplina en la práctica de sus tareas que se tracen.
- Facilidad para el trabajo en equipo.
- Ser ordenado y metódico en sus labores.
- Capacidad de adaptación.
- Capacidad de discernir.
- Capacidad de comprensión y memoria.
- Condiciones Físicas.
- Buena condición física.
- Buena capacidad motora.

3.3.2.2.1. Cálculo Horas-Hombre disponibles

Para la planificación de las actividades es necesario tener conocimiento de las horas de mano de obra anuales disponible de cada empleado para la ejecución de estas.

Hay que tomar en cuenta las vacaciones, los períodos de tiempo no operativos de cada trabajador y las horas diarias laborables para realizar el cálculo de las horas- hombre disponible que se desglosa a continuación:

Figura 10. **Horas operativas y otras no operativas**



Fuente: elaboración propia, Microsoft Word 365.

3.3.2.2. Cálculo de Horas-Hombre necesarias para la ejecución de las actividades

El cálculo de las horas hombre permite estimar las cantidades de trabajadores necesarios para el cumplimiento de las actividades de mantenimiento planificadas, se calcula dentro de un rango de tiempo, el cual para esta aplicación es anual teniendo en cuenta la duración y frecuencias de las actividades. En la Tabla XXXIV se calcula la cantidad mínima necesaria de empleados según el área en donde laboran.

Tabla XXXIV. Duración de actividades de mantenimiento preventivo

Actividades	Duración (min)	Frecuencia (veces al año)	Cantidad de Equipos (Unidades)	Tiempo Total de la Actividad para Todos los Equipos (min)	Tiempo Total de la Actividad para Todos los Equipos (horas)
Chequeo de las presiones de aceite	50,00	365,00	7,00	127 750,00	2 129,17
Chequeo de las P del evaporador	50,00	365,00	7,00	127 750,00	2 129,17
Chequeo del tanque de aceite	30,00	52,00	7,00	10 920,00	182,00
Comprobación del conmutador de baja temperatura de aceite	35,00	3,00	7,00	735,00	12,25
Comprobación del conmutador de baja presión de enfriador	35,00	3,00	7,00	735,00	12,25
Comprobación del conmutador de baja presión de aceite	35,00	3,00	7,00	735,00	12,25
Comprobación del conmutador de alta presión del condensador	35,00	3,00	7,00	735,00	12,25
Inspección del compensador	100,00	1,00	7,00	700,00	11,67

Continuación de la Tabla XXXIV.

Cambio de aceite	60,00	1,00	7,00	420,00	7,00
Cambio de filtro	75,00	1,00	7,00	525,00	8,75
Peinado de serpentines	60,00	1,00	7,00	420,00	7,00
Pintura del equipo	240,00	1,00	7,00	1 680,00	28,00
Total de H necesarias para el desarrollo de las actividades al año					4 551,75

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

En la tabla anterior se muestran cada una de las actividades detallando su duración y frecuencia, obteniendo así el total de HH necesarias para que puedan ser efectuadas todas en el lapso de un año.

A raíz de esta información y de las horas disponibles por empleado calculadas anteriormente se obtiene el número mínimo de empleados requeridos.

3.3.2.3. Normas de seguridad

Es importante que la empresa vele por la seguridad de sus empleados principalmente en aquellas actividades donde están más expuestos. Para evitar accidentes durante las actividades es imprescindible dotar al personal de los equipos de seguridad necesarios y entrenarlos para su utilización, tales equipos son:

- Casco de polietileno de alta densidad y diseño ultraliviano. Capacidad dieléctrica: 20 000 voltios (Clase E). Cuenta con una banda de sudor recambiable y posee canal en el borde para derivación de lluvia/salpicaduras.

- Botas de protección, exterior de cuero de ganado de plena flor con un recubrimiento de aceite para lubricarlo y permitir que se doble y flexione sin que se agriete. Suela de larga duración y ligera que brinda una excelente comodidad y durabilidad. La suela es de PU/HULE (Poliuretano), antideslizante, resistencia a peligros eléctricos, resistente a aceites orgánicos y grasas. La puntera cuenta con una punta de acero esmaltado que te protege del impacto.
- Guantes de tejido en polyester/algodón y con cubierta en la palma de la mano y dedos hecha en puntos de PVC.
- Lentes de policarbonato, que garantizan la protección UV y tienen una alta resistencia a los impactos.
- Tapa bocas de silicona, que permiten un perfecto ajuste a la cara con filtros que proporcionan un buen equilibrio de pesos, reduciendo la resistencia a la respiración.
- De ser necesario, implementos para aislar el área de trabajo como cintas, carteles, entre otros.
- Cerciorarse del cumplimiento del uso de estos.

3.4. Flujo de materiales e información

En esta sección definiremos la ruta que debe seguir la institución a la hora de realizar el plan de mantenimiento que aquí se propone, incluye todo lo referente a los materiales y repuestos que se deben emplear así como el proceso de utilización de los formatos, cómo deben ser llenados, donde deben

ser colocarlos, cuántos formatos debe llenar, entre otros. Esto estandarizará el proceso, haciéndolo cada vez más rápido, permitirá llevar registros de las fallas y averías que a su vez conducirán a prevenirlas o bien atacarlas en el momento justo antes que se presenten nuevamente, reducir la frecuencia de ellas y desarrollando estadísticas que reporten el comportamiento de cada equipo antes y después de la reparación las frecuencias de averías así como la localización de ellas, entre otras ventajas que ofrece la planificación de los procesos de mantenimiento.

Sin embargo, la planificación no impide que inesperadamente se presenten desperfectos que deben ser corregidas de forma inmediata y que también deben ser registradas y controladas es por eso por lo que se han dividido esta sección en dos fases las actividades programadas y las no programadas.

3.4.1. Flujo de materiales e información de actividades programadas

- Con la planificación anual el jefe de mantenimiento llena la orden de trabajo (O/T) con todas las especificaciones que esta requiere.
- Una vez completados todos los campos de la O/T, se debe sacar una copia de esta y una copia al POE que realizará.
- La copia se destinará a la carpeta de trabajo del operador a quien se le asigna la labor junto con una copia del POE a realizar. El original se le proporcionará a la secretaria la cual debe digitalizar la información y cerciorarse que el operador firme el original. Si la actividad es de inspección anexar la hoja de inspección respectiva.

- La secretaria archiva el registro en la carpeta llamada Órdenes de trabajo que debe estar ordenada numéricamente.
- El operador toma su carpeta de trabajo con la O/T (copia) y anexo el POE respectivo (copia), con esto se dirige al almacén con el fin de solicitar el repuesto o insumo, cuya existencia está garantizada gracias a la programación de las actividades de mantenimiento.
- Se realiza el trabajo de mantenimiento siguiendo el procedimiento descrito en el POE.
- El operador archiva la copia de O/T que aún se encuentra en su posesión y la anexa a su carpeta personal de trabajo.
- El operador toma una hoja de ITR que tiene en su poder la secretaria y llena completamente su reporte incluyendo las observaciones en caso de haber alguna anomalía o se desee corregir el POE. En caso de que la actividad sea de inspección no es necesario el ITR, sólo llenar la Hoja de Inspección.
- Posteriormente se hacen dos copias del ITR.
- La primera copia la anexará el operador a su carpeta de trabajo.
- La segunda copia se archivará en la carpeta de vida del equipo que fue mantenido.
- El original de ITR deberá entregárselo a la secretaria del departamento para que la información detallada sea digitalizada. En caso de que la

