



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILÁN**

**OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS CRÍTICOS DE LOS  
SERVICIOS INDUSTRIALES**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PRESENTA:**

**MIGUEL ANGEL FLORES PEÑA**

**ASESOR:**

**M. en I. FELIPE DIAZ DEL CASTILLO RODRÍGUEZ**

**CUAUTILÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO**

**2018**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# ÍNDICE

<b>OBJETIVO.....</b>	<b>1</b>
----------------------	----------

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>2</b>
--------------------------	----------

## **CAPITULO 1. EL INGENIERO DE SERVICIOS INDUSTRIALES**

1.1 LA FUNCIÓN DEL INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA.....	4
1.2 INGENIERIA MECÁNICA ELECTRICA.....	4
1.3 PERFIL DEL INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA.....	6
1.4 SERVICIOS INDUSTRIALES.....	6
1.5 MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO.....	8
1.5.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	8
1.5.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO.....	10

## **CAPITULO 2. EQUIPO UTILIZADO**

2.1 CALDERAS.....	12
2.1.1 TIPOS DE CALDERAS .....	13
2.1.2 TANQUE DEAREADOR .....	14
2.2 OSMOSIS INVERSA .....	16
2.3 COMPRESORES DE AIRE COMPRIMIDO .....	20
2.3.1 TIPOS DE COMPRESORES .....	21
2.4 SECADORAS DE AIRE .....	26
2.5 COMPRESORES DE AMONIACO NH <sub>3</sub> (REFRIGERACIÓN) .....	29
2.6 TORRES DE ENFRIAMIENTO .....	30
2.7 CONDENSADOR EVAPORATIVO .....	34
2.8 CALENTADORES DE AGUA CALIENTE .....	39

### **CAPITULO 3.**

#### **OPERADOR DE SERVICIOS INDUSTRIALES**

3.1 VAPOR .....	48
3.2 AIRE COMPRIMIDO.....	53
3.3 REFRIGERACIÓN CON AMONIACO (NH <sub>3</sub> ) .....	61
3.4 AGUA CALIENTE .....	69

### **CAPITULO 4.**

#### **RECOMENDACIONES Y APORTACIONES**

<b>4.1 RECOMENDACIONES Y APORTACIONES .....</b>	<b>71</b>
---	-----------

<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>73</b>
--------------------------	-----------

<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>75</b>
--------------------------	-----------

## **OBJETIVO**

- Dar a conocer el rol y el desempeño de un Ingeniero Mecánico Electricista dentro de los Servicios Industriales.
- Mostrar a groso modo los conocimientos aprendidos en 5 años en la Carrera de I.M.E en la FES Cuautitlán Campo 4 aplicados en el trabajo que me han dado el soporte adquiriendo la experiencia suficiente para poder resolver cualquier situación de Ingeniería.
- Demostrar la rutina y mantenimientos de los equipos de los Servicios Industriales.
- Dar a conocer la importancia de los sistemas críticos en la Industria: vapor, gas, amoniaco, aire comprimido, etc.

# INTRODUCCIÓN

En este trabajo se muestran los diferentes mantenimientos que se realizan en los equipos críticos de los Servicios Industriales de los cuales se encuentra la operación y los mantenimientos preventivos y los correctivos de las máquinas.

Se habla de las distintas actividades que se realizan en cada uno de los diferentes mantenimientos, algunas de las principales fallas y el proceso que se sigue para solucionar los problemas para evitar los tiempos muertos largos los cuales provocan paros de planta al ser máquinas críticas generando pérdidas en la producción.

El contenido se enfoca en la parte de operación, mantenimiento y en las diferentes aplicaciones que tienen las máquinas del área de Servicios Industriales.

Dichos mantenimientos son realizados en los programas de mantenimiento preventivo que se asignan a cada máquina aprovechándose de algún paro de planta, ya que para intervenir algún sistema de estos se necesita parar producción.

También se muestra la información general de cada máquina con sus respectivas fotos.

Los **servicios industriales** están dirigidos a actividades de desarrollo, mantenimiento y operación de infraestructuras energéticas, industriales y de movilidad a través de un extenso campo en las empresas.

Están orientados a servicios de mantenimiento industrial, así como servicios de soporte a las actividades operativas en las empresas y son el corazón de las empresas ya que si falta alguno de estos servicios o falla una máquina crítica se para toda la planta.

Mencionemos algunos ejemplos de los Servicios Industriales en las empresas de cualquier giro a nivel mundial:

- Vapor: calderas de vapor, plantas de emergencia, centrales termoeléctricas, etc.
- Aire Comprimido: Compresores de aire comprimido de alta y baja presión según sea su función, recipientes sujetos a presión, secadoras de aire, etc.

- Refrigeración: Chillers, torres de enfriamiento, intercambiadores de placas, condensadores, evaporadores, refrigeración con amoníaco, cámaras frías, difusores, etc.
- Energía Eléctrica: Subestaciones de Alta, Media y Baja Tensión

Para dar mantenimiento y operación a estos equipos y servicios críticos se necesitan: Licencias (DC-3), Certificaciones, Cursos y Diplomas, aparte la experiencia para manejar estos equipos ya que al ser críticos ponen en riesgo la vida de todo el Personal de la Empresa.

# **CAPITULO 1**

## **EL INGENIERO DE SERVICIOS INDUSTRIALES**

### **1.1 LA FUNCIÓN DEL INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

Las funciones del Ingeniero Mecánico Electricista:

- Calcular, seleccionar, dimensionar y diseñar elementos de sistemas mecánicos.
- Seleccionar, implementar y controlar procesos de fabricación industrial de piezas o elementos y seleccionar los materiales adecuados.
- Organizar, administrar, planear y controlar las actividades de mantenimiento en plantas industriales.
- Evaluar, operar y mantener instalaciones, máquinas y equipos térmicos e hidráulicos.
- Calcular, seleccionar, montar, operar, controlar, evaluar y mantener las máquinas eléctricas utilizadas en instalaciones industriales.
- Planear, calcular, diseñar, construir, operar, evaluar y mantener instalaciones eléctricas de alta, media y baja tensión, de acuerdo con la reglamentación vigente.
- Seleccionar, calcular, diseñar, evaluar, operar y mantener sistemas básicos de medición y de control de procesos industriales.

### **1.2. INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

La ingeniería mecánica eléctrica es una combinación de dos ramas de la ingeniería: la ingeniería mecánica y la ingeniería eléctrica. Es reconocida por contar con los aspectos más importantes de ambas como lo son: el uso eficiente de la energía eléctrica para el desarrollo industrial o la aplicación de las bases de la ingeniería mecánica para la automatización de máquinas y la mejora de procesos en las empresas. Debido a la gran importancia de esta nueva rama, se ha creado una carrera con el mismo nombre.

Se considera como el conjunto de conocimientos, manejo y dominio de los principios físicos, mecánicos, mecánica de fluidos así como el estudio de la aplicación de la electricidad, electrónica y electromagnetismo aplicando conocimientos de ciencias físicas, matemáticas, para poder generar y transportar energía eléctrica y elaboración de motores. La Ingeniería

Mecánica Eléctrica es una rama muy extensa de la Ingeniería, ya que lleva sus bases en los principios de la física, para análisis y crear diseños de motores asociados con sistemas eléctricos a gran escala, diferencia de la Ingeniería Electrónica que se encarga de los sistemas a pequeña escala.

Esta carrera es reciente en comparación a otras ingenierías, pero ha sido muy eficaz y por ello casi todas las universidades cuentan con ella, ha evolucionado muy rápido y su demanda es amplia gracias a su gran oferta de empleo y su versatilidad en campos laborales. Su plan de estudio cuenta principalmente con materias enfocadas en el área física-matemática. Algunos ejemplos de las materias principales son: Termodinámica, Circuitos eléctricos, Transformadores, Cálculo diferencial e integral, Dinámica, Estática, Mecánica de materiales entre otras.

Algunas áreas de trabajo para un Ingeniero mecánico eléctrico pueden ser: el área automotriz, metal-mecánico, aeronáutica, robótica y manufactura. Algunos programas computacionales que ocupan los IME (Ingenieros mecánicos electricistas) son: AutoCAD, Solid Works, Matlab, Maple y Solid Edge. Estos softwares son utilizados para la creación virtual de herramientas de trabajo como: tornillos, tuercas, engranes, flechas, etc. Otros son utilizados para resolver ecuaciones matemáticas o graficar unidades.

El futuro de esta ingeniería tanto la rama como la carrera presentan grandes aspiraciones a futuro, específicamente las ingenierías que cuenten con conocimientos en electrónica y electricidad contarán con tendencias fuertes a futuro porque la tecnología sigue avanzando y la gran mayoría de los procesos en las industrias grandes son realizados por máquinas que funcionan con circuitos eléctricos y tienen sus principios en la electrónica. Con los conocimientos en mecánica se pueden reparar, mejorar y actualizar los mecanismos y extraerles la mayor cantidad de beneficios industriales. Con los conceptos eléctricos y electrónicos se pueden programar renovaciones a los sistemas utilizados para controlar la manufactura deseada.

### **1.3 PERFIL DEL INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

El ingeniero mecánico–eléctrico es un profesional con sólida formación en matemáticas y en las ciencias básicas de la mecánica y la electricidad. Su principal actividad radica en la generación, transmisión, distribución e instalación del equipo mecánico-eléctrico necesario dentro de un proceso productivo.

Las actividades del ingeniero mecánico eléctrico se desarrollan en los siguientes campos: análisis e identificación del proceso mecánico más eficiente para la producción; elaboración de planos de fábrica; administración de departamentos relacionados a su área en la industria; control de calidad de la producción; diseño de instalaciones eléctricas, residenciales, comerciales e industriales; análisis de estabilidad de un sistema de potencia, selección y comprobación de equipos y componentes eléctricos; diseño de sistema de control para equipo eléctrico y mecánico; asesoría y consultoría.

### **1.4. SERVICIOS INDUSTRIALES**

Uno de los principios que contempla la especificación BSI PAS 220 2008, emitida por British Standards Institution para establecer, implementar y mantener los programas pre requisitos de soporte a los sistemas de gestión de inocuidad es el suministro de aire, agua y energía.

#### **Requisitos Generales**

La provisión de los servicios de apoyo y las rutas de distribución de los mismos, en y alrededor de las áreas de proceso o de almacenamiento debe ser diseñado de forma que prevenga el riesgo de contaminación del producto. La calidad de los suministros de servicios debe ser monitoreada para prevenir cualquier riesgo de contaminación del producto

#### **Suministro de agua**

El suministro de agua potable debe ser suficiente para las necesidades del proceso productivo. Las facilidades de almacenamiento y distribución, y cuando aplica, de control de temperatura, se deben diseñar para alcanzar los requisitos de calidad especificados para el agua. Así mismo es imprescindible que el agua potable cumpla con los requisitos de la OMS para agua de tomar.

El agua empleada como ingrediente, incluyendo la usada para hacer hielo o vapor, (incluyendo vapor culinario), o aquella en contacto con el producto o con las superficies de contacto con el producto debe ser de la calidad y requisitos microbiológicos relevantes para el producto.

Cuando se utilizan suministros de agua clorada se efectuarán chequeos del nivel adecuado de cloración que de acuerdo a lo especificado, aseguren la permanencia de cloro residual dentro de los límites establecidos.

El agua no potable deberá tener tuberías separadas y no podrá mezclarse por interconexión o reflujos con el agua potable.

### **Productos químicos para calderas**

Los productos químicos para calderas que se empleen deben ser aprobados como aditivos alimentarios o han sido aprobados por la autoridad relevante para ser usados como químicos seguros en aguas de consumo humano. Los productos químicos para calderas se almacenan bajo llave en un lugar separado y seguro.

### **Ventilación y calidad del aire**

La organización debe establecer los requerimientos para el filtrado, % humedad relativa y microbiología del aire empleado como ingrediente o que entra en contacto directo con el producto.

Cuando aplique y sea crítico, de acuerdo a la organización, debe establecerse un sistema de control y monitoreo de humedad y temperatura del aire y verificarse con una frecuencia establecida.

Debe proveerse ventilación apropiada para la remoción de excesos de vapor indeseable, polvo u olores y para facilitar el secado después de limpiezas húmedas.

Cuando existe riesgo de contaminación por aire, la calidad microbiológica del aire debe ser controlada. En los locales en los cuales se exponen a la contaminación por aire, los productos que puedan soportar el crecimiento o la sobrevivencia de microbios, se deben tener protocolos para monitoreo y control de la calidad del aire.

Los sistemas se deben construir de forma que no fluya aire de áreas sucias hacia áreas limpias. Se deben mantener diferenciales de presión definidos.

