



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

**PROBLEMAS MÁS FRECUENTES EN LA INDUSTRIA  
MANUFACTURERA GUATEMALTECA COMO CONSECUENCIA  
DEL INADECUADO MANTENIMIENTO EN COMPRESORES DE  
AIRE DE TORNILLO Y PROPUESTA PARA LA DISMINUCIÓN DE  
LOS MISMOS**

**Henry Daniel Archer de la Vega**

Asesorado por el Ing. Luis Alfredo Asturias Zúñiga

Guatemala, noviembre de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROBLEMAS MÁS FRECUENTES EN LA INDUSTRIA  
MANUFACTURERA GUATEMALTECA COMO CONSECUENCIA  
DEL INADECUADO MANTENIMIENTO EN COMPRESORES DE  
AIRE DE TORNILLO Y PROPUESTA PARA LA DISMINUCIÓN DE  
LOS MISMOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**HENRY DANIEL ARCHER DE LA VEGA**

ASESORADO POR EL ING. LUIS ALFREDO ASTURIAS ZÚÑIGA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



### **NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

### **TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Osmar Omar Rodas Mazariegos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Anibal Chocojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Figueroa Vásquez
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

### **PROBLEMAS MÁS FRECUENTES EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA GUATEMALTECA COMO CONSECUENCIA DEL INADECUADO MANTENIMIENTO EN COMPRESORES DE AIRE DE TORNILLO Y PROPUESTA PARA LA DISMINUCIÓN DE LOS MISMOS,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica , el 9 de febrero de 2009.



Henry Daniel Archer de la Vega

Guatemala, 3 de septiembre de 2009

Ing. Julio Cesar Campos Paiz  
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor director:

Adjunto encontrara el trabajo de graduación titulado **"PROBLEMAS MÁS FRECUENTES EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA GUATEMALTECA COMO CONSECUENCIA DEL INADECUADO MANTENIMIENTO EN COMPRESORES DE AIRE DE TORNILLO Y PROPUESTA PARA LA DISMINUCIÓN DE LOS MISMOS"** presentado por el estudiante universitario Henry Daniel Archer de la Vega, previo a optar al título de Ingeniero Mecánico.

En mi calidad de asesor me permito comunicarle que el presente documento fue revisado y corregido conforme a mis observaciones, contribuyendo al conocimiento general del tema en nuestro medio, enriqueciendo así lo ya existente

Por tal motivo doy mi aprobación.

Atentamente,

  
Ing. Luis Alfredo Asturias Zúñiga  
Colegiado 2787  
ASESOR

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA**

El Coordinador del Área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen **PROBLEMAS MÁS FRECUENTES EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA GUATEMALTECA COMO CONSECUENCIA DEL INADECUADO MANTENIMIENTO EN COMPRESORES DE AIRE DE TORNILLO Y PROPUESTA PARA LA DISMINUCIÓN DE LOS MISMOS** del estudiante Henry Daniel Archer de la Vega, recomienda su aprobación.

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

  
Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
**Coordinador de Área**

Guatemala, noviembre de 2009.

/behdei.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA**

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área Complementaria, al Trabajo de Graduación titulado PROBLEMAS MÁS FRECUENTES EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA GUATEMALTECA, COMO CONSECUENCIA DEL INADECUADO MANTENIMIENTO EN COMPRESORES DE AIRE DE TORNILLO Y PROPUESTA PARA LA DISMINUCIÓN DE LOS MISMOS, del estudiante Henry Daniel Archer de la Vega, procede a la autorización del mismo.

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

  
Ing. Julio César Campos Paiz  
**DIRECTOR**



Guatemala, noviembre de 2009

JCCP/behdei

Universidad de San Carlos  
De Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.525.2009

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **PROBLEMAS MÁS FRECUENTES EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA GUATEMALTECA COMO CONSECUENCIA DEL INADECUADO MANTENIMIENTO EN COMPRESORES DE AIRE DE TORNILLO Y PROPUESTA PARA LA DISMINUCIÓN DE LOS MISMOS**, presentado por el estudiante universitario **Henry Daniel Archer De la Vega** procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
DECANO



Guatemala, noviembre de 2009

/cc



## **ACTO DE QUE DEDICO A:**

### **DIOS**

Ya que en cada día de mi existencia me ha guiado y cuidado para poder hacer las cosas bien, sus bendiciones me han hecho grande en la vida.

### **MIS PADRES**

Ya que sin su apoyo, su amor y sus consejos, jamás hubiese llegado hasta donde estoy, para ellos en especial este momento, ya que siempre fue uno de sus sueños.

### **MIS HERMANOS**

Por haberme brindado apoyo siempre que lo necesite a lo largo del camino de la vida.

### **MI TÍO ARTURO DE LA VEGA (D.E.P)**

Porque siempre estuvo al tanto de que yo fuera un hombre de bien, sin su ayuda en momentos que la necesite, no hubiera podido llegar hasta donde estoy, siempre lo extrañare.

## **MI NOVIA EVELYN**

Por haberla conocido en el momento de mi vida en que más necesitaba alguien a mi lado, gracias por amarme y estar conmigo siempre cuando lo necesito, eres mi motivación para hacer bien las cosas todos los días.

## **MIS AMIGOS**

Por poner su granito de arena para ayudarme a culminar con éxito este desafío.

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**

## **AGRADECIMIENTOS A:**

### **FACULTAD DE INGENIERÍA**

Por brindarme conocimientos no únicamente académicos, si no generales que me servirán a lo largo de mi vida

### **COMPRES, S.A**

Por confiar en mí sin conocerme, por darme la oportunidad de empezarme a desarrollar profesionalmente, su apoyo fue vital para este trabajo.

### **MI ASESOR**

Por guiarme a través del camino hacia la culminación de mi carrera

## **ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
GLOSARIO	XV
RESUMEN	XXI
OBJETIVOS	XXV
INTRODUCCIÓN	XXVII

## 1 HISTORIA DE COMPRESORES

1.1	Antecedentes históricos	1
1.2	Tipos de compresores	3
1.2.1	Compresión por reducción de volumen	3
1.2.2	Compresión por aceleración de partículas	4
1.2.3	Familias de compresores	4
1.2.3.1	Compresor de pistón	4
1.2.3.2	Compresor de diafragma	6
1.2.3.3	Compresores axiales	6
1.2.3.4	Compresores radiales	8
1.2.3.5	Compresor de roots o lóbulos	9
1.2.3.6	Compresores de paletas deslizantes	10
1.2.3.6	Compresores de espiral	11
1.2.3.7	Compresores de uña	13
1.3	Compresor de tornillo	14
1.3.1	Compresor de tornillo lubricado	15
1.4	Partes fundamentales de un compresor de tornillo lubricado y su funcionamiento	18

1.4.1	Filtro para aire	18
1.4.2	Filtro para aceite	19
1.4.3	Válvula de admisión	21
1.4.4	Válvula solenoide	22
1.4.5	Válvula de cierre de aceite	23
1.4.6	Válvula anti retorno	23
1.4.7	Válvula de presión mínima	24
1.4.8	Válvula de cierre de aceite	25
1.4.9	Separador de aceite	25
1.4.10	Enfriador aire-aceite	27
1.4.11	Válvula termostática	28
1.4.12	Trampa de Condensados	29
1.4.13	Interacción de todas las partes	29
1.5	Lubricación	30
1.6	Factores que están directamente relacionados con el consumo eléctrico de un compresor	33
1.6.1	Costos asociados a la generación de aire comprimido	<b>33</b>
<b>2. PROPUESTAS PARA LA INSTALACIÓN Y FUNCIONAMIENTO IDEAL DE UN COMPRESOR DE AIRE DE TORNILLO</b>		<b>39</b>
2.1	Selección del tamaño adecuado del compresor	39
2.2	Instalación	49
2.2.1	Compresor (instalación física)	50
2.2.1.1	Espacio entre paredes	50
2.3	Instalación eléctrica	51
2.3.1	Arranque	52
2.4	Ambiente de trabajo	52
2.4.1	Temperatura	53

2.4.2	Contaminantes	53
2.5	Ruido	58
2.6	Monitoreo de parámetros	59
2.6.1	Parámetros normales de funcionamiento	61
2.7	Cuarto de compresores finalizado	63
<b>3.</b>	<b>PROPUESTAS PARA PERÌODOS DE MANTENIMIENTO EN LOS COMPRESORES DE TORNILLO Y DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES A REALIZAR EN LOS MISMOS</b>	<b>65</b>
3.1	Revisión de parámetros de controlador	66
3.2	Mantenimientos preventivos	67
3.2.1	Actividades diarias	69
3.3	Mantenimiento de 2000 horas	71
3.3.1	Revisión de parámetros del controlador	71
3.3.2	Inspección física del equipo	72
3.3.3	Inspección física de mangueras	73
3.3.4	Revisión de conexión eléctrica de control	74
3.3.5	Revisión de y limpieza de válvulas de control.	76
3.3.6	Limpieza e inspección orificio de barrido	78
3.3.7	Limpieza de válvula mínima de presión	78
3.3.8	Revisión de trampa de agua	79
3.3.9	Limpieza con aire del enfriador de aire-aceite	81
3.3.10	Limpieza general	82
3.3.11	Cambio de filtro para aire	83
3.3.12	Cambio de filtro para aceite	85
3.4	Mantenimiento de 4000 horas	86
3.4.1	Lubricación de motor	87
3.4.2	Cambio de aceite mineral	87

3.4.2.1	Drenaje de aceite del depósito	89
3.4.2.2	Drenaje de enfriadores de aceite	90
3.4.2.3	Drenaje de aceite de unidad compresora	91
3.4.2.4	Llenado del depósito de aceite	92
3.5	Mantenimiento de 6000 horas	94
3.6	Mantenimiento de 8000 horas	94
3.6.1	Drenaje y cambio de aceite sintético o mineral	94
3.6.2	Cambio del elemento separador	95
3.7	Mantenimiento de 40000 horas	97
<b>4.</b>	<b>FALLAS MÁS COMUNES Y SUS RESPECTIVAS SOLUCIONES EN LOS COMPRESORES DE AIRE DE TORNILLO POR ALARGAMIENTO DE LOS PERÍODOS DE MANTENIMIENTO O FALTA DEL MISMO</b>	<b>105</b>
4.1	Fallas por nivel bajo de lubricante	105
4.2	Fallas provocadas por filtros sucios u obstruidos	107
4.3	Fallas Eléctricas	107
4.4	Fallas Causadas por válvulas desgastadas o sucias	109
4.5	Fallas causadas por ambientes sucios de trabajo	111
4.6	Síntomas globales causados por la falta de mantenimiento	113
<b>5.</b>	<b>PROPUESTAS PARA UN EFICIENTE Y ADECUADO FUNCIONAMIENTO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO, EN RELACION DIRECTA CON LA APLICACIÓN</b>	<b>117</b>
5.1	Tratamiento de aire comprimido	117
5.1.1	Humedad	119
5.1.1.1	Humedad relativa	119
5.1.1.2	Humedad específica	119
5.1.1.3	Humedad absoluta	119

5.1.2	Condensación	122
5.1.3	Punto de rocío	123
5.2	Tipos de secadores	123
5.2.1	Principios del secado de aire	126
5.2.1.1	Principio de enfriamiento	126
5.2.1.1.1	Post-enfriador	127
5.2.1.1.2	Secador tefrigerativo	127
5.2.1.2	Principio de absorción	132
5.2.1.3	Principio adsorción	133
5.3	Filtros	135
5.3.1	Eficiencia y vida útil de los filtros	139
5.4	Tipos de aire según normas ISO	142
5.5	Aire de producción	146
5.6	Aire de proceso	147
5.7	Instalaciones típicas para las distintas clases de aire	149
5.7.1	Compresor lubricado + tanque + filtro de partículas + secador frigorífico + filtro coalescente	149
5.7.2	Compresor lubricado + tanque + filtro de partículas + secador frigorífico + filtro coalescente + filtro de carbón activado	150
5.7.3	Compresor lubricado + tanque + filtro de partículas + filtro coalescente + secador de adsorción + filtro coalescente + filtro de carbón activado.	151
5.7.4	Compresor lubricado + tanque + filtro de partículas + filtro coalescente + secador de adsorción + filtro coalescente	152
5.7.5	Compresor exento de aceite + tanque + secador de adsorción	



+ filtro coalescente	153
<b>CONCLUSIONES</b>	155
<b>RECOMENDACIONES</b>	159
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	161

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

Corte de un compresor pistón	5
Familias de compresores de pistón	7
Vista compresor axial	8
Vista interna compresor radial	10
Principio de funcionamiento de compresor roots	11
Principio de funcionamiento de compresor de paletas	12
Principio de operación de un compresor de espiral	12
Unidad compresora compresor espiral	13
Principio de funcionamiento de compresor de uña exento de aceite	14
Familias de compresores	15
Vista interna de una unidad compresora de tornillo	16
Principio de funcionamiento de compresor de tornillo	17
Filtros para aire y aceite de compresores	21
Válvula de admisión	22
Válvula solenoide	23
Válvula de presión mínima	25

Separadores de aceite	26
Enfriador aire aceite de compresor de tornillo	27
Principio de trabajo de válvula termostática	28
Trampa de condensados ciclónica	29
Partes de compresor de tornillo	32
Costos asociados a la generación de aire comprimido	34
Tipos de flujo de aire comprimido	40
Gráfica de consumo día sábado	42
Gráfica de consumo día domingo	43
Gráfica de consumo día lunes	44
Gráfica de consumo día martes	45
Gráfica de consumo día miércoles	45
Gráfica de consumo día jueves	46
Gráfica de consumo día viernes	46
Instalación básica de un compresor de tornillo	49
Ejemplo de instalación de un compresor de tornillo en cuarto	55
Arrancador estrella-delta en compresor de tornillo	56
Diagrama de un arrancador estrella delta	56
Esponja sintética colocada en las cubiertas del compresor como aislante de sonido	56
Muestra de algunos controladores de distintos fabricantes de compresores existentes en el mercado guatemalteco	62

Vista de un cuarto de compresores finalizado	64
Mangueras dentro de un compresor	74
Vista de la parte trasera de controlador electrónico en un compresor	75
Vista de sensor de presión diferencial de separador de aceite	75
Sensor de temperatura de aceite	76
Vista de las válvulas de control con sus distintas señales de aire (diseño americano)	77
Vista de válvula solenoide controlado la apertura de válvula de admisión (diseño europeo).	77
Vista de tapadera de separador con tubo de orificio de barrido	79
Vista de la válvula de presión mínima	80
Trampa de agua	80
Enfriador aire-aceite	81
Enfriador aire-aceite	82
Filtro de aire completamente contaminado	83
Vista de filtro de aire usado en condiciones ambientales normales	84
Porta filtro de compresor	85
Filtros de aceite instalados en un compresor	86
Acople entre motor eléctrico y unidad compresora contaminado por mezcla de aceite	88
Mezcla gelatinosa de aceites extraída del acople motor-unidad,	88
Mezcla gelatinosa de aceite extraída del filtro separador de aceite	89
Depósito de aceite en compresor	90

Las líneas muestran la ubicación de los tapones de drenaje de la unidad	de	92
Vista de tapón de depósito de aceite		93
Indicador de nivel de aceite en compresor		93
Vista interna de filtro separador de aceite usado		96
Vista externa de separador de aceite usado		96
Equipo de ultrasonido de contacto		97
Puntos de medición de ultrasonido en un motor eléctrico de compresor		98
Puntos de medición de ultrasonido de contacto en unidad compresora de tornillo		95
Puntos de medición en unidad compresora de tornillo		99
Unidad compresora sin tapadera trasera		100
Tornillos helicoidales, vista lateral		101
Tornillos helicoidales, vista frontal		101
Housing de tornillos ya con trabajo de rectificación realizado		102
Vista de tapadera frontal de tornillos ya trabajada		103
Composición del aire ambiente		117
Humedad en el aire ambiente		118
Gráfica presión contra temperatura		120
Contenido de agua en el aire saturado según la temperatura del mismo	del	120
Gráfica temperatura contra contenido de agua en el aire ambiente		122
Ejemplificación de contenido de agua en el aire comprimido		124

Ejemplificación de contenido de agua en el aire comprimido	segunda	
parte		125
Esquema de un secador refrigerativo de aire comprimido		128
Esquema del circuito de aire del secador refrigerativo		128
Esquema del circuito de refrigerante del secador refrigerativo		129
Ejemplificación de la cantidad de aire comprimido en la línea	de	
aire comprimido con secador refrigerativo instalado.		131
Funcionamiento de secador de absorción		133
Secador de adsorción regenerado por calor		134
Secador de adsorción regenerado por aire		135
Distintas presentaciones de filtros para tratamiento de aire	comprimido	139
Gráfica de comportamiento temperatura contra contenido de aceite.		140
Analogía del comportamiento de los filtros de carbón activado		142
Esquema de compresor clase 0 exento de aceite		145
Ejemplo de aplicación de aire de producción		147
Ejemplos de industrias donde es utilizado el aire de proceso		148
Instalación compresor lubricado + tanque + filtro de partículas +	secador	
frigorífico + filtro coalescente, encontrada en la mayoría de industrias		150
Instalación compresor lubricado + tanque + filtro de partículas + secador		
frigorífico + filtro coalescente + filtro de carbón activado		150
Instalación compresor lubricado + tanque + filtro de partículas + filtro		
coalescente + secador de adsorción + filtro coalescente + filtro de carbón		
activado		152

Instalación compresor lubricado + tanque + filtro de partículas + filtro coalescente + secador de adsorción + filtro coalescente	152
Comparación entre un compresor lubricado y uno exento de aceite	153
Distintos tipos de contaminación de aceite en tuberías	154
Instalación compresor exento de aceite + tanque + secador de adsorción + filtro coalescente	154

## TABLAS

Características de compresor medido	41
Datos obtenidos de la medición de aire	47
Datos de aire comprimido generados durante la medición	47
Datos de estimación anual de costos de operación de compresor	48
Consumo de corriente y calibre de conductor a utilizar en una acometida eléctrica de un compresor.	57
Actividades a realizar en los mantenimientos de tipo preventivo	72
Fallas causadas por nivel bajo de lubricante y sus respectivas soluciones	108
Fallas provocadas por filtros sucios y sus respectivas soluciones	110
Fallas eléctricas y sus respectivas soluciones	112
Fallas eléctricas en la parte de control y sus respectivas soluciones.	113
Fallas causadas por válvulas desgastadas o sucias	114
Relación entre la temperatura, presión y temperatura del aire ambiente	121

Clasificación de calidades de aire, según norma ISO 8573-1 1991	143
Clasificación de calidades de aire, según norma ISO 8573-1 2001	144





## **GLOSARIO**

<b>Caudal</b>	Es la cantidad de fluido que pasa por determinado elemento en la unidad de tiempo.
<b>Condensado</b>	Es el vapor convertido en líquido o en sólido.
<b>Consumo de aire</b>	Cantidad de aire que gasta cualquier equipo para llevar a cabo de su funcionamiento.
<b>Contactador</b>	Es un elemento conductor que tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente, ya sea en el circuito de potencia o en el circuito de mando, tan pronto se energice la bobina que se encuentra dentro de él.
<b>Contaminación</b>	Efecto producido por alterar nocivamente la pureza o las condiciones normales de una cosa o un medio por agentes químicos o físicos.

<b>Decibel</b>	Es la unidad relativa empleada en acústica y telecomunicaciones para expresar la relación entre dos magnitudes.
<b>Estándar</b>	Que sirve como tipo, modelo, norma, patrón o referencia.
<b>Flushing</b>	Lavado a presión realizado con químicos especiales, para retirar de una superficie suciedad, corrosión y sustancias no deseadas.
<b>Fuga</b>	Salida de un fluido por un orificio o por una abertura producidos accidentalmente.
<b>Hélice</b>	Conjunto de aletas helicoidales que giran alrededor de un eje y empujan el fluido ambiente produciendo en él una fuerza de reacción.
<b>Housing</b>	Palabra inglesa utilizada para describir la empaquetadura o caja en donde se encuentran alojadas partes móviles en una maquina.

<b>HR</b>	Siglas utilizadas para abreviar la palabra Humedad Relativa.
<b>Mantenimiento</b>	Conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones, edificios, industrias, etc., puedan seguir funcionando adecuadamente.
<b>O-ring</b>	Empaque de material elastómero, en forma de anillo utilizado para hacer sellos en roscas o tuercas.
<b>Over Haul</b>	Palabra inglesa utilizada para definir la reconstrucción y reparación de maquinaria en general.
<b>Partículas</b>	Conjunto de pequeñas partes de materia.
<b>PET</b>	Abreviación Inglesa de Polyethylene Terephthalate, que es un plástico transparente muy utilizado para la fabricación de envases.

<b>PLC</b>	Siglas provenientes de la palabra inglesa Programmable Logic Controller, que no es más que un dispositivo que se programa para controle procesos automáticamente
<b>Potencia</b>	Cantidad de energía producida o consumida por unidad de tiempo.
<b>Presión</b>	Es una magnitud física que mide la fuerza por unidad de superficie, y sirve para caracterizar como se aplica una determinada fuerza resultante sobre una superficie.
<b>Punto de rocío</b>	Es la temperatura a la que empieza a condensar el vapor de agua contenido en el aire, produciendo rocío.
<b>Roots</b>	Palabra inglesa utilizada para describir los lóbulos de un compresor de este tipo.
<b>Solenoides</b>	Llamada así a la bobina hecha de una enrolladora de alambre que produce un campo magnético y de esa manera activa o desactiva algún dispositivo.

<b>Soplante</b>	Equipo o maquinaria que cumple con la acción de soplar.
<b>Temperatura</b>	Magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos.
<b>Tiempo de carga</b>	Tiempo en que el compresor se encuentra funcionando y entregando aire comprimido a la presión deseada.
<b>Tiempo de descarga</b>	Tiempo en que el compresor se encuentra funcionando sin entregar aire comprimido.
<b>Tornillo helicoidal</b>	Tornillo en el cual las hélices están en disposición angular.
<b>Ultrasonido</b>	El ultrasonido es una onda acústica cuya frecuencia está por encima del límite perceptible por el oído humano, una tecnología para realizar mantenimiento predictivo por medio de escuchar ruidos extraños en los equipos.
<b>VAC</b>	Siglas Utilizadas para definir la corriente alterna en un componente.

## **Volumen**

Magnitud física que expresa la extensión de un cuerpo en tres dimensiones: largo, ancho y alto.

## RESUMEN

El compresor es uno de los equipos mas costosos en lo que a inversion inicial, mantenimiento y consumo electrico se refiere, por los mismos motivos es necesario poner especial enfasis en lo que a los problemas que este causa por su inadecuado uso y mantenimiento.

El presente texto presenta una panorámica de situación real de la industria guatemalteca en el tema, presentando una propuesta concreta para tener un compresor en buenas condiciones en toda su vida util.

Se principia con un poco de historia de los orígenes del compresor, como fue empezado a utilizar y como fue evolucionando con el pasar del tiempo, describiendose todos los tipos de compresores y sus distintas familias, como los son el compresor de piston, de lóbulos, de diafragma y el principal en el este trabajo de graduacion, el compresor de tornillo. Se hace especial enfansis en este ultimo, describiendo todas sus partes fundamentales y interaccion para asi generar aire comprimdo a una presion deseada y entregarlo hacia la linea.

Continua una descripcion de cómo seleccionar adecuadamente la potencia de un compresor para determinada aplicación, lo cual se puede hacer con dos metodos propuestos, el primero haciendo una sumatoria de los consumos de todas las maquinas que se tengan en la planta, el segundo es utilizando tecnologia de punta para realizar mediciones de consumo de aire en toda la planta con un equipo llamado DATA LOGGER, este recolecta los datos de consumo, presion, temperatura, punto de rocío del aire comprimido durante cierto período de tiempo, estos son descargados a un software computacional,



que muestra gráficas de comportamiento de las anteriores variables y por medio de estas tomar una decisión acerca de que hacer con un sistema de aire comprimido, este ultimo solo puede ser utilizado en sistemas de aire comprimido ya existentes, siguiendo este analisis se toca el tema de los costos implicitos para la generacion de aire comprimido durante toda la vida util del compresor.

Cuando ya se tiene seleccionado el tamaño adecuado del compresor por medio de los analisis de anteriormente descritos, se hacen alguna propuestas en lo que a instalacion eletrica y fisica se requiere para que el compresor quede instalado de una manera correcta.

Teniendo toda la informacion anterior clara, se profundiza en el tema del mantenimiento del compresor, aquí se dan propuestas que han sido establecidas en base periodos de tiempo sugeridos por el fabricante y tambien en base a la experiencia del diario vivir, dando como resultado una excelente referencia para el mantenimiento adecuado de los mismos, en base a una tabla de rutinas, se establece la periodicidad de los cambios de los respuestos y los procedimientos a realizar en cada uno.

No se excluyen las fallas del compresor, estas estan presentes durante toda la vida de util, se incluyen varias tablas en las que se muestran fallas que han sido sacadas de manuales de fabricantes, pero la gran mayoria se han solucionado en base a experiencia, estas últimas no estan en ningun manual de fabricante.

Por último, el tratamiento del aire, de vital importancia para algunas aplicaciones en la que a calidad del aire no se puede dejar pasar por alto.

El documento completo contiene una guía básica en el tema de la generación y tratamiento del aire comprimido.



# OBJETIVOS

## **GENERAL:**

Identificar plenamente lo que conlleva tener en una industria de cualquier tipo, un compresor de tornillo lubricado, en lo que a selección, instalación y funcionamiento se refiere.

## **ESPECÍFICOS:**

1. Conocer los orígenes y las necesidades que conllevaron a la invención del compresor.
2. Tener una guía para seleccionar un compresor en una instalación nueva y en el caso de una ya existente, saber que maneras existen para determinar en cuanto se debe ampliar o hacerla más eficiente.
3. Conocer rutinas de mantenimiento más profundas que las dadas por los fabricantes de compresores, ya que lo que presentan los manuales son para ambientes ideales.
4. Tener una referencia en cuanto a las fallas que se pueden dar en este tipo de equipo en la industria y tener las herramientas necesarias para poder solucionarlas.

5. Elegir el método más adecuado para identificar los puntos de pérdidas o problemas.
  
6. Conocer el tipo de aplicación que se tiene, y así aplicar el tratamiento de airea adecuado para la misma

# INTRODUCCIÓN

El presente trabajo busca en el lector, la concientización de lo costoso que resulta, comprar y mantener un compresor de tornillo, en la industria guatemalteca el tema es bastante desconocido, ya que todos tienen la idea de que como se trata de aire, este es “gratis” siendo todo lo contrario, convirtiendo al aire comprimido en una de las formas de energía alterna a la electricidad más costosas a nivel industrial, una estación de aire comprimido puede consumir gran parte del consumo total de electricidad en una planta industrial.

En el capítulo uno, se tratan los orígenes del compresor, su historia, debido a que fue inventado, describiendo la evolución de este hasta nuestros días, luego su partes principales y su funcionamiento, para que reunidas todas generen aire comprimido, al final de este capítulo se trata la parte del consumo energético del mismo para ver que tan costoso es el mismo.

En el segundo capítulo se tratan los temas de selección adecuada de la potencia de un compresor y se ejemplifica con un estudio real realizado en una empresa del ámbito industrial en Guatemala, que buscaba tomar una decisión al respecto de comprar un compresor o eficientar la instalación existente, luego se dan algunas propuestas para la instalación física y eléctrica del compresor, finalizando con observar un ejemplo de cómo debería de quedar ya terminada la instalación.

El capítulo tres da lineamientos a seguir en lo que a mantenimiento preventivo se refiere dando periodos y actividades a realizar en cada uno de ellos hechos en base a manuales de fabricante y experiencia propia, la

variación y cambio de cada uno de los periodos y repuestos respectivamente, depende directamente de las condiciones trabajo, en las que influyen la selección inicial del compresor y lo pesado del ambiente en lo que a contaminantes se refiere.

El capítulo 4 presenta las fallas más frecuentes y sus respectivas soluciones en tablas, para que sea más fácil la búsqueda de las mismas, en ellas están incluidas detalladamente cada falla y que hacer según sea el caso, las fallas más frecuentes se dan por falta de mantenimiento y su primer síntoma es alta temperatura de trabajo.

Por último el capítulo 5, en el cual se presenta el tratamiento de los mayores problemas a combatir en la generación del aire comprimido, el agua y la suciedad, incluida entre esta última la contaminación por aceite que es inevitable en un compresor de tornillo lubricado, debido que está implícito desde la generación del mismo. Cabe recalcar que se habla de la norma ISO 8573-1, norma estandariza el aire según su contenido de aceite, suciedad y humedad, en clases, en la cual se incluye la tan cuestionada y poco conocida por todos los usuarios CLASE 0, por último se muestran algunas instalaciones típicas encontradas en la industria guatemalteca y se anexa la calidad de aire que estas entregan.

En general, este documento es una guía rápida desarrollada con base a la experiencia que se tiene en el tema con el pasar del tiempo, siendo completamente funcional y práctica.

# 1. HISTORIA DE COMPRESORES

## 1.1 Antecedentes históricos

Sus inicios se dieron a finales del siglo IX, se sabe que fue en Europa el donde un grupo de empresarios tenía la visión de extender las vías ferroviarias por toda Europa, pero tenían un problema; existían muchas montañas de tipo rocoso, esto se convertía en un problema, ya que las mismas eran demasiado duras para poder ser perforadas únicamente con herramientas manuales, llevaba mucho esfuerzo y tiempo de parte de los obreros para realizar el trabajo y por último los costos que esto implicaba.

De allí nació el primer compresor que fue empleado para impulsar las primeras herramientas neumáticas, estas fueron concebidas para resolver el problema del sobreesfuerzo de los obreros y el tiempo que llevaba excavar terrenos rocosos, de allí la idea de un compresor; surge como consecuencia de la necesidad de tener una fuerza motora que poseerá fuerza, y la vez que fuera continua para poder accionar estas herramientas y estas utilizarlas para perforar montañas y expandir las vías ferroviarias.

Los primeros compresores fueron impulsados con motores a vapor, esto permitía que fueran utilizados en todos los puntos, actualmente existe un fabricante de compresores muy reconocido, el cual en un principio se dedicaba a la fabricación de equipos ferroviarios, se fusionaron con un fabricante de motores a vapor, para comenzar a crear los primeros compresores portátiles de pistón para las aplicaciones ya mencionadas.



A finales del siglo IX, el mercado fue revolucionado con la invención del motor diesel, se fortaleció la idea de tener un compresor que fuera impulsado por un motor diesel; durante 40 años fue esto así. A mediados del siglo XX se introdujo al mercado el primer compresor de tornillo, este era no lubricado o libre de aceite, esto quiere decir que no tenía inyección de aceite para a la cámara de compresión, el costo de fabricación de estos era demasiado elevado y solo unos pocos clientes podían contar con los recursos para obtener compresores de tornillo exentos de aceite, esta desventaja obligo a los fabricantes a que se diera un rediseño, teniendo como resultado compresores que en su proceso o cámara de compresión llevaban inyección de aceite (compresores lubricados) siendo este mas económico en su fabricación y componentes, así mismo este es más eficiente que su antecesor; el compresor de pistón, pero seguía siendo más caro que este.

En los años 60, ya existían varios fabricantes de compresores, con esto crecía el número de clientes que los utilizaban para sus procesos, estos ya eran fabricados tanto portátiles para la industria de la construcción y minería, como para la industria manufacturera de producto, siendo estos accionados por motores de combustión interna y por motores eléctricos respectivamente.