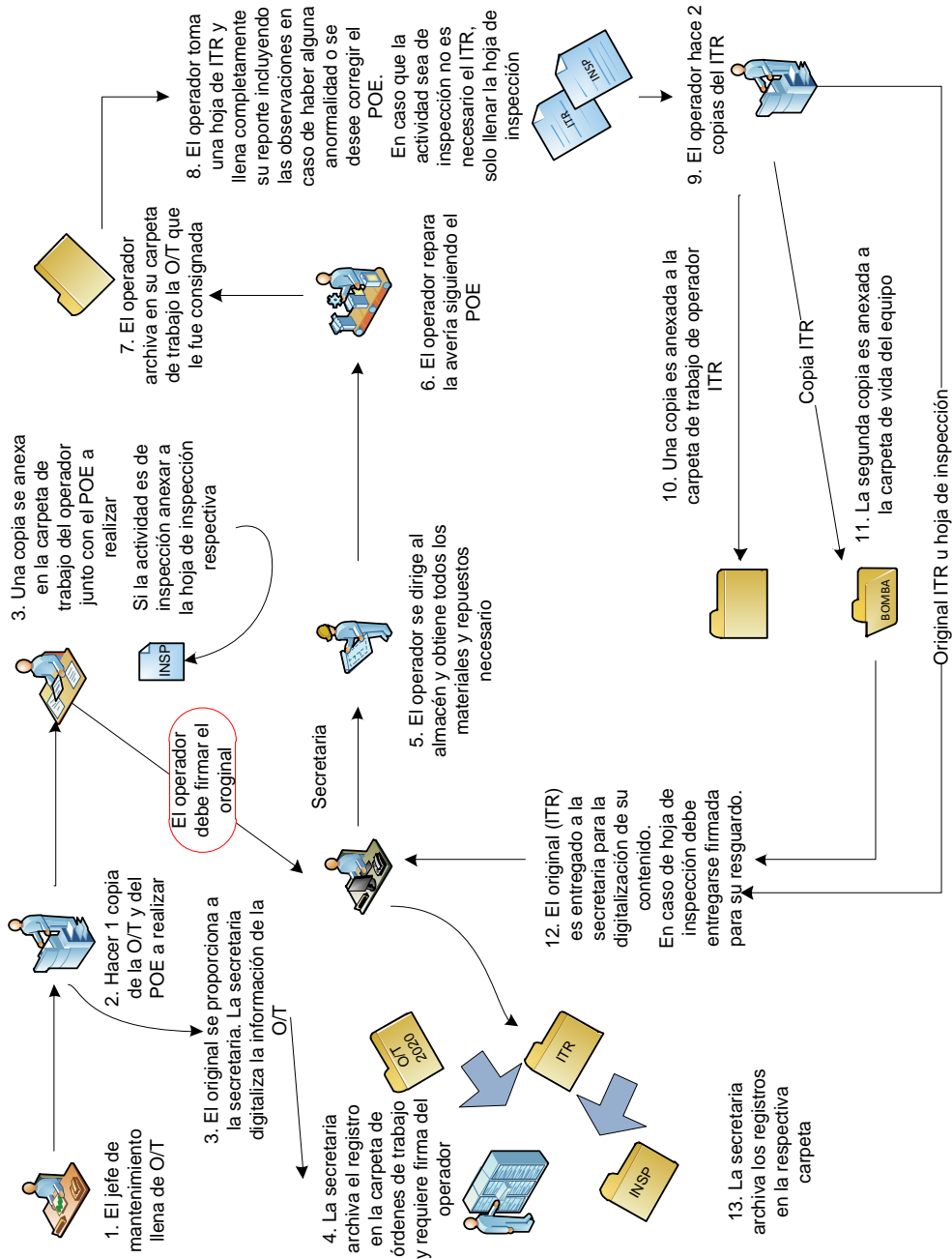
actividad sea de inspección debe entregarse la “Hoja de Inspección” debidamente firmada.

- El documento original una vez digitalizado es archivado en la carpeta Informes de Trabajos Realizados (ITR).

Las hojas de ITR e inspección deber conta con el número de orden de trabajo (OT) para llevar un control adecuado dentro de los archivos almacenados.

En la figura 11 se aprecia de manera esquemática el flujo de materiales e información de actividades programadas.

Figura 11. Flujo de actividades programadas



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2019.

3.4.2. Flujo de materiales e información de actividades no programadas

- El jefe de mantenimiento recibe la notificación de una falla eventual.
- El jefe de mantenimiento evalúa si la falla se puede solventar por medio de los técnicos de la institución o bien es necesario llamar a una contratista. Seguidamente procede a llenar la orden de trabajo (O/T) con todas las especificaciones que esta requiere, incluyendo marcar el campo de emergencia o bien URGENCIA.
- Hacer una copia de la O/T y el POE a realizar.
- La copia se destinará a la carpeta de trabajo del operador a quien se le asigna la labor junto con una copia del POE a realizar en caso de necesitar la presencia de una contratista se le entregará una copia de la misma. El original se le proporcionará a la secretaria la cual debe digitalizar la información.
- La secretaria archiva el registro en la carpeta llamada “Órdenes de trabajo” que debe estar ordenada numéricamente.
- En caso de que el trabajo lo realice un operador de la institución, éste toma su carpeta de trabajo con la O/T (copia) y anexo el POE respectivo (copia), con esto se dirige al almacén con el fin de solicitar el repuesto, cuya existencia NO está garantizada ya que en este caso la falla se presentó de manera sorpresiva y no estaba planificado el mantenimiento de este. De ser una contratista quien se disponga a realizarlo se le dirige inmediatamente al centro de la avería.

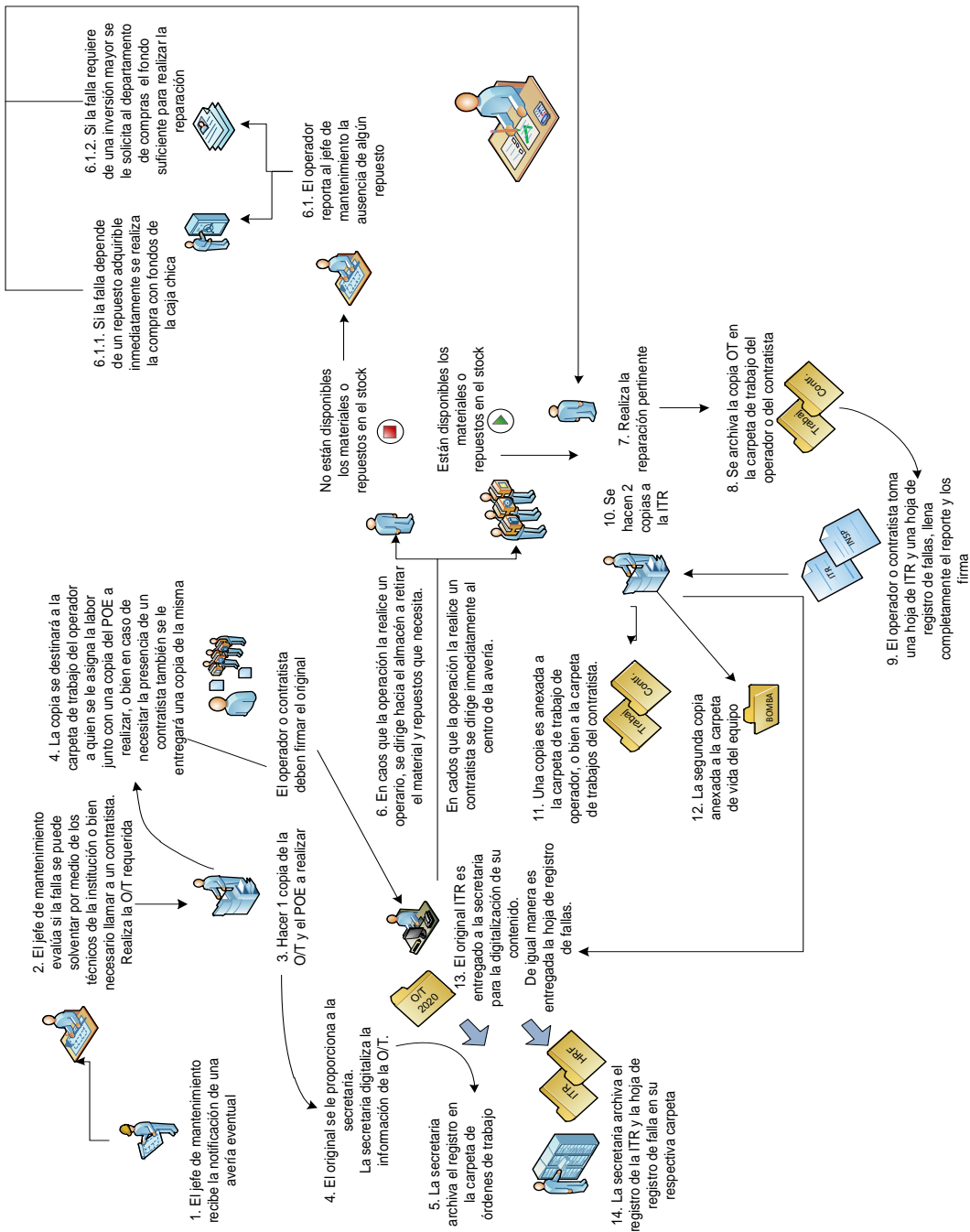
- En caso de no encontrarse el repuesto el jefe de mantenimiento debe solicitar la adquisición de manera inmediata por medio de la caja chica.
- En caso de que la falla sea mayor y de necesitar otros equipos y/u otro personal, el departamento de mantenimiento debe solicitar al departamento de compras la aprobación del presupuesto requerido para solventar la avería.
- Se realiza el trabajo de mantenimiento.
- Se archiva la copia de O/T en el caso de los operadores en su carpeta de trabajo, en caso de la contratista en la carpeta destinada para sus trabajos dentro de la institución.
- Se toma una hoja ITR y una Hoja de Registro de Fallas llenando completamente todos sus campos.
- El ITR es devuelto al jefe de mantenimiento y éste se encargará de hacerle dos copias.
- La primera copia la anexará el operador a su carpeta de trabajo, en el caso de ser una contratista pues la anexa en su carpeta de sus trabajos realizados dentro de la institución.
- La segunda copia la archivará a la carpeta de mantenimiento del equipo.

