

DISEÑO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA SISTEMAS DE COMPRESIÓN Y VACÍO PARA EMPRESAS EN COLOMBIA

James Roldan Ciro

Iván Darío Ríos Triviño

Mauricio Isaza Cano

Ingeniería Electromecánica

Director del trabajo de grado

CARLOS ALBERTO ACEVEDO ALVAREZ, Msc.

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

FACULTAD DE INGENIERÍAS

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

2014

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

RESUMEN

El diseño de un programa para la gestión de mantenimiento para sistemas de compresión y vacío enfocado para las empresas en Colombia es un trabajo en el cual podemos encontrar las diferentes fallas o averías que ocurren en estos tipos de sistemas y qué medidas se deben de tomar para corregir las fallas, no sólo podemos encontrar las diferentes fallas o averías sino que también podemos encontrar el paso a paso para realizar el mantenimiento en sus diferentes tipos (Correctivo, Preventivo y Predictivo), esto con el objetivo de facilitar las labores de mantenimiento y reducir costos de esta misma índole, ya que si se cuenta con el personal del área de mantenimiento (técnicos, tecnólogos e ingenieros) capacitados en el momento de presentarse cualquier imprevisto con cada uno de estos equipos puedan intervenir inmediatamente sin necesidad de acudir a los servicios de los distribuidores autorizados o fabricantes.

La Implementación de este sistema en la industria será una gran ventaja ya que los beneficios obtenidos se verán reflejados en reducción de costos por mantenimientos externos, como también en la efectividad y reducción de tiempos por paros en la producción a causa de averías.

Primero se conocerán los diferentes tipos de compresores existentes en el mercado, sus partes y su principio de funcionamiento.

Nuestra meta es hacer énfasis en la ubicación de la falla y la corrección de la causa básica de la misma antes de proceder con cualquier reparación o sustitución de piezas ya que si la causa principal de la avería no se corrige será cuestión de tiempo antes de que una nueva falla ocurra, para ello se analizarán las fallas de una forma sistemática, examinando piezas defectuosas, condiciones que llevaron a la falla de la pieza y su posible causa.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Palabras clave: Compresores, Compresores de Pistón, Compresores de Tornillo, Bombas de Vacío, Bombas de Diafragma, Tipos de Mantenimiento.

ABSTRACT

The design of a management structure for maintenance of compression and vacuum systems targeting Colombian companies, is a development that enables finding different faults and breakdowns within these systems and which measures should be taken to correct them. Furthermore, it gives guidance on how to implement the maintenance on its different forms (Corrective, Preventive, and Predictive). The objective of this development is to facilitate the maintenance process and to lower costs, as it could be possible if the company counts on well trained personnel (mechanics, technicians and engineers) that can face a situation of faults or breakdowns without seeking external services of manufacturers or authorized distributors.

The benefits of the design of this management structure for maintenance and vacuum systems to the industry will be reflected in costs reduction in external maintenance services, as well as in effectiveness and avoidance of non-production times caused by failures and breakdowns.

Initially the different types of compressors existing in the market will be presented, its parts and its functioning principles.

Our goal is to make emphasis on finding the fault and correcting the main cause of the problem before proceeding with any repair or substitution of parts. If the main cause of the damage is not corrected it will be a matter of time before a new problem appears. For this,

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

faults and breakdowns will be analyzed in a systemic way, examining defaulting pieces and the conditions that brought to its failure or its possible cause.

Keywords: compressors, piston compressors, screw compressors, vacuum pumps, Diaphragm pumps, kinds of maintenance.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

RECONOCIMIENTOS

Primero que todo queremos dar nuestros agradecimientos a Dios que siempre estuvo de nuestra lado y nos dio salud, comprensión y sabiduría para afrontar este reto y poder cumplir con todas las metas trazadas a largo de este camino.

A nuestras familias por apoyarnos y motivarnos a que cada día nos superáramos tanto en lo personal como en lo profesional y encontrar esa voz de aliento en los obstáculos que a menudo se nos presentaban en el transcurso de la carrera.