Cada día los clientes tenían nuevas necesidades, con estas nacían también nuevas tecnologías para satisfacerlas; tamaño, cantidad de aire comprimido entregado por minuto, presión y calidad de aire, son algunos de los factores que influyeron en toda la variedad y gama de compresores que conocemos hoy.

Actualmente, los compresores de tornillo son utilizados en la mayor parte de la industria guatemalteca y a nivel mundial, algunas aplicaciones que se pueden mencionar son:

- Accionamiento de herramientas neumáticas
- Movimiento de cilindros y válvulas en maquinas
- Proceso de fabricación de envases por soplado en plástico (PET)
- Limpieza
- Movimiento de polvos por tuberías
- Oxigenación de procesos de combustión
- Secado de productos

Y otras más aplicaciones en las cuales el compresor es la maquina más importante para la realización del mismo.

## **1.2 Tipos de compresores**

Los compresores son utilizados para elevar la presión del aire, con el fin de utilizarlo como fuente de energía para que este realice un trabajo, el aire como si puede ser comprimido por dos formas:

- Por reducción de volumen
- Por aceleración de partículas

Existen compresores para cumplir con ambos métodos de compresión, en este documento estudiaremos superficialmente todos los tipos de compresor y profundizaremos en el compresor de tornillo, que como mencionamos inicialmente es el más utilizado en la industria

### **1.2.1 Compresión por reducción de volumen**

Este trabaja según el principio de desplazamiento. La compresión es posible por medio de la admisión de aire a un recipiente hermético o sellado, el aire

ingresa a este inducido por una presión negativa o de succión llenando por completo el recipiente sellado de aire, en este momento se cierra la válvula que permitió el ingreso del aire a la cámara sellada, y le es reducido su volumen por medio de un pistón, cuando este llega a la presión deseada, es expulsado por una válvula de descarga hacia la línea o sistema. Este ciclo es repetitivo y es así como consigue un flujo

### **1.2.2 Compresión por aceleración de partículas**

Esta trabaja por el principio de la dinámica de fluidos, utiliza una turbina aspira el aire de un lado y este es comprimido por el otro lado por medio de la aceleración de la masa de aire, este tipo de compresión de aire regularmente se utiliza para aplicaciones a baja presión.

### **1.2.3 Familias de compresores**

A lo largo de toda la historia se han presentado varios tipos de compresores, algunos ya no utilizados, otros se encuentran en su pleno desarrollo, se describirá brevemente todos los tipos de compresores, ya que, este texto está especialmente enfocado en los compresores de flujo continuo, de tipo tornillo, no profundizaremos en todos los demás tipos de compresores, ya que se salen del contexto del mismo.

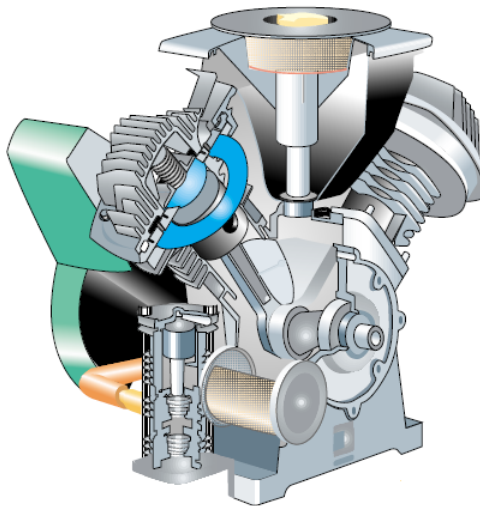
#### **1.2.3.1 Compresor de pistón**

Este es el tipo de compresores de flujo intermitente o desplazamiento positivo más antiguo y conocido. Los ha de una, dos y hasta tres etapas, están

dependen directamente de la presión de trabajo necesaria para determinada aplicación.

Los compresores alternativos tienen válvula de aspiración, controlados por válvulas, que estas a su vez están controlados por un interruptor de presión, este esta monitoreando el rango de carga-descarga y la presión de salida del compresor, cuando esta presión es demasiado baja, este dispositivo manda a abrir la válvula de aspiración, también acciona el motor, este acciona el cigüeñal del compresor que mueve los pistones, que comienzan a succionar el aire del ambiente por medio de una presión de vacío, las válvulas de admisión se cierran y el pistón comienza su ciclo de compresión, cuando se alcanza la presión de trabajo deseada, se abre la válvula de descarga que se encarga de dejar pasar el aire ya con la presión aumentada a la segunda etapa o a un deposito según sea el caso (una o dos etapas).

Figura 1. Corte de un compresor pistón



Fuente: Compressed Air Manual, Atlas Copco

### **1.2.3.2 Compresor de diafragma**

Compresores de desplazamiento positivo exentos de aceite; que utiliza un diafragma o membrana flexible, en lugar de pistón para ejercer la función de comprimir el aire; el diafragma puede activarse mecánica o hidráulicamente

El accionamiento mecánico consiste en una excéntrica al eje del compresor conectado a una biela, esta está en contacto directo con el diafragma, el cual provoca un movimiento alternativo al diafragma, este se encuentra conectado directamente a dos arandelas de soporte. Este tipo de compresor de diafragma es especialmente para capacidades pequeñas y presiones bajas de trabajo, se puede utilizar también como bombas de vacío.

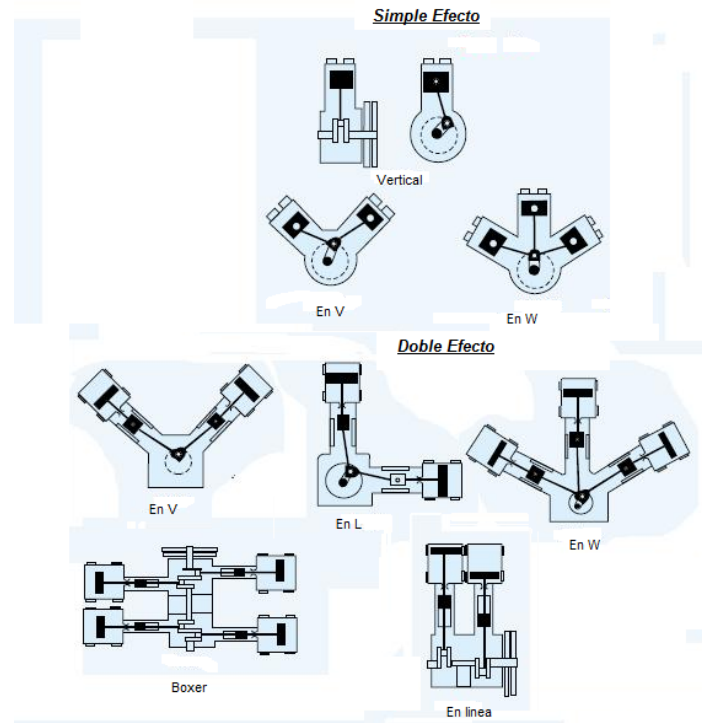
La de accionamiento hidráulico, donde el diafragma se mueve por medio de la acción de una presión hidráulica alternativa, que actúa en su parte inferior. La presión hidráulica está generada por una bomba de pistón, el cual es impulsado por una biela desde conectada al cigüeñal del compresor.

### **1.2.3.3 Compresores axiales**

Los compresores axiales (Figura 3) se caracterizan por tener un flujo axial en forma paralela al eje. El aire pasa axialmente a lo largo del compresor, que a través de hileras alternadas de paletas, estacionarias y rotativas, que comunican cierta velocidad al aire, que después se transforma en presión. La capacidad mínima de este tipo de compresores, viene a ser del orden de los 15 metros cúbicos por segundo.

Utilizan un tambor de equilibrio para contrarrestar la reacción o empuje axial. Debido a su pequeño diámetro y para un mismo tipo de trabajo, funcionan

Figura 2. Familias de compresores de pistón



Fuente: Compressed Air Manual, Atlas Copco

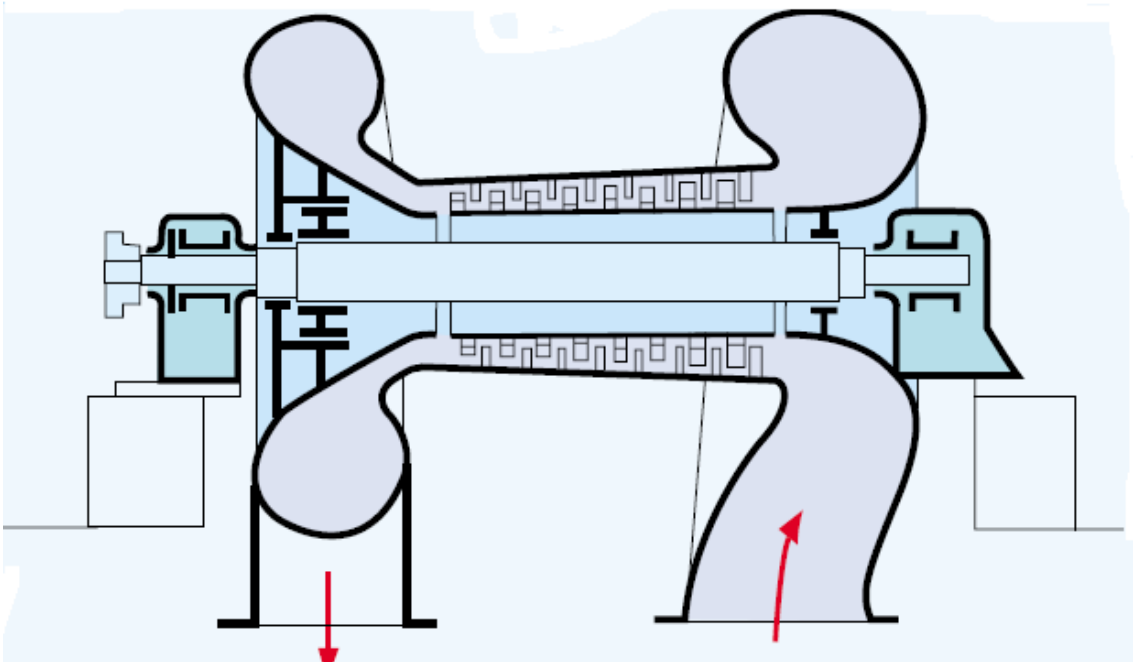
a velocidades más elevadas que los compresores centrífugos. Estas velocidades son superiores en un 25% aproximadamente.

Se destinan a aquellas aplicaciones, en que es preciso disponer de un caudal constante a presiones moderadas.

Son más adecuados, para aquellas plantas que precisen grandes y constantes caudales de aire.

Una aplicación muy frecuente es el soplado de los altos hornos. Normalmente se utilizan para capacidades alrededor de los 65 metros cúbicos por segundo y para presiones efectivas de hasta 14 bar.

Figura 3. Vista compresor axial



Fuente: Compressed Air Manual, Atlas Copco

#### 1.2.3.4 Compresores radiales

En este tipo de compresores (Figura 4), el desplazamiento del fluido es esencialmente radial. El compresor consta de uno o más impulsores y de números de difusores, en los que el fluido se desacelera.

El fluido aspirado por el centro de una rueda giratoria, ojo del impulsor, es impulsado por los álabes de ésta y debido a la fuerza centrífuga, hacia los canales del difusor. Después que la energía cinética se ha convertido en

presión, el fluido es conducido hacia el centro del próximo impulsor y así sucesivamente.

Las velocidades de funcionamiento son bastante altas comparadas con otros compresores. La gama comprendida entre 50.000 - 100.000 r.p.m. es bastante frecuente en industrias aeronáuticas y especiales donde el peso es un factor dominante.

Los compresores centrífugos, con velocidades próximas a las 20.000 r.p.m. suele ser la gama comercial más común, aún cuando están fabricados con velocidades un tanto mayores.

Debido a las elevadas velocidades con que se construyen los compresores dinámicos de tamaño medio, se utilizan cojinetes amortiguadores inclinados o abiertos en lugar de los rodillos, que son los que se incorporan a los compresores de desplazamiento.

#### **1.2.3.5 Compresor de roots o lóbulos**

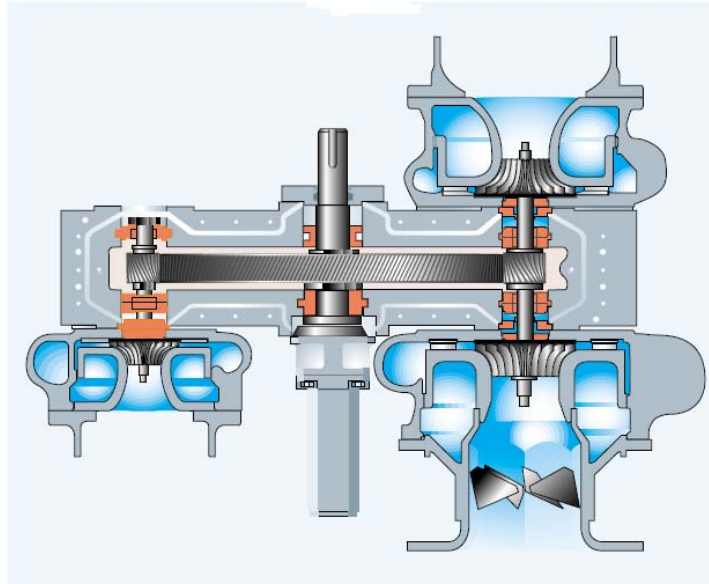
Estos compresores, llamados frecuentemente soplantes Roots (Figura 5), son un tipo de máquinas de desplazamiento positivo o flujo continuo, en las que no hay ni válvulas ni compresión interna.

Constan de dos rotores, con dos lóbulos idénticos y simétricos, que giran en dirección opuesta dentro de una carcasa cilíndrica. Para la sincronización de dichos rotores, incorporan un juego de engranajes: la cámara de compresión no va lubricada y normalmente van refrigerados por aire.

La compresión se produce por contra-flujo de la descarga, cada vez que un rotor deja abierta la lumbrera de descarga. Estas máquinas tienen un bajo rendimiento, por lo que se utilizan para bajas relaciones de presión.



Figura 4. Vista interna compresor radial



Fuente: Compressed Air Manual, Atlas Copco

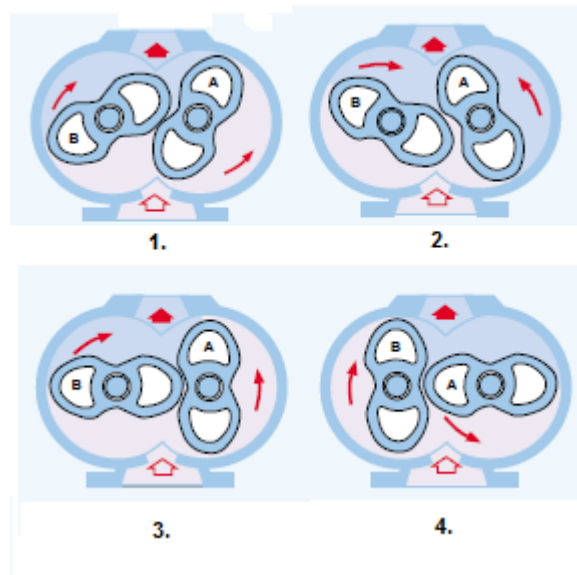
Este tipo de compresor no es muy utilizado actualmente en la industria, por lo que no se describen mayores aplicaciones para el mismo.

#### **1.2.3.6 Compresores de paletas deslizantes**

Un rotor con paletas radiales flotantes se monta, excéntricamente, dentro de una carcasa cilíndrica o estator, merced a la fuerza centrífuga.

El aire aspirado por el compresor, va entrando a los espacios existentes entre cada dos aletas, zona de mayor excentricidad, en donde tales espacios son mayores. Al girar el rotor, el volumen entre aletas va disminuyendo y el aire se comprime, hasta llegar a la lumbrera de descarga.

Figura 5. Principio de Funcionamiento de compresor roots



Fuente: Compressed Air Manual, Atlas Copco

Este principio de trabajo se utiliza ampliamente en los motores neumáticos.

El amianto y la fibra de algodón, impregnadas en resinas fenólicas, son los materiales más utilizados en la fabricación de paletas; también se utiliza bastante el aluminio.

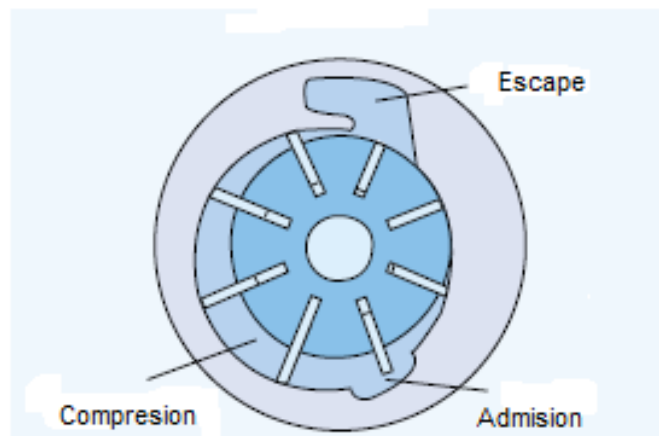
Los compresores de paletas, son generalmente del tipo en baño de aceite. Sin embargo, también hay exentos de aceite y , en este caso, las paletas son de bronce o de carbón grafitado.

### 1.2.3.6 Compresores de espiral

La compresión del aire se realiza por la interacción de una espiral fija y otra móvil (Figura 7). El aire a la presión de aspiración entra en la cámara de compresión en el lado exterior del elemento en forma de espiral. Una vez

aspirado el aire, la espiral móvil obtura la lumbrera de aspiración. A medida que la espiral continúa su giro, el aire se comprime progresivamente en un volumen cada vez más pequeño.

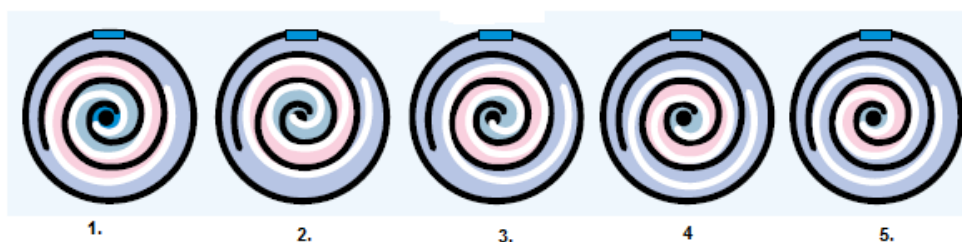
Figura 6. Principio de funcionamiento de compresor de paletas



Fuente: Compressed Air Manual, Atlas Copco

Del elemento sale un flujo continuo de aire comprimido, a través de una lumbrera de descarga en el centro de la espiral fija. Este proceso se repite continuamente, generando un suministro de aire comprimido sin pulsaciones.

Figura 7. Principio de operación de un compresor de espiral



Fuente: Compressed Air Manual, Atlas Copco

Figura 8. Unidad compresora compresor espiral



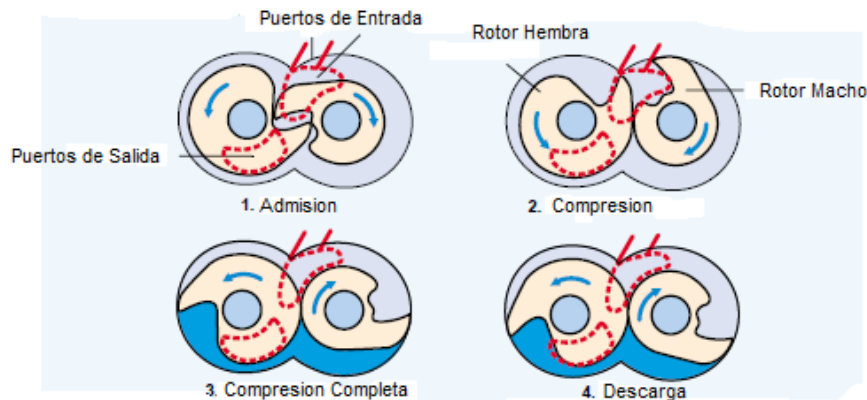
Fuente: [www.atlascopco.com](http://www.atlascopco.com)

En la figura 8, se observa un elemento de compresión de espiral, la espiral que se ve en color dorado es la espiral móvil, y la espiral de color gris es la espiral fija

#### **1.2.3.7 Compresores de uña**

El elemento de compresión de uña (Figura 9), consiste en un par de dientes o uñas sostenidas a rotores que giran en sentido contrario uno contra el otro en una cámara de compresión. El proceso de compresión en la admisión de aire que entra por una cámara justo al centro del. Cuando estos comienzan a girar, el espacio entre los rotores va disminuyen cada vez más, el el orificio de salida es cerrado durante la compresión por uno de los rotores, mientras que la entrada está abierta, admitiendo mas aire ambiente, la descarga ocurre cuando uno de los rotores llega al área de salida del aire que era cubierta por el roto, el aire se ve obligado a salir por este, este compresor es libre de aceite, la presión máxima que se pude alcanzar por este tipo de unidad compresora es de 65 psi por lo que para presiones más altas se necesitan más etapas de compresión.

Figura 9. Principio de funcionamiento de compresor de uña exento de aceite



Fuente: Compressed Air Manual, Atlas Copco

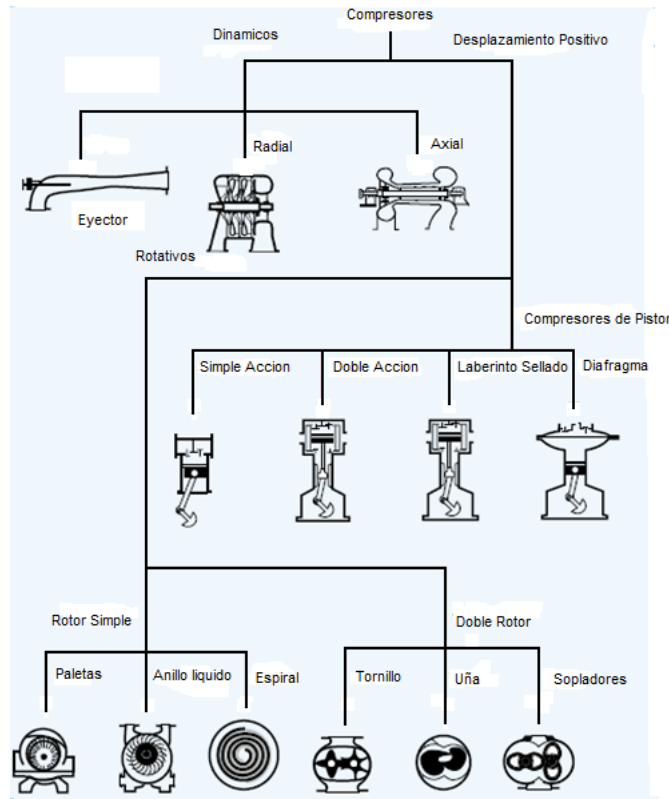
### 1.3 Compresor de tornillo

Es el compresor más popular y utilizado en la industria guatemalteca, por su robustez, consumo energético, mantenimiento y capacidad de trabajo continuo. Entre ellos existen de varios tipos como lo son:

- Compresor de tornillo lubricado
- Compresor de tornillo libre de aceite
- Compresores de uña
- Compresores de tornillo de velocidad variable (exentos de aceite y lubricados)

Describiremos el funcionamiento de cada uno de ellos por separado, para una mejor comprensión del mismo.

Figura 10. Familias de compresores

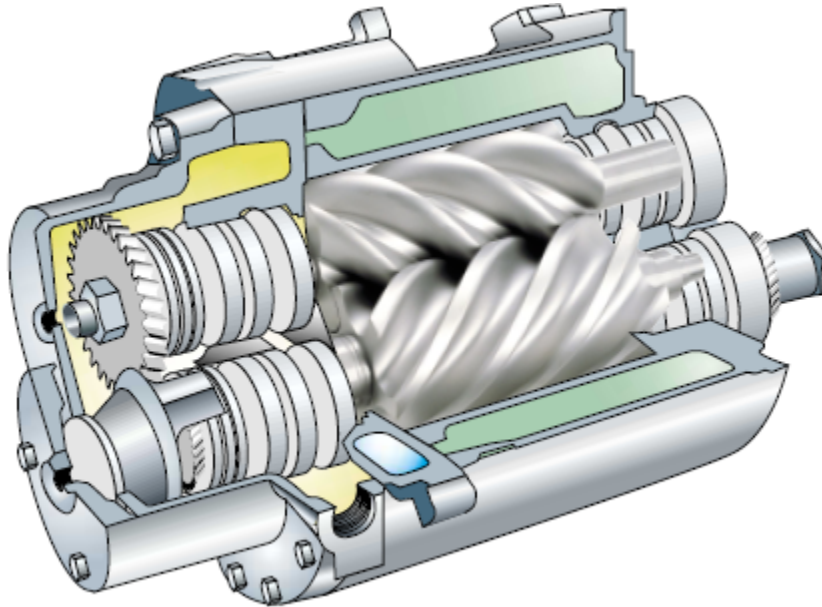


Fuente: Compressed Air Manual, Atlas Copco

### 1.3.1 Compresor de tornillo lubricado

Este es el compresor más utilizado en la industria (figura 11), los hay en capacidades desde 3.5 hp a distintas presiones de trabajo.

Figura 11. Vista interna de una unidad compresora de tornillo

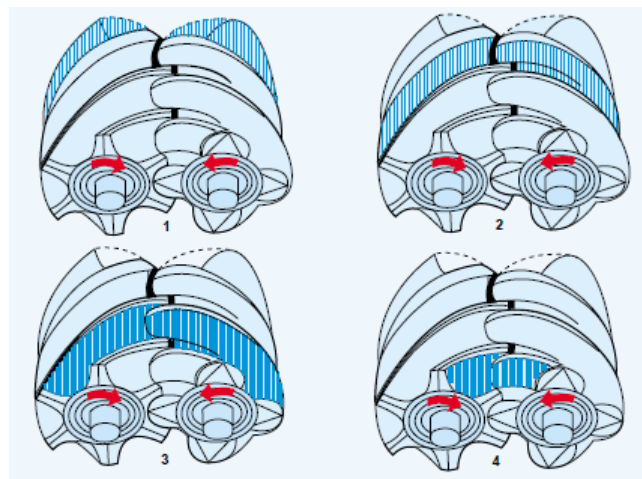


Fuente: Compressed Air Manual, Atlas Copco

El compresor de tornillo es constituido esencialmente por un par de rotores que tienen lóbulos helicoidales de engranaje constante. Los rotores van montados en un cárter de hierro fundido provisto de una admisión para aire en un extremo y una salida en el otro. El tornillo macho tiene normalmente cuatro lóbulos y el hembra seis. El tornillo macho ha girado  $1/4$ , el hembra  $1/6$  de revoluciones. Según giran los rotores, los espacios que hay entre los lóbulos van siendo ofrecidos al orificio de admisión y el incremento de volumen experimentado provoca un descenso de presión, con lo que dichos espacios empiezan a llenarse de aire. Al mismo tiempo se inyecta aceite sometido a presión neumática en el aire entrante; no hay bomba de aceite.

Cuando los espacios inter lobulares están completamente cargados de aire, la rotación, que prosigue, cierra el orificio de admisión y comienza la compresión. El volumen de aire que hay entre los rotores en engrane continuo sufre aún mayor reducción. Cuando se alcanza la presión final a que se somete el aire, el espacio interlobular queda conectado con el orificio de salida. La mezcla descargada de aire/aceite pasa por un filtro separador que elimina las partículas de aceite. Posteriormente pasa por un enfriador que enfría el aire proveniente del separador que viene aproximadamente a una temperatura de 150°C para bajar su temperatura aproximadamente hasta 40°C, después de este enfriamiento comienza circular aire en la línea (figura 12).

Figura 12. Principio de funcionamiento de compresor de tornillo



Fuente: Compressed Air Manual Atlas Copco



## **1.4 Partes fundamentales de un compresor de tornillo lubricado y su funcionamiento**

### **1.4.1 Filtro para aire**

Este elemento es el encargado de filtrar el aire ambiente y se encuentra en la entrada o en la válvula de admisión del compresor, de su buen estado depende el buen funcionamiento del compresor en concepto de consumo de energía, estos filtros tienen capacidad de filtrado de tres micrones, lo que lo hace que se saturen rápidamente en ambientes que están llenos de contaminación como lo es polvo, hollín

Para llevar a cabo su función de manera adecuada, el filtro para aire debe poseer: una alta eficiencia en la retención de los contaminantes, una baja restricción a la circulación de aire y una alta capacidad para la retención de la suciedad. Estos criterios de rendimiento son establecidos por cada fabricante de compresores por los procedimientos de prueba establecidos por estándares de calidad y especificaciones de diseño de sus propios equipos. Analizando cada uno de estos conceptos por separado podemos mencionar lo siguiente:

- **Eficiencia:** Esta es la relación entre el contaminante retenido por el filtro y el contaminante total que penetra en la entrada de la caja del filtro para aire. Por ejemplo, si ingresan 100 gramos de contaminante y dos gramos pasan a través del filtro, la eficiencia del filtro es del 98%. Es importante advertir que un filtro para aire con una eficiencia del 98% es el doble de eficaz, en la protección de un motor, que un filtro con una eficiencia del 96%. Si 100 gramos de polvo y suciedad ingresan por la toma, un filtro eficiente en un 98% permitirá que sólo pasen dos gramos, mientras que un filtro eficiente en un 96% permitirá que pasen cuatro

gramos, o sea el doble y así sucesivamente. Hay filtros que tienen un 99.9% de eficiencia.

- **Restricción:** La restricción es la resistencia a la circulación del aire a través del cartucho o conjunto del filtro. Un filtro para aire bien diseñado produce una baja limitación a la circulación, permitiendo la entrada de aire limpio a la unidad compresora. Si la restricción fuera muy elevada, el compresor perderá potencia y consumirá mayor cantidad de energía.
- **Capacidad:** La capacidad se refiere a la aptitud del filtro para acumular contaminante. Esencialmente, es la cantidad de suciedad que puede acumular el filtro para aire antes que la restricción alcance el grado máximo. Cuando esto ocurre, el filtro debe ser reemplazado, la capacidad del filtro debe ser, por lo tanto, tan grande como sea posible.

#### 1.4.2 Filtro para aceite

Este filtro es el encargado de limpiar el aceite utilizado por el compresor en el proceso de compresión, ya que este es el encargado de sellar la luz que existe entre los tornillos en la cámara de compresión.

Hay tres estilos básicos de filtros de aceite: profundo, superficial y de doble medio (o combinación).

- **El filtro profundo:** consiste en un recipiente lleno con fibras de algodón, madera desmenuzada y otros materiales capaces de atrapar las partículas finas de suciedad y absorber grandes depósitos de lodo.

- **El filtro superficial**, utilizado en los sistemas de circulación completa, atrapa suciedad y otros contaminantes ofreciendo baja restricción a la circulación del aceite. Debido a que no es necesario absorber lodo, este tipo de filtro está diseñado para detener las partículas abrasivas cuando el aceite incide sobre la superficie del elemento de filtro. El filtro de tipo superficial está hecho con un papel resistente impregnado con resina alojado dentro de un recipiente. El papel es de naturaleza porosa, permitiendo que el aceite circule a través del mismo, separando simultáneamente las partículas microscópicas de suciedad. Aunque la mayoría de los contaminantes quedan retenidos en la superficie, un poco de suciedad queda atrapada dentro de las capas del papel mismo. Además, el papel está plegado para proveer una considerable área superficial de filtración dentro de un recipiente. Debido a que estos filtros ofrecen alta eficiencia de filtrado, los filtros para compresores actuales pertenecen a este tipo (superficial con papel plegado).
- **El filtro de doble medio o combinado:** Combina dos elementos filtrantes. En general, uno de los elementos está diseñado para separar las partículas contaminantes gruesas, mientras que el segundo atrapa las partículas finas. La mayoría de los filtros de doble medio no tienen la alta eficacia para separar contaminantes abrasivos perjudiciales que posee un filtro que emplea un papel plegado de calidad.