- El original del ITR deberá entregárselo a la secretaria del departamento para que la información detallada sea digitalizada. De igual manera será entregada la Hoja de registro de fallas.
- Por último, el original ITR y “Hoja de registro de fallas” es archivado en su carpeta respectiva.

La ITR y la hoja de registro de fallas deben contener un número correlativo de las órdenes de trabajo. La inspección de los equipos de trabajo se realiza semanalmente para evitar imprevistos.

En la Figura 12 se aprecia de manera esquemática el flujo de materiales e información de actividades no programadas antes descritas.

Figura 12. Flujo de información y materiales para actividades no programadas



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2019.

3.5. Indicadores de gestión

En virtud de registrar, mejorar y entender el comportamiento de la gestión de mantenimiento se desarrollan unos indicadores, que no son más que el reflejo matemático del desarrollo del plan de mantenimiento. Por medio de estos indicadores es posible detectar donde están las mayores fallas y aciertos del trabajo realizado, todo esto con el fin de acercarnos cada vez más a las frecuencias ideales para la ejecución de las actividades, realizar las solicitudes de materiales y herramientas de manera oportuna, contar sólo con la mano de obra necesaria, disminuir las paradas por fallas y en general todos los aspectos referentes a la planificación.

3.5.1. Cumplimiento del mantenimiento preventivo

A través de la aplicación de este indicador se aprecia el comportamiento del plan de mantenimiento con respecto a su cumplimiento. Inicialmente es permisible un 80% de las tareas a realizar, un valor inferior a éste sugiere realizar modificaciones en cuanto a la programación de actividades ya que su cumplimiento está siendo deficiente.

$$\text{CMP} = \frac{\text{Tareas de MP completadas}}{\text{Tareas MP programadas}}$$

3.5.2. Fallas no detectadas con mantenimiento preventivo

El valor resultado de este indicador no debe ser mayor al 10 %, según datos obtenidos de la bitácora del Design Center, ya que de ser así infiere deficiencias dentro de la buena planificación de las actividades de mantenimiento las cuales tendrán que ser revisadas y replanificadas.

$$\text{FND MP} = \frac{\text{O/T decretadas emergencias}}{\text{Total O/T generadas}}$$

3.5.3. Repetición de fallas

La repetición de fallas debe ser nula, no existe la posibilidad que las actividades deban ser ejecutadas más de una vez, por lo cual el único valor permitido para este indicador es cero (0). Por tal razón es de suma importancia contar con un mantenimiento preventivo adecuado para evitar este tipo de fallas que son el tiempo repercuten en fallas graves y por consiguiente trabajos mayores o cambio del equipo.

$$\text{RF} = \frac{\text{Número de fallas repetitivas}}{\text{Total fallas}}$$

3.5.4. Paradas causadas por trabajo deficiente o no realizado

Este indicador permite conocer cuantas paradas tuvieron lugar de manera innecesaria, ya que sus actividades de mantenimiento preventivo correspondientes se encontraban programadas, pero no fueron ejecutadas dentro de las fechas previstas lo que originó una avería que pudo ser evitada. El máximo valor permitido de manera inicial es del 10%, debido a que cuando se cumplen las tareas programadas se evita tener que realizar trabajos de mayor importancia.

$$\text{PPM} = \frac{\text{Número de paradas que pudieron ser evitadas}}{\text{Paradas totales}}$$

3.5.5. Tareas retrasadas de mantenimiento preventivo

Por medio de la aplicación de este indicador se obtiene una visualización de la efectividad del seguimiento del plan, ya que presenta de manera numérica la cantidad de tareas que no han sido completadas dentro de las fechas previstas y que podrían ocasionar averías eventuales comprometiendo la calidad de servicio de la institución. Para este caso se toma como valor máximo permisible es de 30%, que es un porcentual aceptable y con el cual el equipo puede trabajar de una forma adecuada.

$$\text{TRMP} = \frac{\text{Número de tareas retrasadas de MP}}{\text{Total tareas de MP}}$$

3.5.6. Mantenimiento preventivo realizados por operadores de la institución

Éste último indicador, permite conocer hasta qué punto la gestión está siendo ejecutada por parte de los operadores pertenecientes a la institución y en qué grado es necesaria la incorporación de contratistas que solventen las necesidades que se presentan de manera eventual.

$$\text{MPRO} = \frac{\text{H de MP realizado por operadores}}{\text{Total H MP}}$$

Para obtener resultados confiables a partir de los indicadores antes descritos es imprescindible que todos los formatos sean llenados en su totalidad, y que la secretaria, como encargada de digitalizar la información de tales formatos, y el jefe de mantenimiento tengan también la responsabilidad de aplicar estos indicadores por lo menos una vez al mes, a fin que desde el comienzo de su implantación se tenga idea del desarrollo del programa, sin

embargo hay que tener en cuenta que para realmente tomar los resultados de estos indicadores como reales es necesario que el plan tenga por lo menos un año de ejecución, como se ha establecido dentro de las políticas de mantenimiento del Design Center.

3.6. Cálculo de costos para el plan de mantenimiento propuesto

Con la intención que el programa de mantenimiento sea un proyecto factible para el Design Center en Tablas de XXXV a XXXVII se detalla el presupuesto que debe invertir la institución con el fin de cubrir el programa, presentando los materiales, repuestos, herramientas, equipos, mano de obra y necesarias para llevar a cabo todas las actividades que se describen en el procedimiento para cada sistema.

Tabla XXXV. Costos estimados de materiales y repuestos

MATERIALES Y REPUESTOS	ESPECIFICACIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	Precio Unitario Q	Precio Total Q
Aceite	CVAC	gal	132	Q220,05	Q29 046,60
Anticorrosivo	-	gal	2	Q1 222,50	Q2 445,00
Conjunto de émbolo y flotador	-	Unidad	7	Q3 912,00	Q27 384,00
Cordón de grafito	Bombas	MI	3	Q122,25	Q366,75
Desincrustante	-	L	300	Q366,75	Q110 025,00
Empaques	-	Unidad	15	Q273,84	Q4 107,60
Filtro cedazo	-	Unidad	10	Q1 858,20	Q18 582,00
Grasa	EP2 Venolit	Cuñete	1	Q1 222,50	Q1 222,50
Grasa	Premalube red	Cuñete	1	Q2 347,20	Q2 347,20
Lija	Gruesa (180 granos)	Unidad	7	Q58,68	Q410,76
Lija	Fina (120 granos)	Unidad	7	Q48,90	Q342,30
O ring	-	Unidad	10	Q244,50	Q2 445,00
Paño	Suave	Unidad	100	Q48,90	Q4 890,00

Continuación de la Tabla XXXV.