Al ingeniero y docente Msc. Carlos Alberto Acevedo por brindarnos su colaboración y servirnos como asesor de trabajo de grado aportándonos su amplio conocimiento y su amplia experiencia en el sector industrial siendo de suma importancia para la elaboración y ejecución de éste.

Agradecemos también al Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), a todo el grupo de docentes que aportaron en nuestro proceso de formación y demás personas que con sus conocimientos contribuyeron para que este proyecto se llevara a cabo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

ACRÓNIMOS

P_{máx.} Presión Máxima del Gas (Presión de Descarga)

P_{mín.} Presión Mínima del Gas (Presión de Admisión)

P.M.S. Punto Muerto Superior

P.M.I. Punto Muerto Inferior

A.V.A. Apertura de la Válvula de Admisión

C.V.A. Cierre de Válvula de Admisión

A.V.E. Apertura de la Válvula de Escape

R&O Resistente a la Oxidación

AW Anti-Desgaste

API Instituto Americano de Petróleo

ISO Organización Internacional para Estandarización

OEM Fabricante Original de Equipo

EDV Válvula Eléctrica de Vacío

NEMA Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos

LED Diodo Emisor de Luz

PPM Partículas Por Millón

TLV Valores Límite Umbral

ASHRAE Sociedad Americana de Aire Acondicionado, Refrigeración y Calefacción

AFBMA (Asociación de Fabricantes de Rodamientos)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	16
1.1 Generalidades	16
1.2 Objetivos	19
2. MARCO TEÓRICO	20
2.1 ¿Qué es el Mantenimiento	20
2.1.1 Tipos de Mantenimiento	20
2.1.1.1 Mantenimiento Correctivo	20
2.1.1.2 Mantenimiento Preventivo	22
2.1.1.3 Mantenimiento Predictivo	23
2.2 Compresores	23
2.2.1 Funcionamiento Básico de los Compresores	23
2.2.1.1 Primera Ley de la Termodinámica	24
2.2.1.2 Segunda Ley de la Termodinámica	25
2.2.1.3 Relación entre Presión, Volumen, Temperatura (PVT)	25
2.2.2 Tipos de Compresores	27
2.2.2.1 Compresores de Desplazamiento Positivo	27
2.2.2.1.1 Compresor Alternativo o Reciprocante	28
2.2.2.1.2 Compresor de Flujo Rotativo	29
2.2.2.1.3 Compresor de Paletas Deslizantes	29
2.2.2.1.4 Compresor de Lóbulo	30
2.2.2.1.5 Compresor de Tornillo	30
2.2.2.2 Compresores Dinámicos	31
2.2.2.2.1 Compresor de Flujo Axial	31

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.2.2.2.2	Compresor de Flujo Radial o Centrifugo	32
2.3	Compresores Alternativos o de Pistón	32
2.3.1	Generalidades de los Compresores Alternativos o de Pistón	32
2.3.1.1	Compresores Alternativos de 1 Etapa	34
2.3.1.2	Compresores Alternativos de Múltiples Etapas	34
2.3.2	Tipos de Compresores Alternativos	35
2.3.2.1	Compresor Alternativo de Simple Efecto	35
2.3.2.2	Compresor Alternativo de Doble Efecto	36
2.3.2.3	Compresor Alternativo Lubricado	36
2.3.2.4	Compresor Alternativo No Lubricado	37
2.3.3	Partes Internas del Compresor Alternativo	38
2.3.3.1	Descripción del Equipo	41
2.3.3.2	Construcción Básica de los Compresores Alternativos	42
2.3.4	Principio de Funcionamiento	43
2.3.5	Aplicaciones de los Compresores Alternativos o de Pistón	48
2.3.5.1	Características de los Compresores de Pistón	49
2.3.5.2	Ventajas y Desventajas de los Compresores de Pistón	49
2.3.6	Principales Fabricantes de Compresores Alternativos o de Pistón	50
2.3.7	Gestión del Mantenimiento Recomendada por los Fabricantes	51
2.4	Compresores de Tornillo	52
2.4.1	Tipos de Compresores de Tornillo	53