Figura 13. Filtros para aire y aceite de compresores



Fuente: [www.google.com](http://www.google.com)

### 1.4.3 Válvula de admisión

Su función básica es regular la entrada de aire ambiente a la unidad compresora (figura 14), va conectada directamente al filtro para aire, según el tamaño o potencia del compresor, así es el tamaño físico de esta válvula, está fabricada de hierro fundido.

Existen dos sistemas de control de esta válvula, el primero es el *on-off*, en la cual siempre está completamente cerrada o completamente abierta; y el control proporcional, consiste en graduar la apertura de la válvula por medio de un regulador externo, que la adecua según el consumo o demanda de aire del sistema, este sistema de regulación regularmente viene de diseño en los compresores de fabricación norteamericana, los compresores europeos son del primer tipo descrito en el presente texto.

La válvula de admisión posee un orificio que permite que cuando esté cerrada y el compresor se encuentre en descarga, siga ingresando aproximadamente un 10% del aire ambiente, ya que los tornillos no pueden

trabajar en vacío. Esto quiere decir que el compresor jamás dejara de producir aire comprimido, únicamente lo dejara de hacer cuando este apagado.

Figura 14. Válvula de admisión



Fuente: [www.google.com](http://www.google.com)

#### 1.4.4 Válvula solenoide

Esta válvula es la encargada de controlar, la apertura y el cierre de la válvula de admisión (figura 15) , lo hace por medio de una señal eléctrica que es enviada por un sensor que está midiendo permanentemente la presión de trabajo de compresor, cuando esta llega a su presión máxima, la válvula solenoide automáticamente cierra la válvula de admisión para que ya no entre mas aire al compresor, cuando la demanda es más grande y ya no hay suficiente presión y caudal, la válvula solenoide nuevamente apertura la válvula de admisión para que esta permita el ingreso de aire de nuevo al compresor, este es un ciclo carga y descarga de un compresor.

En los diseños americanos las válvulas solenoide son más de una, ya que el sistema de control tiene varias señales de aire que controlar varias aéreas de

trabajo en el compresor, a diferencia de los compresores de fabricación europea que únicamente utilizan una sola válvula solenoide para el control de la válvula de admisión. El diseño europeo de un compresor es mucho más sencillo que un americano.

Figura 15. Válvula solenoide



Fuente: [www.google.com](http://www.google.com)

#### **1.4.5 Válvula de cierre de aceite**

Esta válvula evita que el aceite que está siendo utilizado en la compresión en los tornillos helicoidales, retorne al circuito de aceite, así mismo por esta válvula sea inyectado aceite al área de los tornillos helicoidales, por medio de una presión de vacío, o sea que no se necesita una bomba de aceite para que este ingrese al área de compresión.

#### **1.4.6 Válvula anti retorno**

Ubicada la salida del elemento compresor, esta válvula funciona básicamente como un anti retorno para que cuando el aire salga ya comprimido del la unidad, no tenga por donde retornar, estos puede ocurrir en situaciones en que el sistema está sin consumo y el compresor va a descarga. Así mismo

en un desbalance de corriente que puede ocurrir en el sistema provocando una repentina caída de presión, y que esta haga que el aire quiera retornar.

Esta válvula no la tienen todos los compresores, regularmente vienen en compresores de 25hp hacia arriba ya que en potencias menores no es requerido el mismo, ya que las cantidades de aire no son grandes.

#### **1.4.7 Válvula de presión mínima**

Va colocada sobre el depósito de aceite y es la encargada de regular la presión que está en el mismo (figura 16), como su nombre lo indica tiene una presión mínima para abrir la cual es aproximadamente de 60 psi, cuando se logra esta presión en el depósito abre y deja pasar el aire hacia el enfriador de aceite, pero este con una muy baja presión cuando en el depósito de separador se encuentra a 60 psi la presión de línea será apenas de 1 psi, esto quiere decir que para lograr una presión de línea de 125 psi que es la más común en las aplicaciones industriales, la unidad compresora debe ser capaz de entregar aire a 185 psi o más, para compensar los 60 psi que están en el depósito de aceite, más las caídas de presión que se encuentran en su camino hacia la salida.

El fin primordial de la válvula de presión mínima en un compresor de tornillo lubricado, es el de mantener la presión del sistema de lubricación, ya que esta no cuenta con ninguna bomba de aceite, es esta la que garantiza que siempre el sistema este presurizado, que el aceite circule y que regrese a la unidad compresora para mezclarse nuevamente con el aire. Los 60 psi en hacen la función de bomba de aceite.

Figura 16. Válvula de presión mínima



Fuente: [www.google.com](http://www.google.com)

#### **1.4.8 Válvula de cierre de aceite**

Conocida como *Oil Stop Valve*, encargada de suministrar el aceite a la presión necesaria a la unidad compresora para que el aceite haga sus tres funciones importantes: lubricar, enfriar y sellar, estas tres funciones deben ser efectuadas por el lubricante y la válvula de cierre de aceite es la encargada de regular estos ítems, sirve también como válvula anti retorno

En los próximos capítulos explicaremos las fallas más comunes atribuidas a este componente y sus repercusiones en el sistema de regulación de aceite en el compresor

#### **1.4.9 Separador de aceite**

El separador de aceite intercepta el aceite mezclado con el aire en el proceso de compresión y lo retorna al depósito de aceite donde este se encuentra introducido (figura 17), este está rodeado por una cubierta de acero,



esto asegura la disponibilidad de aceite para todo el circuito de lubricación, que como ya vimos anteriormente depende de la presión que está en el depósito de aceite para su correcto funcionamiento. Este tiene el costo mas alto entre los filtros que utiliza el compresor, al tener en buen estado este estamos asegurando:

- Mayor vida útil del compresor
- Una mejor eficiencia y un excelente rendimiento de todo el sistema de lubricación
- Un funcionamiento del compresor totalmente mas asentado, suave y silencioso
- Perdida y paso de aceite a la línea

Todos estos beneficios se ven reflejados en el ahorro que tendrá el compresor en el consumo energético.

Figura 17. Separadores de aceite



Fuente: [www.google.com](http://www.google.com)

#### 1.4.10 Enfriador aire-aceite

Comúnmente conocido por la forma en que se ve como radiador, en si físicamente es parecido al de los vehículos, con la diferencia que esta construido para soportar mayores presiones de trabajo y temperaturas altas, tiene la particularidad que está constituido exteriormente por una sola armazón como los radiadores comunes y corrientes, la diferencia la hace el interior el cual la mitad del cuerpo del mismo es utilizado para enfriar aceite y la otra mitad para enfriar aire, de allí su nombre. Para extraer el calor tanto del aceite como del aire, se utiliza un ventilador (figura 18),

Este tipo de radiador no utiliza tapones, las entradas y salidas de aire y de aceite, están directamente conectadas a él.

Figura 18. Enfriador aire aceite de compresor de tornillo



Fuente: [www.google.com](http://www.google.com)

Se puede observar en la figura anterior, la constitución de un radiador de este tipo, tiene cuando orificios dos de entrada y dos de salida para el aire y el aceite respectivamente, el panel de estos debe de ser capaz de absorber de separar el aire y el aceite proporciones capilares para que el ventilador sea

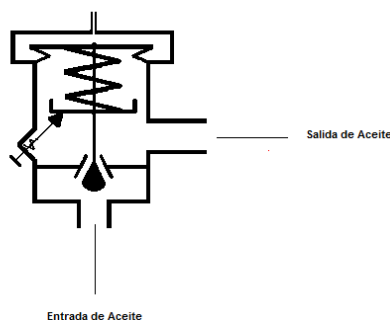
capaz de retirar todo el calor posible, de este modo el aceite retornara al circuito frio y listo para volver a absorber calor del proceso de compresión y el aire ira a la línea aproximadamente a 40°C.

#### 1.4.11 Válvula termostática

Regula la temperatura de trabajo en el compresor (figura 19), este debe trabajar siempre a una temperatura de 80-90°C, esta temperatura la regula por medio del control del flujo de aceite que viene del depósito hacia los filtros, en este lugar la válvula regula el paso de aceite hacia los enfriadores dando mayor paso cuando el compresor se encuentra trabajando una temperatura alta y bloqueando el flujo de aceite cuando este está trabajando a una temperatura muy fría, en ambos casos la válvula termostática es vital importancia para el funcionamiento adecuado del compresor

Su construcción es bastante sencilla, consiste en un cuerpo de hierro y un resorte con un elemento metálico en el centro, este se encarga de controlar el resorte deformándolo según la temperatura, de allí la apertura o el cierre del paso del aceite según la temperatura.

Figura 19. Principio de trabajo de válvula termostática



Fuente: [www.google.com](http://www.google.com)

#### 1.4.12 Trampa de condensados

Comúnmente conocida como trampa de agua, reúne el condensado que se genera en la compresión de aire, sabemos que la condensación ocurre con un cambio de temperatura, a lo largo de todo el proceso hay muchos cambios de temperatura, el compresor cuenta con dos drenos uno automático gobernado por la trampa de agua, y el otro manual, que tiene que purgarse cada cierto tiempo por medio de una llave

Figura 20. Trampa de condensados ciclónica



Fuente [www.google.com](http://www.google.com)

#### 1.4.13 Interacción de todas las partes

Todas las partes anteriormente descritas interactúan juntas para obtener el producto final, aire comprimido; describiremos únicamente el funcionamiento del compresor más común, que es el todo o nada, conocido como carga /descarga.

El ciclo de carga inicia con la puesta en marcha del compresor, el motor comienza a girar, al estar directamente acoplado los tornillos, esto hace que se cree una presión de vacío que es la que hace que el aire ingrese a la cámara de compresión, cuando la válvula de admisión abre, el aire pasa a través del filtro de aire para que este le retire todas las impurezas que trae del ambiente acorde

a la eficiencia del mismo. El aire es comprimido por los tornillos por medio de los lóbulos hembra y macho reduciendo el volumen del mismo hasta la salida de la cámara de compresión, aquí se encuentra la válvula anti retorno, evitando que el mismo regrese hacia la unidad compresora, de aquí se va hacia el separador, en el cual por medio de un efecto ciclónico es retirado el aceite que se utilizó y se unió con el aire en el momento de la compresión. Este efecto consiste en el choque del aire en las paredes del depósito del separador para que quede impregnado el aceite en las mismas y por gravedad este caiga hacia el fondo del depósito. El aceite que no es retirado en este proceso, es removido por el separador de aceite, es un filtro más en el cual el aire pasa después del efecto ciclónico y es removido el aceite restante. Cuando el proceso de separación ha finalizado el aire atraviesa la válvula de presión mínima, que como ya mencionamos anteriormente mantiene presurizado a una presión de 60 psi el depósito de aceite, en donde también se encuentra el filtro separador de aceite. En este momento el aire sale aproximadamente a 200°C el aire es pasado por un post enfriador al salir de él, lleva una temperatura aproximadamente de 10 a 12°C arriba de la temperatura del medio enfriante, esta temperatura es apta para pasar a la línea y de allí al proceso de secado.

En el ciclo de descarga, la válvula de admisión cierra dejando únicamente un paso de aire de 10% de la capacidad total de aspiración del compresor, esto con el fin de que no trabaje en vacío la cámara de compresión, esto hace que solo entregue una cantidad mínima de aire comprimido, unos segundos después el motor se detiene.

## **1.5 Lubricación**

Ya se ha explicado a detalle el funcionamiento del circuito de aire comprimido, ahora nos enfocaremos en el circuito de lubricación del compresor

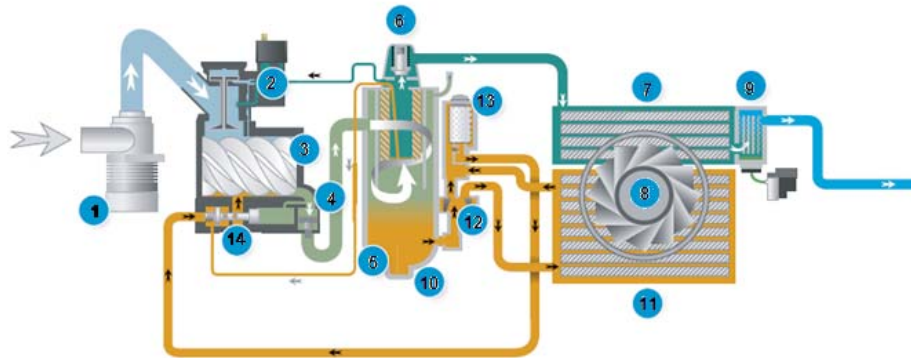
el cual es la parte vital del compresor ya que juntos hacen posible tener aire comprimido

El recorrido del aceite comienza en el depósito de aceite en el cual se encuentra el lubricante que viene del proceso de separación y el que siempre se encuentra allí para alimentar el circuito de lubricación.

El lubricante sale del depósito, allí se encuentra un bypass hecho por un componente llamado **válvula termostática**, su función principal es regular el paso de aceite hacia el enfriador de aceite o hacia los filtros para aceite, en función de la temperatura. Si la temperatura del aceite es menor a 70°C cierra el paso de aceite hacia el enfriador de aceite y lo abre hacia los filtros de aceite, si esta condición es contraria, entonces el flujo de aceite es dirigido hacia el enfriador de aceite y cerrado hacia los filtros de aceite. Esta función no es todo o nada sino que una función proporcional, es decir que en función de los grados de más caliente o más frío del lubricante, así será el flujo de aceite hacia cada una de las direcciones.

Suponiendo que el lubricante tiene una temperatura alta, la válvula termostática permitirá el flujo total del lubricante hacia el enfriador, después de salir del enfriador pasará al filtro de aceite, este retirará contaminación que acarreo en todo el proceso de compresión de aire. El aceite es inyectado nuevamente hacia la unidad compresora para que lubrique, enfríe y selle el espacio metal con metal que existe entre los tornillos y se pueda dar la compresión de aire. Este flujo es regulado por la **válvula de parada de aceite**, la cual detiene o deja pasar el flujo según el compresor este funcionando o no. El sistema no cuenta con ninguna bomba de aceite, este es inyectado y se mueve por las diferencias de presiones que existen en todo el sistema.

Figura 21: Partes de compresor de tornillo



**Circuito de aire**

1. Filtro para aire
2. Válvula de Admisión
3. Unidad compresora
4. Válvula antirretorno
5. Deposito de Aceite
6. Válvula de presión mínima
7. Post enfriador
8. Enfriador aire-aceite
9. Trampa de Agua

**Circuito de aceite**

10. Aceite
11. Enfriador de Aceite
12. Válvula termostática
13. Filtro para aceite
14. Valvula de parada de aceite

Fuente: [www.atlascopco.com](http://www.atlascopco.com)

## **1.6 Factores que están directamente relacionados con el consumo eléctrico de un compresor**

El aire comprimido en la industria en general es un rubro extremadamente alto, se estima que del 100% de la energía eléctrica consumida por un compresor, solo de un 25 a 30% se convierte en aire comprimido, el 70% restante se pierde en calor, esto hace al compresor una de las maquinas ineficientes en cuestiones de conversión de energía eléctrica a energía neumática.

Si el compresor es una maquina ineficiente ¿Por qué sigue siendo una máquina tan utilizada en la industria? Ciertos procesos no permiten que se utilice electricidad, debido a que son ambientes peligrosos como lo son:

- Manejo de combustible
- Gases inflamables
- Ambientes corrosivos

También existen procesos en los cuales obtener cierto torque o fuerza aplicada continuamente con electricidad, resultaría muy costoso, esto se puede obtener relativamente a bajo costo con un instrumento neumático

En la industria el aire comprimido es utilizado para mover cilindros, controlar válvulas, venteo de productos, soplado de plástico y otros.

### **1.6.1 Costos asociados a la generación de aire comprimido**

Un estudio realizado por el instituto de investigaciones Alemán afirma que el mayor costo durante la vida útil de un compresor (5 años aproximadamente), es el consumo energético, seguido del costo inicial del equipo y el mantenimiento.

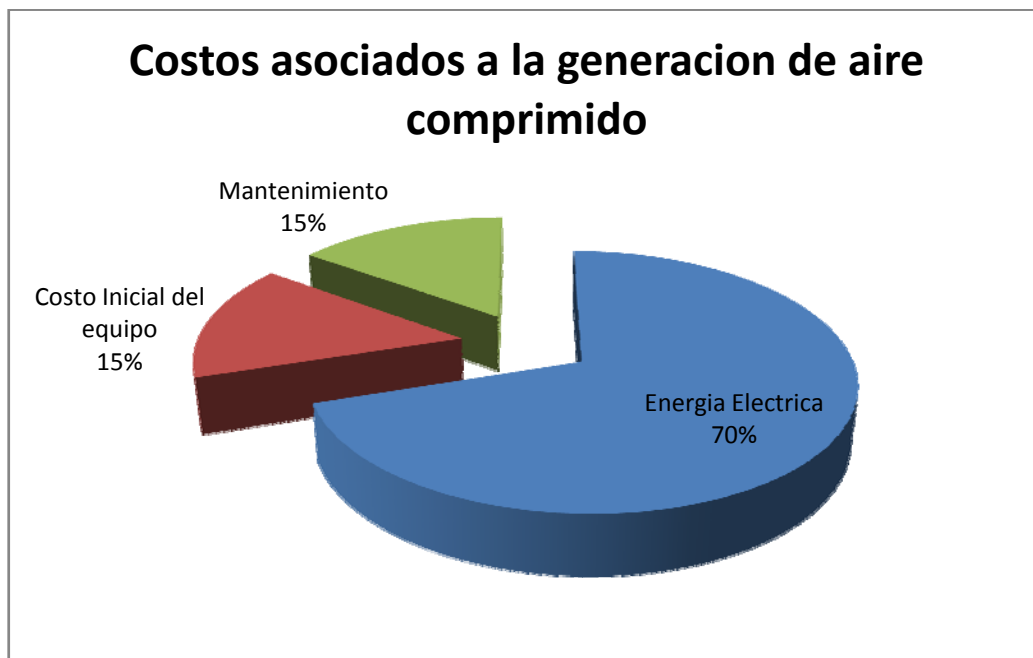


Teniendo estos costos, se debe tener muy en cuenta de que el aire comprimido no es gratis, esto lo podemos lograr a través del seguimiento de algunos de los siguientes ítems:

- Cumplir con los periodos adecuados de mantenimiento
- Manejo adecuado de la presión
- Ambientes de trabajo.

Tomando en cuenta, estos y otros factores que se discutirán a lo largo de este documento, podremos lograr una eficiencia energética óptima en el compresor.

Figura 22. Costos asociados a la generación de aire comprimido



Fuente: [www.kaeser.com.gt](http://www.kaeser.com.gt)

En este capítulo discutiremos superficialmente estos factores, en el capítulo IV discutiremos a fondo los detalles para el funcionamiento ideal de un compresor que inicia desde la selección del lugar de la instalación y anclaje, hasta la puesta en marcha del mismo.

La ubicación del compresor es vital en el ahorro energético del compresor, ya que va a influir directamente en la temperatura del aire de entrada del compresor. Por cada cuatro grados centígrados que disminuya la temperatura de entrada del aire, hay una reducción del 1% en el consumo energético del compresor, esto significa que nuestro compresor debe de estar instalado en un ambiente limpio y fresco, casi a la intemperie

La presión ambiental del lugar en donde se encuentre instalado. Influye también directamente en el consumo energético del compresor. Por cada 25 mbar de presión perdida en la entrada de aire, se perderá un 2% en la eficiencia del mismo, esto quiere decir que en lugares más altos, el compresor será menos eficiente en su entrega de aire, hasta por los más pequeños cambios en la presión atmosférica.

El ambiente de trabajo es muy importante en este ítem; existen ambientes pesado y livianos, entre más pesado es un ambiente más polvo y contaminantes tendrá, esto provocara que se ensucien con más rapidez los filtros tanto de aire como de aceite, haciendo que el compresor tenga una caída de presión mayor, provocando un mayor consumo energético para lograr la presión para satisfacer la demanda del sistema

El 85% de las fallas en un compresor de deben a los condiciones de trabajo, en la industria guatemalteca este porcentaje puede incrementar, ya que en muchos casos no son adecuadamente instalados, y los ambientes de trabajo

son altamente contaminados, con partículas sólidas, aire muy caliente, ventilación insuficiente; un problema bastante común es el no entubar la salida de aire caliente hacia el ambiente, provocando que el compresor aspire nuevamente el aire caliente en la admisión, aumentando considerablemente el consumo energético del compresor.

Otro punto importante es el correcto dimensionamiento adecuado del tanque de almacenamiento de aire comprimido, entre más grande sea el tanque permitirá que el uso de un compresor más pequeños en picos de consumo intermitente y de corta duración. Diseñar el sistema correcto de aire comprimido y colocar el tanque adecuado tendrá algunos de los siguientes beneficios.

- Prevenir cargar y descargar frecuentemente al compresor, por lo tanto reducir Mantenimiento y reparación de componentes de control.
- Recolectar condensado, para eliminarlo del sistema antes del tratamiento.
- Proveer superficie de radiación para enfriamiento esto reduce el contenido de Humedad y carga para el secador de aire, si está localizado en un lugar fresco e instalado antes del secador. Proveer “amortiguamiento” de pulsaciones de presión de compresores de flujo intermitente
- Ayudar a estabilizar la presión del sistema y prevenir arranque de compresores innecesarios.

El máximo ahorro energético de un compresor se puede obtener con el correcto dimensionamiento del tanque de almacenamiento, por regla práctica o llamada de “dedo” por cada litro por segundo que entregue el compresor son cuatro galones de tanque, es decir si compresor entrega 100 litros por segundo el tanque de almacenamiento debe ser de 500 galones.

Otra estimación que se tiene, es que por cada hp de motor el compresor entregara de 4 a 4.5 cfm a una presión de referencia de 125psi.



## **2. PROPUESTAS PARA LA INSTALACIÓN Y FUNCIONAMIENTO IDEAL DE UN COMPRESOR DE AIRE DE TORNILLO**

### **2.1 Selección del tamaño adecuado del compresor**

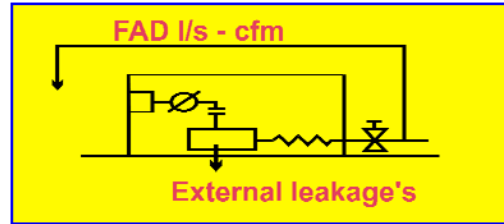
El adecuado tamaño del compresor se puede determinar dependiendo de la situación en que se encuentre el sistema, si es una instalación nueva, una ampliación o hacer eficiente el sistema de aire comprimido existente.

El buen funcionamiento de un compresor durante toda su vida útil inicia en la instalación, elegir este punto adecuadamente es vital; describiremos todos los puntos a tomar en cuenta desde la adecuada selección del tamaño del compresor de tornillo, pasando por su instalación hasta finalizar en la puesta en marcha

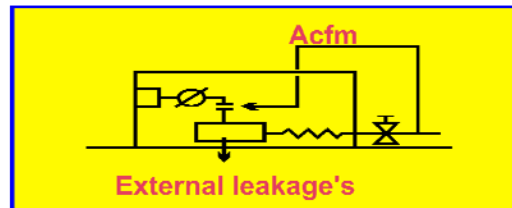
Hay una infinidad de métodos para seleccionar la potencia adecuada del compresor, en este documento mencionaremos algunos prácticos y certeros para determinar este factor.

Otro concepto importante que se debe tener en cuenta para hacer una medición de aire es que tipo de flujo que se está midiendo, los fabricantes de compresores de tornillo han definido cuatro tipos de medición o de caudal definidos en la figura 23

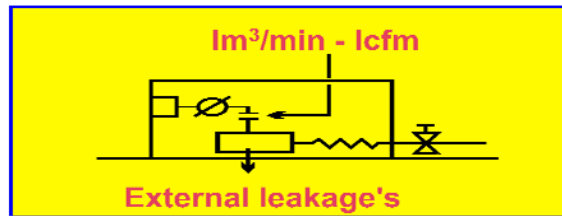
Figura 23. Tipos de flujo de aire comprimido



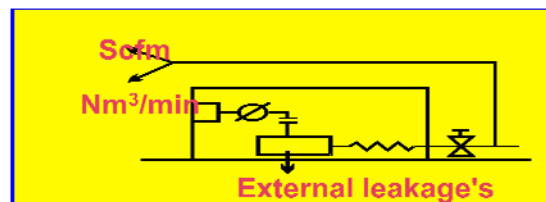
**Aire libre entregado referido a las condiciones del sitio**



**Flujo Actual referido a las condiciones de entrada del compresor**



**Flujo de entrada Referido a las condiciones de entrada del elemento del compresor**



**Aire libre entregado referido a las condiciones Normal o Standard air**

Fuente: Compressed Air Manual, Atlas Copco

Estas son las distintas unidades de medición para caudal en la industria en general, la medición se realizó basándose en el tipo de medición FAD (aire libre entregado).

El siguiente es un caso real, este es un estudio en una empresa donde cuentan con un compresor con las siguientes mostradas

Tabla I: Características de compresor medido

Potencia del motor de compresor	60HP
Aire libre entregado	108 l/s
Presión máxima	8.6 BARES

Fuente: Creación propia del autor

El objetivo de la medición es establecer si el cliente debe aumentar su capacidad instalada en compresores; debe modificar el sistema o dejarlo tal y como está actualmente, para esto se utilizó un equipo de medición llamado *DATA LOGGER*, el cual es una pequeña computadora que guarda en su memoria los siguientes datos.

- Caudal
- Presión de entrega de aire
- Corriente consumida por el compresor
- Punto de rocío en el secador
- Temperatura del aire ambiente
- Humedad relativa del aire ambiente

Con estos datos nos es posible determinar las condiciones del sistema actual, para tomar la decisión de modificarlo o dejarlo como se encuentra actualmente.

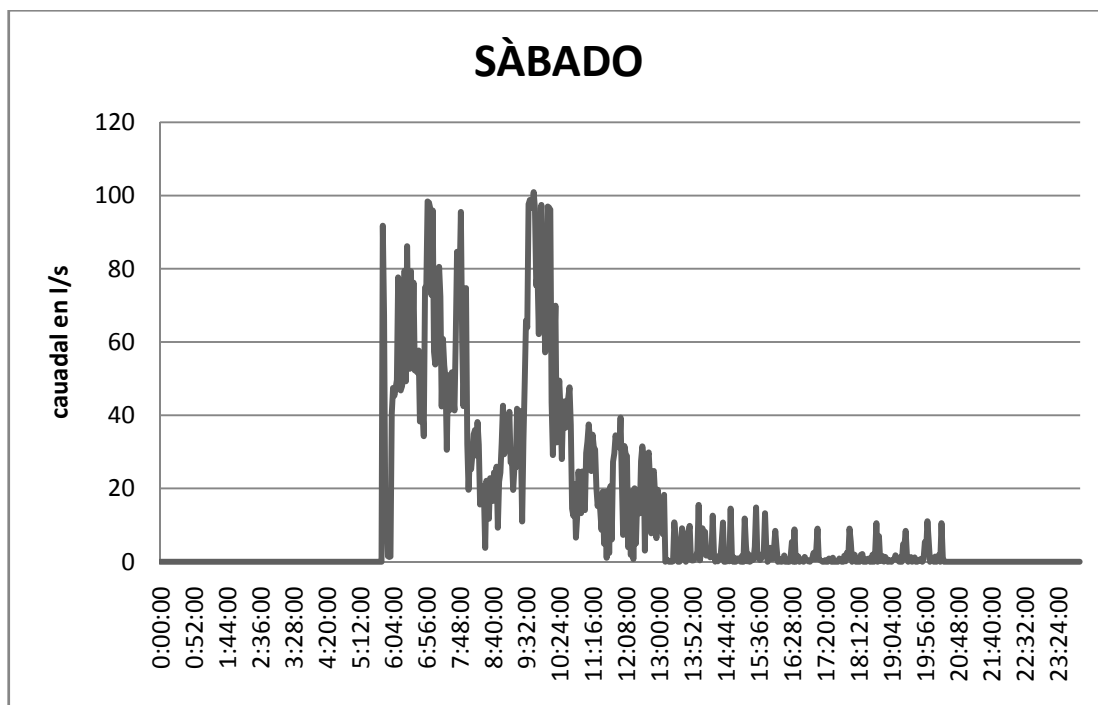


El período de medición es aproximadamente de 2 semanas, pero al final se analiza solo una, se toman dos semanas para comparar patrones de comportamiento entre los días de la semana y observar puntos críticos entre ellos.

Cuando el período de medición termina se retira el equipo de medición y se descargan los datos guardados a un software que los procesa y arroja datos por medio de graficas para tener el análisis de consumo del sistema del cliente.

Se analizará día por día durante una semana la curva de consumo de aire del sistema, con esto se conseguirá las conclusiones adecuadas para darle la recomendación al cliente en lo que debe hacer en sus sistema.

Figura 24. Gráfica de consumo día sábado



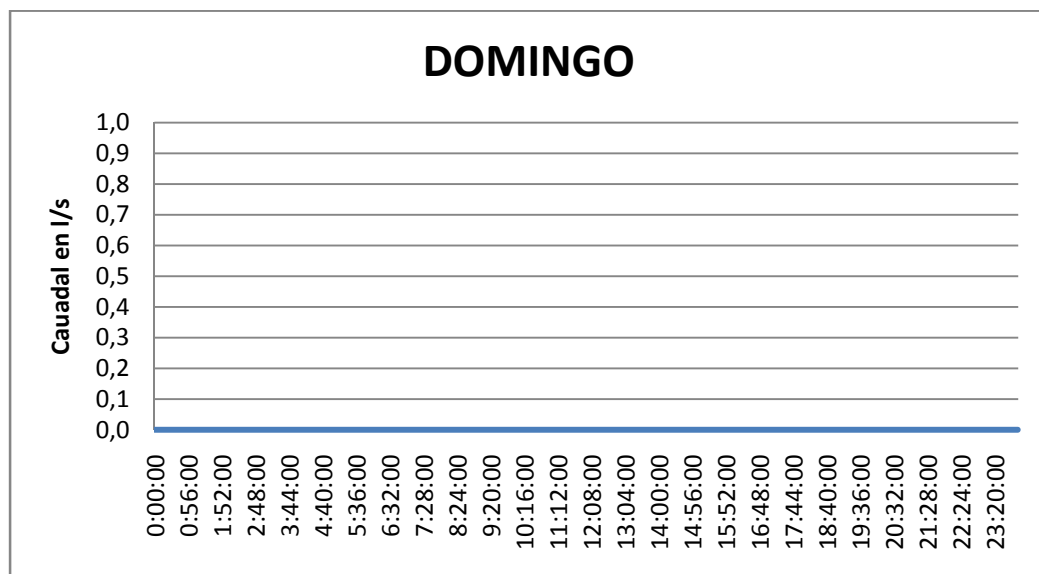
En la figura 24 se puede observar que no hubo consumo durante la noche, esto se debe a que la planta no tuvo producción durante la madrugada, el consumo comenzó a las 5:00 am en este momento el compresor comenzó a cargar, llenando el tanque de aire comprimido.

Los picos muy pronunciados de esta grafica nos indican que el consumo del cliente hay actividades que consumen aire que no son constantes, existen muchas actividades de soplado, limpieza de aéreas de trabajo mas el consumo de las máquinas.

A la 1:00 pm el consumo se estabiliza a partir de este momento únicamente las máquinas se quedan trabajando por lo mismo se presenta un patrón de consumo constante.