Pintura marina	-	gal	4	Q2 053,80	Q8 215,20
Sellos mecánicos	1 3/4 "	Unidad	4	Q2 347,20	Q9 388,80
Sellos mecánicos	5/8"	Unidad	3	Q831,30	Q2 493,90
Sellos mecánicos	3/4"	Unidad	3	Q782,40	Q2 347,20
Sellos mecánicos	1 1/8"	Unidad	5	Q1 589,25	Q7 946,25
Solución de salmuera	-	L	600	Q73,35	Q44 010,00
Trapo	-	Saco	1	Q1 711,50	Q1 711,50
TOTAL				Q21 335,07	Q279 727,56

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla XXXVI. **Costos estimados de herramientas y equipos**

HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	ESPECIFICACIÓN	MARCA	UNIDAD	CANTIDAD	Precio Unitarios Q	Precio Total Q
Andamio	-	-	Cuerpos	2	Q2 445,00	Q4 890,00
Brocha	Gruesa	-	Unidad	3	Q15,00	Q45,00
Brocha	Media	-	Unidad	3	Q10,00	Q30,00
Brocha	Delgada	-	Unidad	3	Q8,00	Q24,00
Cepillo de acero	Pequeño	-	Unidad	2	Q35,00	Q70,00
Cepillo de escoba	-	-	Unidad	5	Q22,00	Q110,00
Compresor de aire	-	Atlas	Unidad	1	Q5 900,00	Q5 900,00
Espejo	E= 4 mm	-	Unidad	4	Q45,00	Q180,00
Grasera	-	-	Unidad	1	Q225,00	Q225,00
Hidro Jet	-	-	Unidad	1	Q3 950,00	Q3 950,00
Juego de destornilladores	-	Stanley	Unidad	2	Q425,00	Q850,00
Juego de llaves combinadas	-	Ridgid	Unidad	1	Q1 300,00	Q1 300,00
Juego de raches y dados	-	Ridgid	Unidad	1	Q1 800,00	Q1 800,00
Kit para dureza	-	-	Unidad	1	Q439,00	Q439,00
Linterna	Grande	-	Unidad	2	Q200,00	Q400,00
Linterna	Pequeña	-	Unidad	4	Q75,00	Q300,00

Continuación de la Tabla XXXVI.

Máquina de Baqueteo	Tamaño <i>standard</i>	Ridgid	Unidad	1	Q5 000,00	Q5 000,00
Peine de serpentín	-	-	Unidad	2	Q80,00	Q160,00
Rodillo	-	-	Unidad	2	Q115,00	Q230,00
Multímetro	-	Fluke	Unidad	2	Q600,00	Q1 200,00
				Total	Q22 689,00	Q27 103,00

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Tabla XXXVII. **Costos estimados de mano de obra**

	Salario operadores	Cantidad	Año	Total salario y prestaciones
Operadores generales	1 722,53	9	17,5	Q271 298,48
mecánicos	3 203,40	2	17,5	Q112 119,00
Electricista	3 203,40	1	17,5	Q56 059,50
Total				Q439 476,98

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. **Costo estimado total anual de mantenimiento**

Descripción de costos	Q	Totales Q
Costo materiales y repuestos	Q279 727,56	
Costo herramientas y equipo	Q27 103,00	
Costo mano de obra	Q439 476,98	
Costo Directo		Q746 307,54
Administración y gastos generales (10 %)	Q74 630,75	
Total general		Q820 938,29

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Cómo se puede apreciar en la Tabla XXXVIII, la inversión que debe realizar la institución es de aproximadamente Q. 820 938,29, lo que representa un costo mensual de Q. 68 411,52 para la institución a aplicar el plan de mantenimiento preventivo.

4. RESULTADOS DEL MANTENIMIENTO

4.1. Capacitación al personal de mantenimiento

En este caso, los mecánicos, deben ser capacitados por el ingeniero de mantenimiento del Design Center, quien impartirá 12 capacitaciones a sus mecánicos en horario de 8:00 a 12:00 horas para describir el funcionamiento, partes principales de los equipos, como realizar la rutina de mantenimiento preventivo y correctivo del equipo de enfriamiento, sistema de ductos rígidos de aire acondicionado y materiales aislantes, la instalación de cada uno de los sistemas para garantizar el buen funcionamiento del equipo de enfriamiento.

El personal a cargo del mantenimiento preventivo serán los mecánicos designados por el ingeniero de mantenimiento, el dará los lineamientos y el formato de mantenimiento preventivo propuesto para que el personal previamente capacitado realicen las rutinas de mantenimiento preventivo a cada uno de los sistemas que conforma el sistema de aire acondicionado que operará dentro de las instalaciones del área y así prolongar la vida útil del sistema de enfriamiento y mejorar la calidad del servicio que se presta a los inquilinos del Design Center.

4.2. Guía de operación

Para la elaboración de la guía de operación y del plan de mantenimiento, se detallan las guías y planes básicos de los equipos, ya que de acuerdo con la marca difieren en ciertos aspectos; así como su operación y mantenimiento. Para asegurar la operación apropiada y la máxima capacidad del sistema,

además de evitar daño a los componentes instalados en el sistema, se debe establecer e implementar un programa de inspecciones periódicas.

4.2.1. Guía de operación

La guía de operación no consta más que de una serie de pasos que sirven para colocar en marcha el equipo y aspectos que no se deben pasar por alto antes de un funcionamiento que pueden provocar serios daños al equipo. Entre los pasos están los siguientes:

- Verificar que las líneas de conexión eléctrica hacia el *chiller* no se encuentren dañadas y que los fusibles e interruptores estén bien, usted tiene que cumplir con las normas de seguridad.
- Verificar que el interruptor de flujo está instalado y trabajando adecuadamente.
- Revisar que el cedazo está instalado y localizado apropiadamente: estar seguro de que posee una válvula de limpieza para limpiarlo sin parar el sistema.
- Verificar los elementos de seguridad: la unidad debe poseer interruptores de alta y baja presión y estos se conectan al panel de control.
- Verificar que no haya fugas de agua en el sistema, válvulas, accesorios y tuberías antes de arrancar el equipo.


- Limpiar las líneas de tubería y asegurarse que están libres de basura y cualquier elemento extraño al sistema que pueda dañar los componentes tales como: bombas, intercambiadores de calor, válvulas, entre otros.
- Hacer circular agua por gravedad hasta donde permita el sistema y que se pueda eliminar aire que se encuentre en el sistema.
- Arrancar la bomba de agua y drenar todo el aire restante del sistema. La bomba parará si el interruptor de flujo abre; reiniciar el sistema y repetir la operación tantas veces como sea necesario hasta estabilizarlo.
- Estar seguro de que el agua circula constante y libremente antes de arrancar el sistema de refrigeración; de no ser así, se puede producir hielo en el intercambiador de calor.
- Limpiar los cedazos tantas veces como sea necesario, hasta asegurarse que el sistema está libre de basura y el agua está limpia.
- Verificar que el aceite del cárter se encuentre caliente para que este logre realizar una buena lubricación en las piezas móviles del compresor antes de su puesta en marcha.
- Arrancar el *chiller* y verificar la configuración del microprocesador que controla la unidad.
- Verificar todos los parámetros y el rendimiento de la unidad.
- Copiar todos los parámetros de arranque y operación en la lista de servicio.

- Todos los sistemas de tubería en donde se utiliza agua para acondicionar aire deben tener al menos 10 por ciento de etilenglicol aun en climas con temperaturas superiores a las de congelamiento.


4.2.2. Plan de mantenimiento

Para asegurar una operación apropiada y máxima capacidad de rendimiento del equipo y evitar daño a los componentes instalados, se debe implementar un programa de inspecciones que van desde visitas periódicas hasta llegar a un mantenimiento correctivo. Se enuncia a continuación el plan de mantenimiento.