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.4.2	Características de los Aceites	55
2.4.3	Principio de Funcionamiento de los Compresores de Tornillo	55
2.4.4	Ciclo de Compresión de un Compresor de Tornillo	57
2.4.5	Aplicaciones de los Compresores de Tornillo	59
2.4.6	Componentes Internos y Externos de los Compresores de Tornillo	60
2.4.7	Principales Fabricantes de los Compresores de Tornillo Alrededor del Mundo	61
2.4.8	Gestión del Mantenimiento Recomendada por los Fabricantes	63
2.5	Bombas de Vacío	66
2.5.1	Tipos de Bombas de Vacío	67
2.5.1.1	Bombas de Pistón	67
2.5.1.2	Bombas de Diafragma o Membrana	68
2.5.1.3	Bombas de Paletas	68
2.5.1.4	Bombas de Tornillo	69
2.5.1.5	Bombas de Alabes	69
2.5.2	Principio de Funcionamiento de Bombas de Vacío de Diafragma o Membrana	70
2.5.3	Componentes Internos de las Bombas de Vacío de Diafragma	73
2.5.4	Principales Fabricantes de Bombas de Vacío a nivel Global	74
2.5.5	Materiales de Fabricación de Bombas de Vacío de Diafragma	74
2.5.6	Principales Aplicaciones de la Bombas de Vacío de Diafragma	78

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.5.7	Mantenimiento y Solución de Averías Recomendadas por el Fabricante	79
3.	METODOLOGIA	82
4.	DISEÑO DE GESTION DE MANTENIMIENTO PARA SISTEMAS DE COMPRESION Y VACIO	84
4.1	Pautas de Seguridad a Tener en Cuenta Antes de una Actividad de Mantenimiento	84
4.2	Diseño de Plan de Mantenimiento para Compresores de Pistón	85
4.2.1	Mantenimiento Preventivo	85
4.2.2	Mantenimiento Correctivo	91
4.2.3	Mantenimiento Predictivo	93
4.3	Diseño del Plan de Mantenimiento para Compresores de Tornillo	96
4.3.1	Mantenimiento Preventivo	96
4.3.2	Mantenimiento Correctivo	107
4.3.3	Mantenimiento Predictivo	107
4.4	Diseño del Plan de Mantenimiento para Bombas de Vacío de Doble Diafragma	112
4.4.1	Mantenimiento Preventivo	113
4.4.2	Mantenimiento Correctivo	121
5.	CONCLUSIONES	125
	REFERENCIAS	126
	ANEXOS	128

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Clasificación de los Compresores	27
Figura 2 Compresor de Desplazamiento Positivo	28
Figura 3 Compresor Reciprocante	28
Figura 4 Compresor Flujo Rotativo	29
Figura 5 Compresor de Paleta Deslizante	29
Figura 6 Compresor de Lóbulo	30
Figura 7 Compresor de Tornillo	30
Figura 8 Compresor Dinámico	31
Figura 9 Compresor de Flujo Axial	31
Figura 10 Compresor de Flujo Radial o Centrífugo	32
Figura 11 Compresor Alternativo	34
Figura 12 Compresor Alternativo de Simple Efecto	35
Figura 13 Compresor Alternativo de Doble Efecto	36
Figura 14 Compresor Alternativo Lubricado	37
Figura 15 Partes de un Compresor Alternativo Lubricado	38
Figura 16 Partes de un Compresor Alternativo Lubricado	38
Figura 17 Partes de un Compresor Alternativo Lubricado	39
Figura 18 Descripción Interna Compresor Alternativo	41
Figura 19 Comparación del Trabajo entre Compresión Isotérmica y una Compresión Adiabática	45
Figura 20 Ciclo de Trabajo Teórico de un Compresor	47
Figura 21 Comparación entre Ciclo de Trabajo Teórico y Ciclo de Trabajo Real en un Compresor	48
Figura 22 Compresor de Tornillo Húmedo	53