Los sistemas deben ser accesibles para su limpieza, cambios de filtros y mantenimiento. Las protecciones de las tomas de aire exterior se deberán examinar periódicamente para constatar su integridad física

### **Aire comprimido y otros gases**

Los sistemas de gases como aire comprimido, dióxido de carbono, nitrógeno u otros gases empleados en producción o empaque se deben construir y mantener para prevenir la contaminación.

Los gases empleados en contacto directo o incidental con el producto como transporte, soplado, secado de productos o equipo deben ser de una fuente aprobada y filtrados para remover polvo, aceite y agua.

Cuando se usa aceite en los compresores y existe potencial de contacto del aire con el producto, el aceite usado debe ser grado alimenticio. Deben establecerse las especificaciones de filtrado, de humedad y microbiológicas.

## **1.5. MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO**

Permite la búsqueda permanente de la mejora del desempeño de los equipos de producción, independientemente de su nivel de rendimiento promoviendo la **conservación industrial** (preservación y mantenimiento) como soporte para la **administración de la calidad total**, con enfoque al servicio que proporcionan las máquinas y los equipos en razón de la fiabilidad para la entrega del servicio al cliente , además de lograr la eficiencia en el mantenimiento preventivo a través de un sistema participativo total de los empleados.

### **1.5.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

El mantenimiento preventivo, figura 1.1, es la ejecución de un sistema de inspecciones periódicas programadas racionalmente sobre el activo fijo de la planta y sus equipos. Con el fin de detectar condiciones o estados inadecuados de esos elementos, que pueden ocasionar circunstancialmente paros en la producción o deterioro grave de las máquinas, equipos o instalaciones y realizar en forma permanente el cuidado de mantenimiento de la planta para

evitar tales condiciones, mediante la ejecución de ajustes o reparaciones, mientras las fallas potenciales están aún en estado inicial de desarrollo.

La función principal del mantenimiento correctivo es conocer el estado actual de los equipos, mediante los registros de control llevados en cada uno de ellos y en coordinación con el departamento de programación, para realizar la tarea preventiva en el momento más oportuno. Consiste en una serie de actuaciones sistemáticas en las que desmontan las máquinas y se observa para reparar o sustituir los elementos sometidos a desgaste.

El mantenimiento preventivo se puede clasificar en dos versiones, una de ellas basada en el tiempo, es decir, en la frecuencia de inspección, y la segunda basada en la condición de desgaste (o denominada condición de estado) encontrada en la última revisión.

El primero de los métodos conduce al mantenimiento preventivo sistemático, y el segundo implica el mantenimiento preventivo condicional. Con el último se logra maximizar la vida útil del elemento y se consigue reducir los costos de mantenimiento. Ambas metodologías se basan en la permanente inspección y análisis crítico de las condiciones.

Sus principales ventajas frente a otros tipos de tareas de mantenimiento son: evita averías mayores como consecuencia de pequeñas fallas. Prepara las herramientas y repuestos. Aprovecha realizar las reparaciones en el momento más oportuno tanto para producción como para mantenimiento. Distribuye el trabajo de mantenimiento optimizando la cuadrilla de reparación. Y disminuye la frecuencia de los paros, pero los aprovecha para realizar varias reparaciones diferentes al mismo tiempo



*Figura 1.1. Mantenimiento preventivo de una caldera*

### **1.5.2. MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

Mantenimiento correctivo, figura 1.2, Consiste en la pronta reparación de la falla y se le considera de corto plazo. Las personas encargadas de reportar la ocurrencia de las averías son los propios operarios de las máquinas o equipos y las reparaciones corresponden al personal de mantenimiento.

Exige para su eficacia, una buena y rápida reacción de la reparación (recursos humanos asignados, herramientas, repuestos, elementos de transporte, etc.). La reparación propiamente dicha es rápida y sencilla, así como su control y puesta en marcha.

El principal inconveniente que presenta este tipo de acción de mantenimiento consiste en que el usuario detecta la falla cuando el equipo está en servicio, en el preciso momento en que pierde su funcionalidad, ya sea al ponerlo en marcha o durante su utilización. Además, porque la mayoría de los operarios encargados de usar los equipos no son expertos en fallas. Entre algunos de los síntomas que determinan la presencia de fallas, pueden estar altos niveles de ruidos y/o anomalías que pueden generar otras averías mayores.

Existen dos tipos de tareas no planeadas de orden correctivo:

- El desvare, que consiste en aplicar una reparación inmediata al equipo para devolverlo a la condición de trabajo u operación, pero no necesariamente a sus condiciones estándar. Se aplica en urgencias donde no se debe paralizar el proceso operativo de bienes y/o servicios.
- Reparación correcta y definitiva, para la cual se tiene experiencias previas similares y se conoce la causa raíz de la falla. Esta reparación devuelve a la maquina a sus condiciones estándar de producción y mantenimiento.

Las tareas de mantenimiento correctivo son las que se realizan con intención de recuperar la funcionalidad del sistema, tras la pérdida de su capacidad para realizar la función o las prestaciones que se requieren. Una tarea de mantenimiento correctivo típica consta de las siguientes actividades:

- Detección de la falla
- Localización de la falla
- Desmontaje
- Recuperación o sustitución
- Montaje
- Pruebas
- Puesta en marcha



*Figura 1.2. Mantenimiento correctivo de un compresor de tornillo*

## CAPITULO 2

### EQUIPO UTILIZADO

A continuación, se describen de manera general los principales equipos utilizados en una empresa y se les da mantenimiento.

#### 2.1 CALDERAS

La **caldera**, figura 2.1, en la industria, es una máquina o dispositivo de ingeniería diseñado para generar vapor. Este vapor se genera a través de una transferencia de calor a presión constante, en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia su fase a vapor saturado.

Según la ITC-MIE-AP01, caldera es todo aparato de presión donde el calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en energía utilizable, a través de un medio de transporte en fase líquida o vapor.

La caldera es un caso particular en el que se eleva a altas temperaturas un set de intercambiadores de calor, en la cual se produce un cambio de fase. Además, es recipiente de presión, por lo cual es construida en parte con acero laminado a semejanza de muchos contenedores de gas.

Debido a las amplias aplicaciones que tiene el vapor, principalmente de agua, la caldera es muy utilizada en la industria, a fin de generarlo para aplicaciones como:

- Esterilización (tindarización): era común encontrar calderas en los hospitales, las cuales generaban vapor para "esterilizar" el instrumental médico; también en los comedores, con capacidad industrial, se genera vapor para esterilizar los cubiertos, así como para elaborar alimentos en marmitas (antes se creyó que esta era una técnica de esterilización).
- Para calentar otros fluidos, como por ejemplo, en la industria petrolera, donde el vapor es muy utilizado para calentar petróleos pesados y mejorar su fluidez.
- Generar electricidad a través de un ciclo Rankine. La caldera es parte fundamental de las centrales termoeléctricas.

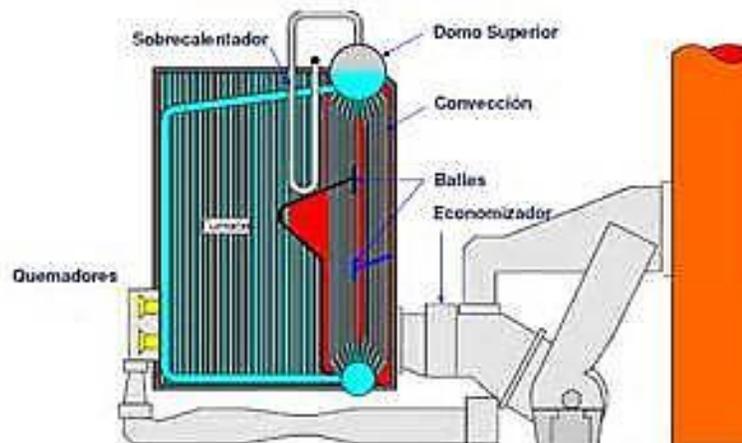
Es común la confusión entre caldera y generador de vapor, pero su diferencia es que el segundo genera vapor sobrecalentado.



*Figura 2.1. Calderas de vapor*

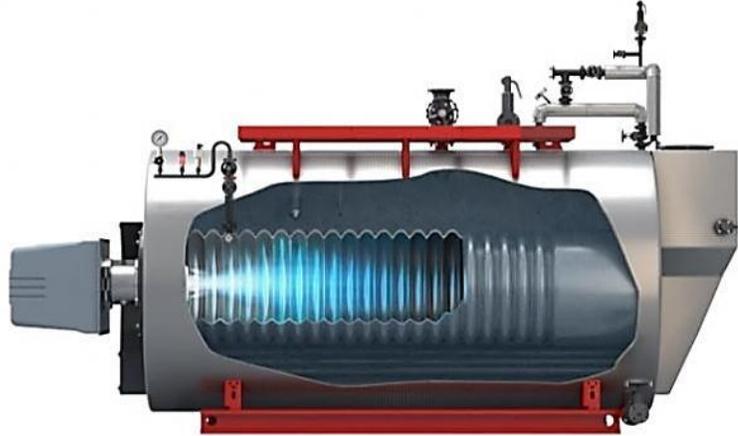
### 2.1.1 TIPOS DE CALDERAS

- **Acuotubulares**; figura 2.2, son aquellas calderas en las que el fluido de trabajo se desplaza por tubos durante su calentamiento. Son las más utilizadas en las centrales termoeléctricas, ya que permiten altas presiones a su salida y tienen gran capacidad de generación.



*Figura 2.2 Caldera acuotubular*

- **Pirotubulares;** figura 2.3, en este tipo, el fluido en estado líquido se encuentra en un recipiente atravesado por tubos, por los cuales circulan gases a alta temperatura, producto de un proceso de combustión. El agua se evapora al contacto con los tubos calientes, debido a la circulación de los gases de escape. No confundir esta definición con la de un intercambiador de calor.



*Figura 2.3 Caldera pirotubular*

Certificados que tengo en cuanto a Calderas (Vapor)

\*Constancia de certificación en operación y mantenimiento preventivo para generadores de vapor y tratamiento de aguas (CONSTANCIA DE OPERACIÓN POR CLAYTON).

\*DC-3 Licencia de Fogonero por parte de SELMEC.

\*Certificado de Suiza de Operador de Calderas por Spirax Sarco

\*DC-3 Recipientes Sujetos a Presión (NOM-020)

\*Curso de química del agua por Nalco

### **2.1.2 TANQUE DEAREADOR**

El **deareador**, figura 2.4, en una caldera se refiere al tanque desaireador de alimentación de esta. Este tanque tiene 3 funciones principales en una caldera:

1. Extraer el oxígeno disuelto: no está de más hacer un análisis del daño que provoca instalaciones que trabajan con el vital elemento (agua).
2. Calentar el agua de alimentación: el agua de alimentación es calentada, para que al entrar a la caldera no sea necesaria tanta energía para llegar a una temperatura de utilización.
3. Almacenar agua de alimentación: la palabra lo indica, el desaerador es un tanque que está a continuación del tanque cisterna.

Un desaerador es un equipo que remueve  $O_2$  del agua de alimentación a calderas (BFW) ya que el oxígeno es altamente corrosivo en los circuitos de vapor.

Termodinámicamente es un equipo que genera uno o varias etapas de equilibrio al poner en contacto una solución saturada de  $O_2$  y una corriente de vapor puro. El equilibrio químico desplaza  $O_2$  de la corriente líquida saturada a la corriente de vapor puro.



*Figura 2.4 Tanque deaerador*

## **2.2 OSMOSIS INVERSA**

Osmosis Inversa, figura 2.5, lo descrito hasta ahora ocurre en situaciones normales, en que los dos lados de la membrana estén a la misma presión; si se aumenta la presión del lado de mayor concentración, puede lograrse que el agua pase desde el lado de alta concentración al de baja concentración de sales.

Se puede decir que se está haciendo lo contrario de la ósmosis, por eso se llama **ósmosis inversa**. Téngase en cuenta que en la ósmosis inversa a través de la membrana semipermeable sólo pasa agua. Es decir, el agua de la zona de alta concentración pasa a la de baja concentración.

Si la alta concentración es de sal, por ejemplo, agua marina, al aplicar presión, el agua del mar pasa al otro lado de la membrana. Sólo el agua, no la sal. Es decir, el agua se ha desalinizado por ósmosis inversa, y puede llegar a ser potable.

### **Aplicaciones**

La mayoría de las aplicaciones de la ósmosis vienen de la capacidad de separar solutos en disolución de forma activa mediante ósmosis inversa utilizando membranas semipermeables.

### **Desalinización**

Mediante este procedimiento es posible obtener agua desalinizada (menos de 5.000 microsiemens/cm de conductividad eléctrica) partiendo de una fuente de agua salobre, agua de mar, que en condiciones normales puede tener entre 20 000 y 55 000 microsiemens/cm de conductividad.