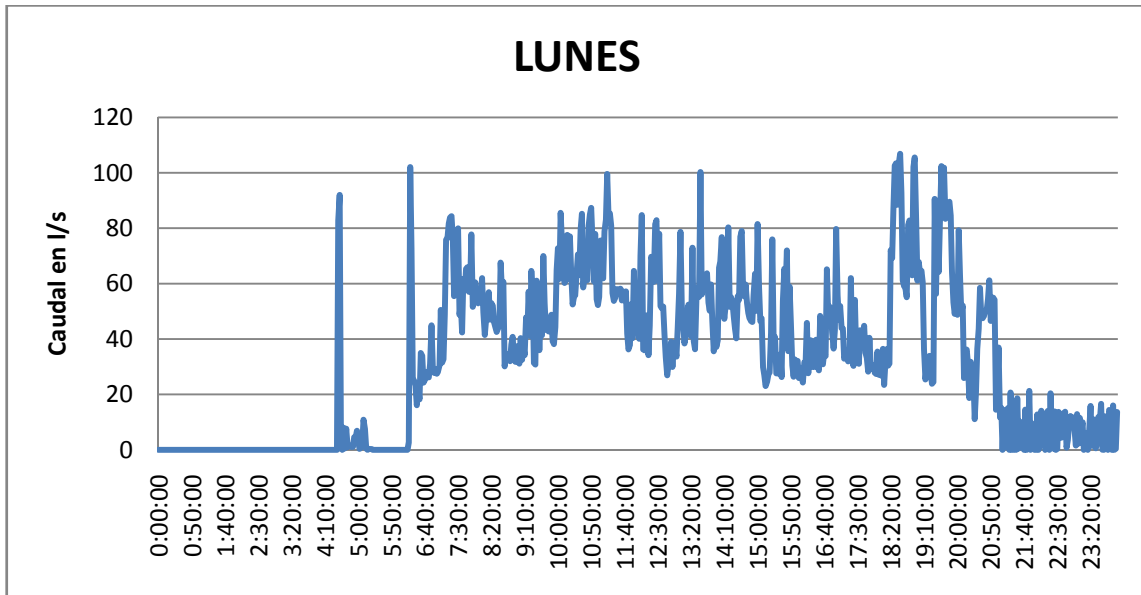
En la última parte del la curva se observa un decaimiento del consumo, esta es la parte que se pierde en fugas

Figura 25. Gráfica de consumo día domingo



La figura 25 muestra un consumo nulo, debido a que no hubo operación durante ese día.

Figura 26. Gráfica de consumo día lunes



La figura 26 muestra el patrón de consumo del día lunes este presenta muestra bastante distorsionado en todo el día presenta un consumo variable, el máximo consumo para este día fue de 122 litros por segundo. Los siguientes días presentan el mismo comportamiento.

Figura 27. Gráfica de consumo día martes

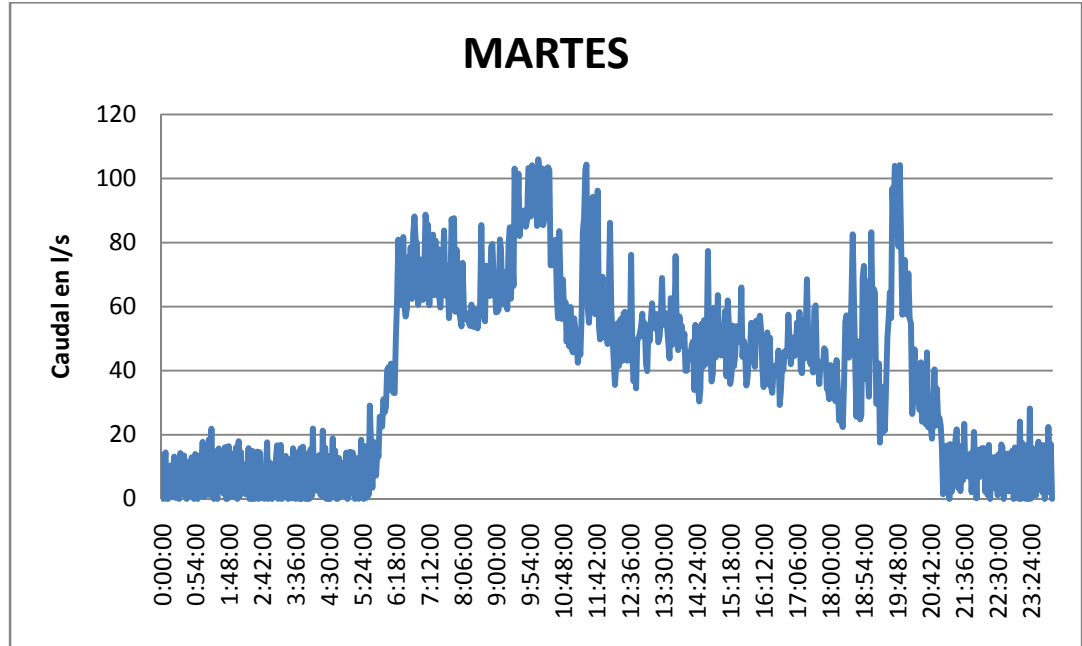


Figura 28. Gráfica de consumo día miércoles

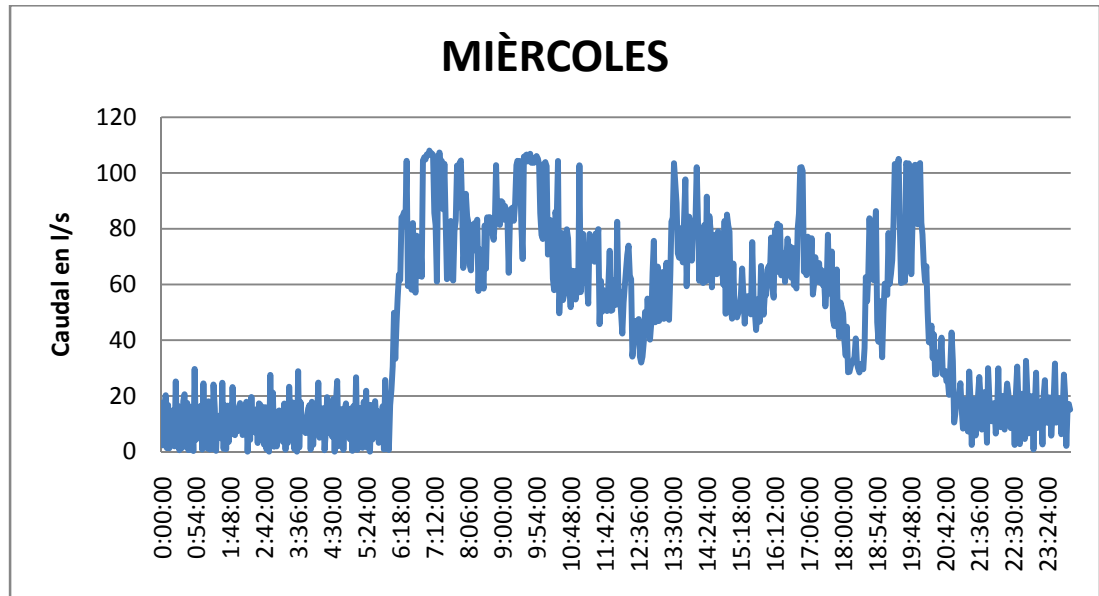


Figura 29. Gráfica de consumo día jueves

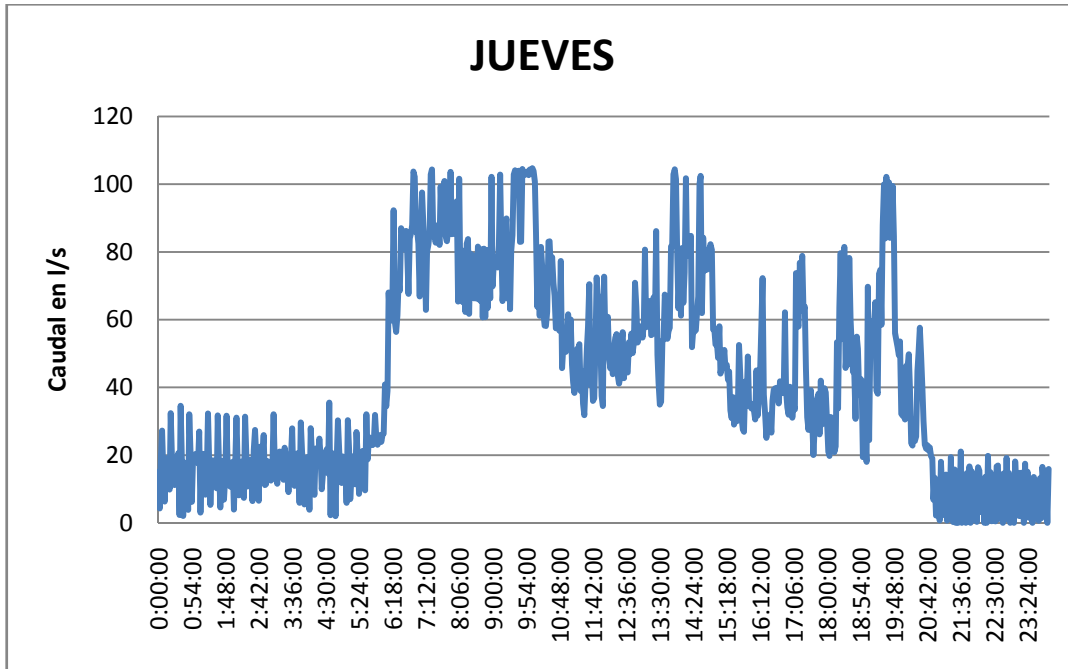
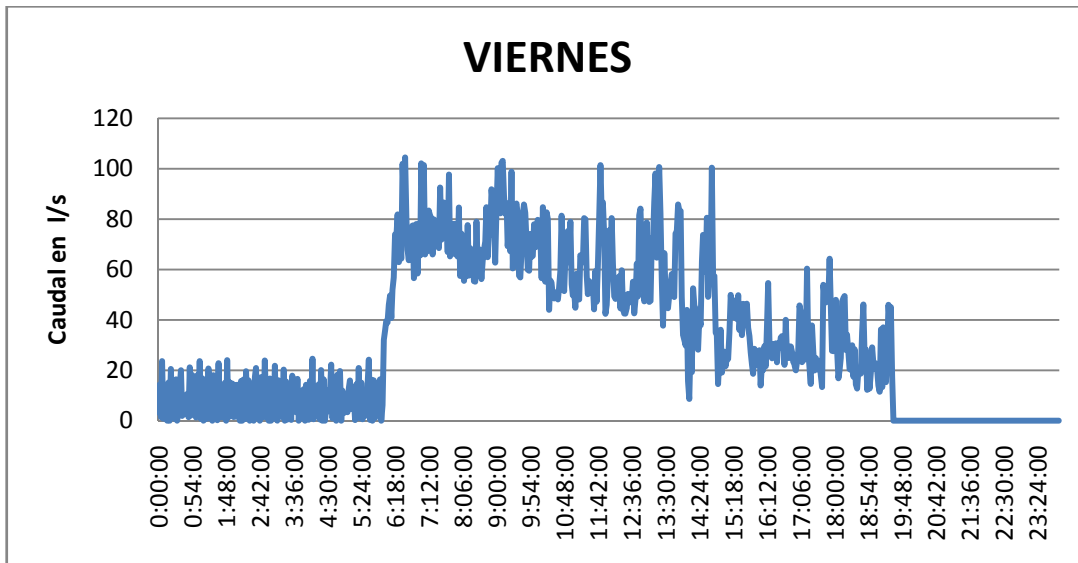


Figura 30. Gráfica de consumo día viernes



El patrón sigue siendo el mismo para todos los días de la semana, así mismo se obtiene como algo adicional los datos de consumo energético, aire producido durante el periodo de medición. Se pueden observar estos datos en la tabla II

Tabla II. Datos obtenidos de la medición de aire

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>kWh CONSUMIDOS</b>	<b>COSTO EN DOLARES</b>
Horas totales de la medición	335 horas	4396.6	\$656.00
Tiempo de compresor a plena carga	32.6 horas	885.6	\$132.00
Tiempo en descarga y/o no a plena carga	210.6 horas	3499.7	\$524.00
Tiempo del compresor con motor parado	91.2 horas	0	0

Tabla III. Datos de aire comprimido generados durante la medición

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>COSTO EN DOLARES</b>
Total de aire generado	53084772 litros	\$659.00
Costo por metro cubico generado		\$0.01
Caudal medio	44 litros por segundo	-
Caudal máximo	129 litros por segundo	-
Presión máxima	6.9 bares	-
Presión mínima	0	-

Además se puede tener una estimación anual de lo que nos costara seguir manteniendo este compresor.

Tabla IV. Datos de estimación anual de costos

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>kWh CONSUMIDOS</b>	<b>COSTO EN DOLARES</b>
Periodo de medición	1 año	-	-
Horas totales de la medición	8400	110428	\$16,564.00
Tiempo de compresor a plena carga	819 horas	885.6	\$3,336.00
Tiempo en descarga y/o no a plena carga	5290 horas	3499.7	\$13,185.00
Tiempo del compresor con motor parado	2292 horas	0	0

Estos datos se comparan con la inversión de modificar el sistema actual de allí se puede tomar la decisión de modificar el sistema

Las conclusiones en este caso son las siguientes:

- Dividir el sistema actual en dos compresores de la mitad de la capacidad cada uno debido a que en la noche el consumo es constante y no presenta picos, esto ayudará al consumo energético, ya que por la noche un compresor funcionara a plena carga y el otro se encontrara apagado, y por el día uno funcionará a plena carga y el segundo y el otro entrara a funcionar para cubrir los picos de consumo.
- Colocar un compresor de velocidad variable, este tipo de compresores entrega únicamente la cantidad de aire necesaria al sistema controlando las revoluciones del motor por medio de un variador de frecuencia, gráficamente se observaría una grafica con picos redondeados, esto implica menor consumo energético.
- Si no se quiere invertir, dejar el sistema tal y como esta.

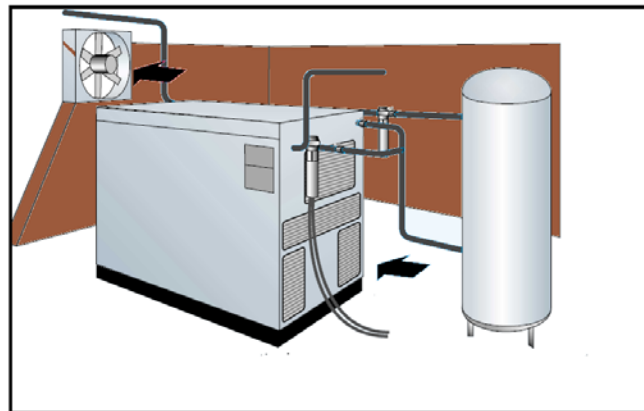
Este es uno de los métodos más certeros y tecnológicos del mercado, actualmente todos fabricantes de compresores, apoyan a sus distribuidores para realicen este tipo de estudios en los sistemas de aire comprimido del cliente.

El método presentado en este texto es una ejemplificación de uno de los tantos métodos existentes para la selección adecuada de un compresor, no se profundizara en todos los métodos existentes, ya que este texto está enfocado en mantenimiento, pero se debe tener noción de los demás parámetros para tener un adecuado funcionamiento durante toda la vida útil del compresor

## 2.2 Instalación

La figura 31 muestra una instalación ideal de un compresor de tornillo, se empezara por determinar qué y como se debe hacer para lograrlo.

Figura 31. Instalación básica de un compresor de tornillo



Fuente: Compressed Air Manual, Atlas Copco

Existen instalaciones más complejas esto va depender directamente de la cantidad y el tamaño de compresores que se tengan, enfocándose siempre en



las nociones de instalación en la cual está enfocada este texto se observan en una instalación típica los siguientes elementos

- Compresor
- Tanque
- Secador de aire
- Filtros
- Entrada de aire ambiente
- Salida de aire ambiente

### **2.2.1 Compresor (instalación física)**

Años atrás los compresores necesitaban una cimentación adecuada para poder ser instalados, con el objetivo de fijarlos al suelo y evitar la vibración, en la actualidad las unidades más modernas no necesitan cimentación debido a que viene un nivel de vibración despreciable, además de las cabinas insonorizadas que llevan hasta 61 decibeles de sonido según sean el tamaño del compresor, también podemos encontrar versiones de compresores preparadas para trabajar a la intemperie.

#### **2.2.1.1 Espacio entre paredes**

El espaciamiento en un cuarto de compresores es relativo al tamaño del compresor, este puede ir desde uno a dos metros de cada lado del compresor, el mínimo espacio recomendable es de un metro.

Hay que tomar en cuenta también donde se encuentra la entrada de aire de admisión, y la salida de aire caliente proveniente del enfriamiento de los radiadores del compresor.

El área de admisión debe ir directamente al ambiente, debe de ingresar aire lo mas frio y fresco posible, en el capítulo I fueron tratadas las consecuencias en el consumo energético cuando no se tiene una adecuada ventilación del cuarto de compresores.

Una regla específica para este tema es: tanto el aire de entrada como el aire de salida deben ser separados por medio de conductos, para aislarlos térmicamente uno del otro, esto provocara el que compresor trabaje a una temperatura optima y también otros ítems como:

- Degradación prematura de aceite
- Maximización de la eficiencia de los filtros (se profundizara este tema en el capitulo cinco).
- Maximización de la eficiencia del secador

### **2.3 Instalación eléctrica**

La acometida eléctrica se basa en las características y la potencia del motor eléctrico del compresor, este es el mayor consumidor de corriente en todo el compresor, utilizando el cable adecuado y la acometida correcta se puede obtener una máxima eficiencia,

Conforme los datos de corriente presentados en la siguiente tabla, se puede determinar el calibre de alambre a utilizar en la acometida eléctrica y seleccionar los distintos elementos y protecciones como los son:

- Fusible de retardo
- Interruptor temo magnético
- Guarda motor
- Contactor de arranque

- Protección térmica bimetálica
- Capacitor

Estos componentes son utilizados para el arranque, protección y funcionamiento del compresor en la parte eléctrica, para mayor información sobre el funcionamiento de cada una de estas partes eléctricas, consulte textos de maquinas eléctricas (Figura 33).

### **2.3.1 Arranque**

Cuando un motor arranca toma una corriente que es mucho mayor que la corriente nominal. Toma un valor de seis veces la corriente nominal. Este hecho produce caídas grandes en la tensión del sistema eléctrico y la ingeniería ha buscado soluciones a este problema. Una de esas soluciones es arrancar los motores con voltaje reducido. Y uno de esos métodos es el arrancador estrella delta en donde inicialmente el motor se conecta en estrella de modo que el voltaje en sus devanados es menor (57.7%) y una vez el motor este rodando se cambia la conexión a delta en donde los devanados quedan con la tensión nominal de trabajo. Este procedimiento disminuye notablemente el fenómeno de arranque

### **2.4 Ambiente de trabajo**

El ambiente de trabajo es uno de los factores más descuidados en la instalación de un compresor, ya que es muy difícil encontrar el ambiente idóneo para el mismo, considerar factores como la temperatura ambiente, la contaminación, el flujo de aire ambiente es vital para conseguir un buen funcionamiento

### **2.4.1 Temperatura**

La temperatura del ambiente en donde se encuentre el compresor, contribuye a la temperatura de trabajo del mismo, todos los fabricantes de compresores tienen actualmente unidades que pueden trabajar hasta 55°C de temperatura ambiente sin afectar el funcionamiento adecuado y la eficiencia del compresor, estos son los rangos máximos de temperatura, en el capítulo 1 de este texto, se dijo que entre más fresco estuviera el ambiente donde se encuentra instalado, mas frio será el ingreso de aire comprimido al compresor, teniendo una mayor eficiencia en el consumo energético del mismo. Es decir aumentado la temperatura ambiente del compresor no se afecta la entrega de aire, pero se afecta directamente el consumo energético del compresor para entregar la misma cantidad de aire a mayor temperatura. Algunos factores a tomar en cuenta en este ítem son:

- Colocar lo más alejado posible calderas o desfuegos de vapor ya que esto afectara directamente el punto de rocío del aire
- Bajo techo (de ser posible) y con el aire caliente proveniente del enfriamiento, entubado y con salida hacia el ambiente por medio de extractores de calor
- En cuartos lo suficientemente amplios para que tenga una buena admisión de aire y no respire únicamente aire caliente del interior del cuarto donde se encuentra

### **2.4.2 Contaminantes**

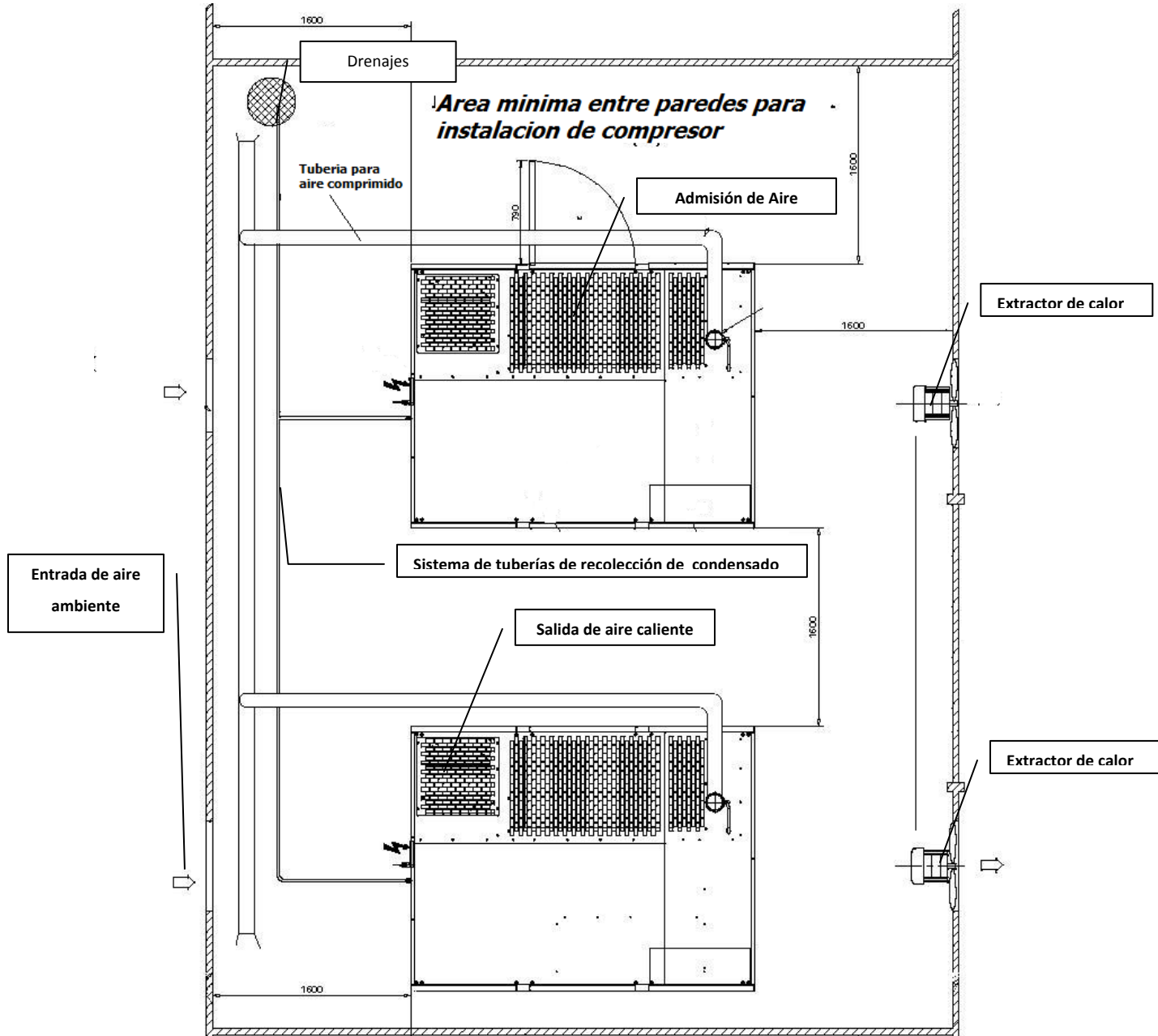
El aire atmosférico es un gas incoloro, inodoro e insípido que está constituido por una mezcla de gases, principalmente nitrógeno y oxígeno, entre otros. Algunos de los principales contaminantes se encuentran de forma natural

suspendidos en el aire, tales como: vapor de agua y partículas sólidas (polvo, arena, hollín y cristales de diferentes sales).

Existen métodos para cuantificar los contaminantes ambientales, sin embargo en la práctica son poco utilizados por las personas que se dedican a hacer este tipo de instalaciones, los contaminantes que provienen en emanación de plantas de generación (CO<sub>2</sub>), sales de minerales, son inevitables en el aire, se puede reducir la contaminación en el aire de admisión por medios que están al alcance algunas recomendaciones en cuanto a los alrededores del cuarto de compresores son:

- Alejado de lugares de terracería, ya que el paso de vehículos provoca que el polvo se remueva y se mezcle con el aire, que va directamente a la admisión de aire, saturando prematuramente el filtro de aire, contaminando también aceite con el polvo que el filtro de aire deja pasar hacia el filtro de aceite contaminando el aceite.
- Alejado del proceso, en el caso de que el ambiente sea corrosivo o contenga algún tipo de solvente, estos casos se pueden dar en plantas de producción de empaques para alimentos, serigrafía y lugares que empleen tintes o pintura para su proceso; esto afecta directamente la viscosidad del aceite, provocando que ya no sea eficiente en el proceso de compresión.

Figura 32. Ejemplo de instalación de un compresor de tornillo en cuarto



Fuente: Manual de Instrucciones Compresor Atlas Copco Modelo GA90+

Figura 33. Arrancador estrella-delta en compresor de tornillo



Figura 34. Diagrama de un arrancador estrella delta

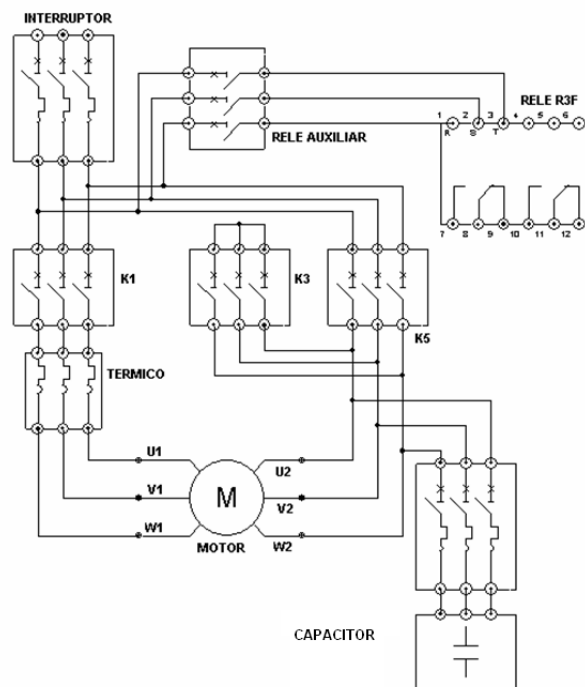


Tabla V. Consumo de corriente y calibre de conductor a utilizar en una acometida eléctrica de un compresor

<b>POTENCIA EN HP</b>	1	1.5	2	3	5	7.5	10	15	20	25	30	40	50	60	75	100	125	150	200	250
<b>POTENCIA EN KW</b>	0.75	1.12	1.49	2.24	3.73	5.6	7.46	11.2	14.9	18.7	22.4	29.8	37.3	44.8	56	74.6	93.3	111.9	149.2	186.5
<b>CORRIENTE A PLENA CARGA EN AMPERIOS 230 VAC</b>	3.6	5.2	6.8	9.6	15.2	22	28	42	54	68	80	104	130	154	192	248	312	360	-	-
<b>CORRIENTE A PLENA CARGA EN AMPERIOS 460 VAC</b>	1.8	2.6	3.4	4.8	7.6	11	14	21	27	34	40	52	65	77	96	124	156	180	240	273
<b>CALIBRE DE CONDUCTOR A UTILIZAR 230 VAC (AWG)</b>	14	14	14	14	14	12	10	8	6	4	3	1	2/0	3/0	250	400	600	800	-	-
<b>CALIBRE DE CONDUCTOR A UTILIZAR 460VAC (AWG)</b>	14	14	14	14	14	14	14	12	12	8	8	6	4	4	1	2/0	3/0	250	400	600



Estas son solo algunas recomendaciones, el ambiente ideal para un compresor es respirar aire ambiente a condiciones estándar, de manera que ese es el punto de partida para situar los compresores, en el lugar que más se asemeje a las condiciones ideales, estas son:

- . Presión absoluta de entrada 1 bar (14,5 psi)
- Temperatura de entrada del aire 20°C, 68°F

## **2.5 Ruido**

Décadas atrás, el compresor era un equipo demasiado ruidoso insoportable para el oído humano, este nivel arriba de los 100 decibeles por tal motivo se hacía absolutamente necesario la construcción de un cuarto de compresores para la instalación de los mismos.

En la actualidad ya no es necesario construir un cuarto de compresores fuera de la planta (salvo que el ambiente y las regulaciones internas lo requieran), las unidades modernas vienen equipadas con insonorización, la cual reduce el ruido en los compresores hasta un máximo de 67 decibeles, este es un nivel permisible al oído humano.

La insonorización se consigue por medio de la colocación de filtros de ruido en las compuertas del equipo, estos están contruidos de material sintético que proporciona aislamiento del sonido del motor, unidad compresora y válvulas.

Figura 35. Esponja sintética colocada en las cubiertas del compresor como aislante de sonido



## 2.6 Monitoreo de parámetros

La parte final de la selección, instalación y puesta en marcha de un compresor es el monitoreo de los parámetros de funcionamiento, son de vital importancia en el arranque del compresor, ya que el chequeo correcto de estos depende el correcto funcionamiento del mismo.

Inicialmente hay que chequear el giro del motor, para que la unidad compresora gire para el lado adecuado, no hay un sentido de rotación establecido estándar para todos los compresores, regularmente está indicado por una flecha que indica el sentido correcto de rotación, de no rotar en el sentido correcto hay que invertir dos líneas de entrada, (en compresores de corriente trifásica).

Antiguamente los parámetros como lo son la presión, la temperatura y la corriente se controlaban por medios mecánicos, por medio de manómetros, termómetro, y protecciones de de sobrecarga. En la actualidad las unidades modernas son controladas por medio de sensores de presión, temperatura y protecciones eléctricas conectadas a un PLC que es el encargado de controlar todos los aspectos de funcionamiento de un compresor (figura 36). Con los controladores actuales se pueden monitorear parámetros como:

- Presión de aire de entrada.
- Presión de aire a la salida de la unidad compresora.
- Presión de aire a la descarga.
- Temperatura del aire a la entrada
- Temperatura del aire a la salida de la unidad compresora
- Temperatura del aire a la descarga
- Temperatura del aceite
- Presión del circuito aceite
- Diferencial de presión el filtros
- Temperatura de trabajo del compresor
- Horas carga y marcha
- Rango de presión de carga y descarga
- Presión máxima de trabajo
- Paradas de emergencia
- Paradas programadas

En general las funciones básicas del control electrónico son:

- Controlar el compresor
- Proteger el compresor

- Monitorizar los componentes sujetos a servicio
- Arranque automático después de interrupción del voltaje (hecho inactivo)

El Controlador mantiene la presión de la red entre los límites programables cargando y descargando el compresor automáticamente. Se tiene en cuenta un número de ajustes programables, p.ej. las presiones de descarga y carga, el tiempo mínimo de parada y el número máximo de arranques del motor , el controlador para el compresor cada vez que sea posible con objeto de reducir el consumo de energía y vuelve a arrancarlo automáticamente cuando baje la presión de la red. En caso de ser demasiado breve el período de descarga previsto, el compresor sigue funcionando a fin de evitar períodos de parada demasiado breves.