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Figura 23 Compresor de Tornillo Seco	54
Figura 24 Proceso de Aspiración en el Compresor de Tornillo	56
Figura 25 Proceso de Compresión en el Compresor de Tornillo	56
Figura 26 Proceso de Descarga en el Compresor de Tornillo	57
Figura 27 Circuito de Aire y Aceite de un Compresor de Tornillo	59
Figura 28 Componentes Externos del Compresor de Tornillo	60
Figura 29 Componentes Internos del Compresor de Tornillo	60
Figura 30 Bomba de Vacío de Pistón	67
Figura 31 Bomba de Vacío de Diafragma	68
Figura 32 Bomba de Vacío de Paletas	68
Figura 33 Bomba de Vacío de Tornillo	69
Figura 34 Bomba de Vacío de Alabes	69
Figura 35 Funcionamiento de Bomba de Vacío de Diafragma	70
Figura 36 Componentes Internos de Bomba de Vacío de Diafragma	73
Figura 37 Partes a Reparar Según Avería	80
Figura 38 Seguridad Industrial	84
Figura 39 Candado Seguridad en Caja de Breakers	85
Figura 40 Correcta Instalación de un Compresor de Pistón	86
Figura 41 Tapa de Carter	87
Figura 42 Condensación en Unidad Compresora	88
Figura 43 Filtro de Sílica	89
Figura 44 Filtro de Admisión de un Compresor de Pistón	89
Figura 45 Ajuste Correcto de la Banda	90
Figura 46 Rodamiento de Cigüeñal	91
Figura 47 Puntos de Medición en Análisis de Vibraciones	94
Figura 48 Válvula de Despresurización	97
Figura 49 Tapón y Mirilla de Aceite del Tanque Separador	98
Figura 50 Punto Evacuación del Aceite del Tanque Separador	98

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Figura 51 Filtro de Aceite de Compresor de tornillo	99
Figura 52 Pernos y Empalmes de Tubería de la Tapa del Tanque Separador	100
Figura 53 Filtro del Tanque Separador	100
Figura 54 Filtros de la Válvula de Admisión del Tanque Separador	101
Figura 55 Acoples del Motor/Compresor	102
Figura 56 Intercambiadores de Calor de Aire/Aceite	103
Figura 57 Boquillas de Lubricación	104
Figura 58 Lubricación de Rodamientos	105
Figura 59 Planilla de Mantenimiento Preventivo del Compresor de Tornillo	106
Figura 60 Planilla de Mantenimiento Correctivo del Compresor de Tornillo	107
Figura 61 Puntos de Medición en Motor Eléctrico y Compresor	108
Figura 62 Cargas Axiales y Radiales en un Rodamiento	109
Figura 63 Niveles de Vibración vs Tiempo	110
Figura 64 Resumen del Análisis de Vibraciones	111
Figura 65 Esquema de Instalación Recomendado por Fabricantes de Bombas de Doble Diafragma	113
Figura 66 Múltiple de Descarga	114
Figura 67 Múltiple de Succión	114
Figura 68 Cámaras de Fluido	115
Figura 69 Diafragmas Ensamblados	115
Figura 70 Estructura de la Bomba	116
Figura 71 Platos Exteriores e Interiores	116
Figura 72 Vástago del Embolo	117
Figura 73 Conjunto Plato, Diafragma	117
Figura 74 Sistema de Distribución del Aire	118

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Figura 75 Válvula de Aire	118
Figura 76 Válvula Piloto	119
Figura 77 Planilla de Mantenimiento Correctivo para Bombas de Doble Diafragma	121
Figura 78 Kit de Sellos	121
Figura 79 Correcta Instalación de una Bomba de Doble Diafragma	122
Figura 80 Mal Procedimiento en Desensamble de Bomba de Doble Diafragma	123
Figura 81 Filtro en “Y”	123
Figura 82 Muestra de Pintura Epóxica en las Bombas	124