Tabla XXXIX. **Plan de mantenimiento preventivo**

		PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	
Elaborado por:		Revisado por:	Aprobado por:
CONTENIDO			
			Página
1.	OBJETO		117
2.	ALCANCE		117
3.	DEFINICIONES		117
4.	MARCO NORMATIVO		118
5.	GENERALIDADES		118
6.	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES		119


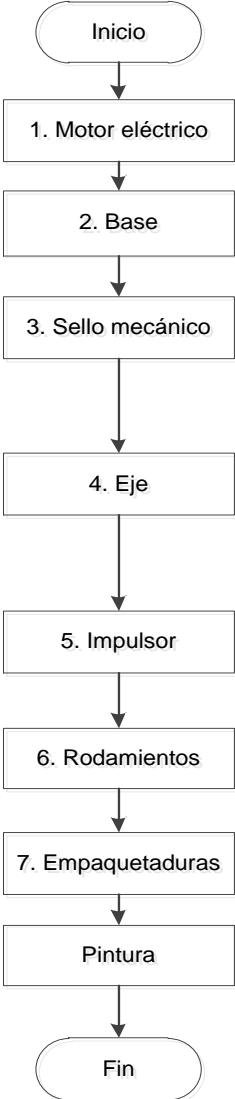
Continuación de la Tabla XXXIX.

	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	
Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
<p>1. Objetivo</p> <p>Encontrar y corregir los problemas menores antes de que estos provoquen fallas. El mantenimiento preventivo puede ser definido como una lista completa de actividades, todas ellas realizadas por; usuarios, operadores, y mantenimiento. Para asegurar el correcto funcionamiento sistema de climatización del Design Center.</p> <p>2. Alcance</p> <p>Este procedimiento inicia a partir de la necesidad de prevenir los fallos que pueden presentarse en los diferentes equipos y así diseñar y proponer un plan de mantenimiento preventivo que es validado y aprobado por el coordinador o ingeniero encargado y termina con su ejecución y seguimiento.</p> <p>3. Definiciones</p> <p>MANTENIMIENTO: Conjunto de actividades que deben realizarse a instalaciones y equipos, con el fin de prevenir o corregir fallas, buscando que estos continúen prestando el servicio para el cual fueron diseñados.</p> <p>FALLO: Interrupción parcial o total del funcionamiento de una maquina o sistema.</p>		


Continuación de la Tabla XXXIX.

	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	
Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
<p>VERIFICAR: Probar la veracidad o exactitud de una cosa.</p> <p>CAMBIAR: Modificar o reemplazar una cosa por otra.</p> <p>PLAN DE MANTENIMIENTO: Conjunto de tareas de mantenimiento programadas siguiendo algún tipo de criterio</p> <p>4. Marco normativo</p> <p>ISO 9001 Sistemas de gestión de calidad según ISO 9000</p> <p>5. Generalidades</p> <p>El plan de mantenimiento preventivo realizado para el Design Center que está dirigido hacia los equipos del sistema de climatización, debe llevar el adecuado seguimiento y cumplimiento de las fechas y parámetros establecidos por el plan de mantenimiento.</p>		


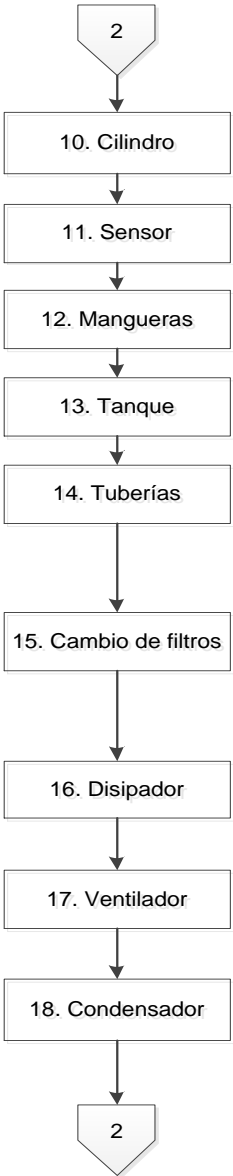
Continuación de la Tabla XXXIX.

	PROCEDIMIENTO PLAN DE	Código:
	MANTENIMIENTO	Equipo: Bomba centrífuga
	PREVENTIVO	Páginas: 1/1
6. Descripción de actividades		
Responsable	Diagrama de flujo	Descripción
Técnico de mantenimiento		<ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar el nivel de vibraciones y amperaje, también verificar estado de conexiones eléctricas, mensualmente. 2. Verificar estado de pernos, de ser necesario reajustar si están sueltos o cambiar si presentan corrosión. 3. Verificar estado y función del sello de presentarse fugas o cualquier otra alteración en el proceso cambiar el sello. 4. Verificar medidas establecidas para el eje, ajustes y tolerancias requeridas para el buen funcionamiento de lo contrario rectificar el eje, anualmente.. Verificar estado de pernos, de ser necesario reajustar si están sueltos o cambiar si presentan corrosión. 5. Verificar estado de impulsor que esté libre de polvo, mugre u otras impurezas, de lo contrario limpiar con agua a chorro y cepillo, anualmente. 6. Lubricar y verificar estado de rodamientos, que no estén atascados ni presenten agrietamientos. En caso de presentar desgaste cambiarlos. 7. Verificar estado de empaquetadura, en caso de presentar alto desgaste cambiarlas, anualmente. 8. Verificar estado superficial de la máquina, de presentar desgaste limpiar y aplicar pintura general, anualmente.
Técnico de mantenimiento		
Técnico de mantenimiento		
Técnico de mantenimiento		
Técnico de mantenimiento		
Técnico de mantenimiento		
Técnico de mantenimiento		
Técnico de mantenimiento		
Técnico de mantenimiento		


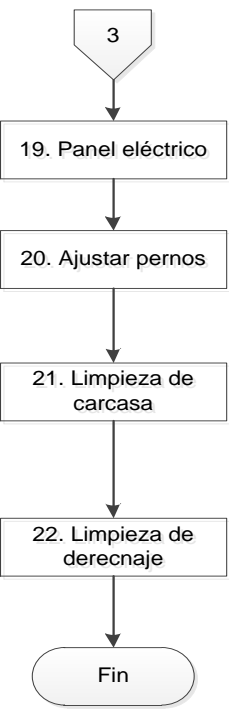
Continuación de la Tabla XXXIX.

	PROCEDIMIENTO PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		Código:
			Equipo: UMA
			Páginas: 1/3
Descripción de actividades			
Responsable	Diagrama de flujo	Descripción	
Técnico de mantenimiento	Inicio	1. Desconectar el sistema eléctrico, evaluar el estado de la correa, cambiar si es necesario, alinear y ajustar la tensión de la correa, Semestralmente.	
Técnico de mantenimiento	1. Correa	2. Desconectar el sistema eléctrico, Verificar condiciones de ajuste y estado de poleas, anualmente.	
Técnico de mantenimiento	2. Polea	3. Verificar el nivel de vibraciones y amperaje, también verificar estado de conexiones eléctricas, mensualmente.	
Técnico de mantenimiento	3. Motor eléctrico	4. Verificar medidas establecidas para el eje, ajustes y tolerancias requeridas para el buen funcionamiento de lo contrario rectificar el eje, anualmente.	
Técnico de mantenimiento	4. Eje	5. Lubricar y verificar estado de rodamientos, que no estén atascados ni presenten agrietamientos. En caso de presentar desgaste cambiarlos, anualmente.	
Técnico de mantenimiento	5. Rodamientos	6. Verificación y calibración de cada uno de los componentes (manija, eje, cuerpos, asientos, etc.), verificación de sellos, fugas y caídas de presión, semestralmente.	
Técnico de mantenimiento	6: Válvula de expansión	7. Verificar fugas de aire y estado de espirales que no presenten rotura, semestralmente.	
Técnico de mantenimiento	7. Espiral	8. verificar roturas en las resistencias y sobrepresiones, semestralmente.	
Técnico de mantenimiento	8. Calsntador	9. Verificar estado de switch y botones para que se activen ante cualquier eventualidad o emergencia, semestralmente.	
Técnico de mantenimiento	9. Switch		
	1		


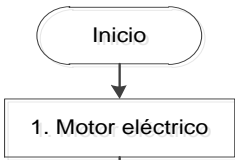

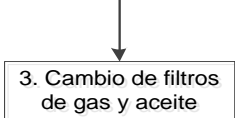



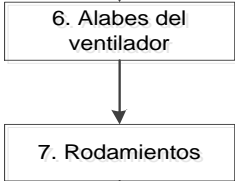
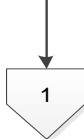
Continuación de la Tabla XXXIX.