Toda la información proporcionada por el controlador se utiliza con el fin de tomar las decisiones adecuadas en el mantenimiento del mismo, ya que como vimos en el primer capítulo es uno de los ítems que tiene mayor costo en la vida útil del compresor.

### **2.6.1 Parámetros normales de funcionamiento**

Entre los rangos normales de funcionamiento se pueden mencionar algunas cantidades:

- **Temperatura:** un compresor debe trabajar siempre en caliente, esto quiere decir que no puede trabajar por debajo de una temperatura determinada, el rango de temperatura permisible es entre los 70 a 90°C, por debajo de este rango el agua del aire comprimido no se convierte en vapor, corriendo el riesgo de inundación de la unidad compresora, por arriba de esta temperatura

Figura 36. Muestra de algunos controladores de distintos fabricantes de compresores existentes en el mercado guatemalteco





Fuente: [www.kaeser.com.gt](http://www.kaeser.com.gt); [www.atlascopco.com](http://www.atlascopco.com); [www.irco.com](http://www.irco.com)

Comienza una degradación prematura del aceite ya que el exceso de temperatura incide directamente en la viscosidad del aceite provocando una compresión ineficiente y consumo energético elevado, regularmente los compresores cuentan con una protección que se dispara o activa a los 120°C.

- **Presión:** Específicamente es el rango de carga y descarga, este debe configurarse a una banda de presión de 20psi (puede variar según lo requiera el sistema de la planta) esto con el fin de regular los arranques de motor, si este rango es demasiado angosto el consumo energético se elevaría, en carga o comprimiendo aire el compresor consume más energía que cuando está en descarga.

## 2.7 Cuarto de compresores finalizado

Ya finalizado con todos los pasos descritos anteriormente los compresores deben quedar instalados según lo muestra la figura 37, en la misma se observa que tanto el aire de admisión y el aire caliente de salida se encuentran aislados, luego de esto se encuentra el tanque pulmón colocado, que ayuda a acumular aire y da parte de tratamiento al mismo, la parte de tratamiento será estudiada en el último capítulo de este documento.

Figura 37. Vista de un cuarto de compresores finalizado



### **3. PROPUESTAS PARA PERIODOS DE MANTENIMIENTO EN LOS COMPRESORES DE TORNILLO Y DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES A REALIZAR EN LOS MISMOS**

Periódicamente para garantizar el buen funcionamiento y la durabilidad del compresor, es necesario la realización periódica de mantenimientos preventivos; el fabricante recomienda ciertos períodos donde garantiza la durabilidad de sus repuestos, sin embargo la experiencia en el campo nos ha llevado a determinar que en ciertos casos estos periodos no son los adecuados esto se debe a los siguientes factores:

- Ambientes sucios o pesados de trabajo
- Mala elección de ubicación física de compresor
- Temperatura elevada en el cuarto de compresores

Estos y otros factores obligan a no respetar los períodos de mantenimiento establecidos por el fabricante y definir los propios para cada tipo de compresor, en este documento describiremos detalladamente los periodos de mantenimiento preventivo realizados en a la actualidad a la mayoría de las marcas de compresores existentes en el mercado, para así garantizar un optimo desempeño y poder alcanzar la vida útil del compresor.



Según los fabricantes el compresor tiene una vida útil de cinco años, después de este tiempo en compresor se considera ineficiente y depreciado completamente. En nuestro medio no es así, hay compresores que tienen más de 20 años funcionando, esto se debe en muchas ocasiones se debe a que se ah llevado un adecuado programa de mantenimiento preventivo, alargando la vida útil del equipo y reduciendo la ineficiencia que este presenta con el pasar del tiempo.

Los mantenimientos deben realizarse cada dos mil horas marcha del compresor, este dato lo podemos obtener por medio del horometro ya sea análogo (compresores antiguos) o electrónico (compresores modernos).

Primeramente describiremos las actividades que se realizan en todos los mantenimientos, y luego revisaremos las actividades que difieren en cada uno de ellos

### **3.1 Revisión de parámetros de controlador**

Antes de comenzar cualquier mantenimiento en un compresor es necesario revisar los parámetros de funcionamiento actuales, con esto nos podemos dar cuenta de cómo ha trabajado el compresor, que fallas a presentado y otro sin fin de información que nos será útil para determinar. El controlador electrónico puede darnos los siguientes parámetros

- Presión de entrega de aire
- Horas carga de compresor
- Horas marcha de compresor
- Temperatura de trabajo
- Alarmas

- Datos de estado del compresor

Recordando lo visto en el capítulo, controlador electrónico es un PLC dedicado, controla y regula las siguientes funciones.

- Banda de presión
- Presión mínima y máxima de trabajo
- Caídas de presión en el separador de aceite
- Temporizador de servicio
- Paradas programadas
- Paradas de emergencia
- Condiciones de funcionamiento
- Reloj en tiempo real
- Datos de estado

Toda esta información debe de ser revisada antes de realizar cada mantenimiento, debe encontrarse en condiciones normales de funcionamiento, la condición que rige todo el buen o mal funcionamiento de un compresor de tornillo lubricado es **la temperatura**.

### **3.2 Mantenimientos preventivos**

Los intervalos de mantenimientos tienen intervalos en el primer año 2000 horas realizando algunas actividades en común en cada uno de ellos. En este apartado describiremos profundamente cada una de las actividades a realizar en cada uno de ellos, inicialmente las actividades a realizar por los usuarios u operarios, diaria y semanalmente y por último las actividades de mantenimiento preventivo que incluyen desarme y cambio de repuestos.

Antes de empezar cualquier actividad de mantenimiento en un compresor se debe asegurar cumplir estas actividades:

- Parar el compresor por medio del botón encendido del mismo, ya sea que el apagado sea controlado manual o electrónicamente.
- Presionar el botón de parada de emergencia que regularmente es una botón rojo con enclavamiento, esto asegurara que el equipo no se activara bajo ninguna circunstancia
- Cerrar las válvulas de salida del aire y de dreno manual, con el objetivo de asegurarse que no habrá ningún retorno de aire comprimido o condensado, si el sistema se encuentra presurizado en el momento de parar el compresor.
- Hay equipos que cuentan con purgadores electrónicos automáticos, estos están dotados de botones de prueba, que deberán de ser accionados para que todo el condesado que tengan en ese momento, sea arrojado hacia el exterior.
- Accionar la válvula de seguridad que regularmente viene colocada encima del depósito del aceite, el equipo cuenta con un sistema de despresurización del sistema de aire y de aceite, pero es mejor asegurarse accionando la misma para que quede completamente sin presión.
- Quitar el voltaje, en las instalaciones industriales, la caja de la acometida eléctrica cuenta con interruptores para “candadear” luego de quitar el voltaje.

### **3.2.1 Actividades diarias**

Estas actividades deben realizarse y revisarse diariamente por el operador capacitado del área de compresores, no es necesario contratar personal de mantenimiento externo para realizarlas.

- Chequear los parámetros dados por los controladores electrónicos, el más importante es la temperatura de trabajo, la cual debe de estar en un nivel normal de funcionamiento, en el caso del compresor con control mecánico observar el termómetro indicador.
- Comprobar el funcionamiento adecuado de los drenes manuales y automáticos, estos deben descargar condensado cuando el compresor esta en carga.
- Observar el nivel de aceite antes de arrancar el compresor, si el compresor trabaja 24 horas al día, observar que en el indicador se encuentre en el nivel adecuado, cuando el compresor está parado la señal más práctica para medir el nivel de aceite, es llenar el depósito hasta que este llegue a la rosca del tapón del mismo.
- Semanalmente verificar el estado de los filtros y el nivel de contaminación de los armarios, regularmente la parte eléctrica y de control electrónico están aisladas de la parte mecánica en un mismo cubículo.

El programa de mantenimiento preventivo está estructurado por medio de una hoja de actividades cíclicas a realizarse en los intervalos anteriormente mencionados. Hay variantes según sea el caso y las condiciones del compresor en el momento de la realización del servicio, regularmente el fabricante indica actividades o cambios de repuestos que no son reales, por las condiciones de

trabajo de los equipos y en ambiente en donde han sido instalados, con base a experiencia se ha realizado la Tabla VI

Tabla VI. Actividades a realizar en los mantenimientos de tipo preventivo

ACTIVIDAD	2,000 hrs	4,000 hrs.	6,000 hrs.	8,000 hrs.
Revisión de parámetros del controlador	X	X	X	X
Revisión protección por alta temperatura	X	X	X	X
Revisión estado general e instalaciones	X	X	X	X
Inspección de mangueras	X	X	X	X
Drenaje de aceite del sistema				X
Revisión de conexión eléctrica de control	X	X	X	X
Cambio de elemento separador				X
Lubricación de tornillo	X	X	X	X
Limpieza e inspección de válvulas de control	X	X	X	X
Limpieza e inspección orificio de barrido	X	X	X	X
Limpieza de válvula mínima de presión	X	X	X	X
Revisión de trampa de agua	X	X	X	X
Cambio de sello de aceite (si aplica)				X
Limpieza con aire del enfriador de aceite	X	X	X	X
Limpieza con aire del enfriador de aire	X	X	X	X
Limpieza general	X	X	X	X
Medición de parámetros de funcionamiento al arranque	X	X	X	X
Medición y ajuste de conexiones eléctricas	X	X	X	X
Lubricación del motor		X		X
Medición de temperatura	X	X	X	X
Medición de presión	X	X	X	X
Medición de corriente y voltaje	X	X	X	X
Inspección de válvula de admisión				X
Limpieza y/o cambio filtro de aire	X	X	X	X
Cambio de filtro de aceite	X	X	X	X
Cambio de aceite mineral		X		X
Limpieza del área de compresor	X	X	X	X
Lavado de enfriadores				X

Se observa que existen actividades en común en cada servicio, se explicara detalladamente en qué consiste cada una de estas actividades y el procedimiento sugerido para realizarlo.

### **3.3 Mantenimiento de 2000 horas**

#### **3.3.1 Revisión de parámetros del controlador**

La revisión de los parámetros controlador, este texto se referirá a unidades modernas dotadas por control electrónico, es de vital importancia revisar los parámetros siguientes antes de realizar un mantenimiento:

- Encendido y arranque de compresor
- Presión máxima de trabajo
- Ciclos de carga y descarga
- Temperatura de trabajo
- Últimas paradas de emergencia
- Rango de presión

Cuando el compresor se encuentra parado o sin trabajar durante un largo tiempo, es necesario arrancarlo y ponerlo a funcionar por unos minutos, esto es para determinar si se encuentra apagado por algún fallo adicional que halla tenido, ya que este no se resolverá si solo se procede con un mantenimiento de tipo preventivo, seguido de esto también hay que apagarlo para verificar si es un apagado normal o se apaga por disparo de alguna protección eléctrica.

La presión máxima de trabajo debe de comportarse en esta prueba conforme los datos de placa del compresor, con el paso del tiempo puede existir una variación en la eficiencia del compresor teniendo como consecuencia más consumo energético para lograr la misma.

La Temperatura de trabajo debe encontrarse en el rango de 70 a 90 grados centígrados cuando esta excede de este valor pero no supera los 100 grados centígrados existe suciedad en los enfriadores, problema que será solucionado con el mantenimiento preventivo.

Se entiende como una parada de emergencia, a un paro no programado anormal del equipo, o también por el accionamiento repentino del botón parada de emergencia, la mayoría de controles electrónicos tienen la capacidad de guardar los datos en memoria de los motivos por el cual se tuvo una parada de emergencia, revisar estos ayuda a darse cuenta en que estados se encuentra el equipo y el tipo de falla que ha presentado, así como el día la fecha y la hora la cual ocurrió, esto relacionado con el tipo de falla indica el camino a seguir para encontrarla; por ejemplo si ocurre una parada de emergencia por sobrecarga de temperatura en el elemento compresor, al medio día de un día caluroso, indica que el compresor no estuvo lo suficientemente ventilado en donde se encuentra, también que los enfriadores de aire y de aceite se encuentran saturados de polvo y suciedad. En conclusión los datos guardados en este apartado sirven para determinar en que parte hay que poner mayor atención.

El rango de presión de trabajo nos indica cada cuanto entra en carga y descarga un compresor (en el caso de los compresores todo o nada), si este rango es demasiado cerrado o corto el compresor cargara y descarga muy seguido, provocando desgaste en las piezas de control de la presión y admisión de aire, si el rango es muy abierto no alcanzaría a cubrir los picos de demanda de presión del sistema, este rango es comúnmente de 20 psi.

### **3.3.2 Inspección física del equipo**

Determina las condiciones generales del compresor, se utiliza para encontrar:

- Cierres de compuertas dañados
- Suciedad
- Vibraciones anormales
- Sonidos anormales
- Fugas de aceite
- Fugas de aire

Estas y otras más ayudan a darse cuenta de puntos que posiblemente no están listados en el tipo de mantenimiento a realizar, pero que es completamente revisar ya que posteriormente pueden causar fallos mayores y obligar a realizar un mantenimiento correctivo

### **3.3.3 Inspección física de mangueras**

En el compresor hay mangueras en las que circula aceite a alta temperatura, también aire caliente a alta temperatura, son mangueras de caucho, con alma de acero para que resista la alta temperatura y la presión de trabajo de compresor, se revisan tanto en los acoples, como en todo el cuerpo de la misma para ver si no se encuentran bien apretadas y exista alguna fuga por la rosca. En caso del resto del cuerpo se puede encontrar dañada por el paso del tiempo, en la parte del acoplamiento de la manguera con la rosca se raja por la concentración de esfuerzos en el área de la misma, provocado roturas cuando esta se encuentra presurizada, en cada mantenimiento es la revisión para ver si es necesario el cambio de alguna de estas, la vida útil de una manguera de compresor es aproximadamente de 5 años, bajo condiciones normales de funcionamiento.



Figura 38. Mangueras dentro de un compresor



### 3.3.4 Revisión de conexión eléctrica de control

La conexión eléctrica en la parte de control está delimitada únicamente a:

- Control electrónico (PLC dedicado)
- Sensores (presión y temperatura)
- Válvulas solenoide de control

Estos componentes indican al controlador el estado de trabajo de todas las partes del compresor, con esta información el controlador sabe que hacer, cuando y como hacerlo, la revisión de estos componentes consiste en revisar el cableado que este en buen estado y continuo durante todo el trayecto, si se encuentra dañado es recomendable el cambio del mismo, ya que probablemente provocara errores de comunicación entre el sensor y el

controlador, teniendo como consecuencia la aparición de alarmas y disparos en el compresor.

Figura 39. Vista de la parte trasera de controlador electrónico en un compresor

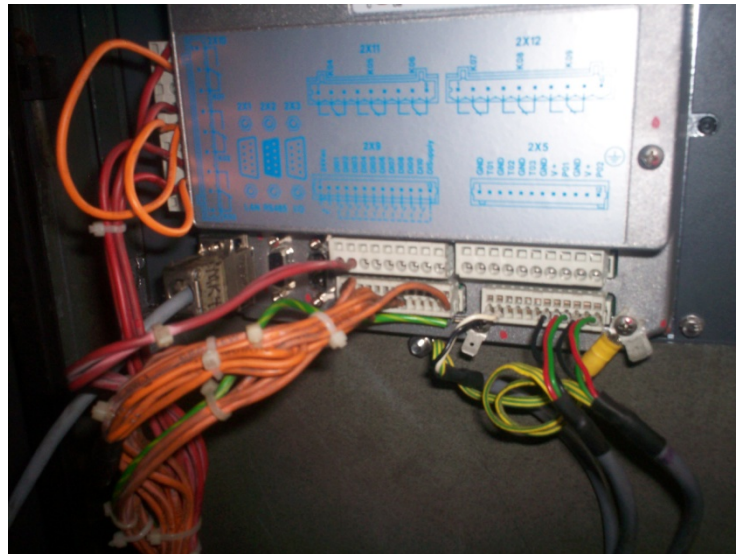
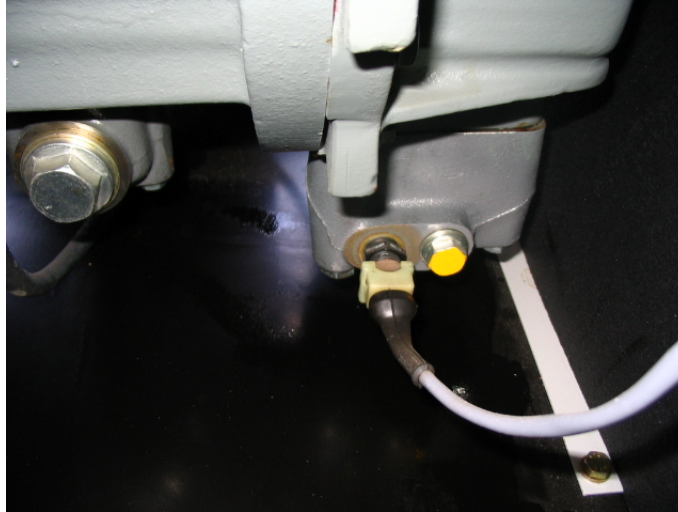


Figura 40. Vista de sensor de presión diferencial de separador de aceite



Figura 41. Sensor de temperatura de aceite



### **3.3.5 Revisión de y limpieza de válvulas de control.**

Las válvulas de control o válvulas solenoides son las encargadas de regular las distintas señales de aire, que indica al controlador electrónico el status del compresor, son válvulas de tipo 2/2 ó 3/2 que son accionadas por una señal eléctrica hacia la bobina y su apertura o cierre controla por ejemplo la válvula de admisión, los compresores americanos son distintos a los compresores europeos, los primeros contienen hasta cuatro válvulas solenoides de control, en cuanto al diseño europeo, opera únicamente con una válvula solenoide.

La parte a revisar de este componente son los empaques y sellos internos, los cuales se van desgatando según los ciclos de trabajo que ella tenga, estos ciclos dependen directamente de las veces que el compresor entre en carga o descarga, o las veces que mande a abrir o cerrar un componente que se encuentre bajo su control.

Figura 42. Vista de las válvulas de control con sus distintas señales de aire (diseño americano)



Fuente Creación propia del autor

Figura 43: Vista de válvula solenoide controlado la apertura de válvula de admisión (diseño europeo).



### **3.3.6 Limpieza e inspección orificio de barrido**

El orificio de barrido es un pequeño tubo de cobre (figura 44), encargado de succionar el aceite que quedo en el fondo del separador después del proceso de separación de aceite explicado en el capítulo uno.

Este tubo se obstruye debido a los contaminantes que tiene el aceite después del proceso de compresión en donde se mezcla con el aire ambiente para lograr aire comprimido, la forma de limpiarlo es ponerlo bajo presión de aire fuera de la posición donde funciona, tiene una forma especial, si se encuentra deformado o doblado tiene que ser substituido, otra forma de limpiarlo es lavarlo con un solvente o químico que no reaccione con el cobre para que suelte las impurezas que tiene dentro de él.

### **3.3.7 Limpieza de válvula mínima de presión**

Como explicado en el capítulo uno, la válvula de presión mínima regula el paso de aire por medio de una presión mínima establecida en el depósito del separador de aceite (figura 45), su función real es subir o bajar conforme la presión antes mencionada, consta de una especie de vástago con algunos o-rings y resortes.

El mantenimiento menor de esta parte es únicamente lubricar el vástago, limpiarlo, limpiar la camisa y el resorte, colocarlos nuevamente comprobando que circule libremente sin ninguna obstrucción.

Se debe tener sumo cuidado de no lastimar o golpear el vástago, ya que el menor rayón o golpe hace que no selle completamente y tenga fuga, teniendo como consecuencia la perdida de presión en el depósito del separador y la no

apertura de de la misma, no entregando el flujo ni la presión establecida en la descarga.

Figura 44. Vista de tapadera de separador con tubo de orificio de barrido



### 3.3.8 Revisión de trampa de agua

Su función es recolectar el condensado cuando el compresor se encuentra en carga, el aire que viene del enfriador aire-aceite (figura 46), sufre un cambio de temperatura cuando pasa por él, por consiguiente se crea condensado, a pasar por la trampa se queda en ella, cuando se llena de agua, es desechada por medio de un sistema de flote que se activa cuando esta se llena de agua.

El mantenimiento de esta consiste en revisar el sistema de flote, que tiene una serie de componentes como lo son empaques, resortes etc. La limpieza de la misma garantiza la correcta evacuación de los condensados hacia el exterior.

Figura 45. Vista de la válvula de presión mínima



Figura 46. Trampa de agua



### 3.3.9 Limpieza con aire del enfriador de aire-aceite

Tomando en cuenta lo descrito en el capítulo 1, el enfriador de aire-aceite está unido en un solo cuerpo y se ve como uno solo físicamente en el compresor (figura 47 y 48), según el ambiente en donde se encuentre, este se ensucia y se satura de polvo y tierra, haciendo necesario la limpieza del mismo en cada servicio de mantenimiento, la manera adecuada de limpiarlo es tomar una manguera con aire comprimido a presión de trabajo del compresor y limpiar el panel, pasando el aire de izquierda a derecha y de arriba abajo.

En limpiezas más profundas, es necesario desmontar el radiador y lavarlo con agua a presión o con algún solvente que no reaccione químicamente con el latón. Todos estos trabajos deben efectuarse con el cuidado de no golpear el panel ya que podría resultar como la rotura del mismo. No se recomienda reparar una fuga ya sea de aire o de aceite que tenga el mismo, ya que las presiones que se manejan tanto en lado de aire como el de aceite, son más altas que las de un radiador normal o de vehículos. Lo ideal es cambiarlo.

Figura 47. Enfriador aire-aceite





Figura 48. Enfriador aire-aceite



### 3.3.10 Limpieza general

La limpieza general de compresor aplica para toda la superficie de la maquina no es más que aplicar un desengrasante de base cítrica con un paño para realizar una limpieza a mano de todo el compresor, el desengrasante tiene esta base para que no dañe el forro del cableado de control y se presenten roturas del mismo, con el pasar del tiempo, como el químico es aplicado a mano, se tiene que utilizar uno que no contenga componentes que sean dañinos al contacto con la piel.

En algunas industrias las reglas de seguridad industrial no permiten el uso de químicos de limpieza que contengan solventes inflamables, los mismos deben de estar acompañadas de su hoja de seguridad para el manejo del mismo.

### 3.3.11 Cambio de filtro para aire

Se recomienda su cambio en cada servicio de 2000 horas, sin embargo hay maquinas en lugares extremadamente contaminados, como por ejemplo en un lugar de terracería, en el cual no es posible cambiarlo hasta este tiempo, lo ideal en este caso es evaluar el ambiente de trabajo del compresor, determinar que tal alto es el nivel de contaminación en el mismo, y así determinar los periodos de cambio del mismo.

Como ya se explicó, es recomendable que se revise el estado del filtro cada semana y sopetearlo con aire a presión de adentro hacia afuera, para retirar las impurezas acumuladas en los pliegues del mismo, si se hace de forma contraria, se corre el riesgo de romper el papel del filtro, si esto sucede el filtro queda inservible.

Figura 49. Filtro de aire completamente contaminado



La figura 49 muestra un filtro de aire con aproximadamente 1800 horas de utilización, el fabricante indico que este filtro se tenía que cambiar a las 4000 horas, sin embargo por el estado del mismo se puede determinar que no alcanzo ni siquiera a llegar a las 2000 horas de funcionamiento, el ambiente de

trabajo de este compresor es un beneficio de café, en el cual lo procesan en todas sus etapas, generando pelusa pegajosa que se adhirió directamente al filtro, la succión del compresor provoco la rotura del papel del filtro para que el aire siguiera entrando al compresor.

La recomendación en este caso fue cambiar el filtro de aire cada 1000 horas marcha del compresor, en conclusión y recalcando la importancia de escoger adecuadamente, el lugar de instalación del compresor si el ambiente es sucio, entonces aumentaran proporcionalmente mis costos de mantenimiento y se reducirá la vida útil del equipo.

Figura 50. Vista de filtro de aire usado en condiciones ambientales normales



Figura 51. Porta filtro de compresor



### 3.3.12 Cambio de filtro para aceite

El filtro de aceite es como el corazón en el cuerpo humano, es el encargado de limpiar antes de pasarlo nuevamente a circuito de aceite, según la potencia del compresor es la cantidad de aceite que utiliza y así el número de filtros para aceite a utilizar, el cambio es hecho de la misma manera en que se cambia un filtro automotriz, se recomienda el siguiente procedimiento:

- Utilizar un recipiente para evitar que se derrame aceite.  
Desenroscar los filtros de aceite.
- Limpiar los asientos de los filtros en el distribuidor.
- Engrasar con aceite las juntas de los filtros nuevos y roscarlos hasta que las juntas toquen sus asientos.
- Seguidamente se deben apretar a mano.

Figura 52. Filtros de aceite instalados en un compresor



Los filtros mostrados en la figura 52 son de un compresor de 100 hp, este compresor utiliza 5 galones de aceite, del cual se pierde aproximadamente 1 en el cambio de los mismos. No deben pasar más de 2000 horas instalados sin cambio, porque en lugar de filtro se convertirán en una obstrucción provocando menos flujo de aceite hacia el circuito, aumentando con esto significativamente la temperatura de trabajo. Con el cambio continuo de los filtros de aceite, garantizamos una vida útil de la unidad compresora prolongada.

### **3.4 Mantenimiento de 4000 horas**

En este mantenimiento se realizan tareas del apartado 3.3.1 al 3.3.12, las diferencias entre este mantenimiento y el anterior se listaran a continuación

### **3.4.1 Lubricación de motor**

El compresor de tornillo es un equipo diseñado para trabajar 24 horas continuas, con únicamente paro para mantenimiento, por ello el motor eléctrico cuenta con unas entradas para lubricación o graseras en los extremos del mismo donde están localizados los rodamientos o cojinetes.

Se recomienda realizarlo en conjunto con una medición de ruido en el área de los rodamientos por medio de tecnología de ultrasonido de contacto, que consiste en colocar la sonda en la entrada de grasa del motor, para medir el ruido inicialmente si lubricar, se comienza a introducir la grasa por medio de una pistola aplicadora, y a vez monitoreando el ruido del motor conforme se va aplicando la grasa, cuando el ruido deje de disminuir con la aplicación de la grasa, se concluirá con el proceso de engrasado.

Si la grasa es aplicada excesivamente se corre el riesgo de dejar pasar grasa al embobinado del motor, dañándolo y aminorando la vida útil del mismo.

### **3.4.2 Cambio de aceite mineral**

Algunos fabricantes distribuyen aceite de 4000 horas de vida útil, regularmente la vida útil de los mismos no se cumple debido a los ambientes de trabajo de compresor, por lo que es recomendable cambiarlo exactamente en el periodo especificado por el fabricante.

Es de suma importancia el no mezclar aceites del mismo tipo, pero con distinta marca, o aceites de distinto tipo ya que las bases de estos no son las mismas y podríamos causar efectos en el compresor como se observa en las figuras 53, 54 y 55

Figura 53. Acople entre motor eléctrico y unidad compresora contaminado por mezcla de aceite

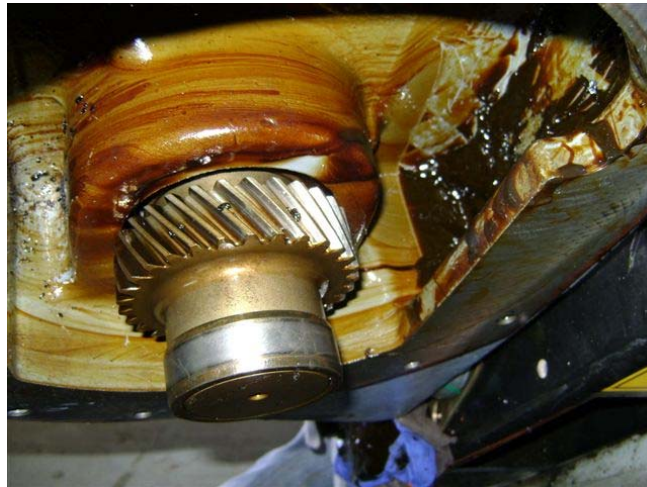


Figura 54. Mezcla gelatinosa de aceites extraída del acople motor-unidad,



Figura 55. Mezcla gelatinosa de aceite extraída del filtro separador de aceite



El aceite en estos casos se ha convertido en una especie de gelatina, la primera imagen muestra la parte de la unidad que se acopla al motor, la segunda es el aceite en forma gelatinosa que se retiró del fondo del depósito de aceite, la tercera muestra lo que se encontró en el fondo del filtro separador de aceite.

#### **3.4.2.1 Drenaje de aceite del depósito**

El procedimiento para realizar el cambio de aceite se realiza primeramente parando el compresor, luego se cierra la válvula de salida de aire y se desconecta el voltaje. Esperar unos minutos y despresurizar aflojando el tapón de ventilación en la parte superior del depósito de aire para permitir que escape cualquier presión del sistema. Esperar hasta que se haya liberado toda la presión del sistema, Vacíe el aceite quitando el tapón de drenaje de la manguera flexible fijada en la parte inferior del depósito de aire. Este procedimiento es únicamente para drenar el aceite del depósito.



Figura 56. Depósito de aceite en compresor



En el compresor hay otros lugares en donde también hay aceite que también deben ser drenados, esto para garantizar que no habrá mezcla de aceite usado con nuevo, que puede causar complicaciones como las mostradas en fotografías anteriormente.

#### **3.4.2.2 Drenaje de enfriadores de aceite**

Para realizar este cambio se sugiere seguir los siguientes pasos:

- Abra el compartimento del refrigerador y desconecte el tubo de entrada del refrigerador
- Desconecte el tubo de salida del refrigerador y saque el refrigerador de aceite quitando las sujeciones del mismo, las cuales puede variar por marca y modelo de compresor

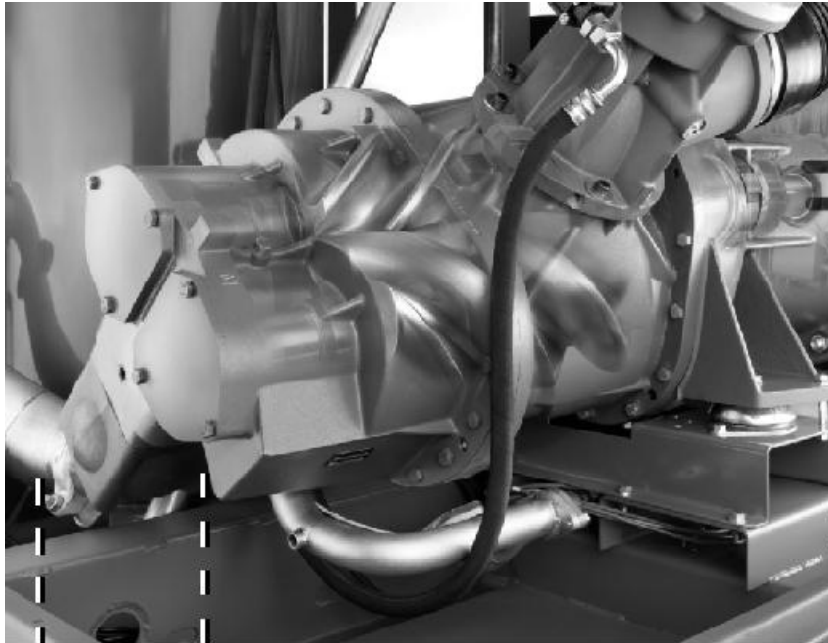
- De manera cuidadosa tratando de no dañar ni golpearlo quitar el tapón de ventilación que se encuentra en uno de los lados del enfriador, algunos equipos traen un tapón de drenaje del mismo, en caso de ser afirmativo quitarlo y realizar el drenaje por el mismo. De lo contrario realizarlo por la entrada de aceite.
- Asegurarse de que todo el aceite salió dejándolo en posición de vaciado por algunos minutos.
- Colocar nuevamente radiador en su lugar
- Colocar las mangueras en las entradas y salidas respectivamente.