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

INDICE DE TABLAS

	Pág
Tabla 1 Programa de Mantenimiento Recomendado por el Fabricante para Compresores de Pistón	51
Tabla 2 Componentes Internos y Externos de los Compresores de Tornillo	61
Tabla 3 Programa de Mantenimiento Recomendado por el Fabricante para Compresores de Tornillo de la Serie UP	63
Tabla 4 Opciones de Material, Cuerpo de la Bomba	74
Tabla 5 Opciones de Material, Bloque Central	75
Tabla 6 Opciones de Material, Válvulas de Bolas	75
Tabla 7 Opciones de Material, Asientos de Válvulas	76
Tabla 8 Opciones de Material, Diafragmas	76
Tabla 9 Detección y Solución de Problemas de Bombas de Vacío de Doble Diafragma	79
Tabla 10 Fallas y Posibles Soluciones a los Compresores de Pistón	92
Tabla 11 Puntos de Medición en Análisis de Vibraciones	94
Tabla 12 Puntos Inspeccionados en el Análisis de Vibraciones	95
Tabla 13 Resumen Anual del Análisis de Vibraciones	95
Tabla 14 Puntos de Medición	108
Tabla 15 Correctivos después del Análisis de Vibraciones	110
Tabla 16 Resumen Anual del Análisis de Vibraciones	111
Tabla 17 Planilla de Mantenimiento Preventivo para Bombas de Doble Diafragma	120

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

El aire comprimido es una forma de almacenar energía para su futuro uso lo que difícilmente se logra con el vapor y los fluidos hidráulicos. Es amigable con el medio ambiente ya que al momento de presentar una fuga no produce contaminantes debido a pérdida de líquidos como los sistemas hidráulicos, además no produce emisiones como el vapor. Llevando esto a que en muchas actividades industriales el aire comprimido sea usado como forma de trabajo.

Estudios recientes muestran que aproximándose del 10 al 15 % de la electricidad consumida en empresas es para la generación de aire comprimido, en algunas instalaciones, la generación de aire comprimido puede ser responsable del 30% o más de la electricidad consumida llegando a ser una de las fuentes energéticas de mayor consumo en una planta.

La gestión del mantenimiento en la industria es un pilar fundamental por lo cual se hace necesario tenerla bien fundamentada y en el caso de la gestión de mantenimiento para compresores y bombas de vacío hemos detectado que en la mayoría de los casos este proceso no es llevado a cabo por el departamento de mantenimiento de la empresa sino que es delegada a los fabricantes y distribuidores de los equipos, los cuales por la prestación de sus servicios en la mayoría de los casos cobran altas sumas de dinero por hora de trabajo, lo que se convierte en una gran desventaja para la empresa, de otra forma con la implementación del Plan de Gestión del mantenimiento la atención de estos equipos sería inmediata y con una gran ventaja que sería la reducción de costos a nivel del departamento de mantenimiento.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

El mantenimiento es la actividad humana que garantiza la existencia, disponibilidad y conservación de un servicio dentro de una calidad esperada. En la actualidad, el mantenimiento está destinado a ser uno de los pilares fundamentales de toda empresa.

Con el avance del tiempo el uso de sistemas de compresores y bombas de vacío se ha convertido en una herramienta fundamental en la industria, ya que es usado en la mayoría de procesos, de la misma manera su uso tan evidente acarrea consecuencias de operación y Gestión de Mantenimiento(Preventivo, predictivo, correctivo), el cual en la mayoría de los casos ha sido asumido principalmente por los fabricantes y distribuidores de los equipos, lo cual en nuestra opinión es una desventaja muy grande para los empresarios refiriéndonos al tema económico ya que los costos de atención y mantenimiento para equipos de aire comprimido realizados por los fabricantes son muy altos y por lo tanto se aumentan los costos de producción industrial.

Por tal motivo pensamos que Diseñar un Programa Gestión de Mantenimiento para sistemas de Compresión y Vacío para empresas en Colombia donde encontremos todos los procedimientos y pautas a tener en cuenta para la realización de mantenimiento (Preventivo, predictivo o correctivo) de los diferentes tipos de compresores, (Tornillo y Pistón y sistemas de Vacío) con el cual el Ingeniero Electromecánico este en la capacidad de atender cualquier tipo de Gestión en los equipos mencionados.

Con la creación de dicho Programa estaríamos contribuyendo a crear motivación a nivel empresarial para la atención de los equipos de aire comprimido desde el departamento de mantenimiento de cada una de las empresas Colombianas y con su buena acogida poderlo llevar a ámbitos internacionales donde se pueda normalizar y estandarizar el manejo y la Gestión de Mantenimiento de dichos equipos.