La medida de la conductividad del agua da una indicación de la cantidad de sales disueltas que contiene, dado que el agua pura no es un buen conductor de la electricidad (su potencial de disociación es menor de 0.00001).

La ósmosis inversa o reversa se ha convertido hoy en día en uno de los sistemas más eficientes para desalinizar y potabilizar el agua, siendo usada en barcos, aviones, industrias, hospitales y domicilios.

Mediante ósmosis inversa se consigue que el agua bruta que llega a la desaladora se convierta por un lado en un 40 % de agua producto y un 55-60 % de agua salobre.

La clave está en la constitución del fajo de membranas que intercalan redes-canales de circulación entre capa y capa y finalmente convergen en el centro del sistema. Como hay un flujo de entrada y dos flujos de salida, al uno se le conoce como rechazo salino y al otro como flujo de permeado y sus valores dependerán de la presión de entrada impuesta al sistema. Por lo general es factible encontrar membranas confeccionadas con poliamida o acetato de celulosa (este último material está en desaparición) con un rechazo salino de entre 96.5-99.8 %. Existen membranas especializadas para cada tipo de agua, desde agua de mar hasta aguas salobres.

Los equipos de ósmosis inversa industriales montan varios trenes o carros de membranas interconectadas entre sí, una bomba de alta presión, medidores de TDS, pH y caudalímetros de columna. Existen equipos que se ubican en grandes salas debido a su enorme tamaño.

Para el óptimo funcionamiento de estos sistemas, se requiere mantener un anti-incrustante contra sílice (sílice gelificada neutra) que obtura el sistema, además de un biosida para mantener libre de biomasas las capas del sistema.

La ósmosis inversa tiene algunas restricciones, hay ciertas especies químicas que el sistema no es capaz de retener, estos son el arsenito ( $As+3$ ), la sílice neutra (ya mencionada) y el boro. Para retener estas especies hay que realizar una modificación del estado químico de la especie, ya sea vía oxidación, co-precipitación o cambios de pH del medio. Por ejemplo el arsenito ( $As+3$ ) experimenta un rechazo de menos de 25 %, el arsenato ( $As+5$ ) es capaz de ser retenida en un 95-98 %.

Las incrustaciones en las membranas son un factor no despreciable en la eficiencia del equipo, esto ocurre cuando se pretende forzar el caudal de permeado, ocurriendo frentes de saturación en la superficie de la membrana. Otras sustancias son incrustantes, tales como la mencionada sílice, biomasas de microorganismos. Una vez incrustada la membrana, solo es posible revertir la situación desmontando la unidad y tratándola con mezclas de ácidos fuertes y someténdolas a contracorriente.

Un desarrollo tecnológico reciente especialmente relevante es el de la ósmosis inversa para desalinización basada en energía solar fotovoltaica, empleando sólo y exclusivamente una pequeña batería para que todo funcione correctamente.

### **Reducción de la dureza**

Las aguas duras contienen iones de calcio y magnesio que pueden precipitar combinados con iones como carbonatos, sulfatos o hidróxidos estos precipitados se van acumulando (obstruyendo) en las tuberías de distribución, calentadores, etc. Con la ósmosis inversa se reducen estos precipitados. En el caso de equipos industriales muy costosos es muy recomendable un tratamiento adicional de intercambio de iones de calcio por iones de sodio mediante cadenas descalcificadoras con resinas.

### **Descontaminación y tratamiento de efluentes**

Para la eliminación de contaminantes en disolución principalmente encaminado al ahorro de agua. Si se tiene agua con contaminante "X" cuyas moléculas tienen un tamaño de "Y" micras, siendo "Y" mayor que el tamaño de la molécula de agua. Si se busca una membrana semipermeable que deje pasar moléculas de tamaño de las del agua pero no de "Y", al aplicar presión (ósmosis inversa) se obtendrá agua sin contaminante.

La utilización de la ósmosis inversa en el tratamiento de efluentes persigue alguno de los tres objetivos siguientes: Concentrar la contaminación en un reducido volumen.

- Recuperar productos de alto valor económico.
- Recircular el agua.

La ósmosis inversa no destruye la contaminación, sino que, como mucho, permite concentrarla en un pequeño volumen.

### **Reducción del contenido de nitratos**

Las aguas subterráneas suelen incorporar altas concentraciones de nitratos, superiores a las admitidas por la reglamentación técnico-sanitaria. Las membranas de ósmosis inversa con un

alto porcentaje de rechazo del ion nitrito permiten obtener agua con un bajo contenido en dichos iones.

### **Concentración de nitritos y nitratos**

Los efluentes procedentes de la limpieza de depósitos contenedores de tetróxidos de nitrógeno ( $N_2O_4$ ) están contaminados con iones nitrito ( $NO_2^-$ ) y nitrato ( $NO_3^-$ ). Los efluentes son neutralizados previamente con sosa cáustica tras lo cual son enviados a un primer paso de una ósmosis inversa que trabaja con una recuperación del 95%. El rechazo de este primer paso es enviado hasta una segunda etapa de ósmosis inversa que trabaja con una recuperación del 75 %. El rechazo de este segundo paso es recirculado al depósito situado en cabeza de la instalación y el perneado, con un contenido inferior a 10 ppm, puede ser reutilizado.

### **Eliminación del color y de los precursores de trihalometanos**

El color procedente de la descomposición de la materia orgánica natural disuelta por las aguas. El color, además de no admitirse en el agua potable por motivos estéticos, es un precursor de los trihalometanos (THM).

Certificados que tengo en cuanto a Ósmosis Inversa

- \* Curso de Ósmosis Inversa por Nalco
- \* Curso de química del agua por Nalco



*Figura 2.5 Osmosis inversa*

### **2.3 COMPRESORES DE AIRE COMPRIMIDO**

Un **compresor**, figura 2.6, es una máquina de fluido que está construida para aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tales como gases y vapores. Esto se realiza a través de un intercambio de energía entre la máquina y el fluido, en el cual el trabajo ejercido por el compresor es transferido a la sustancia que pasa por él convirtiéndose en energía de flujo, aumentando su presión y energía cinética impulsándola a fluir.

Al igual que las bombas, los compresores también desplazan fluidos, pero a diferencia de las primeras que son máquinas hidráulicas, éstos son máquinas térmicas, ya que su fluido de trabajo es compresible, sufre un cambio apreciable de densidad y, generalmente, también de temperatura; a diferencia de los ventiladores y los sopladores, los cuales impulsan fluidos, pero no aumentan su presión, densidad o temperatura de manera considerable.



*Figura 2.6 Compresor de aire comprimido*

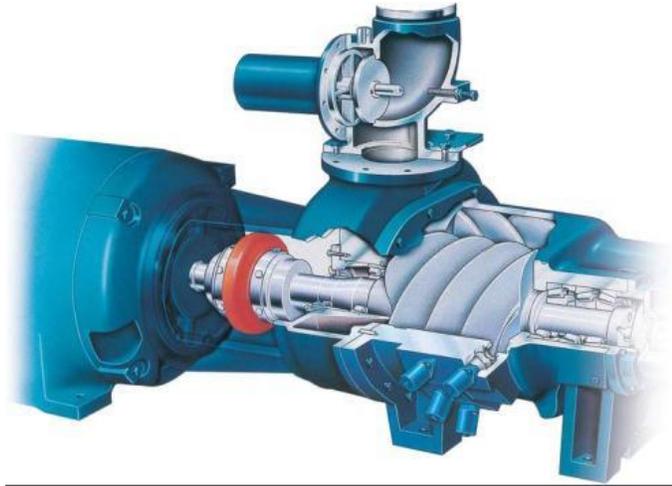
### **2.3.1 TIPOS DE COMPRESORES**

Funcionamiento de un compresor axial.

Clasificación según el método de intercambio de energía:

Hay diferentes tipos de compresores atmosféricos, pero todos realizan el mismo trabajo: toman aire de la atmósfera, lo comprimen para realizar un trabajo y lo regresan para ser reutilizado.

- El compresor de desplazamiento positivo; figura 2.7, Las dimensiones son fijas. Por cada movimiento del eje de un extremo al otro tenemos la misma reducción en volumen y el correspondiente aumento de presión (y temperatura). Normalmente son utilizados para altas presiones o poco volumen. Por ejemplo, el inflador de la bicicleta. También existen **compresores dinámicos**. El más simple es un ventilador que usamos para aumentar la velocidad del aire a nuestro entorno y refrescarnos. Se utiliza cuando se requiere mucho volumen de aire a baja presión.



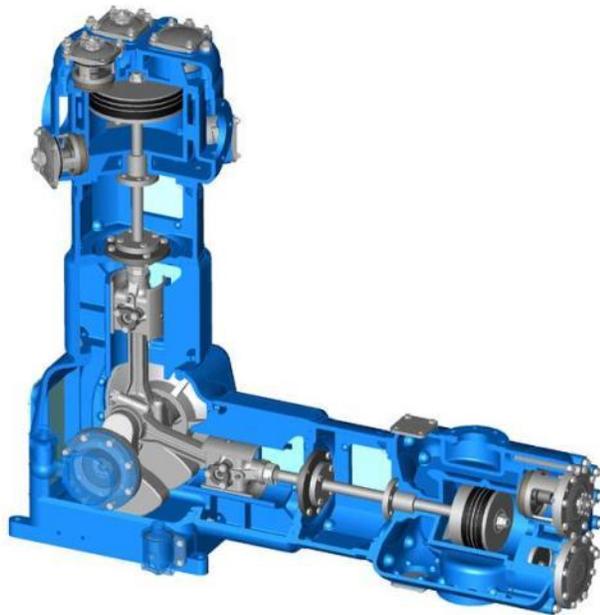
***Figura 2.7 Compresor de desplazamiento positivo***

- El compresor de émbolo; figura 2.8, Es un compresor atmosférico simple. Un vástago impulsado por un motor (eléctrico, diésel, neumático, etc.) es impulsado para levantar y bajar el émbolo dentro de una cámara. En cada movimiento hacia abajo del émbolo, el aire es introducido a la cámara mediante una válvula. En cada movimiento hacia arriba del émbolo, se comprime el aire y otra válvula es abierta para evacuar dichas moléculas de aire comprimidas; durante este movimiento la primera válvula mencionada se cierra. El aire comprimido se lleva a un depósito de reserva. Este depósito permite el transporte del aire mediante distintas mangueras. La mayoría de los compresores atmosféricos de uso doméstico son de este tipo.



***Figura 2.8 Compresor de émbolo***

- El compresor de pistón; figura 2.9, Es en esencia una máquina con un mecanismo pistón-biela-cigüeñal. Todos los compresores se accionan por alguna fuente de movimiento externa. Lo común es que estas fuentes de movimiento sean motores, tanto de combustión como eléctricos. En la industria se mueven compresores accionados por máquinas de vapor o turbinas. En este caso, cuando el cigüeñal gira, el pistón desciende y crea vacío en la cámara superior, este vacío actúa sobre la válvula de admisión (izquierda), se vence la fuerza ejercida por un resorte que la mantiene apretada a su asiento, y se abre el paso del aire desde el exterior para llenar el cilindro. El propio vacío, mantiene cerrada la válvula de salida (derecha).



*Figura 2.9 Compresor de pistón*

Durante la carrera de descenso, como puede verse en el esquema de abajo (lado izquierdo) todo el cilindro se llena de aire a una presión cercana a la presión exterior. Luego, cuando el pistón comienza a subir, la válvula de admisión se cierra, la presión interior comienza a subir y esta vence la fuerza del muelle de recuperación de la válvula de escape o salida (esquema lado derecho), con lo que el aire es obligado a salir del cilindro a una presión algo superior a la que existe en el conducto de salida. Obsérvese que el cuerpo del cilindro está dotado de aletas, estas aletas, aumentan la superficie de disipación de calor para mejorar la transferencia del calor generado durante la compresión al exterior.

Excepto en casos especiales, en el cuerpo del compresor hay aceite para lubricar las partes en rozamiento, así como aumentar el sellaje de los anillos del pistón con el cilindro. Este aceite no existe en los compresores de tipo médico, usado en la respiración asistida, debido a que siempre el aire de salida contiene cierta cantidad de él o sus vapores.

Los compresores de doble etapa, trabajan con el mismo sistema simple de pistón-biela-cigüeñal, con la diferencia que aquí trabajan dos pistones, uno de alta y otro de baja presión. Cuando el pistón de alta presión (derecha) expulsa el aire, lo manda a otro cilindro de menor volumen. Al volver a recomprimir el aire, se alcanzan presiones más elevadas.