#### **3.4.2.3 Drenaje de aceite de unidad compresora**

Para drenar la unidad compresora se recomienda seguir los siguientes pasos.

- Quitar el tapón de drenaje para drenar la válvula de parada de aceite. Encargada de regular el flujo de aceite los radiadores
- Quitar el tapón de drenaje de la manguera flexible para drenar el aceite de la caja de engranajes.
- Volver a instalar los tapones después del drenaje.
- Desconecte la manguera flexible de la válvula de derivación para drenar el aceite de la carcasa del filtro.
- Volver a instalar las mangueras flexibles a la válvula de derivación después del drenaje.

Figura 57. Las líneas muestran la ubicación de los tapones de drenaje de la unidad



Fuente: Manual de instrucciones de compresor Atlas Copco, modelo GA90+

#### **3.4.2.4 Llenado del depósito de aceite**

Luego de haber drenado todos los depósitos se vuelve a llenar nuevamente el mismo, siguiendo el procedimiento sugerido.

- Asegurarse de cerrar la válvula de drenaje del depósito
- Abrir el tapón de llenado de aceite, con una llave de de cola, teniendo el cuidado de no dañar el hexagonal
- Colocar un embudo en la boquilla y empezar a llenar aceite hasta que este llegue al nivel de la rosca del mismo (figura 58)

- Algunos compresores poseen un indicador de nivel de aceite, en donde se puede ver el nivel de aceite colocado en el compresor, observar que este nivel se encuentre aceptable (figura 59).
- Roscar nuevamente el tapón tratando de no apretarlo demasiado.

Figura 58. Vista de tapón de depósito de aceite



Fuente: Creación propia del autor

Figura 59. Indicador de nivel de aceite en compresor



### **3.5 Mantenimiento de 6000 horas**

En este mantenimiento preventivo se realizan todas las actividades que se hicieron en mantenimiento de 2000 horas, adicionalmente se evalúa el desgaste de las siguientes partes:

- Válvula de admisión
- Válvula(s) Solenoide(s)
- Válvula de presión mínima
- Válvula termostática
- Válvula de cierre de aceite
- Trampa de agua

Este es el juego de repuestos que comúnmente se llama kit de 8000 horas o kit de servicio mayor, el desgaste de estas partes está estrictamente sujeto al adecuado dimensionamiento y posteriormente funcionamiento de un compresor. Entre más cicle el compresor, más será el desgaste de estas partes.

### **3.6 Mantenimiento de 8000 horas**

Es conocido como servicio mayor, en el cual se realizan todos los procedimientos o tareas explicados en los mantenimientos de 2000, 4000 y 6000 horas. Adicionalmente si aplica lleva los cambios y tareas listadas a continuación.

#### **3.6.1 Drenaje y cambio de aceite sintético o mineral**

En caso de que el aceite sea de un tipo mineral (vida aprox. 4000 horas), también lleva el cambio del aceite sintético (vida aprox. De 8000 horas), para cambiarlo, se aplica el mismo procedimiento explicado en los pasos 3.4.2.1 al 3.4.2.4, algunas ocasiones en este servicio, el cliente quiere cambiar de un aceite mineral a un sintético o viceversa, por cuestiones de costos, (8000 horas

más caro que el de 4000). Caso en el cual se debe hacer un flushing o lavado interno de las unidades que están en contacto con el lubricante, si no se hace de manera, que se asegure de estar completamente limpio las partes que están en contacto con el lubricante anterior, se puede tener consecuencias como las vistas en el apartado 3.4.2 con consecuencias fatales para el equipo. Por tal motivo se recomienda no mezclar aceites de distintas bases ni de distintas marcas que sus compuestos, ni su formula química son iguales, pudiendo causar daños irreparables en el equipo.

### **3.6.2 Cambio del elemento separador**

El filtro separador como fue explicado en el capítulo 1, es el encargo de retirar gran cantidad del aceite que viene de la etapa de compresión de aire en los tornillos helicoidales.

Tiene una vida útil estimada de 8000 horas, como todo filtro se satura y ya no cumple con su función. Va colocado dentro del depósito de aceite, es metálico y de apariencia robusta. Su saturación impide que siga reteniendo el aceite proveniente de la separación.

El procedimiento sugerido para el cambio empieza por drenar todo el aceite del depósito.

- Retirar la tapadera del depósito del separador con cuidado de no dañar el tubo de barrido
- Retirar el filtro separador antiguo, este contendrá restos de aceite, hay que depositarlos en el recipiente en cual drenamos el aceite.
- Aplicar grasa a los empaques que trae el kit de separador nuevo para colocarlo,
- Colocar el filtro separador nuevo
- Colocar la tapadera del depósito cuidando que el tubo de barrido se encuentre en el lugar adecuado, para que no se doble ni se dañe

Después de todos los procedimientos anteriores, se debe llenar el depósito de aceite nuevamente.

Figura 60: Vista interna de filtro separador de aceite usado

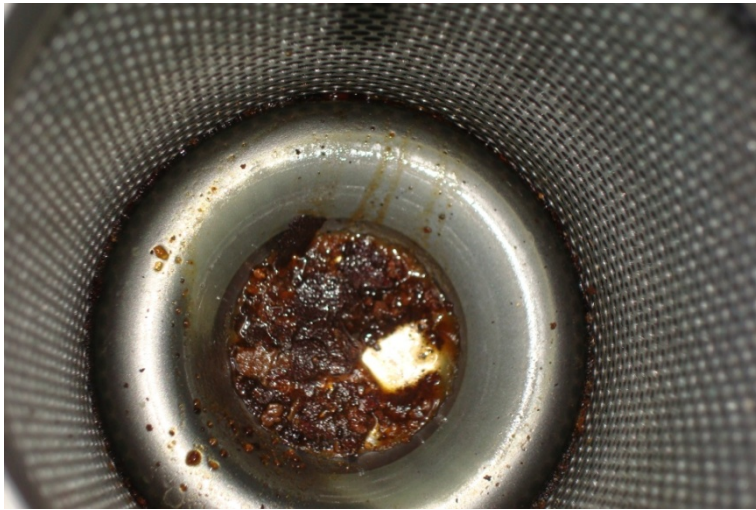


Figura 61: Vista externa de separador de aceite usado



## **Mantenimiento de 40000 horas**

Además del mantenimiento mayor realizado cada 8000 horas, al llegar a las 40000 horas se debe de chequear el estado de los rodamientos, tanto de la unidad compresora como del motor eléctrico. El fabricante estima como vida útil de los rodamientos 5 años. Hay varios métodos para la determinación del estado de los mismos algunos síntomas son:

- Aumento de la temperatura de trabajo
- Ruido fuera de lo normal
- Disparos frecuentes por alta temperatura
- Vibración alta en los tornillos.

Cuando los primeros los síntomas de alta temperatura se presentan, se puede comprobar por medio de medición de ultrasonido de contacto en algunos puntos en especial de la unidad compresora y en el motor eléctrico.

Por patrones ya establecidos en base a experiencia, se puede determinar que tan dañados están los mismos y también cuanto más duraran funcionando si producir una falla grave en el compresor

La detección se hace con un aparato que está diseñado para escuchar frecuencias no audibles por el oído humano. Cuenta con una sonda que sirve para tocar los puntos en donde se encuentran los rodamientos.

Figura 62. Equipo de ultrasonido de contacto



Fuente: [www.us-systems.com](http://www.us-systems.com)



Figura 63. Puntos de medición de ultrasonido en un motor eléctrico de compresor

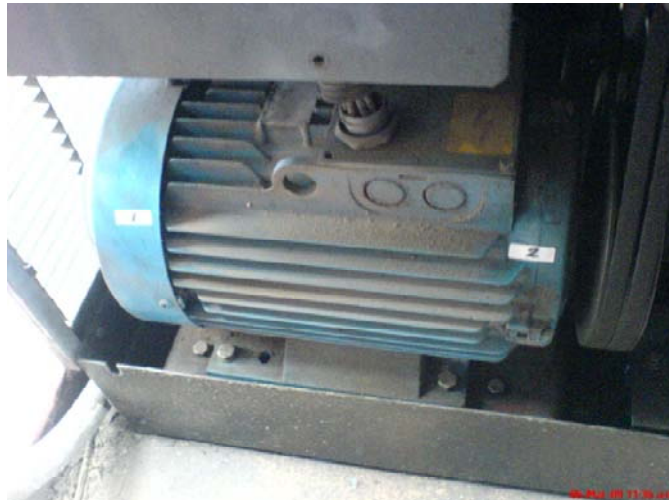
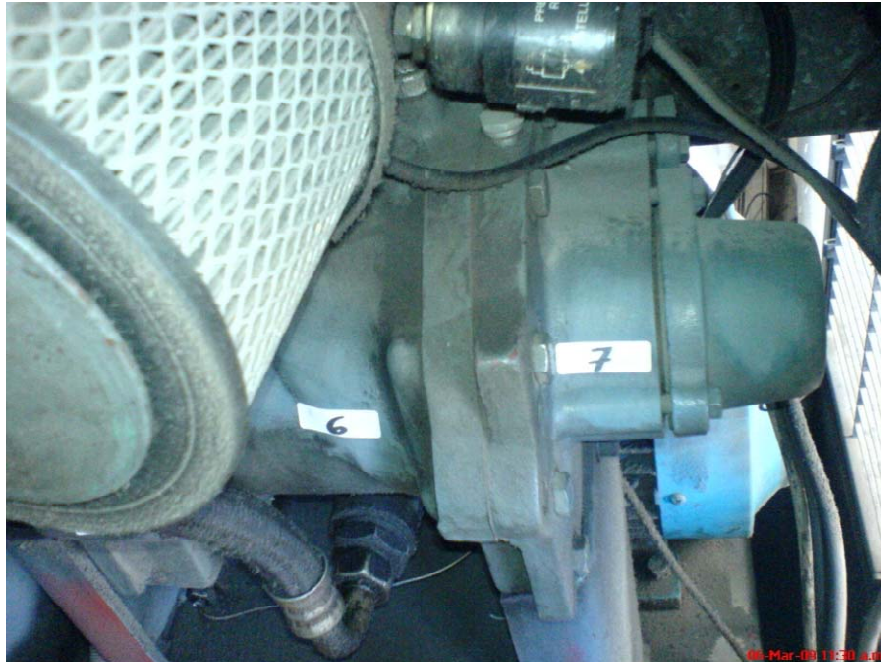


Figura 64. Puntos de medición de ultrasonido de contacto en unidad compresora de tornillo



Figura 65. Puntos de medición en unidad compresora de tornillo



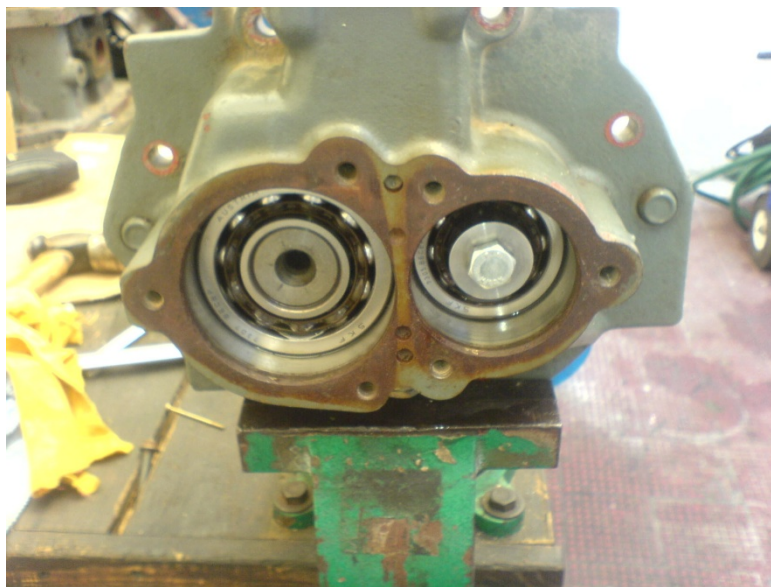
Las figuras 63, 64 y 65 muestran los puntos en donde generalmente se llevan a cabo las mediciones con el aparato de ultrasonido de contacto. Según el nivel de decibeles que arroje la medición se determina se procede a desarmar la unidad compresora, este procedimiento se le llama over haul de unidad que consiste en el cambio de sellos y rodamientos de los tornillos rotativos

Los tornillos compresores no pueden ser reparados o maquinados en torno, ya que la luz que se encuentra entre ellos cuando están entrelazados es de milésimas de pulgada, si este espacio entre tornillos aumenta, el aceite ya no hará correctamente el sello entre tornillos para poder comprimir el aire; por

consiguiente el procedimiento solo incluye una leve pulida con lija a los tornillos para limar asperezas e imperfecciones que tenga el mismo

Cuando se desarma la unidad compresora se puede encontrar en el estado mostrado en la figura 66

Figura 66. Unidad compresora sin tapadera trasera



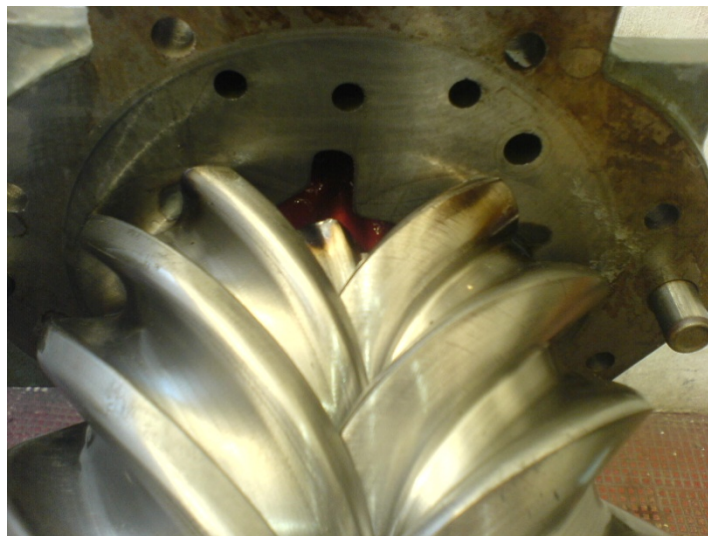
En la figura 66 se observan los rodamientos de la unidad compresora estos cojinetes están colocados en caliente, por lo tanto tienen que ser retirados con prensa hidráulica, ya que no pueden ser retirados a golpes porque se dañan los tornillos y pueden causar que se pegue la unidad cuando funcione nuevamente.

Figura 67. Tornillos helicoidales, vista lateral



Los tornillos tienen una leve capa, dorada esto es por el barniz que se acumulado del aceite por el pasar del tiempo (aproximadamente 5 años de funcionamiento).

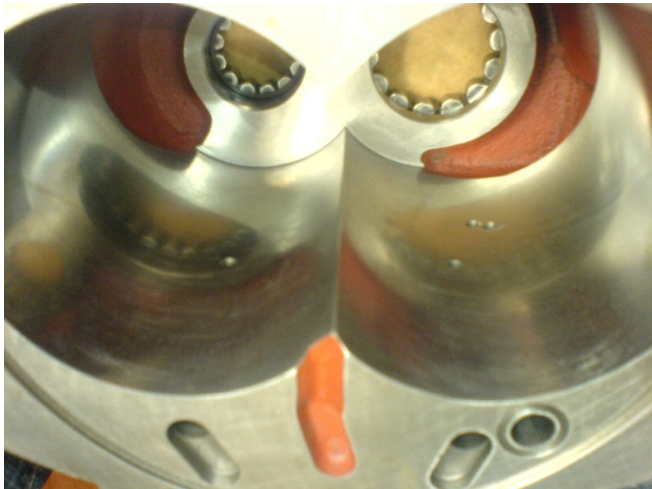
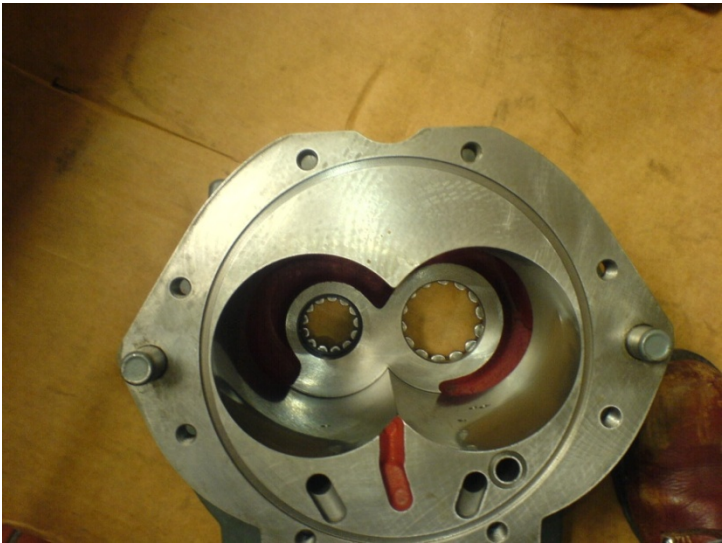
Figura 68. Tornillos helicoidales, vista frontal



La tapadera que sostiene los tornillos también contiene ralladuras e imperfecciones que también tienen que ser retiradas con lija.

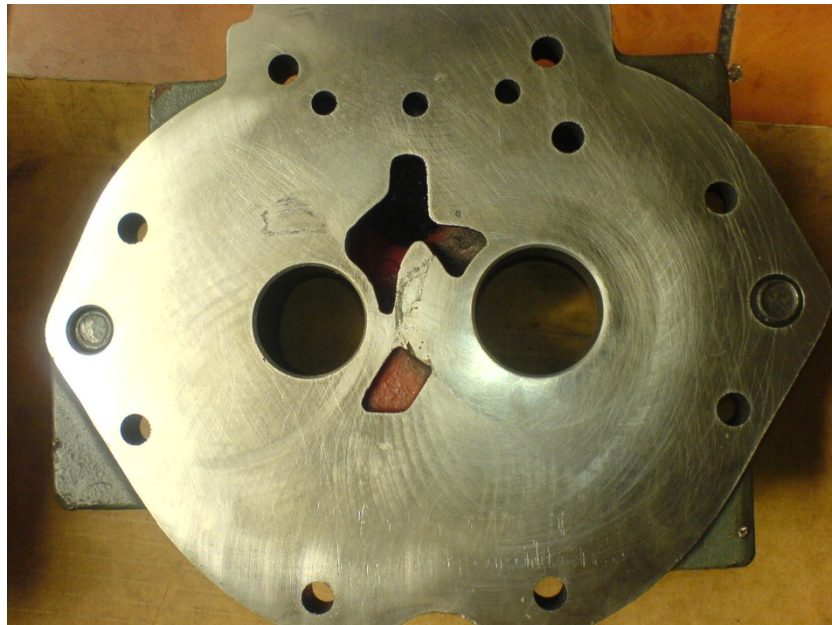
Cuando el trabajo queda terminado las unidades quedan como se ve en las figuras 69 y 70.

Figura 69. Housing de tornillos ya con trabajo de rectificación realizado



Esta es la vista interna de la unidad compresora ya trabajada, se nota el brillo conseguido después del pulido de las imperfecciones, con este trabajo se devuelve en un 98% la eficiencia al compresor.

Figura 70. Vista de tapadera frontal de tornillos ya trabajada



Después de todos estos trabajos se vuelve, a montar toda la unidad y se le hace un servicio mayor compresor, (Servicio 8000 horas); se garantiza la vida útil del compresor otras 40000 horas más.

Esta guía de mantenimiento es una versión rápida de lo que se hace en cada uno de ellos, para obtener más información acerca de los pasos para realizar el desmontaje y montaje de rodamientos, por favor consultar textos especializados en el tema, allí encontrara varios procedimientos para el montaje y desmontaje de los mismos.



## **4. FALLAS MÁS COMUNES Y SUS RESPECTIVAS SOLUCIONES EN LOS COMPRESORES DE AIRE DE TORNILLO POR ALARGAMIENTO DE LOS PERIODOS DE MANTENIMIENTO O FALTA DEL MISMO**

Generalmente, el mayor porcentaje de las fallas en un compresor de tornillos se dan por falta de mantenimiento, en este capítulo se describirán la mayor parte de fallas dadas en un compresor, tomando en cuenta las estipuladas por el fabricante y los problemas resueltos en base a la experiencia.

### **4.1 Fallas por nivel bajo de lubricante**

Las fallas por nivel bajo de un lubricante siempre conllevan a un aumento de la temperatura de trabajo, llevando al compresor a un disparo por protección de temperatura, los rangos de estas alamas cambian según el fabricante, sin embargo un rango común puede ser un aviso de elevación de temperatura a los 110°C y un disparo, paro o protección del compresor a los 120°.

Para los compresores controlados electrónicamente (la mayoría en la actualidad en la industria), el arrancar nuevamente el compresor implica espera que el compresor llegue debajo de la temperatura de aviso (110°C), de lo contrario no podrá rearmarse la alarma y este no arrancará.

La pérdida de lubricante en un compresor puede darse por alguno de los siguientes factores:



- Separador de aceite roto
- Sello de aceite o junta entre el motor y la unidad dañado
- Rotura de fajas
- Fluctuaciones de corriente eléctrica
- Rotura o daño en mangueras
- Enfriador de aceite roto

En cuanto a las soluciones del mismo se puede presentar el siguiente cuadro de soluciones.

Tabla VII. Fallas causadas por nivel bajo de lubricante y sus respectivas soluciones

ESTADO	POSIBLE CAUSA	SOLUCIÓN
Nivel bajo de lubricante	Separador de aceite roto	Apagar el compresor, despresurizarlo y destapar el depósito de aceite donde se encuentra el separador de aceite, si se encuentra roto o dañado sustituirlo por uno nuevo
	Sello de aceite o junta entre el motor y la unidad dañado	Apagar el compresor, desmontar la unidad compresora y el motor, sustituir el sello dañado por uno nuevo
	Rotura de fajas	*
	Fluctuaciones de corriente eléctrica	*
	Rotura o daño en mangueras	*
	Enfriador de aceite roto	*

Las causas que se señalan en este apartado tienen otras consecuencias aparte del provocar nivel bajo de lubricante, las cuales serán descritas en los siguientes apartados.

## **4.2 Fallas provocadas por filtros sucios u obstruidos**

Los filtros para aire, para aceite y un tercer filtro que es el filtro separador, se obstruyen por las siguientes causas

- Ambiente de trabajo demasiado pesados o sucios
- Alargamiento de los periodos de mantenimiento
- Mala calidad del lubricante

Teniendo en cuenta los anteriores factores, pueden causarse fallas en el compresor que se solucionan únicamente con el cambio de estos filtros, la tabla VII muestra las fallas provocadas por el descuido en el mantenimiento de los elementos descritos,

## **4.3 Fallas Eléctricas**

Las fallas eléctricas, ocupan el segundo lugar después de las fallas por temperatura en un compresor de tornillo, la parte eléctrica se divide en dos ramas como fue explicado capítulos atrás se divide en la parte de potencia y la parte de control, la parte de control es comúnmente, corriente trifásica 230 ó 460 volts, corriente alterna, los componentes eléctricos de los que consta esta parte son los siguientes

- Motor Eléctrico
- Contactores de arranque
- Contactos auxiliares
- Medidores de fase
- Protección térmica o guarda motor principal

Tabla VIII. Fallas provocadas por filtros sucios y sus respectivas soluciones

<b>ESTADO</b>	<b>POSIBLE CAUSA</b>	<b>SOLUCIÓN</b>
Baja presión en salida de compresor	Filtro de aire obstruido por suciedad del ambiente	Revisar el estado del filtro de aire, sopetearlo de adentro hacia afuera con una presión moderada para no romperlo, si el estado del filtro es muy malo, reemplazarlo
Alto consumo de energía	Operación de compresor a máxima presión de trabajo, por consecuencia de obstrucción de filtro de aire	
Ruido excesivo o fuera de lo normal en el momento de carga del compresor	Ingreso de partículas extrañas al compresor por consecuencia de filtro para aire roto	Reemplazar filtro para aire
Degradación de aceite antes del cumplido el periodo de vida útil establecido por el fabricante	Filtro de aire roto, permitiendo en ingreso de sólidos en suspensión hacia el lubricante, provocando la pronta saturación del filtro de aceite, este a su vez deja de filtrar el aceite, provocando la disminución de su viscosidad	Realizar mantenimiento, reemplazando ambos filtros
Perdida precipitada de lubricante	Filtro de aceite, con fuga o roto	Cambiar filtro para aceite
Baja presión de aceite en el circuito de lubricación del compresor	El sistema de lubricación en un compresor funciona por diferencia de presión, si el filtro de de aceite se encuentra obstruido, habrá un diferencial alto,	
Indicador de presión diferencia de filtro de aire en rojo	filtro completamente saturado	Reemplazar filtro para aire
Presión diferencial en depósito de separado alta	Filtro separador completamente saturado	reemplazar filtro separador

- Protección térmica o Guarda motor de ventilador
- Fusibles
- Dispositivos para unión de cables o empalmes

La parte de control, funciona con 110 VAC, consta de los siguientes elementos:

- Controlador Electrónico
- Sensores de presión
- Sensores de temperatura de aceite
- Sensor diferencia de presión de separador de aceite
- Sensor de temperatura de aceite
- Sensor de medición de temperatura de punto de rocío de secador (si aplica)

En la parte eléctrica de alimentación o potencia del compresor pueden presentarse las fallas mostradas en la Tabla IX y X:

#### **4.4 Fallas causadas por válvulas desgastadas o sucias**

El referirse a válvulas de un compresor, se refiere a todas las válvulas de control que tiene un compresor, las mismas son listadas a continuación.

- Válvula de presión mínima
- Válvula de admisión
- Válvula(s) solenoide
- Válvula check o antirretorno
- Válvula termostática
- Válvula de cierre de aceite

Tabla IX. Fallas eléctricas y sus respectivas soluciones

ESTADO	POSIBLE CAUSA	SOLUCIÓN
Compresor no arranca	Compresor no energizado	Revisar acometida eléctrica, protecciones y cable que estén en buen estado
	Protección de motor principal disparada	Verificar el estado del motor, restablecer protección y poner en marcha nuevamente el compresor
	Protección de motor de ventilador disparada	
	Protección general de compresor disparada	Revisar el cableado y los motivos por los cuales la protección se podría disparar después de probar esto, intentar poner en marcha el compresor nuevamente
	Fusibles quemados	Revisar las partes directamente relacionadas con estos fusibles, reemplazarlos e intentar nuevamente
	Unidad compresora pegada	Cambio o reparación mayor
	Medidor de fase quemado	Reemplazar medidor de fase
	Motor quemado	Reemplazar motor
	Contactores Sucios	Desarmar contactores, limpiar con lija fina hasta quitar todo lo carbonizado armar e intentar de nuevo
Compresor arranca, después de unos segundos se apaga	No hay cambio de estrella -delta en el arranque	Revisar contactores cambiarlos si es necesario

Tabla X. Fallas eléctricas en la parte de control y sus respectivas soluciones.

ESTADO	POSIBLE CAUSA	SOLUCIÓN
No lectura o lectura errónea en de temperatura de aceite	Cable de sensor roto	Verificar el cableado y reemplazarlo en donde sea necesario
	Sensor dañado	Reemplazar <u>sensor</u>
Compresor no arranca	sensor de temperatura o de presión dañado	
	Controlador electrónico dañado	Reparar o reemplazar controlador
No lectura o lectura errónea en de temperatura de salida de aire	Cable de sensor roto	Verificar el cableado y reemplazarlo en donde sea necesario
	Sensor dañado	

Como ya se vio en capítulos anteriores, los repuestos para estas válvulas son provistas por los fabricantes por medio de kits o conjunto de repuestos, los cuales contienen partes como; empaques, resortes, anillos, etc. Del no cambio de estas partes en los períodos recomendados por los fabricantes se pueden dar las fallas mostradas en la tabla XI

#### 4.5 Fallas causadas por ambientes sucios de trabajo

Regularmente los ambientes sucios de trabajo provocan elevadas temperaturas de trabajo por arriba de los 95°C, por tal motivo es indispensable la elección del lugar adecuado para la instalación del compresor desde el principio, ya que de no cambiar el ambiente que rodea al compresor, se tendrá la falla permanentemente y durante toda la vida útil del compresor

Tabla XI. Fallas causadas por válvulas desgastadas o sucias

ESTADO	POSIBLE CAUSA	SOLUCIÓN	
Temperatura alta y presión baja de aceite	Válvula de presión mínima atascada, obstruida o dañada	Desmontar, revisar, limpiar y reemplazar las partes que sean necesarias	
Retroceso de aire en la red			
Compresor no entra en carga			
Compresor no entra en descarga	Válvula de Admisión dañada		
Compresor no entra en descarga			
Compresor no alcanza su presión máxima de trabajo			
Aceite excesivo en la línea de aire comprimido	Válvula termostática dañada		
Alta temperatura en el aceite			
Obstrucción en el flujo de aceite			
Disparos por Alta Temperatura			
Degradación temprana del aceite			
Temperatura alta de trabajo permanente			
Retroceso de mezcla aire-aceite hacia los tornillos	Válvula anti retorno dañada		
Alta temperatura en el elemento de compresor	Válvula de cierre de aceite dañada		Desmontar unidad y verificar daño, hacer las reparaciones correspondientes o reemplazar completamente la unidad
No llega aceite a la unidad compresora			
Unidad compresora Pegada o averiada			
Exceso de agua en aire	Separador de humedad o Trampa de condensados sucia o dañada		
Arrastre de agua en el aceite, dentro del compresor			
Compresor no entra en carga y/o descarga	Válvula(s) Solenoide dañada	Desmontar, revisar, limpiar y reemplazar las partes que sean necesarias	

El ambiente lleno de polvo, por ejemplo un camino de terracería, área de construcción o cualquier otro ambiente en donde existan partículas en suspensión, provocara la saturación del filtro de aire y del enfriador aire-aceite, en el caso del filtro de aire en los apartados anteriores fueron hechas las recomendaciones pertinentes para su debida conservación.

Queda únicamente pendiente mencionar el enfriador aire-aceite, que físicamente es igual a cualquier radiador para cualquier aplicación, se debe conservar siempre limpio y libre de cualquier impureza ambiental, de la adecuada extracción del calor del mismo dependen dos factores vitales en el funcionamiento del compresor.

- La temperatura de trabajo del compresor
- La calidad y vida útil estimada por el fabricante del aceite del compresor

Si el mismo se encuentra saturado y hay una alta temperatura de trabajo, la solución a la falla es la limpieza del mismo con presión de aire comprimido en el sentido contrario al flujo de aire del ventilador.

Esta operación deberá ser realizada semanalmente dependiendo el ambiente o dependiendo el ambiente en que se encuentre el compresor, como recomendación se debe realizar cada vez que la temperatura de trabajo del compresor suba arriba de los 90°C.