Actualmente las empresas tienen cierta deficiencia al momento de realizar los mantenimientos en sus diferentes tipos (Preventivo, Correctivo y Predictivo), ya que no se lleva un correcto seguimiento de los equipos documentándolos en las hojas de vida o

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

bitácoras como se le suele llamar. Lo que pretendemos con esta propuesta de diseñar un Programa Gestión de Mantenimiento para los Sistemas de Compresión y Vacío en las empresas en Colombia, con el fin primordial de identificar e intervenir la gran problemática con la que nos podemos encontrar a diario nosotros como ingenieros electromecánicos. En el caso de los compresores podemos enfrentarnos a problemas como lo son: retorno del líquido (En los refrigerados), problemas de lubricación, vibraciones por culpa de la mala lubricación, temperatura de descarga elevada, problemas eléctricos, contaminación en el sistema a causa de desgaste en las piezas internas; y para el caso de las bombas de vacío podemos enfrentarnos también a problemas de lubricación, problemas eléctricos, ruidos en la bomba mientras se encuentra en funcionamiento, temperatura elevada de la bomba, entre otros.

Las empresas cuentan con un personal encargado de realizar mantenimientos según lo establecido dentro del plan de mantenimiento con el que cuentan éstas empresas, al momento de realizar esta Gestión de Mantenimiento para Sistemas de Compresión y Sistemas de Vacío, facilitaremos las labores de la Gestión de mantenimiento para técnicos, tecnólogos e ingenieros que no cuenten con los suficientes conocimientos o capacitaciones de éstos equipos, lo que representaría una gran ayuda para contrarrestar los problemas que éstos equipos nos presentan luego de muchas horas de funcionamiento.

La idea de realizar un Diseño de un Programa de Gestión de Mantenimiento para sistemas de compresión y vacío surge de la necesidad de mitigar los problemas que suelen presentarse a menudo en la industria en general (Grandes, Medianas y Pequeñas empresas), porque no todas las empresas emplean hacen la Gestión de Mantenimiento como es debido o mejor dicho, no tienen el suficiente conocimiento de los equipos, en este caso los compresores y bombas de vacío, y esto nos permite que nos impulse a buscar una solución a estos problemas que se presentan a diario y lo que representa este tipo de equipos para la industria.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Para darle solución a los problemas que se presentan en los equipos de compresión y de vacío no es suficiente contar con el conocimiento, además debemos de contar con la infraestructura y un plan bien estructurado que conlleven al éxito de la Gestión de Mantenimiento, representado en cero fallas inesperadas, minimizando el consumo energético en la empresa, gastos en el mantenimiento y mejor aún, minimizar la prestación del servicio ofrecido por el distribuidor autorizado o fabricante directo en algunos casos, ya que aumenta costos de mantenimiento.

1.2 Objetivos

General

Elaborar el Diseño para la Gestión de Mantenimiento para Sistemas de Compresores y Bombas de Vacío en el cual el ingeniero electromecánico tenga una herramienta muy completa para llevar a cabo una gestión de mantenimiento en dichos equipos sin tener que recurrir a la ayuda de fabricantes o empresas dedicadas a tal proceso.

Específicos

- Caracterizar la gestión de mantenimiento actual de los sistemas de compresión y vacío más usados en la industria
- Elaborar un Plan para la Gestión del Mantenimiento para Sistemas de Compresores y Bombas de Vacío en el cual se encuentren todas las pautas y procedimientos para la Gestión de Mantenimiento de dichos equipos con las cuales se pueda garantizar que cualquier Ingeniero Electromecánico este en la capacidad de atender al 100% y detalladamente toda la Gestión de Mantenimiento de estos equipos, incluidos los diferentes tipos de mantenimientos: Preventivos, predictivos y correctivos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ¿Qué es el mantenimiento?

Todas las definiciones, oficiales o no, tienden a presentar esta función como la encargada de asegurar la disponibilidad de los equipos de producción mediante la ponderación de las imperfecciones del patrimonio tecnológico invertido.