- El compresor de tornillo: Aún más simple que el compresor de émbolo, el compresor de tornillo también es impulsado por motores (eléctricos, diésel, neumáticos, etc.). La diferencia principal radica que el compresor de tornillo utiliza dos tornillos largos para comprimir el aire dentro de una cámara larga. Para evitar el daño de los mismos tornillos, aceite es insertado para mantener todo el sistema lubricado. El aceite es mezclado con el aire en la entrada de la cámara y es transportado al espacio entre los dos tornillos rotatorios. Al salir de la cámara, el aire y el aceite pasan a través de un largo separador de aceite donde el aire ya pasa listo a través de un pequeño orificio filtrador. El aceite es enfriado y reutilizado mientras que el aire va al tanque de reserva para ser utilizado en su trabajo.
- Sistema pendular Taurozzi: consiste en un pistón que se balancea sobre un eje generando un movimiento pendular exento de rozamientos con las paredes internas del cilindro, que permite trabajar sin lubricante y alcanzar temperaturas de mezcla mucho mayores.
- Alternativos o reciprocantes: utilizan pistones (sistema bloque-cilindro-émbolo como los motores de combustión interna). Abren y cierran válvulas que con el movimiento del pistón aspira/comprime el gas. Es el compresor más utilizado en potencias pequeñas. Pueden ser del tipo herméticos, semiherméticos o abiertos. Los de uso doméstico son herméticos, y no pueden ser intervenidos para repararlos. Los de mayor capacidad son semiherméticos o abiertos, que se pueden desarmar y reparar.
- De espiral (orbital, *scroll*).

- Rotativo de paletas: en los compresores de paletas la compresión se produce por la disminución del volumen resultante entre la carcasa y el elemento rotativo cuyo eje no coincide con el eje de la carcasa (ambos ejes son excéntricos). En estos compresores, el rotor es un cilindro hueco con estrías radiales en las que las palas (1 o varias) comprimen y ajustan sus extremos libres al interior del cuerpo del compresor, comprimiendo así el volumen atrapado y aumentando la presión total.
- Rotativo-helicoidal (tornillo, *screw*): la compresión del gas se hace de manera continua, haciéndolo pasar a través de dos tornillos giratorios. Son de mayor rendimiento y con una regulación de potencia sencilla, pero su mayor complejidad mecánica y costo hace que se emplee principalmente en elevadas potencias, solamente.
- Rotodinámicos o turbomáquinas: utilizan un rodete con palas o álabes para impulsar y comprimir al fluido de trabajo. A su vez éstos se clasifican en axiales y centrífugos.

### **Análisis de la compresión de un gas**

Imaginemos que en un cilindro tenemos un volumen de un gas ideal y está «tapado» por un pistón que es capaz de deslizarse verticalmente sin fricción. En un principio este sistema se encuentra en equilibrio con el exterior, es decir, la presión que ejerce el gas sobre las paredes del cilindro y sobre el pistón (que es la misma en todas las direcciones) es igual a la presión que ejerce el peso del pistón sobre el gas, y más ninguna otra fuerza obra sobre nuestro sistema.

Ahora imaginemos que repentinamente aumentamos la presión externa  $p_0$  y como la presión que ejerce el gas sobre el pistón es el equilibrio se romperá y el cilindro deslizará hacia abajo ejerciendo un trabajo  $W$ . Esta energía, por la primera ley de la termodinámica, se convertirá instantáneamente en un incremento de energía interna del gas en el recipiente, y es así como el gas absorberá el trabajo del desplazamiento pistón.

### **Compresión Isotérmica Reversible para gases ideales**

Esta forma de compresión es una secuencia de infinitas etapas, o estados, de equilibrio que se conoce como movimiento cuasi-estático, en los que siempre se cumple que la presión que ejerce el gas sobre las paredes del recipiente es igual a la presión que ejerce el pistón sobre el gas.

## 2.4 SECADORAS DE AIRE

Como parte de su sistema de aire comprimido estacionaria, los secadores de aire comprimido, figura 2.10, ayudan a asegurar que hay poca o ninguna humedad aguas abajo, lo que ayuda a mejorar el rendimiento, la productividad y reduce los costes de mantenimiento. Los Secadores de Aire comprimido remueven el vapor de agua y disminuyen el punto de rocío del aire comprimido. Previenen la formación de agua líquida, pero no eliminan todos los demás contaminantes.



*Figura 2.10 Secadora de Aire*

### **Secadores refrigerativos**

Los secadores refrigerativos proveen temperaturas de rocío a presión de 3°C a 10°C. Principio. La habilidad del aire de retener agua se reduce al bajar su temperatura. Operación Básica. Se utiliza un sistema de refrigeración para bajar la temperatura del aire comprimido. Al bajar la temperatura del aire, el vapor de agua se condensa formando agua líquida. Una vez condensada, se remueve del sistema y se reduce permanentemente el contenido de humedad del aire. Mientras el aire comprimido no se exponga a temperaturas por debajo de la del punto de rocío, no se condensará más líquido dentro del sistema. Los secadores refrigerativos se usan normalmente en donde la temperatura ambiente está por arriba de la temperatura de congelación.

### **Características de un Secador Refrigerativo:**

- El intercambiador de calor (evaporador) enfría el aire comprimido a la temperatura del punto de rocío que se necesita.
- Asegura que las gotas del líquido condensado no se reintegren al sistema de aire.
- Mantiene una consistente temperatura de evaporación en un amplio rango de carga de trabajo y condiciones ambientales.
- Ofrece años de servicio sin problemas.

### **Tipos de Secadores Refrigerativos:**

1. No Cíclicos. Los secadores sin repetición utilizan un sistema de intercambiador de calor de dos etapas para mantener los puntos de condensación constantes. Se evitan los congelamientos y se mantiene un rendimiento óptimo integrando componentes y válvulas de control de refrigeración de la mayor calidad. Para mantener un equilibrio y una estabilidad térmica nuestro sistema de control de dos válvulas, utiliza tanto una válvula de expansión termostática como una válvula de desvío de gas caliente.

Cíclicos. Los secadores cíclicos de masa enfriada ahorran energía encendiendo y apagando el sistema de refrigeración de acuerdo con la demanda. Se utiliza un sistema intercambiador de calor de tres etapas para proporcionar el almacenamiento de frío necesario para la operación de repetición.

### **Secadores desecantes**

Los **secadores desecantes** proveen temperaturas de punto de rocío a presión de  $-40^{\circ}\text{C}$ ,  $-73^{\circ}\text{F}$  ( $-40^{\circ}\text{F}$  - $100^{\circ}\text{F}$ ) o más bajos. Principio. Adsorción. Se atrapa la humedad en la superficie de un sólido llamado desecante. Operación Básica. El aire comprimido pasa a través de una torre llena con material desecante. Se adsorbe el vapor de agua en la superficie del desecante. La adsorción ocurre hasta que se alcanza un equilibrio entre la presión de vapor de agua en el aire y en la superficie desecante. Después se extrae el vapor de agua de los poros del desecante mediante el proceso de regeneración. Normalmente los secadores desecantes se utilizan para obtener temperaturas de punto de rocío por debajo de la temperatura de congelación o para:

### **Aplicaciones en exteriores:**

- Líneas de aire comprimido expuestas a bajas temperaturas o en áreas sin calefacción
- Instrumentos, controles, impulsores, etc. que específicamente requieran aire ultra seco

### **Características del Desecante (Alúmina Activada)**

- Adsorbe agua hasta el 40% de su peso
- Un gramo tiene un área superficial de casi 355 m<sup>2</sup> (o 1.75 millones de pies cuadrados por libra)
- La superficie de cada esfera de desecante es muy irregular con muchas hendiduras o poros.

### **Tipos de Secadores Desecantes**

1. Regenerados en frío. Utilizan una pequeña porción de aire comprimido para purgar la torre fuera de línea.
2. De Purga por Calor. También denominados de calor externo, utilizan incluso una pequeña porción del aire comprimido seco que se calienta para regeneración.
3. De Purga por Soplador. Estos combinan calor con el aire de ambiente forzado para la regeneración.

### **Secado por absorción**

El secado por absorción es un procedimiento puramente químico. El aire comprimido pasa a través de un lecho de sustancias secantes. En cuanto el agua o vapor de agua entra en contacto con dicha sustancia, se combina químicamente con ésta y se desprende como mezcla de agua y sustancia secante.

### **Secado por adsorción**

Este principio se basa en un proceso físico.

Este secado se basa en la fijación de las moléculas de agua a las paredes de un elemento poroso compuesto básicamente por dióxido de silicio. (Adsorber: Deposito de sustancias sobre la superficie de cuerpos sólidos.)

## **2.5 COMPRESORES DE AMONIACO NH<sub>3</sub> (REFRIGERACIÓN)**

### **Refrigeración**

Un sistema de refrigeración con amoníaco, figura 2.11, funciona de una manera similar al sistema de fluorocarbono, pero tiene varias diferencias clave. Si bien no será muy usual que te encuentres un sistema a base de amoníaco dentro de una casa (amoníaco es una sustancia muy tóxica y los refrigeradores son muy caros), éstos se utilizan en las fábricas que necesitan grandes dispositivos de refrigeración que puedan enfriar sustancias muy rápidamente.

Un sistema de refrigeración se basa en un tipo de gas refrigerante, que se ejecuta constantemente a través del sistema para reunir y dispersar el calor. Estos gases están hechos de diferentes sustancias, la mayoría de los refrigerantes domésticos son en realidad una mezcla sintética diseñada para la eficiencia, pero la versión a base de amoníaco sólo tiene que utilizar el amoníaco. Cualquiera que sea el tipo de gas, éste pasa a través de diversos dispositivos, incluyendo un compresor, condensador, dispositivo de expansión y un evaporador.

### **Amoníaco como refrigerante**

Cada parte de un refrigerador está diseñado para cambiar el estado del gas de alguna forma. Al cambiar el estado del gas, el sistema también cambia su temperatura y la cantidad de calor que lleva. El compresor, por ejemplo, hace que el gas se caliente y aumente su presión, lo que le permite mantener grandes cantidades de calor. El condensador cambia el gas a un líquido, permitiendo que se pierda parte de su calor en el proceso, mientras que el dispositivo de expansión convierte el líquido nuevamente en un gas frío, liberando la mayor parte del calor que contenía. El evaporador enfría el gas en un vapor frío que está listo para ser distribuido a través del sistema. Así es como todos los refrigeradores eliminan el calor de sus compartimentos y lo dispersan.

Los frigoríficos de amoníaco en las instalaciones de fábricas necesitan enfriarse rápidamente. Mientras que en los refrigeradores domésticos toma unos minutos para comenzar a enfriar después de que se ha iniciado, este retraso no es aceptable en un entorno de fabricación. Para comenzar inmediatamente la refrigeración, el amoníaco se distribuye entre los recipientes a presión que separan el amoníaco líquido del gas, almacenan el refrigerante y lo envían a las diferentes partes del sistema cuando es necesario. Por el contrario, un refrigerador hidrocarburo no tiene los recipientes a presión.

### **Beneficios del amoníaco**

Los refrigeradores a base de amoníaco no necesitan recombinar constantemente los aceites en sus sistemas para funcionar correctamente, de modo que los aceites son rápidamente drenados en lugar de disolverse de nuevo en el gas. Los sistemas de amoníaco también son capaces de hacer frente a la colección accidental de agua en algunas tuberías, algo con que los sistemas de hidrocarburos no pueden trabajar. El agua todavía tendrá que ser drenada, pero el amoníaco puede funcionar incluso con el agua presente. Por supuesto, estos factores positivos también vienen con algunos inconvenientes. El amoníaco es un producto químico muy cáustico y los sistemas de amoníaco deben estar hechos de acero o níquel. No se pueden usar tuberías de cobre ni basadas en cobre.



*Figura 2.11 Compresores de amoníaco*

### **2.6 TORRES DE ENFRIAMIENTO**

Las **torres de refrigeración o enfriamiento**, figura 2.12, son estructuras diseñadas para disminuir la temperatura del agua y otros medios. El uso principal de las grandes torres de refrigeración industriales es el de rebajar la temperatura del agua de refrigeración utilizada en plantas de energía, refinerías de petróleo, plantas petroquímicas, plantas de procesamiento de gas natural y otras instalaciones industriales.

Con relación al mecanismo utilizado para la transferencia de calor los principales tipos son:

- *Torres de refrigeración húmedas* funcionan por el principio de evaporación
- *Torres de refrigeración secas* funcionan por transmisión del calor a través de una superficie que separa el fluido a refrigerar del aire ambiente.