		PROCEDIMIENTO PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		Código: Equipo: UMA Páginas: 2/3	
Descripción de actividades					
Responsable	Diagrama de flujo	Descripción			
Técnico de mantenimiento	 <pre> graph TD Start{{2}} --> 10[10. Cilindro] 10 --> 11[11. Sensor] 11 --> 12[12. Mangueras] 12 --> 13[13. Tanque] 13 --> 14[14. Tuberías] 14 --> 15[15. Cambio de filtros] 15 --> 16[16. Disipador] 16 --> 17[17. Ventilador] 17 --> 18[18. Condensador] 18 --> End{{2}} </pre>	<p>10. Verificar que no tenga rotura o desgaste que pueda producir fugas, anualmente.</p>			
Técnico de mantenimiento		<p>11. Verificar que no tenga algún daño físico que no permita registrar los cambios de nivel, semestralmente.</p>			
Técnico de mantenimiento		<p>12. Verificar rotura o desgaste que pueda producir fugas, semestralmente.</p>			
Técnico de mantenimiento		<p>13. Verificar que no tenga rotura o desgaste que pueda producir fugas del fluido, anualmente.</p>			
Técnico de mantenimiento		<p>14. Verificar que no tenga rotura o desgaste que pueda producir fugas del fluido, semestralmente.</p>			
Técnico de mantenimiento		<p>15. Se procede a apagar la maquina, se retiran los filtros que presenten desgaste o estén en mal estado con ayuda de unas tijeras y usando los elementos de protección personal (guantes, tapabocas, gafas) y se procede a instalar los filtros nuevos, trimestralmente.</p>			
Técnico de mantenimiento		<p>16. Verificar que no tenga rotura, o corrosión que produzca un aumento de temperatura, semestralmente..</p>			
Técnico de mantenimiento		<p>17. Verificar estado de rodamientos. En caso de presentar desgaste cambiarlos, verificar el nivel de vibraciones, amperaje y posible corto circuito en el motor, mensualmente.</p>			
Técnico de mantenimiento		<p>18. Verificar circuitos eléctricos que causen la posible quema del condensador, anualmente.</p>			



Continuación de la Tabla XXXIX.

	PROCEDIMIENTO PLAN DE	Código:
	MANTENIMIENTO	Equipo: UMA
	PREVENTIVO	Páginas: 3/3
Descripción de actividades		
Responsable	Diagrama de flujo	Descripción
Técnico de mantenimiento		<p>19. Revisar que los componentes que lo conforma no presenten deterioro, ni presente ningún daño eléctrico, semestralmente.</p> <p>20. Se procede a apagar la máquina y con ayuda de una llave se ajustan y aprietan los pernos que estén sueltos o flojos, anualmente.</p> <p>21. Se procede a apagar la maquina y desconectar las conexiones eléctricas, para así proceder a limpiar la carcasa con ayuda de agua, jabón y esponja o cepillo, utilizando los elementos de protección personal, anualmente.</p> <p>22. Se procede a apagar la máquina de desconectarla eléctricamente, para así proceder a desconectar el drenaje lavar la bandeja de condensado y soplar la tubería para eliminar cualquier elemento que pueda obstruirlo.</p>
Técnico de mantenimiento		
Técnico de mantenimiento		
Técnico de mantenimiento		


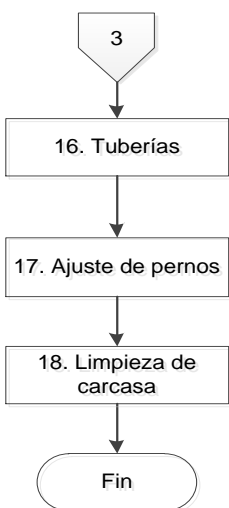
Continuación de la Tabla XXXIX.

		PROCEDIMIENTO PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	Código:	
			Equipo: Chiller	
			Páginas: 1/3	
Descripción de actividades				
Responsable	Diagrama de flujo	Descripción		
Técnico de mantenimiento		1. Verificar el nivel de vibraciones y amperaje, también verificar estado de conexiones eléctricas, mensualmente.		
Técnico de mantenimiento		2. Verificación y calibración de cada uno de los componentes (manija, eje, cuerpos, asientos, etc.), verificación de sellos, fugas y caídas de presión, semestralmente.		
Técnico de mantenimiento		3. Se procede a apagar la maquina, se retiran los filtros que presenten desgaste o estén en mal estado con ayuda de unas tijeras y usando los elementos de protección personal (guantes, tapabocas, gafas) y se procede a instalar los filtros nuevos, trimestralmente.		
Técnico de mantenimiento		4. Verificar vibraciones, estado físico y funcionamiento del silenciador, en caso de que este fallando o generando ruido excesivo cambiarlo, esta revisión se hace semestralmente.		
Técnico de mantenimiento		5. Verificar estado físico de la caja, que no presente rotura, desgaste o corrosión ya que esta contiene las conexiones eléctricas y podría causar un fallo a la maquina, esto debe hacerse semestralmente.		
Técnico de mantenimiento		6. Verificar desgaste o corrosión que cause que el ventilador se suelte y no permite generar la corriente de aire, esto debe realizarse semestralmente.		
Técnico de mantenimiento		7. Lubricar y verificar estado de rodamientos, que no estén atascados ni presenten agrietamientos. En caso de presentar desgaste cambiarlos, anualmente.		
				


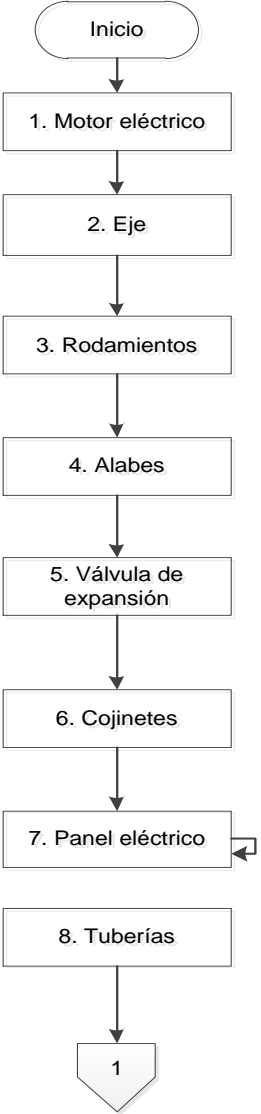
Continuación de la Tabla XXXIX.

	PROCEDIMIENTO PLAN DE	Código:
	MANTENIMIENTO	Equipo: Chiller
	PREVENTIVO	Páginas: 2/3
Descripción de actividades		
Responsable	Diagrama de flujo	Descripción
Técnico de mantenimiento		<p>8. Verificar estado físico, desgaste o rotura de los cojinetes que no permita la correcta alineación y produzca la reducción de velocidad, esto se debe hacer anualmente.</p> <p>9. Verificar rotura o desgaste del collarín que no permita fijar las tuberías del serpentín, esto debe hacerse semestralmente.</p> <p>10. Verificar posibles daños físicos de la bomba que haga que no cargue el evaporador y por ende no bombee, esto debe hacerse semestralmente.</p> <p>11. Verificar daños físicos del separador que produzcan contaminación del gas con aceite y por lo tanto no separe el aceite, esto debe hacerse semestralmente.</p> <p>12. Verificar deterioro físico de la mirilla que cause que no registre ni indique la humedad que se presente en el proceso y por ende no se lleve el registro que se necesite, esto debe realizarse semestralmente.</p> <p>13. Verificar corrosión o rotura que cause fugas en el evaporador y perdidas de presión, esto debe hacerse semestralmente.</p> <p>14. Verificar que no tenga rotura o desgaste que pueda producir fugas del fluido, anualmente.</p> <p>15. Revisar que los componentes que lo conforma no presenten deterioro, ni presente ningún daño eléctrico, semestralmente.</p>


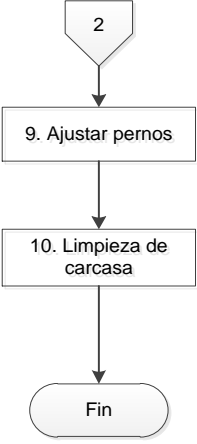
Continuación de la Tabla XXXIX.