Dicha función debe tener en cuenta los objetivos de la empresa, y se puede llevar a cabo en el marco de un gasto materializado por un presupuesto, o en relación con una determinada actividad industrial. Está sujeta a numerosas obligaciones que la confinan en un modo de funcionamiento que varía de una industria a otra y que depende:

De la disponibilidad financiera, de los principios de explotación de los equipos industriales, del nivel de productividad deseado, de las cualidades de fiabilidad intrínsecas al material de la esperanza de vida de los equipos, de la obsolescencia del material, de las cualidades del personal de mantenimiento, etcétera. (Cabanas et al, 1998)

2.1.1 Tipos de Mantenimiento

2.1.1.1 Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo es el modelo más común en la pequeña y mediana empresa y aunque es el que tradicionalmente se ha venido empleando, impera desde hace algún tiempo la introducción de programas de mantenimiento preventivo cuyos resultados a largo plazo son mucho más eficaces. El mantenimiento correctivo se basa en la intervención en el caso de avería, manifestada como el colapso de un equipo o instalación, es decir, la interrupción súbita de la producción. Dentro del mantenimiento correctivo se pueden distinguir dos variedades: **el correctivo con eliminación de la avería**, en este caso el mantenimiento consiste en la reparación de emergencia, efectuando la sustitución de los

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

elementos averiados. Normalmente se realiza bajo fuertes presiones tratando de evitar caídas en la producción, y el **correctivo con eliminación de causas**, este tipo de mantenimiento no sólo consiste en la sustitución de los elementos defectuosos sino en la eliminación de la causa que originó la avería.

Ventajas

- Máximo aprovechamiento de la reserva de uso de los equipos: se conoce como tal a su tiempo la vida útil remanente
- No se requiere una elevada capacidad de análisis ni infraestructura técnica o administrativa.

Desventajas

- Interrupciones impredecibles de la producción que pueden provocar daños y averías en cadena en proporciones desconocidas.
- Reducción de la vida útil de equipos e instalaciones
- Baja seguridad en la producción
- Necesidad de un “stock” de repuestos de dimensiones considerables
- Riesgo de fallo de elementos de difícil adquisición con el consecuente tiempo de reserva
- Baja calidad del mantenimiento como consecuencia del poco tiempo disponible para realizar las reparaciones (Olarte et al, 2012)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.1.1.2 Mantenimiento Preventivo

Esta forma de mantenimiento surge debido a la necesidad de remediar los inconvenientes del mantenimiento correctivo. A diferencia del anterior, la sustitución de piezas o partes del sistema que pudieran causar averías se realiza con una cierta periodicidad, determinada mediante criterios estadísticos. Así la sustitución de un determinado elemento puede realizarse después de un cierto tiempo pre-programado, o al producirse una avería, si ésta ocurre antes.

El mantenimiento preventivo habitualmente comprende una serie de actividades características: Limpieza y revisiones periódicas, conservación de equipos y protección contra los agentes ambientales, control de la lubricación, reparación y recambio de los puntos del sistema identificados como puntos débiles, reparación y recambios planificados.

- **Ventajas**

La principal ventaja del mantenimiento preventivo frente a las técnicas estrictamente correctivas estriba en una importante reducción de las paradas eventuales, obtenida al introducir una cierta periodicidad en la observación y reparación del sistema.

- **Desventajas**

Las desventajas de esta forma de mantenimiento derivan de la dificultad que entraña estimar de forma correcta los tiempos necesarios para realizar las intervenciones: si se interrumpe el funcionamiento normal de un sistema y se altera su vida útil de forma innecesaria, se reserva de uso será totalmente desaprovechada, además de producir una acumulación inútil de actividades preventivas que aumentan el gasto y reducen la disponibilidad. Por otro lado, si la programación preventiva se retrasa con respecto a la avería, el mantenimiento correctivo sustituye al preventivo con lo que vuelven a aparecer los inconvenientes citados anteriormente. (Olarte et al, 2012)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.1.1.3 Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo consta de una serie de ensayos de carácter no destructivo orientados a realizar un seguimiento del funcionamiento de los equipos para detectar signos de advertencia que indiquen que alguna de sus partes no está trabajando de la manera correcta.