En una torre de refrigeración húmeda el agua caliente puede ser enfriada a una temperatura inferior a la del ambiente, si el aire es relativamente seco

Con respecto al tiro del aire en la torre existen tres tipos de torres de refrigeración:

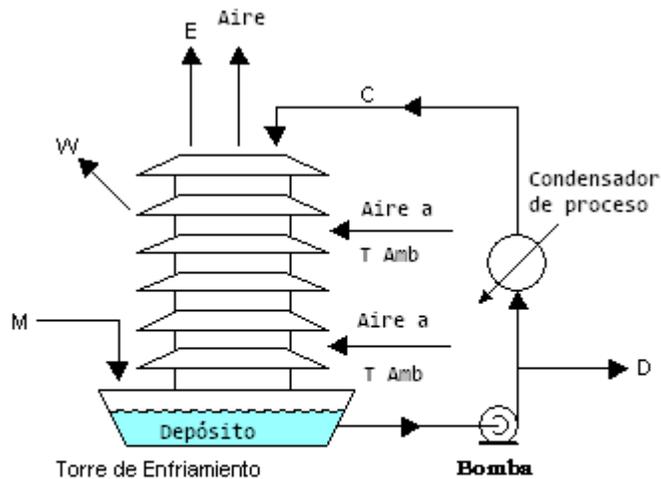
- Tiro natural, que utiliza una chimenea alta.
- Tiro inducido, en el que el ventilador se coloca en la parte superior de la torre (impulsan el aire creando un pequeño vacío en el interior de la torre).
- Tiro mecánico (o tiro forzado), que utiliza la potencia de motores de ventilación para impulsar el aire a la torre (colocándose en la base).

Bajo ciertas condiciones ambientales, nubes de vapor de agua (niebla) se pueden ver que salen de una torre de refrigeración húmeda

Las torres de enfriamiento usan la evaporación del agua para rechazar el calor de un proceso tal como la generación de energía eléctrica. Las torres de enfriamiento varían en tamaño desde pequeñas a estructuras muy grandes que pueden sobrepasar los 220 metros de altura y 100 metros de longitud. Torres más pequeñas son normalmente construidas en fábricas, mientras que las más grandes son construidas en el sitio donde se requieren.

### **Equilibrio de material de una torre de refrigeración húmeda**

Cuantitativamente, el equilibrio de material alrededor de un sistema de torre de refrigeración húmeda está controlado por las variables de funcionamiento estructurales tasa de flujo, evaporación y pérdidas por viento, tasa de trasegado, y ciclos de concentración:



**C:** Caudal de agua en circulación  
**D:** Caudal de purga (drenaje)  
**M:** Caudal de reposición  
**W:** Caudal de agua perdido por arrastre  
**E:** Caudal de agua perdido por evaporación

**M** = Agua de la estructura en m<sup>3</sup>/h

**C** = Agua circulante en m<sup>3</sup>/h

**D** = Trasegado de agua en m<sup>3</sup>/h

**E** = Agua evaporada en m<sup>3</sup>/h

**W** = Pérdida por viento de agua en m<sup>3</sup>/h

**X** = Concentración en ppm (de sales completamente solubles, normalmente cloruros)

**X<sub>M</sub>** = Concentración de cloruros en el agua de la estructura (M), en ppm

**X<sub>C</sub>** = Concentración de cloruros en el agua circulante (C), en ppm

**Ciclos** = Ciclos de concentración =  $X_C / X_M$  (sin dimensión)

**ppm** = partes por millón en peso

En la figura anterior, el agua bombeada desde el depósito de la torre es el agua refrigerante encaminada a través de enfriadores del proceso y los condensadores en una instalación industrial. El agua fría absorbe calor de las corrientes calientes del proceso que necesitan ser enfriadas o condensadas, y el calor absorbido calienta el agua circulante (C). El agua calentada vuelve a la cima de la torre de refrigeración y cae en chorros finos – presentando gran

superficie para su enfriamiento con el aire – sobre el material de relleno dentro de la torre. A medida que gotea, el contacto con el aire que sube por la torre, por tiro natural o forzado por grandes ventiladores. Este contacto provoca que una pequeña cantidad de agua sea pérdida por arrastre del viento (W) y otra parte del agua (E) por evaporación. El calor necesario para evaporar el agua se deriva de la propia agua, que enfría el agua a su regreso al depósito original y en donde queda a disposición para volver a circular. El agua evaporada deja las sales que lleva disueltas entre el grueso del agua que no ha sufrido la evaporación, lo que hace que la concentración de sales se incremente en el agua de refrigeración circulante. Para evitar que la concentración de sales en el agua llegue a ser demasiado alta, una parte del agua es retirada (D) para su vertido. Se suministra al depósito de la torre nuevo contingente de agua fresca (M) para compensar las pérdidas por el agua evaporada, el viento, y el agua retirada.

El equilibrio del agua en todo el sistema es:

$$M = E + D + W \dots\dots\dots(2.1)$$

Dado que el agua evaporada (E) no tiene sales, el equilibrio de cloruros del sistema es:

$$M (X_M) = D (X_C) + W (X_C) = X_C (D + W) \dots\dots\dots(2.2)$$

Y, en consecuencia:

$$X_C / X_M = \text{Ciclos de concentración} = M \div (D + W) = M \div (M - E) = 1 + [E \div (D + W)]..(2.3)$$

De un equilibrio de calor simplificado de la torre:

$$E = C \cdot \Delta T \cdot c_p \div H_v \dots\dots\dots(2.4)$$

Donde:

**H<sub>v</sub>** = calor latente de vaporización del agua = alrededor de 2260 kJ/kg

**ΔT** = diferencia de temperaturas del agua de la cima de la torre a su base, en °C

**c<sub>p</sub>** = calor específico del agua = alrededor de 4184 kJ/kg/°C

Las pérdidas por viento ( $W$ ), en ausencia de datos del fabricante, pueden estimarse que son:

$W = 0.3$  a  $1.0$  % de  $C$  para torres de refrigeración de tiro natural.

$W = 0.1$  a  $0.3$  % de  $C$  para torres de refrigeración de tiro inducido.

$W =$  alrededor de  $0.01$  % de  $C$  si la torre de refrigeración tiene eliminadores del efecto del viento.

Los ciclos de concentración en las torres de refrigeración en una refinería de petróleo normalmente se encuentran entre el 3 al 7. En algunas grandes plantas de energía. Los ciclos de concentración de las torres de refrigeración pueden ser mucho más altos.



*Figura 2.12 Torres de enfriamiento*

## **2.7 CONDENSADOR EVAPORATIVO**

El **condensador termodinámico**, figura 2.13, es utilizado muchas veces en la industria de la refrigeración, el aire acondicionado o en la industria naval y en la producción de energía eléctrica, en centrales térmicas o nucleares.

La condensación se puede producir bien utilizando aire mediante el uso de un ventilador o con agua (esta última suele ser en circuito cerrado con torre de refrigeración, en un río o la mar). La condensación sirve para condensar el vapor, después de realizar un trabajo termodinámico; por

ejemplo, una turbina de vapor o para condensar el vapor comprimido de un compresor de frío en un circuito frigorífico. Cabe la posibilidad de seguir enfriando ese fluido, obteniéndose líquido subenfriado en el caso del aire acondicionado.

Adopta diferentes formas según el fluido y el medio. En el caso de un sistema fluido/aire, está compuesto por un tubo de diámetro constante que curva 180° cada cierta longitud y unas láminas, generalmente de aluminio, entre las que circula el aire. Un condensador es un cambiador de calor latente que convierte el vapor (en estado gaseoso) en vapor en estado líquido, también conocido como fase de transición. El propósito es condensar la salida (o extractor) de vapor de la turbina de vapor para así obtener máxima eficiencia e igualmente obtener el vapor condensado en forma de agua pura de regreso a la caldera. Condensando el vapor del extractor de la turbina de vapor, la presión del extractor es reducida arriba de la presión atmosférica hasta debajo de la presión atmosférica, incrementando la caída de presión del vapor entre la entrada y la salida de la turbina de vapor. Esta reducción de la presión en el extractor de la turbina de vapor, genera más calor por unidad de masa de vapor entregado a la turbina de vapor, por conversión de poder mecánico.

### **Función del condensador**

La función principal del condensador en una central térmica es ser el foco frío o sumidero de calor dentro del ciclo termodinámico del grupo térmico. Por tanto, su misión principal es condensar el vapor que proviene del escape de la turbina de vapor en condiciones próximas a la saturación y evacuar el calor de condensación (calor latente) al exterior mediante un fluido de intercambio (aire o agua).

En el caso de una máquina frigorífica, el condensador tiene por objetivo la disipación del calor absorbido en el evaporador y de la energía del compresor.

Además, el condensador recibe los siguientes flujos:

- Las purgas de los calentadores y otros elementos, que una vez enfriadas son incorporadas al circuito de condensado.
- El aire que procede de entradas furtivas en los diversos elementos del ciclo agua-vapor, a través de los cierres de la turbina de vapor o con el agua de reposición al ciclo. Éste debe ser extraído y enviado al exterior mediante eyectores o bombas de vacío.

- El vapor procedente del escape de la turbo-bomba de agua de alimentación si la hay en la instalación.
- El vapor de los by-passes de turbina de vapor, que en determinados modos de operación transitorios (arranques, paradas, disparos, cambios bruscos de carga) conducen directamente al condensador todo el vapor generador en la caldera una vez atemperado.
- El agua de aportación al ciclo para reponer las purgas, fundamentalmente la purga continua. Esta agua es desmineralizada y proviene del tanque de reserva de condensado.

Las condiciones en el interior del condensador son de saturación, es decir, está a la presión de saturación correspondiente a la temperatura de condensación del vapor. Esta presión es siempre inferior a la atmosférica, es decir, se puede hablar de vacío.

### **Disposición constructiva de un condensador en centrales térmicas**

Los condensadores que emplean aire como fluido refrigerante, llamados Aerocondensadores, tienen un bajo rendimiento y, por tanto, necesitan de grandes superficies para ser instalados. Este es el motivo de que el uso de este tipo de condensadores no esté generalizado, pasando a usarse sólo en los casos en los que no haya disponibilidad de agua.

Nos centraremos, por tanto, en los condensadores de agua como fluido refrigerante. Los condensadores de las central térmica son cambiadores de calor tubulares, de superficie, del tipo carcasa y tubo en los que el agua (fluido refrigerante) circula por los tubos y el vapor (fluido enfriado) circula por el lado de la carcasa. Los tubos están dispuestos de forma horizontal, con una pequeña pendiente para poder ser drenados con facilidad y agrupados en paquetes.

Las partes más significativas de un condensador son:

- **Cuello.** Es el elemento de unión con el escape de la turbina de vapor. Tiene una parte más estrecha que se une al escape de la turbina de vapor bien directamente mediante soldadura o bien a través de una junta de expansión metálica o de goma que absorbe los esfuerzos originados por las dilataciones y el empuje de la presión atmosférica exterior. La parte más ancha va soldada a la carcasa del condensador.

- **Carcasa o cuerpo.** Es la parte más voluminosa que constituye el cuerpo propiamente dicho del condensador y que alberga los paquetes de tubos y las placas. Suele ser de acero al carbono.
- **Cajas de agua.** Colector a la entrada y a la salida del agua de refrigeración (agua de circulación) con el objeto de que ésta se reparta de forma uniforme por todos los tubos de intercambio. Suelen ser de acero al carbono con un recubrimiento de protección contra la corrosión que varía desde la pintura tipo epoxy (para el agua de río) hasta el engomado (para el agua de mar). Suelen ir atornillados al cuerpo del condensador.
- **Tubos.** Son los elementos de intercambio térmico entre el agua y el vapor. Su disposición es perpendicular al eje de la turbina. Suelen ser de acero inoxidable (agua de río) y titanio (agua de mar).
- **Placas de tubos.** Son dos placas perforadas que soportan los dos extremos de los tubos. Constituyen la pared de separación física entre la zona del agua de las cajas de agua y la zona de vapor del interior de la carcasa. Suelen ser de acero al carbono con un recubrimiento (*cladding*) de titanio en la cara exterior cuando el fluido de refrigeración es agua de mar. La estanqueidad entre los extremos de los tubos y las placas de tubos se consigue mediante el aborcardado de los extremos de los tubos y mediante una soldadura de sellado.
- **Placas soporte.** Placas perforadas situadas en el interior de la carcasa y atravesadas perpendicularmente por los tubos. Su misión es alinear y soportar los tubos, así como impedir que éstos vibren debido a su gran longitud. Su número depende de la longitud de los tubos. Suelen ser de acero al carbono.
- **Pozo caliente.** Depósito situado en la parte inferior del cuerpo que recoge y acumula el agua que resulta de la condensación del vapor. Tiene una cierta capacidad de reserva y contribuye al control de niveles del ciclo. De este depósito aspiran las bombas de extracción de condensado.
- **Zona de enfriamiento de aire.** Zona situada en el interior de los paquetes de tubos, protegida de la circulación de vapor mediante unas chapas para conseguir condiciones de subenfriamiento. De esta manera, el aire disuelto en el vapor se separa del mismo y mediante un sistema de extracción de aire puede ser sacado al exterior.