	PROCEDIMIENTO PLAN DE	Código:
	MANTENIMIENTO	Equipo: Chiller
	PREVENTIVO	Páginas: 3/3
Descripción de actividades		
Responsable	Diagrama de flujo	Descripción
Técnico de mantenimiento		<p>16. Verificar que no tenga rotura o desgaste que pueda producir fugas del fluido, semestralmente.</p> <p>17. Se procede a apagar la maquina y con ayuda de una llave se ajustan y aprietan los pernos que estén sueltos o flojos, anualmente.</p> <p>18. Se procede a apagar la maquina y desconectar las conexiones eléctricas, para asi proceder a limpiar la carcasa con ayuda de agua, jabón y esponja o cepillo, utilizando los elementos de protección personal, anualmente.</p>
Técnico de mantenimiento		
Técnico de mantenimiento		

Continuación de la Tabla XXXIX.

	PROCEDIMIENTO PLAN DE	Código:
	MANTENIMIENTO	Equipo: Ventilador
	PREVENTIVO	Páginas: 1/2
Descripción de actividades		
Responsable	Diagrama de flujo	Descripción
Técnico de mantenimiento		<p>1. Verificar el nivel de vibraciones y amperaje, también verificar estado de conexiones eléctricas, mensualmente.</p> <p>2. Verificar medidas establecidas para el eje, ajustes y tolerancias requeridas para el buen funcionamiento de lo contrario rectificar el eje, anualmente.</p> <p>3. Lubricar y verificar estado de rodamientos, que no estén atascados ni presenten agrietamientos. En caso de presentar desgaste cambiarlos, anualmente.</p> <p>4. Verificar desgaste o corrosión que cause que el ventilador se suelte y no permita generar la corriente de aire, esto debe realizarse semestralmente.</p> <p>5. Verificación y calibración de cada uno de los componentes (manija, eje, cuerpos, asientos, etc.), verificación de sellos, fugas y caídas de presión, semestralmente.</p> <p>6. Verificar estado físico, desgaste o rotura de los cojinetes que no permita la correcta alineación y produzca la reducción de velocidad, esto se debe hacer anualmente.</p> <p>7. Revisar que los componentes que lo conforma no presenten deterioro, ni presente ningún daño eléctrico, semestralmente.</p> <p>8. Verificar que no tenga rotura o desgaste que pueda producir fugas del fluido, semestralmente.</p>

Continuación de la Tabla XXXIX.

	PROCEDIMIENTO PLAN DE	Código:
	MANTENIMIENTO	Equipo: Ventilador
	PREVENTIVO	Páginas: 2/2
Descripción de actividades		
Responsable	Diagrama de flujo	Descripción
<p>Técnico de mantenimiento</p> <p>Técnico de mantenimiento</p>	 <pre> graph TD Start{{2}} --> A[9. Ajustar pernos] A --> B[10. Limpieza de carcasa] B --> End([Fin]) </pre>	<p>9. Se procede a apagar la maquina y con ayuda de una llave se ajustan y aprietan los pernos que estén sueltos o flojos, anualmente.</p> <p>10. Se procede a apagar la maquina y desconectar las conexiones eléctricas, para así proceder a limpiar la carcasa con ayuda de agua, jabón y esponja o cepillo, utilizando los elementos de protección personal, anualmente.</p>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

4.3. Seguimiento del plan de mantenimiento

El seguimiento del plan de mantenimiento es fundamental debido a que se enfoca hacia el servicio que proporciona a las máquinas, el mantenimiento se realiza en función del servicio que presta la máquina, por lo tanto, estas deben recibir atención desde el punto de su preservación y mantener su ciclo de vida para lo que fueron diseñadas y por lo que respecta al servicio que estas ofrecen. Este seguimiento se realizará por medio de un registro que se llevará a partir de la implementación del plan de mantenimiento preventivo, utilizando los papeles establecidos para este fin.

4.3.1. Auditorías internas

Estas auditorías internas se basan en la periodicidad que se realiza al enfriador de agua, el encargado de realizar estas auditorias es el departamento de mantenimiento, que tienen la tarea de dar los servicios a toda la maquinaria y equipo, así como mantener reportes y controles sobre los programas y prevenciones de estos las cuales se pudieron observar en el punto 6 del plan de mantenimiento preventivo, en el cual existen varios tipos de tareas que se deben de realizar al *chiller*.

4.3.2. Auditorías externas

Estas auditorías externas consisten en la contratación de una empresa independiente, la cual tenga personal calificado, estas auditorias serán realizadas cada 6 meses, la cual presentara un informe detallado de los hallazgos a la administración de Design Center.

4.4. Ampliaciones en operaciones del centro comercial

Se deberá contemplar la ampliación a corto, mediano y largo plazo de las operaciones del edificio Design Center, para revisar, modificar y ejecutar nuevos programas de mantenimiento, desarrollar nuevos procedimientos que involucren dichas ampliaciones, debido a que se esperará mayor demanda.

4.4.1. Controles por demanda

Dentro de las ampliaciones a corto plazo, es el incremento en la población de visita en el comercial, con lo cual se espera atraer consumidores potenciales al centro comercial. Para tal efecto de deberá contar con un programa de mantenimiento especial a la infraestructura de dicha área, creando formatos de cobertura y ampliación en las operaciones de mantenimiento específicamente.

Se deberá crear un canal de comunicación directo con el centro de control de circuito cerrado, para dar el apoyo necesario referente a la seguridad.

El mantenimiento a infraestructura del edificio es vital, así como el apoyo incondicional del departamento de operaciones, para todos los inquilinos, pero especialmente a las anclas, quienes son los comercios que potencialmente generan mayor tráfico dentro de las instalaciones.

4.4.2. Refuerzos de personal en el área operativa

Principalmente se deberá capacitar a todo el personal del departamento de operaciones, en su área respectiva. El Gerente de Operaciones, será el responsable de coordinar los programas de capacitación, de acuerdo con las necesidades y holgura de presupuesto.

Segundo se deberá tomar en cuenta, las futuras ampliaciones a corto, mediano y largo plazo, para determinar la futura contratación por relación colaborador de mantenimiento x metro cuadrado, conserje x metro cuadrado, o guardia x metro cuadrado, que se requiera para satisfacer la demanda, y nuevamente dependerá de análisis y directrices gerenciales, basados en presupuestos y evaluaciones financieras que se tengan contempladas dentro de la misión y visión de los propietarios del comercial.

Por último, para evaluar el refuerzo adecuado al personal operativo, el Gerente de Operaciones deberá utilizar herramientas estratégicas que le permitan evaluar e incrementar la calidad, efectividad y productividad del recurso humano.

4.4.2.1. Técnicas para mejora continua laboral

La cultura de calidad se fundamenta, en gran parte, en la utilización de herramientas estadísticas, para lograr la mejora continua. El control estadístico es una técnica, mediante la cual se recopilan y analizan datos aleatorios relacionados con las variables del proceso, con el fin de tomar decisiones para mejorar la calidad y reducir defectos en los servicios; lo importante al aplicar las herramientas de calidad es que, mediante la observación repetitiva de los factores que intervienen en el proceso, es posible detectar variaciones y errores, permitiendo proponer alternativas, no sólo para solucionar problemas, sino también para obtener una mejora continua.

4.4.2.2. Herramientas estadísticas

Dentro de las herramientas estadísticas, que el Gerente de Operaciones podrá disponer, para la mejora continua en la calidad de desempeño del colaborador, están:

- Hoja de verificación o de registro: son formatos que recopilan información ordenada, y de forma simultánea al proceso, se consideran como un instrumento para el autocontrol orientado a la inspección.
- Histograma: es el diagrama de barras que analiza variaciones de un proceso, con el fin de resolver aquellas variaciones que rebasen los límites previamente establecidos; se usa para medir la frecuencia con que ocurre un determinado hecho.
- Diagrama de Pareto: señala que el 20 % de las causas incide en el 80 % de los efectos, a lo cual se le denomina el efecto 80-20. No obstante que las causas de variación de los factores en los procesos pueden ser numerosas, algunas de ellas inciden en mayor grado, por lo que hay que tener en cuenta que se requiere encontrar las pocas causas vitales que originan los servicios defectuosos.
- Diagrama de causa-efecto: se le conoce como diagrama de pescado o Ishikawa. Identifica las posibles causas de un problema; los diagramas de pescado consideran las relaciones causa y efecto que originan el problema. Se construye como una estructura parecida al esqueleto de un pescado, en el cual la cabeza es la causa en estudio; los huesos principales representan la causa más importante, y los huesos secundarios las causas menores.