#### **4.6 Síntomas globales causados por la falta de mantenimiento**

En general, existen diversos factores a observar en un equipo en el que no se han cumplido a cabalidad los periodos de mantenimiento, entre ellos tenemos



- Consumo alto de energía
- Temperatura alta
- Ruido excesivo o fuera de lo normal
- Paros frecuentes no programados
- Relleno constante de aceite faltante
- Baja presión de trabajo
- Expulsión de aceite por la válvula de admisión
- Arrastre de aceite a la línea fuera de lo normal
- Condesado en las líneas de distribución
- Sobrecargas de motor y motor de ventilador

Estos y otros sistemas dan indicios claros de la falta de mantenimiento que existe en un compresor de tornillo, en gran parte de industrias existen varios compresores que por cuestiones de costos, disponibilidad y otros, adquieren compresores de segunda mano para su planta sin tomar en cuenta el estado en que estos se encuentran, esto se ve reflejado en el pronto colapso del compresor, algunos consejos útiles al adquirir estas maquinas son

- Solicitar un historial del mantenimiento de la maquina a la persona o empresa que vendió, esto servirá para darse una idea clara del estado en que se encuentra la misma.
- Si no se tiene dicho historial solicitar una revisión por un técnico especializado en compresores, este determinara el mantenimiento que aplica al estado de la misma, considerando el cambio de repuestos importantes para el funcionamiento.

- Comenzar por un servicio mayor que o de 8000 horas que incluya el cambio de los repuestos listados en capítulos anteriores para dejar la maquina en perfectas condiciones.
- Si en compresor ya cuenta con un horometro mayor a 40000 horas, evaluar la parte de rodamientos de motor y de unidad compresora por uno de los distintos métodos existentes para el mismo, para determinas si es necesario la realización de un over haul completo al compresor.
- Mantener siempre en bodega repuestos vitales para el funcionamiento del compresor tales como kit de válvulas, filtros y lubricante para evitar la pérdida de tiempo en paros emergentes del compresor causados por estas partes, para que puedan ser reparados a la brevedad posible

La única forma de obtener cero fallas en un compresor, es seguir a cabalidad los periodos de mantenimiento sin falta, esto garantiza que no se tendrá ningún paro innecesario y costoso para el proceso de producción.

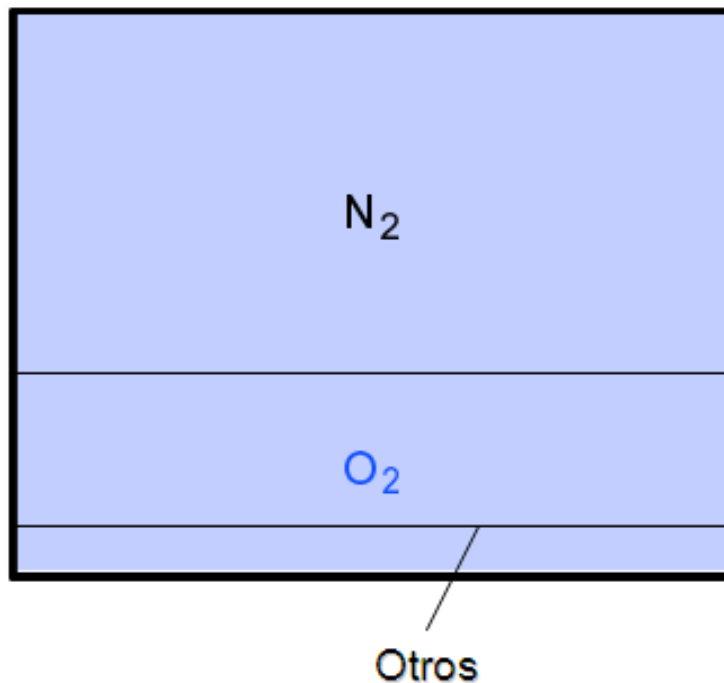


## 5. PROPUESTAS PARA UN EFICIENTE Y ADECUADO FUNCIONAMIENTO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO, EN RELACIÓN DIRECTA CON LA APLICACIÓN

### 5.1 Tratamiento de aire comprimido

El aire es un gas que esta compuesto en proporciones similares a como lo muestra la figura 72

Figura 72. Composición del aire ambiente



La parte que contiene otros hay varios tipos de gases, entre ellos vapor de agua, primera substancia indeseada en el aire comprimido, en la parte del proceso, el agua es el causante de la mayor parte de fallas en maquinarias, manejadas por medio de aire comprimido en la industria, el mismo es el causante de daños como lo son:

- Corrosión en tuberías
- Atasco de válvulas
- Rotura de empaques en cilindros

Y el acortamiento de la vida útil de toda máquina, mecanismo o componente que se encuentre directamente en contacto con el aire comprimido.

Figura 72. Humedad en el aire ambiente



### **5.1.1 Humedad**

Cuando se refiere a la humedad, se habla de la humedad ambiente, esto se refiere a la cantidad de vapor de agua presente el aire, en lo que al tema se refiere existen varios conceptos o distintos tipos de humedad, que no son más que el mismo parámetro medido de distintas formas y expresado en unidades diferentes

#### **5.1.1.1 Humedad relativa**

Es la humedad que contiene una determinada cantidad de masa de aire, está en relación directa con la máxima humedad absoluta que podrá admitir sin producirse la condensación.

#### **5.1.1.2 Humedad específica**

Expresa la cantidad de vapor de agua contenido en el aire medido en gramos de vapor por kilogramo de aire húmedo.

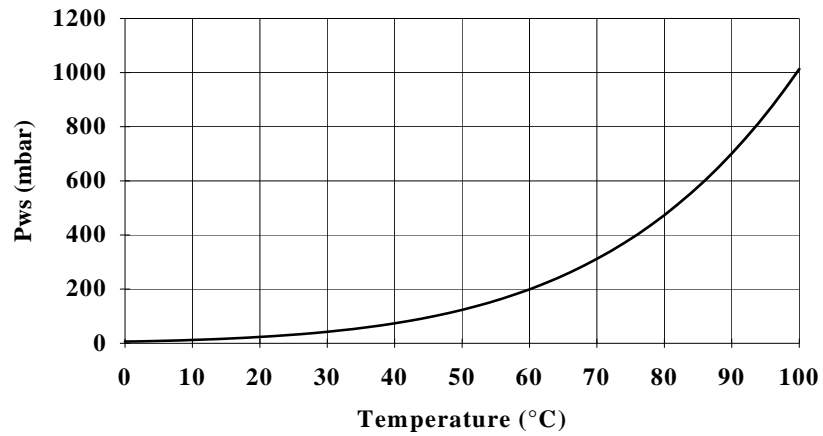
#### **5.1.1.3 Humedad absoluta**

Expresa la cantidad de vapor presente emeñaore.se expresa en gramos de agua por unidad de volumen, a mayor temperatura, mayor cantidad de vapor de agua que permite acumular el aire.

La figura 73 muestra como conforme aumenta la temperatura del aire, la cantidad de vapor presente en la misma aumenta, de tal manera que el aire a cierta temperatura se encuentra totalmente saturado.

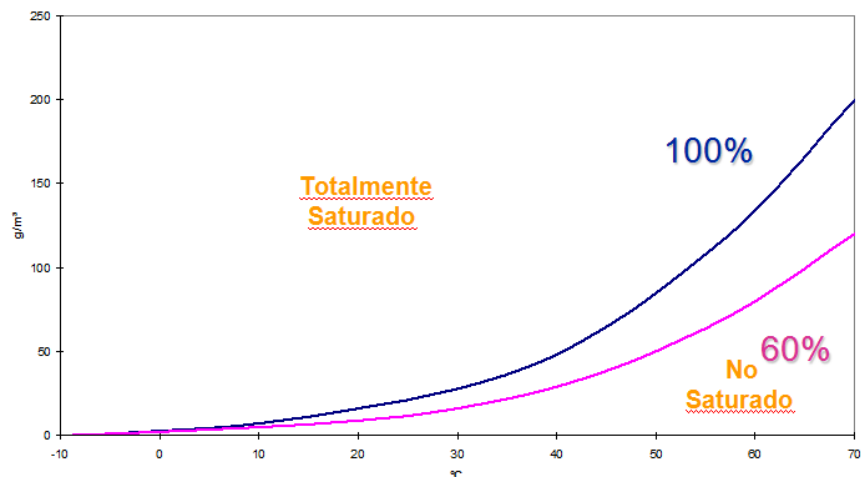
La saturación se da cuando el aire a cualquier temperatura contiene la máxima cantidad de agua permisible esa temperatura

Figura 73. Gráfica presión contra temperatura



Fuente: Curso básico de secadores, Atlas Copco

Figura 74. Contenido de agua en el aire saturado



Fuente: Curso básico de secadores, Atlas Copco

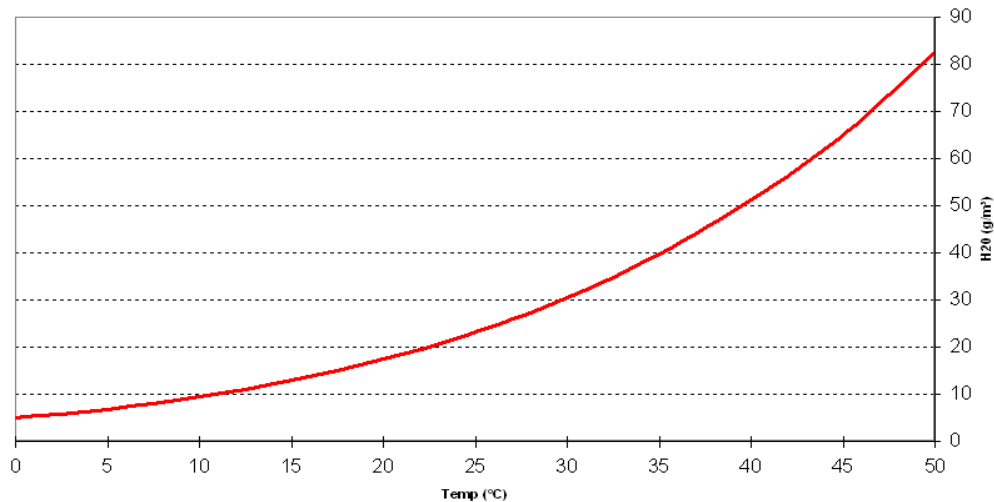
Tabla XII. Relación entre la temperatura, presión y temperatura del aire ambiente

<b>Temp. (degr.C)</b>	<b>gw (g/m3)</b>	<b>Ps (mbar)</b>
-70	0.0028	0.002615
-65	0.0056	0.005406
-60	0.0110	0.010800
-55	0.0208	0.020920
-50	0.0382	0.039350
-45	0.0684	0.071980
-40	0.1192	0.128300
-35	0.2032	0.223300
-30	0.3385	0.379800
-25	0.5521	0.632300
-20	0.8835	1.032000
-15	1.3870	1.652000
-10	2.1390	2.597000
-5	3.2460	4.015000
0	4.8470	6.108000
5	6.7970	8.719000
10	9.3990	12.270000
15	12.8300	17.040000
20	17.3000	23.370000
25	23.0500	31.670000
30	30.3800	42.430000
35	39.6300	56.240000
40	51.1900	73.780000
45	65.5000	95.860000
50	83.0600	123.400000

Fuente: Curso básico de secadores Atlas Copco



Figura 75. Gráfica temperatura contra contenido de agua en el aire ambiente



Fuente: Curso básico de secadores, Atlas Copco

La información de la tabla XII y la figura 75, muestran contenido de vapor de agua según la presión y la temperatura. Nótese como va aumentando la cantidad de la misma según la temperatura.

### 5.1.2 Condensación

La condensación, aplicado a la teoría de la generación, tratamiento y distribución del aire comprimido, es un proceso físico por el cual el vapor del agua se convierte en agua, por medio de una variación de temperatura o presión, el proceso más común en el aire comprimido es la variación de la temperatura ya que cuando el aire se comprime este se calienta, después este es pasado por un post enfriado que baja la temperatura del mismo consiguiendo que el vapor de agua contenido en el aire ya comprimido. La condensación se logra enfriando el aire por debajo de su punto de rocío

### **5.1.3 Punto de rocío**

El punto de rocío es una temperatura a cierta presión, a la cual es el enfriado el aire comprimido y por debajo de la cual se garantiza que este no tendrá agua, por ejemplo, si el punto de rocío del cierto proceso es de 5°C quiere decir que el aire por arriba esa temperatura, estará completamente seco. Si por cualquier motivo este es enfriado por debajo de esta temperatura, nuevamente sufrirá una condensación y por consiguiente se tendrá nuevamente agua en el proceso

Teniendo claro los conceptos descritos anteriormente, es momento de entrar en materia, todo lo anteriormente descrito va directamente involucrado en el siguiente tema: Secadores

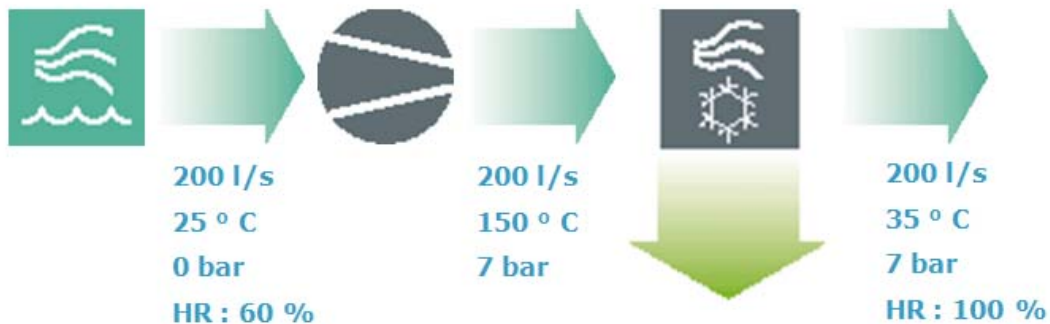
### **5.2 Tipos de secadores**

El secador es un equipo encargado de retirar el agua del aire comprimido, a cierto punto de rocío, determinado directamente por el tipo de secador, antes de pasar a ver los tipos de secador es importante conocer ¿Por qué son necesarios los secadores?

Este equipo es indispensable en cualquier red de aire comprimido, sin él se tendrán serios problemas en los equipos, como lo son atasco de válvulas, daño de componentes neumáticos, corrosión en las tuberías, cuando el aire entra en contacto directo con el producto, implicaría mala calidad final, contaminación del mismo.

La figura 76 muestra la gravedad del problema del agua en el aire comprimido, obsérvese la siguiente figura, si se tiene un flujo de 200l/s a las condiciones vistas

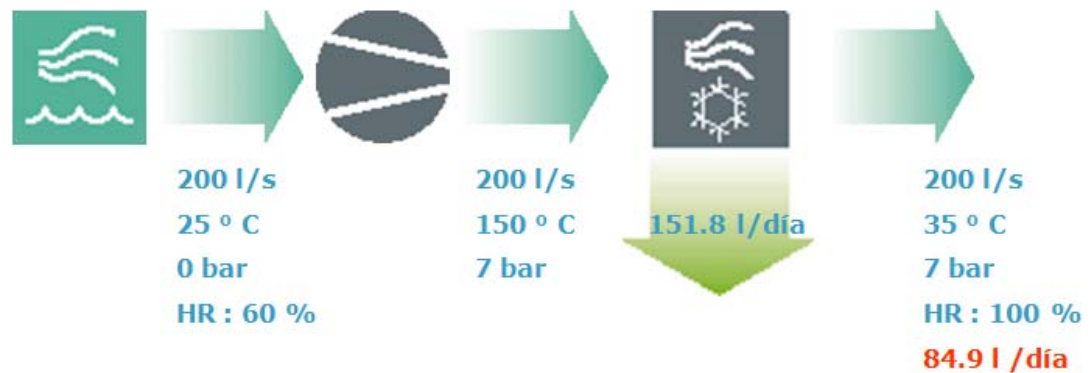
Figura 76. Ejemplificación de contenido de agua en el aire comprimido



Fuente: Curso básico de secadores Atlas Copco

- A una temperatura de 25°C el aire puede retener 22.83 g/m<sup>3</sup> de vapor.
- A una humedad relativa igual a 60 % la cantidad de vapor en el aire sería de 13.7 g/m<sup>3</sup>.
- Las condiciones iniciales están dadas a 0 bares de presión manométrica el aire comprimido después de salir del compresor sale entre 7 y 9 bares manométricos, al suceder esto el contenido de agua se multiplica por las veces que aumenta la presión el total de vapor de agua en el aire sería entonces de 109.6 g/m<sup>3</sup>
- A la temperatura de 35°C el aire puede retener 39.3 g/m<sup>3</sup> el condensado contenido en el final sería de la siguiente diferencia condensado:  $109.6 - 39.3 = 70.3$  g/m<sup>3</sup>

Figura 77: Ejemplificación de contenido de agua en el aire comprimido segunda parte



Fuente: Curso básico de secadores, Atlas Copco

- Un flujo de 200 l/s equivale a 720 m<sup>3</sup>/h. Teniendo a condiciones de flujo actual se tienen 90 m<sup>3</sup>/h, la cantidad de condensado era de 70.3 g/m<sup>3</sup>, en las 24 horas del día tendría 151.8 l / día separados en el postenfriador, dejando libres hacia la línea 84.9 l / día

Toda esta cantidad de agua irá directamente hacia los equipos de aire teniendo daños en todos los componentes ya mencionados anteriormente, generando gastos y paros para sustituir los mismos, generando problemas como los son:

- Diseño especial de la red de aire de los compresores para drenar el agua
- Partículas de moho
- Lodo
- Fugas de aire

- Congelamiento
- Mal acabado del proceso
- Orificios bloqueados de válvulas y demás
- Vida más corta de las herramientas y componentes
- Influencias sobre la calidad del producto final

Con esta explicación queda completamente justificada la colocación de un secador en la instalación de aire comprimido.

### **5.2.1 Principios del secado de aire**

Básicamente de los principios para el secado de aire, nacen los tipos de secadores, los principios de secado de aire son:

- Enfriamiento
- Absorción
- Adsorción
- Combinaciones
- Osmosis

#### **5.2.1.1 Principio de enfriamiento**

En el principio de enfriamiento es el más utilizado y económico en la industria, es el más común, tiene dos equipos que lo pueden realizar uno a mayor escala que el otro, los equipos son:

- Post enfriador
- Secador refrigerativo

#### **5.2.1.1.1 Post-enfriador**

El post enfriador es un radiador, ya visto en los anteriores capítulos de este texto, que tiene la finalidad de bajar la temperatura del aire antes de ser entregado hacia la línea de distribución, en los compresores de tornillo va colocado internamente.

Este tiene un punto de rocío limitado, va directamente relacionado con la capacidad de enfriamiento o medio enfriante que tenga el mismo. Los medios para enfriar pueden ser el agua, o un ventilador para que este sea enfriado por aire, el aire que sale del post enfriador siempre esta 100% saturado, debido a que no es capaz de bajar la temperatura del aire más allá del la temperatura ambiente.

#### **5.2.1.1.2 Secador refrigerativo**

El secador refrigerativo es un equipo que tiene el principio de enfriamiento de un refrigerador, consta de dos circuitos, uno de aire y otro de refrigerante, en la actualidad los secadores modernos utilizan los refrigerantes R134a, R404, que son refrigerantes que no dañan la capa de ozono

El circuito de refrigerante consta de las siguientes partes:

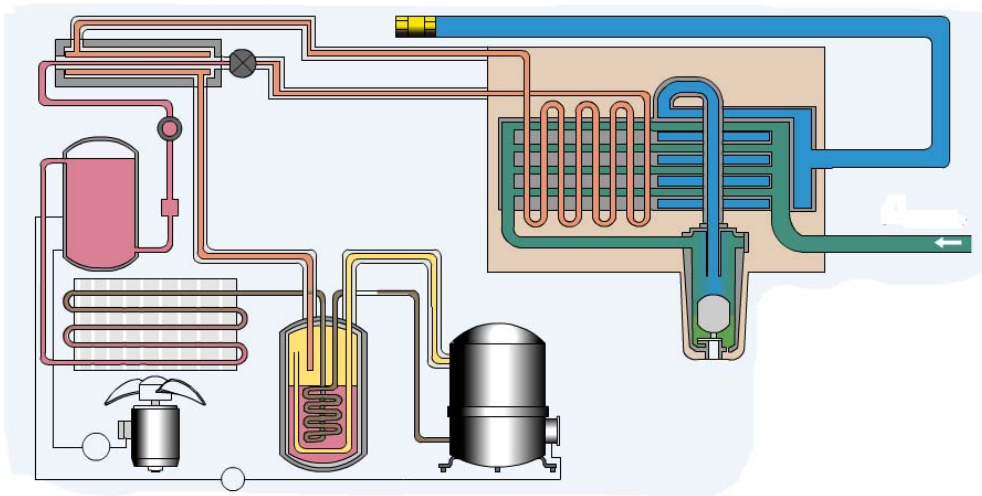
1. Intercambiador de calor aire-aire
2. Intercambiador de calor aire-refrigerante
3. Separador de agua

El circuito de refrigerante consta de las siguientes partes:

1. Compresor de refrigerante
2. Filtro separador de líquidos

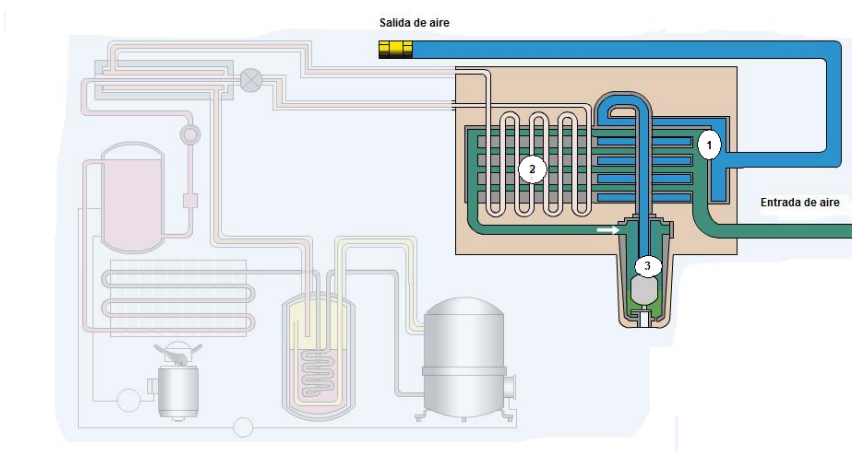
3. Condensador
4. Válvula de expansión

Figura 78. Esquema de un secador refrigerativo de aire comprimido



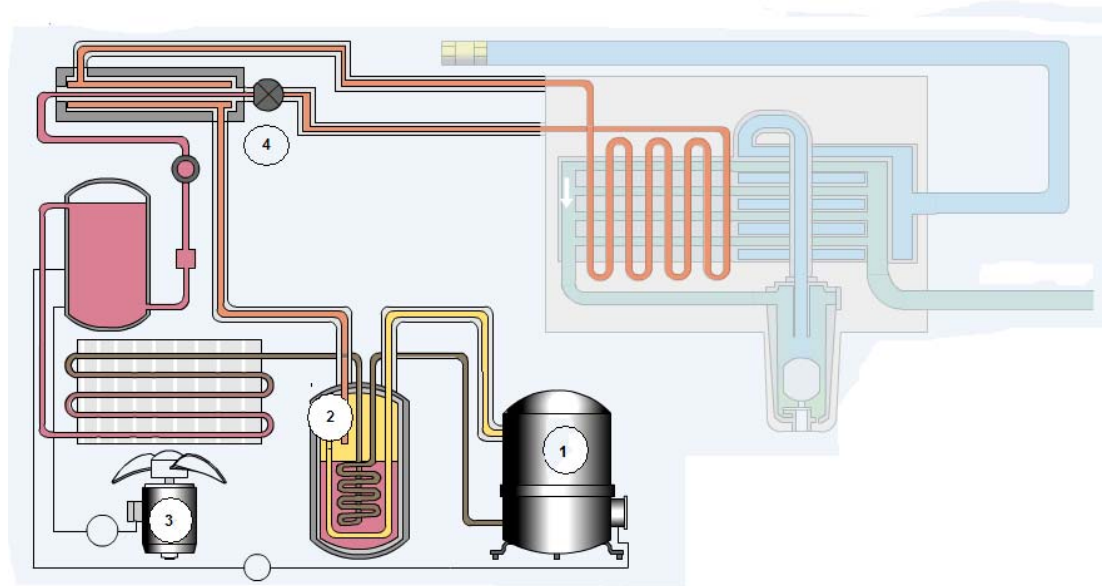
Fuente: Compressed Air Manual, Atlas Copco

Figura 79. Esquema del circuito de aire del secador refrigerativo



Fuente: Compressed Air Manual, Atlas Copco

Figura 80. Esquema del circuito de refrigerante del secador refrigerativo



Fuente: Compressed Air Manual, Atlas Copco

El circuito de refrigerante tiene un funcionamiento distinto en cuanto a presiones de trabajo se trata según sea el tipo de refrigerante, el funcionamiento básico del mismo es el siguiente; Comienza en el área del compresor, el refrigerante comprimido abandona a el compresor a alta temperatura, en el separador de líquidos hay una primer intercambio de calor con los residuos de liquido que trae el refrigerante después de enfriar al aire, estos son vaporizados al entrar en contacto con el que viene a alta temperatura, esto antes de que ingrese nuevamente al compresor, entonces el gas entra en el condensador esta es la etapa principal para el enfriamiento del gas, el mismo cuando esta frío va siguiendo su temperatura de saturación y obtiene completamente su estado líquido.



Seguidamente el líquido refrigerante fluye hacia el expansor o recibidor de líquidos el cual funciona como una reserva, el líquido refrigerante ingresa al intercambiador refrigerante-refrigerante, en esta etapa es enfriado por el refrigerante que viene saliendo del compresor; el líquido frío es expandido por la válvula de expansión donde la presión es más baja, a continuación entra en el evaporador, donde empieza a evaporarse y al mismo tiempo a absorber calor del aire comprimido que viene ingresando, obteniendo el resultado de enfriar el aire comprimido para que ocurra la condensación y se desprenda el vapor de agua en forma de líquido.

Seguidamente el refrigerante ahora intercambia calor con el flujo entrante, luego va al separador de líquidos y reingresa al compresor para ser comprimido y así iniciar nuevamente el ciclo.

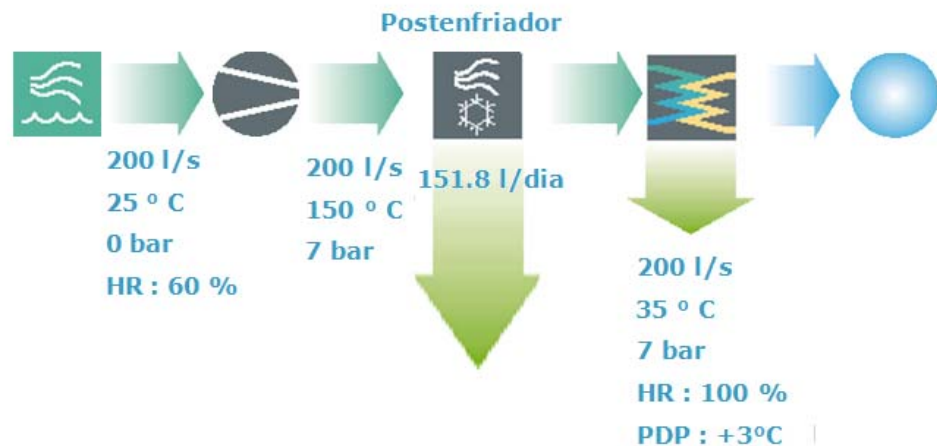
Algunas características y limitantes de este secador son:

- Únicamente puede alcanzarse un punto de rocío mínimo de 3°C, ya que si esta temperatura es más baja, por ejemplo llegara a 0°C como se trata de un secador con principio de refrigeración, el agua comenzaría a congelarse y provocaría congelamiento del condensado, teniendo como consecuencia el taponamiento de los conductos del secador o la tubería de aire
- El secador refrigerativo es muy lento para responder a los cambios drásticos de flujo y temperatura, por ejemplo si en un momento están pasando 100 l/s a cierta temperatura y en un momento se duplica el mismo, el secador se adaptara lentamente a este cambio de flujo, teniendo como consecuencia el paso de agua hacia la red de aire comprimido.

- No puede ser utilizado en un compresor que no tenga post-enfriador, ya que la temperatura de entrada del aire sería demasiado alta y el refrigerante no sería capaz de retirar toda esa cantidad de calor.
- Las fugas de refrigerante, la suciedad en los intercambiadores, falla de ventiladores, pueden ocasionar que el punto de rocío aumente de los 3°C el cual sería el ideal, llegando a superar en algunas ocasiones los 15°C
- Todos los secadores tienen un indicador de punto de rocío, ya sea digital o por medio de un termómetro, se debe observar siempre que este indicador este trabajando en el rango apropiado.

Después de analizar todos los conceptos anteriores, obsérvese como cambian las cosas al poner un secador en una red de aire comprimido

Figura 81: Ejemplificación de la cantidad de aire comprimido en la línea de aire comprimido con secador refrigerativo instalado.



Fuente: Curso básico de secadores

Haciendo todos los cálculos ya hechos anteriormente

- $200 \text{ l/s} = 720 \text{ m}^3/\text{h} \Rightarrow \text{flujo de aire actual} = 720/8 = 90 \text{ m}^3/\text{h}$
- Secador a punto de rocío  $3 \text{ }^\circ\text{C}$  seca  $5.9 \text{ g/m}^3$
- $90 \text{ m}^3/\text{h} * 5.9 \text{ g/m}^3 = 0.53 \text{ l/h} = 12.7 \text{ l / día}$
- El secador separa :  $84.9 - 12.7 = \mathbf{72.2 \text{ l /día}}$

Esto quiere decir que con un secador enviamos al red de aire comprimido únicamente 12.7 litros de agua al día y sin un secador enviamos 84.9 litros de agua por día.

En resumen el secador refrigerativo tiene una eficiencia marcada directamente por la temperatura y la presión del aire de entrada del aire comprimido.

#### **5.2.1.2 Principio de absorción**

El secado por absorción del aire comprimido, es un proceso completamente químico, no tiene que ver absolutamente nada con enfriamiento, el aire comprimido pasa a través de una parte de un recinto lleno de secantes, el agua o vapor de agua entra en contacto con dicha sustancia, estas tienen una reacción química y se desprenden como una mezcla agua-secante, el resultado de esta mezcla es casi siempre corrosiva, así que no puede ser liberada hacia al ambiente, como agua de desagüe normal.

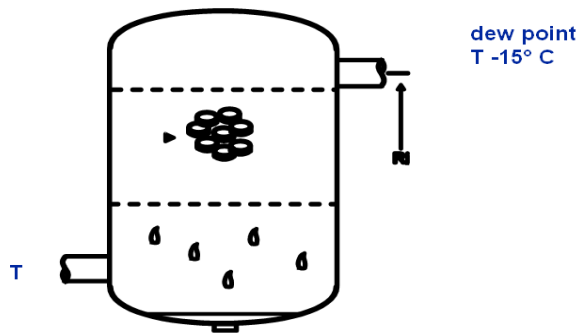
La sustancia secante se consume con el paso del tiempo y debe ser reemplazada en intervalos recomendados por el fabricante. Este secador está diseñado para secar únicamente agua, si se mezcla con partículas de aceite puede afectar el funcionamiento del secador, degradando la sustancia secante prematuramente.

Las características y desventajas de este tipo de secador.

- El absorbente no puede ser regenerado esto significa para el usuario altos costos de operación
- Máxima reducción del punto de rocío  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$
- El agua separada es corrosiva

Ejemplos de sustancias obtenidas en la separación NaCl, LiCl,

Figura 82: Funcionamiento de secador de absorción



Fuente: [www.google.com](http://www.google.com)

### 5.2.1.3 Principio adsorción

Es un proceso físico hecho por fuerzas de adhesión molecular, El principio de los secadores de adsorción, se basa en la propiedad física del desecante en adsorber y des adsorber el vapor de agua. El material desecante utilizado en estas secadores es el silica gel o alúmina, dependiendo el punto de rocío que se quiera alcanzar.