- **Sistema de extracción de aire.** Dispositivos basados en eyector que emplean vapor como fluido motriz o bombas de vacío de anillo líquido. Su misión, en ambos casos, es succionar y extraer el aire del interior del condensador para mantener el vacío. Estos dispositivos aspiran de la zona de enfriamiento de aire.

### **Tipos de condensadores para centrales térmicas**

Según su disposición relativa con respecto de la turbina de vapor, los condensadores pueden clasificarse en:

- **Axiales.** Están situados al mismo nivel que la turbina de vapor. Son típicos de turbina de vapor hasta 150 MW, potencias hasta las cuales el cuerpo de baja presión es de un solo flujo y escape axial.
- **Laterales.** Están situados al mismo nivel que la turbina de vapor. El cuerpo de baja presión de la turbina de vapor es de dos flujos.
- **Inferiores.** Están situados debajo de la turbina de vapor de baja presión, lo que les obliga a estar metidos en un foso y que el pedestal del grupo turbogenerador esté en una cota más elevada, encareciéndose la obra civil. Dadas las potencias de las centrales convencionales actuales, éste es el tipo de condensador más usualmente empleado. La turbina de vapor de baja tiene doble flujo, pudiendo haber además varios cuerpos.

Según el número de pasos, pueden ser:

- **De un paso.** Hay una única entrada y una única salida de agua en cada cuerpo del condensador. Típica en circuitos abiertos de refrigeración.
- **De dos pasos.** El agua entra y sale dos veces en el cuerpo del condensador con la finalidad de causar función refrigerante.

Según el número de cuerpos:

- **De un cuerpo.** El condensador tiene una sola carcasa.
- **De dos cuerpos.** El condensador tiene dos carcasas independientes. Esta disposición es muy útil, ya que permite funcionar sólo con medio condensador.

### **Tipos de condensadores para máquinas frigoríficas**

Los tipos de condensadores más utilizados en una máquina frigorífica son los siguientes:

- **Tubos y aletas.** Se utilizan cuando se disipa el calor a una corriente de aire.
- **De placas.** Se utilizan cuando se disipa el calor a una corriente de agua.



*Figura 2.13 Condensador evaporativo*

## **2.8 CALENTADORES DE AGUA CALIENTE**

Calentadores de agua caliente, figura 2.14, Se llaman así los sistemas de calefacción que utilizan el agua como caloportador entre el sistema de generación, comúnmente una caldera, y los emisores o elementos terminales ubicados en los locales a calefactar. El agua caliente generada se transporta mediante una red de tuberías.

El sistema de calefacción por agua caliente, es sin duda, el más extendido en las instalaciones de calefacción. El aumento en la aplicación de sistemas de climatización en todo tipo de edificios, hace que sean cada vez más frecuentes los sistemas de calefacción por aire caliente.

### **Sistemas de calefacción por agua**

Una instalación de calefacción por agua está integrada por tres sistemas:

*Sistema de generación:* que transforma una energía primaria (combustible, eléctrica, solar, etc...) en energía térmica.

*Sistema de distribución:* a través de cuyos elementos se transporta la energía térmica desde el sistema de generación hasta el consumo.

*Sistema de emisión:* formado por elementos que reciben la energía térmica transportada y la emiten o la transmiten al aire ambiente.

Cada uno de ellos da lugar a su vez, a diferentes sistemas, que combinados conforman la gran variedad de tipos de instalación que existen en calefacción.

### **Sistemas de generación**

Los sistemas de generación se originan en función de la energía primaria que transforman en calor:

#### **Energía química**

Reacción de oxidación (combustión) que se desarrolla en el interior de una caldera, diferente según el tipo de combustible.

- *Caldera de combustible sólido* : leña o carbón
- *Caldera de combustible líquido*: Fuel-oil o gasóleo
- *Caldera de gas*: Propano, butano o gas natural

#### **Energía Eléctrica**

- *caldera eléctrica*: calentamiento del agua mediante resistencias eléctricas por efecto Joule
- *Bomba de calor* aire-agua o agua-agua: máquina de refrigeración que toma calor del medio exterior frío y lo traslada a un circuito interior de agua formado por el condensador de la máquina y elementos emisores.

#### **Energía renovable**

- *Energía solar*
  - *paneles planos*
  - *De tubos de vacío*

- **Geotérmica** (*bomba de calor tierra-agua*): Aprovechamiento de la temperatura constante del subsuelo poco profundo, del que se absorbe energía térmica que se transfiere a un flujo de agua mediante una bomba de calor.
- **Biomasa** (calderas de biomasa): Instalación de calefacción con caldera de combustible sólido adaptada y mecanizada para el consumo de biomasa residual, de forma directa (cáscaras, titos, etc...) o transformada (pellets).

### Sistemas de distribución

El fluido calentado transporta la energía térmica desde el generador hasta los emisores a través de tuberías. El conjunto de las tuberías con los accesorios necesarios para hacer efectivo el transporte, forman el sistema de distribución, que puede ser:

- **Monotubulares**: Radiadores o elementos terminales conectados en serie
- **Bitubulares**: Radiadores o elementos terminales conectados en paralelo
- **Retorno invertido** (*En bucle Tichelmann*): Los elementos terminales retornan en el mismo orden en que recibieron la tubería de ida. Se pretende de esta forma que todos los elementos tengan la misma longitud de recorrido entre ida y retorno y por tanto la misma pérdida de carga. El sistema es muy ingenioso y efectivo cuando todos los terminales son iguales y de la misma potencia.<sup>6</sup>

Hasta hace unas décadas, todas las instalaciones eran bitubulares, pero había varios tipos en función de la fisonomía de la red de distribución, muchos de los cuales aún persisten.

- **Distribución inferior o en candelabro**: consiste en una distribución horizontal de ida y retorno por el techo de la planta más baja, generalmente el sótano, y desde la que arrancan montantes verticales para enganchar los elementos homólogos en cada planta
- **Distribución superior o en paraguas**: distribución horizontal de ida y retorno por el suelo del bajo cubierta y desde la que arrancan descendentes verticales para enganchar los elementos homólogos en cada planta
- **Distribución mixta superior/inferior**: Distribución horizontal por el bajo cubierta con descendentes verticales que cogen la entrada de los elementos en

cada planta y descendentes verticales que cogen las salidas de los radiadores y se recogen en el techo de la planta más baja

- **Distribución por columnas:** En general, distribución que se hace a base de tuberías verticales.
- **Distribución por anillos:** Distribución horizontal que recoge los elementos terminales de una planta, por grupos unidos en anillos monotubulares.

La distribución por columnas está desapareciendo en edificios de vivienda, ya que la prohíbe la reglamentación actual porque imposibilitan la distribución de los gastos energéticos entre los usuarios por el medio más económico y fiable, un contador de calor.

De cualquier forma, los tipos de instalación actuales según la distribución, también se multiplican teniendo en cuenta la diversidad de materiales y sistemas de montaje para tuberías ;tuberías de acero, de cobre, tubería multicapa, de polietileno, polietileno reticulado (PEX), polipropileno, con unión mecánica, soldada por polifusión, etc..., cada uno de ellos con multitud de variantes y todas de gran simplicidad de montaje, lo que hace que en el momento actual, sea más complicado elegir el sistema apropiado que montarlo.

### **Sistemas de emisión**

El sistema emisor lo forman los elementos terminales que reciben el calor transportado y lo transmiten o lo intercambian con el aire ambiente.

- El **radiador** es el emisor más común. Puede ser de diferentes materiales y formatos.
- **Suelo radiante.**-Este sistema, usa como emisor los paramentos de un local, especialmente el suelo, cuya superficie se calienta por la transmisión de calor desde tubos de plástico embutidos en el mismo y por los que circula el agua caliente procedente de la generación del sistema.
- **Ventiloconvector o Fan-coil.**- Constan de una o dos baterías de agua y un ventilador de baja presión. Se usan más como emisores en climatización para cubrir las dos cargas; de calefacción y refrigeración, pero eventualmente pueden usarse para solo calefacción con una única batería de agua caliente.

- **Aerotermos.**- son esencialmente iguales a los fan-coils , pero con un ventilador de media presión y una única batería de agua caliente. Debido a su alto nivel de ruido y gran alcance, se usan principalmente para calefacción de naves industriales.

Se puede considerar otra clasificación de los sistemas de calefacción por agua, no, como la anterior, en cuanto a los elementos o métodos empleados en su funcionamiento, sino al servicio que dan:

- **Instalaciones individuales:** Son las que dan servicio a un único usuario o unidad de consumo
- **Instalaciones centralizadas:** son aquellas que a partir de un único sistema de generación, distribuyen la calefacción a múltiples usuarios, como pueden ser los inquilinos de un edificio de viviendas, los diferentes departamentos de un edificio institucional o los diferentes usos en otro tipo de edificios.
- **Instalaciones urbanas o instalaciones de distrito:** Se trata del mismo concepto que las centralizadas, pero atendiendo a varios edificios. En este tipo de instalaciones, una parte de la distribución discurre por el exterior en canales enterrados o atarjeas. Aunque siempre el sistema de generación es único y centralizado, sin embargo, pueden existir locales técnicos en cada edificio suministrado, en los que se reacondiciona el nivel térmico de la distribución. Es muy normal que la central produzca agua sobrecalentada (120 - 140°C) o vapor de agua a alta presión (hasta 180/200°C), lo cual llega hasta los locales técnicos, donde intercambiadores de calor, transmiten la energía térmica a un flujo de agua con 80°C de temperatura de salida.

En el momento actual, es preceptivo que cada usuario disponga de un sistema de contaje que permita el prorrateo de gastos entre todos los usuarios de una misma central.

### **Sistemas auxiliares**

Cada uno de los tres sistemas que conforman toda instalación de calefacción, precisa de aparatos y sistemas auxiliares para garantizar la seguridad, el rendimiento y la consecución del fin principal para el que se realizó la instalación; el confort de los usuarios.

## De la generación

- Las **calderas** en los sistemas por agua, son los generadores más comunes. Las calderas son elementos estáticos en cuyo interior se realiza la combustión. En las calderas de combustible sólido, el inicio o encendido es manual y a partir de él, la reacción es continua y no termina hasta que falte combustible o comburente. Con combustible líquido o gaseoso, este proceso puede automatizarse mediante un aparato que se llama quemador.
- El **quemador** es pues, un elemento esencial de toda caldera automática, que puede estar integrado o ser un elemento independiente que se acopla a ella y cuyo fin es automatizar, regular y controlar la reacción de combustión de forma que esta sea completa. El quemador, a su vez, necesita de elementos auxiliares como la Instalación de almacenamiento, trasiego y alimentación de combustible<sup>9</sup> para combustibles líquidos y para gaseosos así como la chimenea.

## Sistema de alimentación, expansión y seguridad

Los sistemas de generación de agua, preceptivamente deben incluir un grupo de elementos cuyo fin primordial es la seguridad del conjunto:

- **Vaso de expansión.**- El calentamiento del agua, supone, además de un aumento de temperatura, un aumento de volumen. Teniendo en cuenta que la instalación de calefacción es un sistema cerrado, es necesario proveer a la misma de un sistema que acoja el aumento de volumen en la fase de calentamiento, manteniendo la presión por debajo de la máxima de seguridad e impidiendo la entrada de aire en la de enfriamiento. Está, por tanto, prohibido el vaso de expansión abierto, salvo casos muy especiales,<sup>12</sup> incluso para las calderas de combustible sólido.
- **Válvula de seguridad.**- Si por las circunstancias que fueren y a pesar del vaso de expansión, la temperatura, y por tanto la presión, superaran un valor límite establecido, la válvula de seguridad abre reiterativamente y escupe una cantidad de agua hasta que la presión se mantenga por debajo del límite. En las calderas de biomasa se aconseja la utilización de dos válvulas en serie taradas con una diferencia de presión entre ambas de 0.2 a 0.3 bar.

- **Desconector.** - Una caldera debe de estar provista de un sistema que permita el llenado automático y evite el retroceso de agua del circuito de calefacción hacia la red general, cuando falte presión en esta.
- **Válvula reductora de presión.** - Válvula que permite reducir la presión de la red general para ajustarla a la del circuito de calefacción.
- **Filtro.** - Que suele ser de cesta en las instalaciones grandes. Retiene las partículas gruesas que puedan venir en suspensión en el agua, protegiendo así la integridad de los cierres y de los equipos situados aguas abajo.
- **Contador de agua.** - Permite controlar si hay reposición de agua y por tanto fugas en el circuito.

Además de todos estos elementos, se instalan las válvulas de corte necesarias y los aparatos de medida precisos, para garantizar el control y el mantenimiento de la instalación con los mínimos cortes de servicio posibles.