- Libreta de calificaciones del cliente: es una técnica que proporciona datos sobre calidad y rendimiento en el servicio; desde el punto de vista del cliente, la información que evalúa comprende: atributos clave de la calidad en el servicio, importancia para el cliente a los atributos del servicio, facilidad de aplicación de los atributos.
- Evaluación de desempeño: orientada específicamente a la calidad del trabajo y se refiere al grado de precisión, esmero, exactitud, confiabilidad y cuidado con que se realizan los trabajos encomendados a una persona. Dentro de lo que se evalúa, esta si el trabajador realiza sus actividades con el menor número de errores, optimiza los recursos que le han sido asignado, ejecuta las actividades dentro del tiempo requerido, presenta trabajos en forma limpia y organizada, no se presentan reclamos y otros.

4.4.2.3. Técnicas para evaluar la eficiencia del trabajador

Como no es posible contar con la certeza de que la ejecución de las diferentes labores es satisfactoria, se recurre a la evaluación para disponer de un medio para controlar el desempeño eficiente.

Las variables que se ponderan regularmente son: volumen de unidades producidas (o servicio prestado), calidad de este, tiempo utilizado o consumido en prestar el servicio, sentido de responsabilidad, iniciativa, colaboración, conocimiento del trabajo, exactitud, experiencia, entre otros.

El gerente de operaciones deberá contar con la medida necesaria, para poder evaluar cualitativamente estos aspectos, debido a que las características

mencionadas no son susceptibles a medición cuantitativa, no debiendo alterar la objetividad, y motivar una baja en la ejecución futura. Dentro de algunas técnicas que podrá utilizar el gerente de operaciones, están:

- Calificación de méritos: enumerar individuos contra características o viceversa, utilizando puntuaciones preestablecidas para cada escala, las cuales deberán ser conocidas únicamente por la Gerencia de Operaciones, para evitar confusiones.
- Observación directa: consiste en observar a los trabajadores en sus distintas actividades, haciendo anotaciones de su desenvolvimiento personal en el puesto de trabajo, y en sus actitudes hacia compañeros, jefes o clientes.
- Auditoria de la eficiencia: tiene como finalidad detectar y prevenir errores de la organización, por lo que deben efectuarse en todos los niveles de la estructura organizacional.

Si una vez aplicados los métodos para la evaluación de personal, se encontrará una actividad laboral con poca eficiencia, antes de tomar medidas radicales, es necesario considerar otros factores importantes como los psicológicos y el medio ambiente de trabajo, los que en la mayoría de los casos no son tomados en cuenta al cuantificar el desempeño, debido, a su naturaleza, y se complementan con una revisión de procedimientos de selección de personal, de elementos motivacionales en la práctica y planes de capacitación, ya que es probable que el origen del problema proceda de estas fuentes.

4.4.2.4. Técnicas para evaluar la productividad del trabajador

Son procedimientos que giran alrededor del trabajador y son destinados a incrementar la productividad, en su mayoría, están compuestos por técnicas que se aplican individualmente o a todo el grupo. Son herramientas viables, para el Gerente de Operaciones, que pretende incrementar la productividad del departamento, mediante una mejora continua. Entre ellas están:

- **Capacitación:** es el método para mejorar la productividad humana, aumentando el nivel de habilidades de los empleados. Busca el cumplimiento de las demandas de crecimiento y cambio.
- **Evaluación del desempeño:** mide los resultados obtenidos por el trabajador, con base en metas y estándares planificados, mejorando la calidad y cantidad del trabajo, siempre que se retroalimente a las personas en aquellos aspectos o áreas que necesitan ser mejorados.

Dentro de las técnicas utilizadas bajo este concepto, también se pueden mencionar la rotación del trabajo, la curva de aprendizaje, el desarrollo de habilidades, la supervisión de calidad, el reconocimiento, entre otros.

CONCLUSIONES

1. Por medio del trabajo realizado se determinó que el sistema de aire acondicionado de tipo agua helada, es vital para el edificio Design Center, tomando como referencia el impacto que tienen sus paradas o funcionamiento parcial en el desarrollo de las actividades cotidianas, así como en la prestación de servicio.
2. Se desarrolló una propuesta de mantenimiento preventivo que se ajusta a las necesidades del Design Center, ya que éste le ofrece una planificación de actividades que le permite garantizar el funcionamiento de los equipos, la planificación de acciones preventivas a realizar en los equipos que componen el sistema de climatización, entre otras ventajas que son las responsables de brindar un servicio de calidad a todos sus clientes; para ello se procedió a la planificación y programación de las actividades de mantenimiento descritas.
3. Se establecieron indicadores de gestión que perseguirán de manera cuantitativa las fortalezas y debilidades del plan, así como el posible desarrollo de estadísticas que colaboren a la buena interpretación y lectura de los resultados de la implementación de planes de mantenimiento.
4. Por último, se presentaron de manera esquemática los costos estimados del plan de mantenimiento propuesto, con un total estimado anual de Q. 820 938,29 con la finalidad que estos sean comparados con los costos que posee la institución por concepto de la gestión de mantenimiento

aplicada hasta el momento. Todo esto con el fin que se incluyan los gastos de mantenimiento dentro de la planificación anual de los gastos de la institución.

RECOMENDACIONES

1. Implementar el plan de mantenimiento desarrollado en virtud de las sustanciosas ventajas que se han hecho evidentes.
2. Comprender la importancia que tiene el completar toda la información solicitada en cada uno de los formatos que integran el proceso, ya que de ellos depende el progreso futuro del programa, el enriquecimiento y la actualización de este conociendo a través de éstos de forma tangible su desempeño y evolución.
3. Capacitar a los operadores para innovar sus conocimientos y destrezas. Es importante destacar que se recomienda que al contratar personal este tenga al menos 2 años de experiencia para las actividades de revisión y control, mientras que para el resto de las actividades que son más laboriosas el empleado debe contar con un mínimo de 6 años de experiencia en el área.
4. Proveer un ambiente de trabajo en equipo y de buena comunicación entre jefes, supervisores y operadores. Colocar señalización de equipos de seguridad, así como de riesgo alrededor de la maquinaria. Vigilar la calidad en materiales y repuestos. Realizar informes mensuales sobre las debilidades y fortalezas del plan de mantenimiento. Comparar el costo del plan de mantenimiento propuesto contra los gastos provenientes del mantenimiento correctivo de años anteriores.

BIBLIOGRAFÍA

1. Air-conditioning and Refrigeration Institute. *Refrigeración y aire acondicionado*. 1ª ed. México: Prentice-Hall Internacional, 1994. 830 p.
2. ELONKA, Stephen Michael. *Equipos industriales. Guía práctica para reparación y mantenimiento*. Tomo 1. México D.F., México: McGraw-Hill, 1988. 540 p.
3. KARASSIK, Igor; CARTER, Roy. *Bombas centrífugas, selección, operación y mantenimiento*. México D.F., México: CECSA, 1980. 560 p.
4. MCQUISTON, Faye; PARKER, Jerald; SPITLER, Jeffrey. *Calefacción, ventilación y aire acondicionado, análisis y diseño*. México D.F., México: Limusa Wiley, 2007. 622 p.
5. PITA, Edward. *Acondicionamiento de aire, principios y sistemas*. 2ª ed. México D.F., México: CECSA, 1994. 566 p.
6. STOECKER, Wilbert. *Refrigeración y acondicionamiento de aire*. 1ª ed. Madrid, España: McGraw-Hill Book Company, Inc., 1965. 406 p.
7. YUNUS, Cengel; BOLES, Michael. *Termodinámica*. 6ª ed., México D.F., México: McGraw-Hill, 2009. 1008 p.