El secador cuenta con dos torres de secado, una de las cuales está secando mientras que la otra está en tratamiento de regeneración, este tipo de secador se llama regenerativo, las opciones de regeneración son por calor y por

aire, la segunda funciona aprovechando un pequeño porcentaje de aire seco extraído de la corriente de salida que se deriva a la torre de regeneración, y arrastra al exterior la humedad retenida en los micro poros del adsorbente, dejándolo finalmente regenerado. La segunda calienta aire ambiente por medio de una turbina y lo mete hacia la torre que se está regenerando

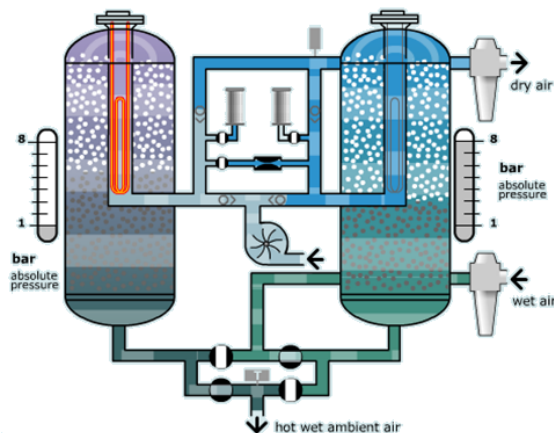
.Un sistema de válvulas desvía automáticamente el aire cuando las dos torres deben invertir su función en el proceso de secado de manera continua.

Las presiones de trabajo varían de 4 a 16 bares, siendo la normal de 7 bares, en una temperatura ambiente y de aire no superior a los 50° C.

El punto de rocío logrado con estos secadores es de -20, hasta -70°C el cual garantiza un aire completamente seco, a casi cualquier temperatura.

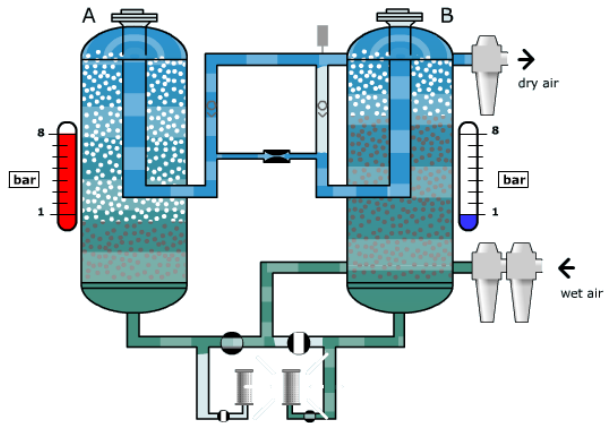
En resumen existen varios sistemas de secadores de adsorción, llamados también secadores regenerativos entre ellos están:

Figura 83. Secador de adsorción regenerado por calor



Fuente: [www.atlascopco.com](http://www.atlascopco.com)

Figura 84: Secador de adsorción regenerado por aire



Fuente: [www.atlascopco.com](http://www.atlascopco.com)

### 5.3 Filtros

Ya se tocó el tema de la humedad o agua en el aire comprimido, el cual causa muchas complicaciones en la industria, debido a lo dañino que resulta para los equipos neumáticos.

Es el turno de hablar de las impurezas, que el aire contiene desde que es aspirado desde el ambiente, el aire contiene partículas, como lo son:

- Polvo
- Dióxido de Carbono
- Metano
- Óxido de Azufre
- CFC
- Metano
- Óxido de azufre

Entre otros estos contaminantes los trae el aire desde que es aspirado del ambiente. En cuestiones de aire comprimido la calidad del mismo está determinada por:

- Cantidad de polvo y partículas
- Cantidad de aceite

Esta puede ser manejada por el usuario final, instalando el sistema de aire apropiado para cada aplicación, se entrara a detalle en los mismos en los apartados siguientes.

Los métodos de filtraje pueden ser de tres formas:

- Intercepción
- Coalescencia
- Adsorción

El método de Intercepción, donde una partícula en el flujo de aire es bloqueada cuando encuentra un agujero más pequeño que el que tiene la partícula, la eficiencia para atrapar partículas, aumenta con el tamaño de la partícula relativo al del agujero.

Los filtros que tienen más material dentro de la empaquetadura interceptarán partículas más pequeñas, pero con las desventaja que también presentarán restricción al flujo de aire, con esto se va incrementando el problema del aumento de la caída de presión, por tal razón se debe de obtener un balance entre el área de filtrado y las limitaciones físicas en tamaño.

El método de coalescencia, se basa en el aprovechar la turbulencia que existe en flujo, como consecuencia de esta, las partículas de diferentes tamaños actúan de manera diferente en el flujo de aire. Las partículas suficientemente grandes caen por su propio peso, mientras que las más pequeñas, las partículas de agua, de aceite, los aerosoles permanecen suspendidos en la corriente de aire.

Los materiales filtrantes coalescentes consisten en un arreglo de obstáculos diseñados para capturar estas partículas y aerosoles. El impacto inercial se da, cuando las partículas de más de 0.5 micrones son lo suficientemente grandes para no poder seguir el flujo de aire cuando este cambia su dirección bruscamente, con lo cual **chocan** con un obstáculo que esté directamente en su camino

El proceso de adsorción cuando se da la adhesión de las moléculas de contaminante a la superficie de un adsorbente sólido. Un material adsorbente poroso con una alta relación superficie – volumen, opera efectivamente en esta clase de filtrado. En la medida que las moléculas de contaminante se alojan en los pequeños poros, grietas y fisuras del adsorbente, no ocurre taponamiento, por lo que con el tiempo no produce caída de presión.

El carbón activado se usa debido a su preferencia selectiva por el vapor de aceite sobre el vapor de agua. Adicionalmente, este material posee una enorme área porosa interna, que facilita la adhesión del contaminante al material.



La contaminación por la falta de filtros de partículas abrasivas, polvo corrosión es inminente, muchos fabricantes ofrecen variedad de filtros para aplicaciones distintas o combinaciones, en general hay tres tipos de filtros para aire comprimido, los cuales son:

- Filtro de partículas o pre-filtro
- Filtro coalescente
- Filtro de carbón activado

El filtro de partículas, es el filtro más común y corriente, para uso general. Se utiliza como separador de líquido o de polvo para aire comprimido hasta alrededor de 0.1 mg/m<sup>3</sup> (0.1 ppm) y elimina partículas con tamaño de hasta alrededor de un micrón. Entre fabricantes, la constitución y utilización de los materiales es distinta las características generales este filtro son:

- Filtro coalescente de propósitos generales.
- Elimina partículas mayores a 1 micra.
- Elimina agua y el contenido residual máximo de aceite en forma de aerosol es...0.1 mg/m<sup>3</sup> (0.1 ppm) a 21°C (70°F).
- No elimina vapores de aceite

El filtro coalescente puede tener las siguientes características

- Filtro coalescente de alta eficiencia.
- Elimina partículas mayores a 0.01 micras y el contenido residual máximo de aceite en aerosol es de 0.01 mg/m<sup>3</sup> (aprox. 0.01 ppm) a 21°C (70°F).
- No elimina vapores de aceite

### 5.3.1 Eficiencia y vida útil de los filtros

La eficiencia de cualquier filtro está determinada por los siguientes factores:

- Saturación del elemento filtrante
- Temperatura del aire ambiente

El primer ítem es controlable y es responsabilidad directa del usuario final verificar el indicador de saturación del mismo, los filtros cuentan con un indicador de presión diferencial que indica el grado de saturación del mismo.

Figura 85. Distintas presentaciones de filtros para tratamiento de aire comprimido

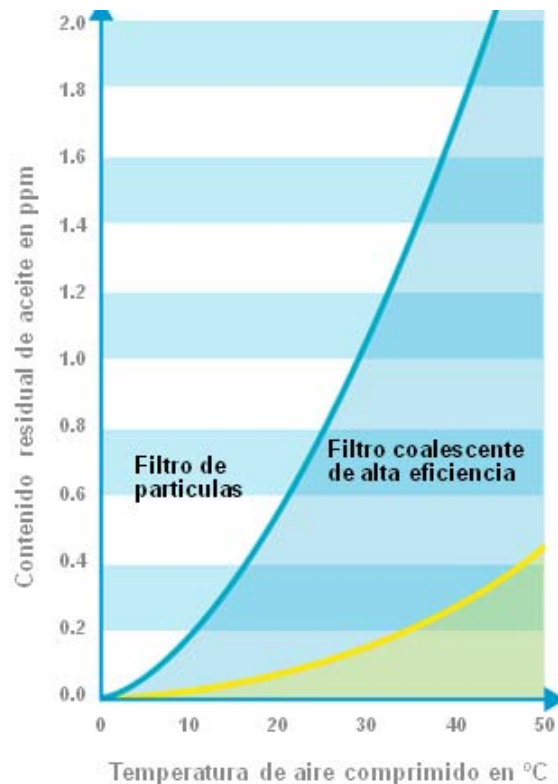


Fuente: [www.google.com](http://www.google.com)

Cuando el indicador de la señal de saturación debe cambiarse el elemento filtrante, cada fabricante tiene distinto tipo de indicador, puede ir desde un manómetro de presión diferencial, hasta un indicador presión electrónico.

La eficiencia de los filtros se ve drásticamente afectada por las condiciones ambientales que prevalezcan en lugar donde fueron instalados, la figura 88 muestra la gráfica de como varia esta eficiencia en función de la temperatura

Figura 86. Gráfica de comportamiento temperatura contra contenido de aceite.



Fuente: Curso básico de secadores, Atlas Copco

La variación de la temperatura afecta directamente la eficiencia del filtro, esto quiere decir que ningún filtro es tan eficiente como el fabricante lo ofrece, ya que nunca se tendrá el aire comprimido a la temperatura a la cual es completamente eficiente el filtro

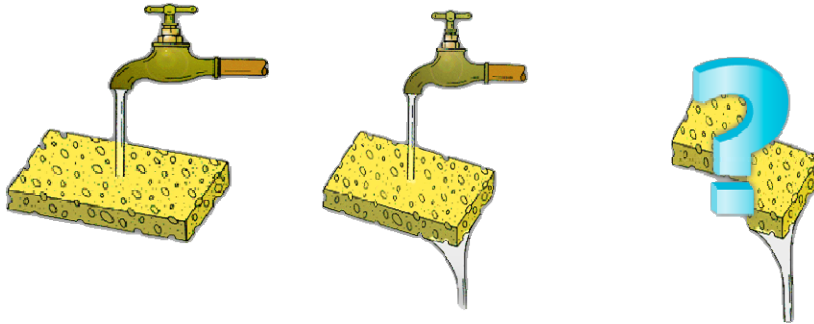
Por ejemplo, los fabricantes ofrecen filtros con eficiencias ya anteriormente mencionadas, normalmente las condiciones de referencia son:

Presión efectiva de trabajo a la entrada	7	Bar
Temperatura ambiente	20	°C
Temperatura del aire de entrada	20	°C
Concentración de aceite	3	mg/m <sup>3</sup>

La temperatura de salida de un compresor es aproximadamente a 40-50°C, y esto hace que las condiciones de referencias no sean cumplidas, desde aquí el filtro ya no es eficiente al grado que lo ofrece el fabricante.

Los filtros de carbón activado son distintos a los demás, cuando el aire llega a ellos debe de ir completamente libre de humedad, estos no cuentan con un drenaje para poder extraer agua, porque su función no es la de un filtro de partículas o un coalescente de alta eficiencia, su función es retirar únicamente el aceite que queda en el aire. Funciona como una esponja que absorbe aceite hasta que se satura, cuando esto sucede ya no absorbe más y lo deja pasar.

Figura 87. Analogía del comportamiento de los filtros de carbón activado



Fuente: Curso básico de secadores Atlas Copco

El filtro de carbón activado se satura con facilidad, dejando pasar aceite y partículas cuando se satura, no sabiendo cuanto aceite dejara pasar después de saturado

#### 5.4 Tipos de aire según normas ISO

La norma ISO 8573-1, es la regla que rige las distintas clases de aire comprimido en la industria para distintos usos, esta clasifica el aire según su contenido de:

- Partículas de suciedad
- Partículas de agua
- Partículas de aceite

Según este contenido se nombra a la calidad del aire en clases, enumeradas originalmente del uno al cinco, como lo muestra la Tabla XIII

Tabla XIII. Clasificación de calidades de aire, según norma ISO 8573-1 1991

CLASE	SUCIEDAD		AGUA	ACEITE
	Tamaño de partícula en $\mu\text{m}$	Max. Concentración $\text{mg}/\text{m}^3$	Max. Punto de rocío	Max. Concentración $\text{mg}/\text{m}^3$
1	0.1	0.1	-70	0.01
2	1	1	-40	0.1
3	5	5	-20	1
4	15	8	3	5
5	40	10	7	25
6	-	-	10	-

Fuente: [www.classzero.com](http://www.classzero.com)

Esta norma fue establecida en 1991, con el propósito de establecer estándares para la calidad de aire, y que según el contenido de contaminantes fuera escogida la calidad de aire requerida en determinado proceso en la industria

La calidad es un factor que siempre se encuentra en mejora continua en la industria, no conformes con la clase 1 de aire, los fabricantes de compresores comenzaron a idear como reducir esta cantidad de contaminantes, como resultado de esta investigación e innovación tecnológica, en el año 2001 la norma ISO 8573-1, sufre una modificación y así nace la CLASE 0, quedando la tabla de la siguiente manera:

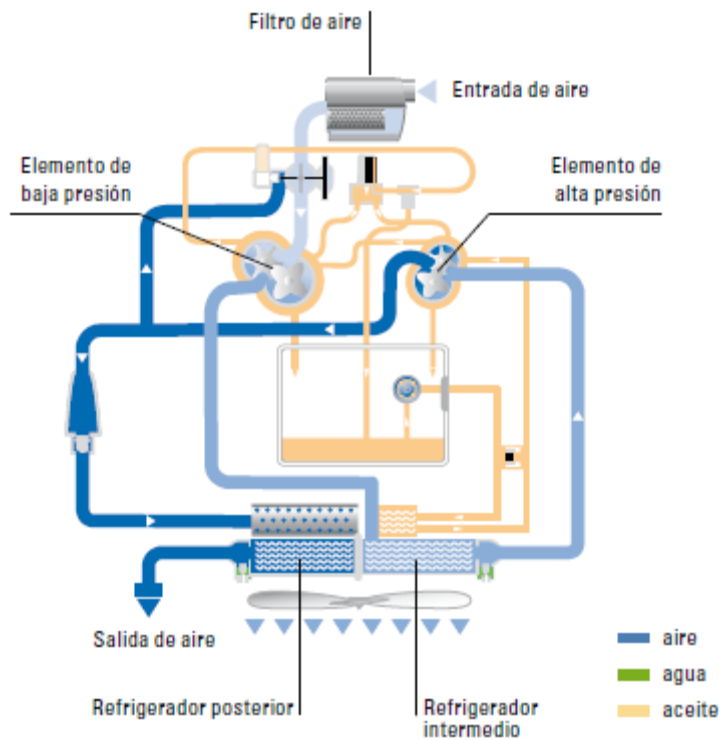
Tabla XIV. Clasificación de calidades de aire, según norma ISO 8573-1  
2001

CLASE	SUCIEDAD		AGUA	ACEITE
	Tamaño de partícula en $\mu\text{m}$	Max. Concentración $\text{mg}/\text{m}^3$	Max. Punto de rocío	Max. Concentración $\text{mg}/\text{m}^3$
<b>0</b>	Según req. de usuario o fabricante y más riguroso que la clase 1			
<b>1</b>	0.1	0.1	-70	0.01
<b>2</b>	1	1	-40	0.1
<b>3</b>	5	5	-20	1
<b>4</b>	15	8	3	5
<b>5</b>	40	10	7	25
<b>6</b>	-	-	10	-

Fuente: [www.classzero.com](http://www.classzero.com)

Esto establece el termino de “aire libre de aceite” o “oil-free” esto significa que el compresor es completamente distinto en su construcción y funcionamiento ya que para lograr la clase 0 se necesita que el aire este completamente libre de aceite desde el momento de la compresión,

Figura 88. Esquema de compresor clase 0 exento de aceite



Fuente: [www.atlascopco.com](http://www.atlascopco.com)

Se observa que a diferencia de un compresor lubricado este no tiene contacto en ningún punto con el aceite, por tal motivo se necesitan dos etapas de compresión para lograr la presión de trabajo, en la que en un tornillo se logra únicamente con una sola etapa, el circuito de aceite, sirve únicamente para lubricar los rodamientos y partes móviles del compresor.

En cuestión de períodos de mantenimiento lleva los mismos que un lubricado a diferencia que el lubricante tiene una vida útil de dos años, lubricante de origen sintético, este no se degrada tan rápido como en el



lubricado, ya que no entra en contacto con el aire ambiente que viene contaminado de origen.

Es recomendable utilizar secadores regenerativos de adsorción, con estos compresores, con esto se garantiza la clase 0 con un punto de rocío mas bajo posible.

### **5.5 Aire de producción**

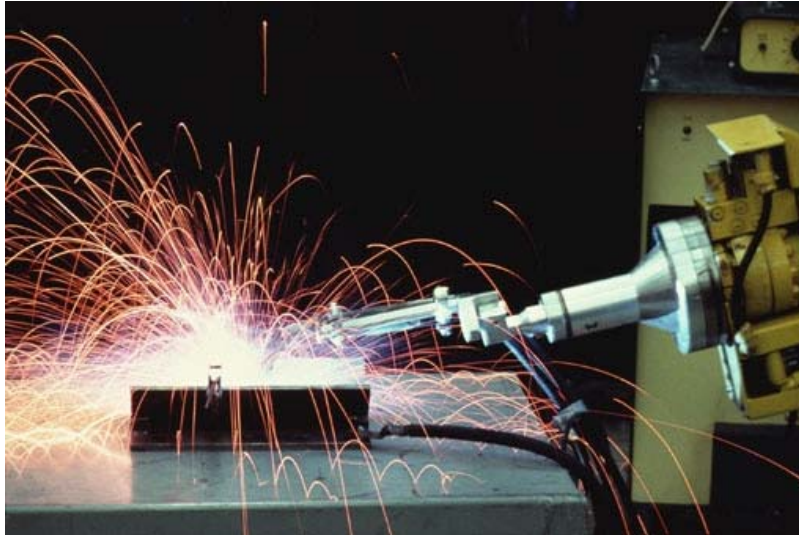
El aire de producción es el que es utilizado como una forma de energía, en lugar de electricidad, este aire es clase 1 hacia arriba según el requerimiento y lo delicado de los equipos instalados

Algunos ejemplos de industrias en donde se utiliza el aire de producción son:

- Ensambladoras
- Industria metalmecánica
- Inyección de plásticos
- Textiles
- Instrumentacion
- Industria de calzado

La calidad de este aire se limita a la instalación de un secador refrigerativo con un pre filtro de partículas antes del secador y un filtro coalescente de alta eficiencia a la salida hacia la tubería

Figura 89: Ejemplo de aplicación de aire de producción



Fuente: Curso lo mejor del aire, Atlas Copco

## 5.6 Aire de proceso

El aire de proceso es parte integral del mismo, esto quiere decir que existen aplicaciones en que es necesario que el aire comprimido entre en contacto directo con el producto final, este es un problema únicamente se habla de:

- Industria farmacéutica
- Industria alimenticia
- Industria de fabricación de componentes electrónicos (no existe en Guatemala)
- Industria de bebidas carbonatadas y cerveza

En estos procesos se utiliza el aire comprimido para empujar, limpiar, abrir contenedores, limpiar instrumentación etc. De manera directa o indirecta el aire

entra en contacto con el producto, provocando contaminación en el producto final, y consecuencias en la salud de quienes lo consumen.

En Guatemala es aun una tecnología que no está presente en muchas empresas, lo utilizan únicamente las empresas multinacionales que están regidas por normas europeas o estadounidenses, en las cuales los estándares le exigen que los compresores sean exentos de aceite y que estén certificados clase 0.

Un factor que influye a que no sea muy utilizada en Guatemala es el alto costo que este tiene ya que el equipo para obtener clase cero es hasta 1 vez y media más caro que un equipo normal para entregar clase 1.

Figura 90. Ejemplos de industrias donde es utilizado el aire de proceso



Fuente: Curso lo mejor del aire Atlas Copco

## **5.7 Instalaciones típicas para las distintas clases de aire**

Esta sección está enfocada directamente a establecer que calidad de aire se necesita para obtener aire de distintos tipos para distintas aplicaciones en la industria.<sup>1</sup>

### **5.7.1 Compresor lubricado + tanque + filtro de partículas + secador frigorífico + filtro coalescente**

Instalación típica encontrada en la mayoría de industrias guatemaltecas, esta combinación entrega un aire con la nomenclatura 1.4.1 que significa:

- Clase 1, en cantidad de suciedad contiene partículas menores o iguales a 0.1  $\mu\text{m}$
- Clase 4, en contenido de agua, ya que contiene un punto de rocío de 3°C
- Clase 1, en contenido de aceite, conteniendo 0.01 miligramos por cada metro cúbico de aire.

Comúnmente utilizado para todas aplicaciones que no requieren aire en contacto directo con el producto final, activación de herramientas neumáticas, bombas neumáticas, activación de válvulas y cilindros, actuadores neumáticos, industria textil, producción de partes metalmecánicas, etc.

Es un balance entre calidad de aire y consumo energético debido a que entre menos filtros se coloquen se podrá obtener menores caídas de presión en la tubería, haciendo que el compresor se esfuerce menor para alcanzar la presión de trabajo, esta configuración es mostrada en la figura 93

### 5.7.2 Compresor lubricado + tanque + filtro de partículas + secador frigorífico + filtro coalescente + filtro de carbón activado

Instalación utilizada en aplicaciones en donde se quiere eliminar la mayor parte de aceite que viene en el aire comprimido que proviene del compresor lubricado, con esta instalación se obtiene aire 1.4.1, a diferencia que en esta combinación se puede eliminar cualquier olor que pueda traer el aire comprimido, haciéndolo más puro.

Figura 91. Instalación compresor lubricado + tanque + filtro de partículas + secador frigorífico + filtro Coalescente encontrada en la mayoría de industrias



En Guatemala es utilizado (aunque no es lo recomendado) en algunas industrias farmacéuticas y de alimentos en crecimiento, donde el costo de instalar un equipo para tener aire de calidad superior es alto, por lo cual se decide instalar un filtro adicional únicamente (figura 94).

Figura 92. Instalación compresor lubricado + tanque + filtro de partículas + secador frigorífico + filtro coalescente + filtro de carbón activado



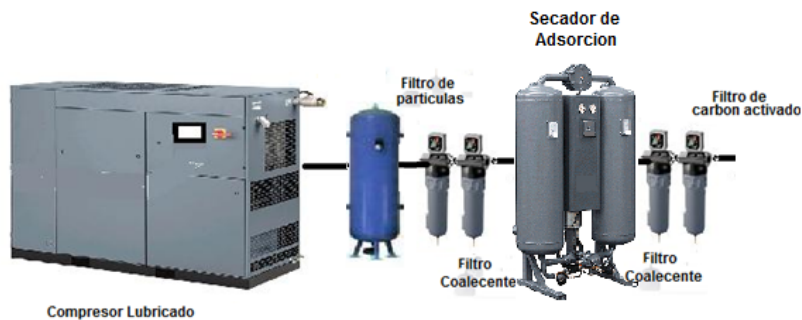
### **5.7.3 Compresor lubricado + tanque + filtro de partículas + filtro coalescente + secador de adsorción + filtro coalescente + filtro de carbón activado**

Instalación utilizada para obtener aire clase 1.1.1., 1.2.1, 1.3.1, se obtiene aire seco y libre de olores, utilizado para aplicaciones críticas en donde el aire debe de ir principalmente libre de humedad, los puntos de rocío oscilan entre -70 a -20 °C dependiendo del tipo de material decante que contienen las torres del secador

En cuestión de filtraje se utiliza doblemente el filtro coalescente de alta eficiencia, antes y después de secador, el primero hace la función de filtrar agua, aceite y partículas, que vienen del compresor y del tanque, el que está instalado afuera después filtra algunas partículas de desecante que vienen con el aire después de pasar por el secador de adsorción,

El filtro de carbón activado garantiza la remoción de olores en el aire para ser entregado, limpio, puro y seco, directamente a la aplicación.

Figura 93: Instalación compresor lubricado + tanque + filtro de partículas + filtro coalescente + secador de adsorción + filtro coalescente + filtro de carbón activado.



#### 5.7.4 Compresor lubricado + tanque + filtro de partículas + filtro coalescente + secador de adsorción + filtro coalescente

Se obtiene aire únicamente limpio y seco, clase 2.1.2, 2.2.2, 2.3.2, este todavía contiene olores resultantes del proceso de compresión, de la corrosión causada en la tubería por la humedad que contiene antes de entrar a los secadores, etc.

Figura 94: Instalación compresor lubricado + tanque + filtro de partículas + filtro coalescente + secador de adsorción + filtro coalescente



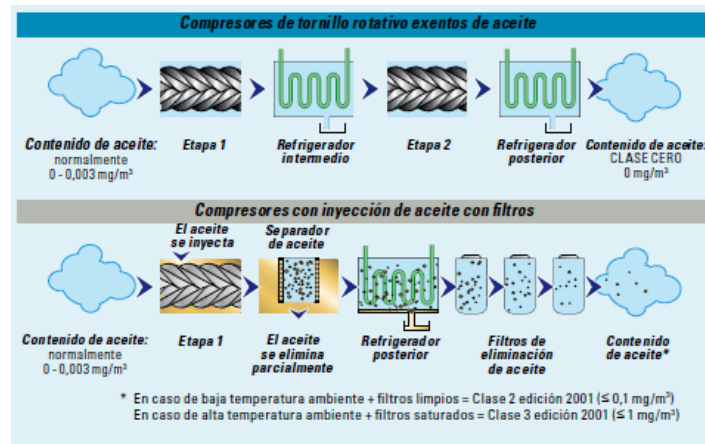
### 5.7.5 Compresor exento de aceite + tanque + secador de adsorción + filtro coalescente

Esta instalación entrega la denominada CLASE 0, con la cual se garantiza un aire totalmente libre de:

- Vapores de aceite
- Olores de aceite
- Agua ya que el punto de rocío puede ser hasta de  $-70^{\circ}\text{C}$
- Partículas de polvo y suciedad

La pregunta es ¿Por qué no se puede obtener aire CLASE 0 con compresores de tornillo lubricados? La respuesta es muy variada, la figura 95 muestra una comparación de funcionamiento entre ambos compresores, se estima que el aire ambiente contiene cierta cantidad de aceite, por lo cual no se puede obtener un aire totalmente exento de aceite.

Figura 95. Comparación entre un compresor lubricado y uno exento de aceite

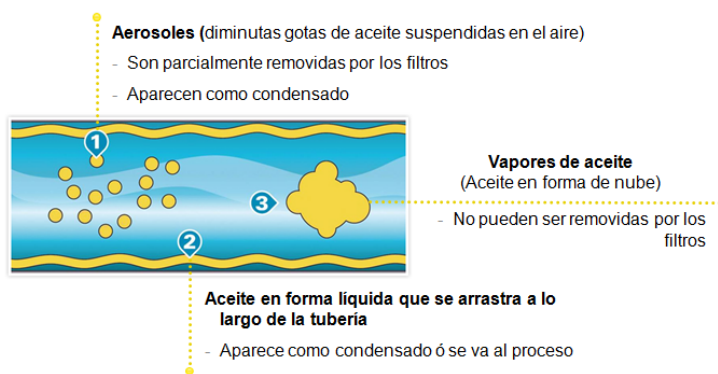


Fuente: [www.classzero.com](http://www.classzero.com)



Por otra parte, los filtros tienen cierta eficiencia como se pudo ver en apartados anteriores, tienen cierta eficiencia a determinada temperatura, además existen diversas formas de contaminación de aceite en el medio de conducción del aire, las tuberías; además de la corrosión provocada por el agua las tuberías sufren contaminación de aceite como se muestra en la figura 98.

Figura 96. Distintos tipos de contaminación de aceite en tuberías



Fuente: [www.classzero.com](http://www.classzero.com)

Figura 97. Instalación compresor exento de aceite + tanque + secador de adsorción + filtro coalescente



Existen diversidad de combinaciones en las cuales se pueden obtener distintas clases de aire, estas son solo son sugerencias que en base a la experiencia que se tiene, se resumen en las anteriores, para profundizar acerca del tema, consultar con los fabricantes del equipo donde se utilizar el aire, ellos indicaran que clase de aire se debe utilizar



## CONCLUSIONES

1. Es importante hacer conciencia en todos los usuarios de aire comprimido en la industria lo costoso de este recurso, con el buen uso del mismo se está contribuyendo a reducir los costos de funcionamiento de la empresa y contribuyendo con la conservación del medio ambiente, debido a que entre menos aire utilizamos, menor energía eléctrica se consumirá para generar el mismo.
2. Del adecuado mantenimiento de un compresor depende directamente el costo de operación, incluyendo el consumo energético, recurso que en la actualidad es muy costoso, con tendencia siempre al alza.
3. Seguir rutinas de mantenimiento diaria en el compresor ayudan tener menos paros no programados.
4. La mayoría de fallas se dan por alta temperatura, se debe cuidar este parámetro y mantenerlo siempre en un nivel aceptable para evitarlas.
5. El tratamiento de aire ayuda al ahorro energético en su generación, ya que al tener los filtros y todos los componentes en buen estado, disminuyen las caídas de presión en el sistema haciendo que el compresor se esfuerce menos en alcanzar la presión de trabajo.



## RECOMENDACIONES

1. Realizar las rutinas de mantenimiento que sugiere el presente texto, para garantizar el adecuado funcionamiento del compresor.
2. Llevar un historial de mantenimiento del compresor, en donde indique lo realizado, los repuestos que se cambiaron y las recomendaciones pertinentes para el siguiente mantenimiento.
3. Utilizar repuestos originales en los mantenimientos de los compresores, ya que existen marcas que ofrecen la misma calidad y mismo funcionamiento, pero en muchas ocasiones la calidad de estas partes es defectuosa, alterando así el funcionamiento interno del compresor.
4. Mantener los filtros de línea y trampas de agua en buen estado, ya que esto ayuda a que se generen menores caídas de presión.
5. Monitorear constantemente la temperatura de trabajo del compresor, ya que cuando ésta aumenta, es indicio de algo anormal en el funcionamiento del compresor.
6. Colocar siempre un secador de aire, no importando el tipo de compresor que se tenga, para evitar corrosión en el punto de uso del aire comprimido, así como en las tuberías.

7. Instalar equipos de protección eléctrica adicionales en lugares donde la calidad de energía eléctrica sea deficiente.
8. No reducir los diámetros de diseño de los equipos, conservar siempre los diámetros de fábrica de los mismos, cuando se reducen los mismos se obliga al fluido a que entre a un espacio más reducido, provocando enormes caídas de presión.
9. Drenar constantemente los tanques de almacenamiento.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Greene, Richard W; Francisco G. Noriega, **Compresores: selección, uso y mantenimiento**, México: McGraw-Hill, 1989.
2. Robertson, Robert; **Compressed Air Manual**, Atlas Copco Compressor AB, 6<sup>th</sup> Edition, Stockholm, Sweden, September 1998.