### **De la distribución**

- **Circulador.**- El elemento fundamental de la distribución es el circulador o bomba de circulación. Se llama así porque su función es hacer circular el caudal de agua requerido en el circuito, para lo cual han de proporcionar la presión necesaria para vencer el rozamiento (pérdida de carga) del fluido con la tubería. Son bombas centrífugas , generalmente en línea, es decir montadas en la misma tubería y las hay de rotor seco y de rotor húmedo.

Con miras al ahorro energético, se pueden instalar bombas de caudal variable en función de la presión o la temperatura, lo que permite disminuir considerablemente el consumo eléctrico de bombeo.

- **Válvula de retención.**- O válvula antirretorno es aquella que solo permite el paso del agua en un sentido. Se coloca normalmente aguas-abajo de las bombas de circulación, es decir, delante en el sentido del flujo. Las hay de varios tipos: de clapeta, de disco y de bola.
- **Dilatadores.**- Son elementos que se instalan en la tubería para compensar los movimientos que se producen en la misma debido a su dilatación o contracción por

efecto de las variaciones de temperatura. Si se puede, estos movimientos deben absorberse con los cambios de dirección de la instalación. En tramos rectos largos, se pueden fabricar dilatadores con la propia tubería, o montar compensadores axiales prefabricados, con el recorrido preciso. El montaje de un dilatador debe incluir un punto de apoyo y unas guías que impidan el desplazamiento transversal de la tubería.

- **Purgadores.**- Son válvulas que permiten la evacuación del aire o gases contenidos en el agua. Pueden ser manuales y automáticos. Se montan distribuidos por la red e insertados en la tubería en los puntos más altos o más propensos a retener bolsas de aire.

## **De la emisión**

Válvula de reglaje, detentor y válvula de 4 vías para instalación monotubular

Los elementos terminales suelen estar provistos de todos los accesorios necesarios para su funcionamiento excepto en lo que se refiere a su interconexión con el circuito de calefacción, es decir, las válvulas de entrada y salida. Las más usuales son:

**Válvula de reglaje.**- son válvulas concebidas para que el usuario pueda regular el caudal de agua que entra en el radiador o elemento terminal, es decir, su potencia. Disponen de un pomo que facilita su manejo.

En cuanto a su conexión las hay de dos tipos: rectas y acodadas. En las rectas, las roscas o conexiones de enganche con la tubería están alineadas longitudinalmente, en las acodadas forman un ángulo de noventa grados.

**Detentor.**- Están concebidos para regular el caudal por parte del instalador, es decir, para hacer un ajuste previo al funcionamiento definitivo de la instalación. Por esa circunstancia, disponen de un tornillo de regulación oculto, o no accesible de forma natural al usuario. Por lo demás, son exactamente iguales a las válvulas de reglaje y se conectan a la salida del aparato.

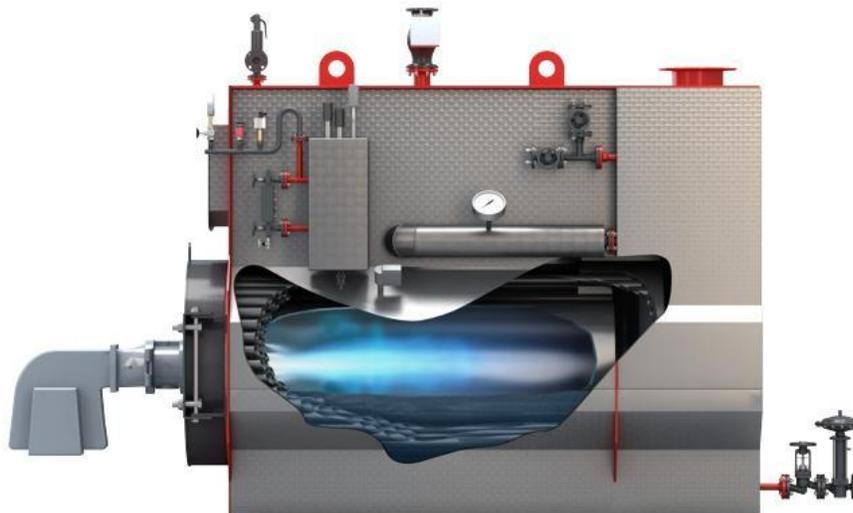
**Válvulas monotubo o válvulas de 4 vías,** son válvulas para radiadores montados en sistema monotubular, es decir, en serie. Debido a esto, su característica principal es que cuando se cierra la entrada al terminal, se bipsa la ida con el retorno y queda abierto el paso hacia el circuito. Se instalan en una de las entradas inferiores del radiador. Cuando

la regulación se hace exclusivamente girando el pomo, se llaman de *simple reglaje*. Hay válvulas que además disponen de un tornillo de regulación oculto, para ajuste por el instalador, y entonces se llaman de *doble reglaje*.

Todas estas válvulas existen en versión termostática, con regulación automática del caudal. El pomo constituye lo que se conoce como cabeza termostática y aloja un sensor de temperatura que por dilatación empuja un vástago que abre más ó menos la entrada de la válvula.

**Válvula de presión diferencial.** - Cuando en un anillo monotubular se acciona la válvula de un radiador para variar su caudal, el caudal bipasado hace variar el del resto de los radiadores. Para que esto no ocurra, se instalan válvulas de presión diferencial, que al aumentar la presión del circuito por el cierre de un radiador, abren proporcionalmente y derivan al retorno general el caudal que antes pasaba por el radiador.

Actualmente el desarrollo de la tecnología de la regulación y control de las instalaciones ha provocado la aparición de multitud de sistemas auxiliares, tantos que requieren un epígrafe aparte.



*Figura 2.14 Calentador de agua caliente*

## **CAPITULO 3**

### **OPERADOR DE SERVICIOS INDUSTRIALES**

La rutina del **operador de servicios industriales** en la industria comienza en entrega del turno con compañero del área, posterior se inicia tomando las lecturas de los energéticos: energía eléctrica, agua, vapor, gas natural, para luego capturarlas en sistema y llevar el registro de sus consumos.

#### **3.1 VAPOR**

Se realiza un check list de todos los equipos de servicios como son: calderas, tanque deareador, osmosis inversa, compresores de aire comprimido, secadoras de aire, anillo de grasa, compresores de amoniaco ( $\text{NH}_3$ ), fugas de amoniaco, unidades manejadoras de aire, torres de enfriamiento, condensador evaporativo, aeroenfriador, calentadores de agua caliente

Luego se sacan muestras de las calderas, figura 3.1, osmosis inversa, figura 3.2, tanque deareador, figura 3.3, retorno de condensados, cisterna, torres de enfriamiento, condensador evaporativo, aeroenfriador para realizarles sus análisis organolépticos como son: dureza, sílice, conductividad, aspecto, PH, temperatura, alcalinidad, hierro, sulfitos, fosfatos y cloro, todo esto para conocer las condiciones del agua en el proceso ya que estos equipos deben tener en específico una cierta calidad de agua.

Se realizan los análisis de gases de combustión en las calderas para validar que las emisiones que mandan a la atmosfera no se puedan afectar

También se operan y se les da mantenimiento a los equipos de servicios críticos:



*Figura 3.1 A izquierda, caldera Cleaver Brooks 500 C.C y a la derecha, caldera Bosch 600 C.C*



*Figura 3.2 Osmosis inversa*



*Figura 3.3 Tanque deareador*

## **Inspecciones y mantenimientos en la Generación de Vapor**

### **Mantenimientos**

#### **Mantenimiento Anual de Caldera:**

Limpeza interna del hogar, figura 3.4, cambio de refractario de tapas, limpieza de fluxes, ajuste y limpieza del quemador, limpieza de electrodo de ignición, mantenimiento al tren de gas, etc.

Es muy importante este mantenimiento una vez al año para garantizar el tiempo de vida y buen funcionamiento de una caldera de vapor.



*Figura 3.4 Mantenimiento Anual a Caldera Cleaver Brooks 500 C.C*

Por norma se deben sustituir o calibrar las válvulas de seguridad cada año, figura 3.5, para garantizar el buen funcionamiento de estas, y evitar una sobrepresión en las calderas.



*Figura 3.5 Reemplazo de válvulas de seguridad de las calderas*

Cada 6 meses se deben sustituir las membranas de la ósmosis, figura 3.6, para garantizar una excelente calidad de agua permeada y de flujo.



*Figura 3.6 Cambio de membranas de la ósmosis inversa*

Por el uso constante de estas válvulas para realizar purgas de fondo y superficie, sufren daños en manerales, vástagos y de más componentes, al momento de dañarse cierta válvula se debe reemplazar, figura 3.7, ya que cumplen una función muy importante en las calderas



*Figura 3.7 Reemplazo de válvulas en Calderas*

Es de suma importancia que el cristal de nivel de agua de la caldera, figura 3.8, se encuentre limpio, ya que este nos indica el nivel de agua que tiene la caldera a este elemento se le conoce como Mc Donnell y es la columna de agua.



*Figura 3.8 Limpieza del cristal de nivel de agua de la caldera*

### **3.2 AIRE COMPRIMIDO**

En la figura 3.9, se muestra un compresor de aire comprimido de tipo tornillo de la marca Kaeser de 200 hp



***Figura 3.9 Compresor de Aire Kaeser de 200 hp***

En la figura 3.10, un compresor de aire comprimido de alta presión (40 bar) con 2 pistones, un horizontal un vertical, de 3 etapas de compresión, de la marca Ateliers Francois, son utilizados para el soplado de PET.



*Figura 3.10 Compresor de alta presión de 3 etapas de 40 bar Atelier Francois*

En la figura 3.11, se muestra un compresor de aire comprimido de tipo tornillo de la marca Kaeser de 150 hp



*Figura 3.11 Compresor de aire Kaeser de 150 hp*

En la figura 3.12, se muestra un compresor de aire comprimido de tipo tornillo de la marca Ing Rsoll Rand de 150 hp



*Figura 3.12 Compresor de aire Ing Rsoll Rand de 150 hp*

En la figura 3.13, se muestra una secadora de aire comprimido de la marca Kaeser



*Figura 3.13 Secadora de Aire Kaeser*

En la figura 3.14, se muestra dos separadores de aceite de la marca Kaeser



*Figura 3.14 Separadores de Aceite Kaeser*

## Inspecciones y mantenimientos en la Generación de Aire Comprimido

Este es un ejemplo de un check list de operación de compresores de aire, figura 3.15, lo que se revisa en cada turno.

### Inspecciones:

FIRMA COORDINADOR		LUNES			MARTES			MIÉRCOLES			JUEVES			VIERNES			SÁBADO			DOMINGO		
FECHA		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
PARAMETROS		RANGO																				
<b>COMPRESOR KAESER 200</b>																						
PRESION DE AIRE	6.5 a 7.5 kg/cm <sup>2</sup>																					
TEMPERATURA DE OPERACIÓN	70 a 100 °C																					
PRESION SEPARADOR ACEITE	7 - 9 kg/cm <sup>2</sup>																					
MODULO DE OPERACIÓN	AUTO / MAN																					
NIVEL DE ACEITE	1/4 MINIMO																					
HORAS TOTALES OPERACIÓN	Hr:																					
HORAS TOTALES CARGA	<Hr																					
<b>COMPRESOR KAESER 150</b>																						
PRESION DE AIRE	6.5 a 7.5 kg/cm <sup>2</sup>																					
TEMPERATURA DE OPERACIÓN	70 a 100 °C																					
PRESION SEPARADOR ACEITE	7 - 9 kg/cm <sup>2</sup>																					
MODULO DE OPERACIÓN	AUTO / MAN																					
NIVEL DE ACEITE	1/4 MINIMO																					
HORAS TOTALES OPERACIÓN	Hr																					
HORAS TOTALES CARGA	Hr																					
<b>COMPRESOR INGERSOLL EP - 150</b>																						
PRESION DE AIRE	6.5 a 7.5 kg/cm <sup>2</sup>																					
TEMPERATURA DESCARGA	70 a 100 °C																					
MODULO DE OPERACIÓN	AUTO / MAN																					
NIVEL DE ACEITE	1/4 MINIMO																					
HORAS TOTALES OPERACIÓN	Hr																					
HORAS TOTALES CARGA	Hr																					
OPERADOR																						
OBSERVACIONES																						

Figura 3.15 Check List de compresores de aire

### Mantenimientos:

Realice la limpieza y sopleado de panel de enfriamiento del compresor, figura 3.16, utilizar aire comprimido para poder eliminar todo el polvo



*Figura 3.16 Limpieza y sopleteado de panel de enfriamiento.*

Después de eliminar la cantidad mayor de polvo cubra el motor, componentes eléctricos y sensores, etc. Con bolsas de plástico para poder utilizar Hidrolavadora para realizar una limpieza más a fondo y se pueda eliminar la suciedad sin que se dañen estos componentes del compresor.

### **Cambios de elementos**

Se realiza el cambio de filtros de aceite, filtros de aire, limpieza de gabinetes eléctricos, cambio de aceite, limpieza de radiadores, etc. esto cada 4 meses, para garantizar su buen funcionamiento, figura 3.17



***Figura 3.17 Mantenimiento a compresor de aire Kaeser de 200hp***

Se realiza cambio de filtros y limpieza en general, figura 3.18.



***Figura 3.18 Mantenimiento anual a separadoras de aceite***

### 3.3 REFRIGERACIÓN CON AMONIACO (NH<sub>3</sub>)

En la figura 3.19, se muestra un compresor de amoníaco de tipo tornillo de la marca Mayekawa de 200 toneladas de refrigeración, estos equipos son utilizados para enfriar las cámaras de refrigeración de carne y mantener una temperatura de -21°C.



*Figura 3.19 Compresor de tornillo Mayekawa 200 tons.*

En la figura 3.20, se muestra un compresor de amoníaco de tipo reciprocante de la marca Mayekawa, este equipo es utilizado para enfriar glicol y hacerlo recircular con ayuda de bombas y mantener una temperatura 0°C en tanques de vísceras.



*Figura 3.20 Compresor reciprocante Mayekawa*

En la figura 3.21, se puede ver la foto de unas torres de enfriamiento de la marca Evapco, estos equipos son utilizados para condensar el amoniaco y mantener la presión de descarga y temperatura de un compresor de tornillo de amoniaco.



*Figura 3.21 Torres de enfriamiento Evapco*

En la figura 3.22, se muestra un condensador evaporativo de la marca Evapco, estos equipos son utilizados para condensar el amoniaco y mantener la presión de descarga y temperatura de un compresor de tornillo de amoniaco.



*Figura 3.22 Condensador evaporativo Evapco*

En la figura 3.23, se puede ver un aerofriador de la marca Guntner, estos equipos son utilizados para bajar la temperatura del agua que es utilizada para enfriar unas chaquetas de acondicionadores de extrusores donde se hacen las croquetas.



*Figura 3.23 Aeroenfriador*

### **Inspecciones y mantenimientos en Refrigeración (NH<sub>3</sub>)**

Aquí están los formatos de inspecciones de los compresores de amoniaco y sus torres de enfriamiento, figura 3.24, lo que se revisa en cada turno.

# Inspecciones

FIRMA COORDINADOR		LUNES			MARTES			MIÉRCOLES			JUEVES			VIERNES			SÁBADO			DOMINGO			
FECHA		1er	2do	3er	1er	2do	3er	1er	2do	3er	1er	2do	3er	1er	2do	3er	1er	2do	3er	1er	2do	3er	
PARAMETROS	RANGO																						
PRESION DE SUCCION (SP)	0.3 - 1.5 kg/cm <sup>2</sup>																						
PRESION DE DESCARGA (DP)	8.0 - 12 kg/cm <sup>2</sup>																						
PRESION DE ACEITE (OP)	2.0 - 4.0 kg/cm <sup>2</sup>																						
PRESION DIFERENCIAL (OP)	0.5 - 1.0 kg/cm <sup>2</sup>																						
% OPERACION	0.0 - 100 %																						
TEMPERATURA DE SUCCION (ST)	0.0°C - 0°C																						
TEMPERATURA DE DESCARGA (DT)	40°C - 80°C																						
TEMPERATURA DE ACEITE (OT)	30°C - 80°C																						
VALVULAS DE ACEITE VALVULAS DE SEGURIDAD RECIPIER LIMPIAS SIN CORROSION	LIMPIA, LIMPIO Y SIN CORROSION																						
VALVULAS DE ACEITE VALVULAS DE SEGURIDAD SEPARADOR DE ACEITE LIMPIAS Y SIN CORROSION	LIMPIA, LIMPIO Y SIN CORROSION																						
VALVULAS DE ACEITE VALVULAS DE SEGURIDAD TRAMPA DE SUCCION LIMPIAS Y SIN CORROSION	LIMPIA, LIMPIO Y SIN CORROSION																						
SEPARADOR, INTERCAMBIADOR DE PLACAS																							
VALVULAS DE ACEITE VALVULAS DE SEGURIDAD RECONCILIADOR LIMPIAS Y SIN CORROSION	LIMPIA, LIMPIO Y SIN CORROSION																						
CONDENSADOR INTERCAMBIADOR DE PLACAS	LIMPIA, LIMPIO Y SIN CORROSION																						
CORRIENTE DE MOTOR (MA)	< 16 Amp																						
TIEMPO DE OPERACION CONTINUA	Ha																						
TUBERIAS SIN CORROSION	SIN CORROSION																						
ASELAMIENTO TUBERIO SIN GELINAS CORROSION ETC.	SIN																						
DEFUSORES SIN HIELO	SIN HIELO																						
TEMPERATURA LUBRICANTE # 1 (T1) (MIN)	MAXIMO -18°C																						
TEMPERATURA LUBRICANTE # 2 (T2) (MIN)	MAXIMO -18°C																						
PRESION SENSIA SALMUERA # 1 (MCM1) (PS)	2.5 - 4.0 kg/cm <sup>2</sup>																						
PRESION SENSIA SALMUERA # 2 (MCM2) (PS)	2.5 - 2.0 kg/cm <sup>2</sup>																						
TEMPERATURA DESCARGA SALMUERA	MINIMO -20°C																						
OPERADOR																							
OBSERVACIONES / COMENTARIOS																							

Figura 3.24 Check List de Compresor de Tornillo

## Mantenimientos

Mantenimiento anual a compresores de tornillo, figura 3.25.

Se realiza el reemplazo de filtros de aceite, cambio de aceite, vacío, revisión de motor, etc.



*Figura 3.25 Mantenimiento anual a compresores de tornillo*

En la figura 3.26 se muestra el mantenimiento y limpieza de placas de un Intercambiador de Placas, en donde se había presentado una fuga de amoníaco por daño en un empaque del lado del amoníaco.



***Figura 3.26 Mantenimiento y limpieza de intercambiador de placas***

En la figura 3.27, se muestra el interior de una torre de enfriamiento, en donde se cambiaron las chumaceras y las bandas de transmisión del motor con el ventilador.



***Figura 3.27 Cambio de chumaceras y bandas de ventilador de torres de enfriamiento***

En la figura 3.28, se muestra la limpieza con agua de los paneles de enfriamiento o radiadores, para asegurar un intercambio de calor efectivo.



*Figura 3.28 Limpieza de paneles de aerofriador*

En la figura 3.29, se aprecia el interior de una torre de enfriamiento, la cual se le realizo limpieza de espesas y tubos intercambiadores de calor, para asegurar la correcta condensación del gas amoniaco.



*Figura 3.29 Limpieza y desincrustacion de tubos fluxes en torres de enfriamiento*

### **3.4 AGUA CALIENTE**

En la figura 3.30, se muestra una caldera de agua caliente de la marca Bosch, en su puesta en marcha para el proyecto de calentamiento de las chaquetas de agua caliente de los Tanques de Grasa, ya que antes se ocupaba vapor para calentar esta agua.



*Figura 3.30 Puesta en marcha de calentadores Bosch*

## **CAPITULO 4**

### **RECOMENDACIONES Y APORTACIONES**

#### **4.1 RECOMENDACIONES Y APORTACIONES**

En esta tesis se puntualizan las contribuciones de conocimientos y experiencias al área de los servicios industriales, y particularmente la aportación de este trabajo de investigación a la teoría de los servicios industriales.

Este apartado consiste en exponer diversas condiciones, resultados, aportaciones, recomendaciones y conclusiones a las que se llegó después del análisis de las formas de operación y mantenimientos que existen para los servicios industriales en las pequeñas, medianas y grandes empresas. Una vez que fuera analizado a través del sustento de la evolución de los servicios industriales. Lo anterior, con el fin de llegar a identificar las formas de operación y de mantenimientos, los principales problemas y determinar estrategias de mantenimiento.

Algunas mejoras que he propuesto dentro del departamento de Servicios Industriales son las siguientes:

- Realizar un estar LIL (Limpieza, Inspección y Lubricación) a cada uno de los equipos, para saber las condiciones en las que esta y así conocer a fondo el equipo, ya que como son servicios críticos que si fallan paran de inmediato la Planta.
  
- Llevar a cabo los Planes de Mantenimiento para tener en óptimas condiciones nuestros equipos.
  
- Realizar los análisis de aguas de los equipos de Servicios para ver las condiciones en las que se encuentra el tratamiento de agua y así poder evitar incrustaciones, solidos, etc.

- Recomiendo involucrarse en las fallas de los equipos para que se puedan conocer todos los síntomas de avería y así poder atender de inmediato.
- También es importante tener una buena preparación, con cursos y licencias para poder operar y dar mantenimiento a estos equipos, ya que son área restringidas para las demás personas de la compañía o fábrica donde existan los servicios industriales.
- Por último, recomiendo que los ingenieros de nuestro país se desempeñen en los Servicios Críticos ya que en los últimos años ha estado creciendo mucho esta área y aparte en casi todas las empresas de México y el Mundo hay estos servicios de vapor, refrigeración, aire comprimido, entre otras, así que siempre habrá un trabajo para el que se desempeñe en esta área.

## CONCLUSIONES

Después de trabajo realizado se pueden establecer las conclusiones siguientes:

- El mantenimiento dentro de la industria es un campo muy amplio y dentro del cual se requiere de mucho conocimiento tanto en la teoría como en la práctica ya que las 2 van de la mano para realizar las tareas que se desempeñan en los mantenimientos correctivos y preventivos de las máquinas. Los conocimientos obtenidos dentro de la carrera de ingeniería son de gran ayuda ya que se ponen en práctica cuando se desempeña los trabajos de mantenimiento, día con día se obtiene más experiencia y conocimiento con forme se interactúa con las máquinas y el conocimiento obtenido se complementa haciendo de esta manera que las piezas del rompecabezas se acomoden de una forma sencilla.
- Las máquinas en la industria nunca serán iguales pero los mecanismo que contiene y todos los sistemas con los que cuentan para realizar las tareas para la cual están diseñadas son los mismos que aprendimos y vimos en la carrera de ingeniería solo que en una máquinas se juntan todas las partes y mecanismos para realizar una tarea específica aquí es donde el ingeniero debe de tener la habilidad para detectar la falla que presenta dicha máquina y de esta forma después de detectar la falla poner en práctica una solución rápida, y eficaz para solucionar el problema que tiene bloqueada la producción, el tiempo de la reparación depende mucho de que las piezas dañadas estén existentes en el almacén de esta forma la reparación es mucho más rápida de realizar de lo contrario el tiempo se extiende.
- Hoy en día existen muchos tipos de mantenimiento a parte del preventivo y el correctivo, por mencionar algunos está el mantenimiento predictivo y el mantenimiento productivo total que son algunas herramientas más especializadas que ayudan hacer más eficientes las máquinas y protegen al personal contra accidentes.
- Dentro de este trabajo se habla de mantenimientos preventivos y correctivos realizados a las máquinas y el procedimiento que se lleva acabo, de esta manera se pretende ayudar a los ingenieros que emprenden su camino, y que tienen interés por el mantenimiento industrial, tomen la decisión de profundizar más sus conocimientos en

cada uno de los diferentes tipos de mantenimiento para tener una visión eficaz que les ayude a competir y a demostrar que los conocimientos que tienen son su herramienta más preciada para desempeñar con seguridad el trabajo que se les asignen.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Fundamentos de Termodinámica Técnica.  
Michael J. Moran; Howard N. Shapiro  
Editorial Reverte, S.A., 2010
2. Calderas, Tipos, Características y sus Funciones.  
Shield, C. D.  
Editorial CECSA, México, 2006.
3. Química en Ingeniería.  
Munro, L. A.  
Editorial Urmo, Bilbao, 2009
4. El Amoniaco como Refrigerante.  
Instituto Internacional del Frio  
Editorial I.F.F., 2007
5. Aire Comprimido: Teoría y Calculo de las Instalaciones (2da ED.).  
Enrique Carnicer Royo  
Ediciones Paraninfo, S.A., 2008
6. Transferencia de Calor.  
Pitts, D.R., & Sissom, L.E.  
McGraw-Hill, Bogotá, 2005.
7. Mantenimiento de Calderas Industriales y Marinas.  
Guayaquil Vargas Zúñiga, A.  
Editorial Series VZ 2012.

8. Sistemas industriales accionados por aire comprimido.  
Enrique Carnicer Royo  
Ediciones Paraninfo, S.A., 2009
  
9. Termodinámica, Séptima edición.  
Çengel, Boles  
Ed Mc Graw Hill, 2012 536 ÇEN
  
10. Fundamentos de Termodinámica Técnica.  
Morán, M.J. Shapiro  
Ed. Reverte 2010.