A través de este tipo de mantenimiento, una vez detectadas las averías, se puede, de manera oportuna, programar las correspondientes reparaciones sin que se afecte el proceso de producción y prolongando con esto la vida útil de las máquinas.

Los ensayos o técnicas más utilizadas en la industria por medio de este tipo de mantenimiento son: Análisis de Vibraciones, Termografía, Análisis por Ultrasonido y Análisis de Aceite. (Souris, 1992)

2.2 Compresores

Se conoce como compresor a todo aquel dispositivo mecánico que permite la compresión o transporte de gases de un lugar a otro.

Los compresores son máquinas que tienen por finalidad aportar a los fluidos compresibles como son los “gases y los vapores” sobre los que operan, para hacerlos fluir aumentando al mismo tiempo su presión.

2.2.1 Funcionamiento Básico de los Compresores

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

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

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

En esta era moderna resulta muy común la utilización de gases comprimidos como elemento activo en la transferencia de energía a máquinas, dispositivos, herramientas, etc.

La compresión tiene múltiples propósitos, entre los cuales están los siguientes:

- Hacer circular un gas a través de un proceso o sistema.
- Transmisión de potencia.
- Alimentación de un proceso de combustión.
- Obtención y mantenimiento de niveles de presión reducidos mediante la remoción de gases del sistema.
- Obtención de condiciones más favorables en una reacción química.

2.2.1.1 Primera Ley de la Termodinámica

Esta ley establece que la energía no puede ser creada ni destruida durante un proceso, tales como la compresión y la entrega de aire o gas, aunque puede cambiar de una forma de energía a otra. En otras palabras, siempre que una cantidad de un tipo de energía desaparece, exactamente un total equivalente de otros tipos de energía debe ser producido. Esto se expresa por un sistema abierto de flujo estable tal como un compresor por la ecuación 1:

$$\Delta E = Q - W + \Sigma E_{in} - \Sigma E_{out} \quad (1)$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Donde:

$\Delta E = \text{Cambio de Energía en el Sistema}$

$Q = \text{Energía en Forma de Calor}$

$W = \text{Energía en Forma de Trabajo}$

$\Sigma E_{in} = \text{Energía de entrada al Sistema}$

$\Sigma E_{out} = \text{Energía de salida del Sistema}$

2.2.1.2 Segunda Ley de la Termodinámica

La segunda ley de la termodinámica establece que la energía existe en varios niveles y está disponible para su uso sólo si puede pasar de un nivel superior a uno inferior. Por ejemplo, es imposible para cualquier dispositivo que funcione en un ciclo y producir trabajo mientras que intercambia calor con sólo cuerpos en una sola temperatura fija. En la termodinámica una medida de la falta de disponibilidad de energía ha sido ideada y se conoce como la entropía. Como una medida de la falta de disponibilidad, la entropía aumenta a medida que un sistema pierde calor, pero permanece constante cuando no hay ganancia o pérdida de calor como en un proceso adiabático. Se define por la ecuación 2:

$$dQdS = T \quad (2)$$

Donde:

$T = \text{Temperatura (Fahrenheit)}$

$Q = \text{Calor Añadido (BTU)}$

2.2.1.3 Relación entre Presión, Volumen, Temperatura (PVT)

Presión, volumen y temperatura son propiedades de gases que son complementemente interrelacionadas. La ley de Boyle's y la ley de Charle's pueden ser combinadas en una

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

ecuación que es llamada como la Ley de los Gases Ideales (Ver ecuación 3). La ecuación 3 es siempre cierta para los gases ideales y es cierta para los gases reales bajo ciertas condiciones.

$$\frac{(P_1 \cdot V_1)}{T_1} = \frac{(P_2 \cdot V_2)}{T_2} \quad (3)$$

Donde:

$P_1 =$ Presión 1

$V_1 =$ Volúmen 1

$T_1 =$ Temperatura 1

$P_2 =$ Presión 2

$V_2 =$ Volúmen 2

$T_2 =$ Temperatura 2

Para el aire a temperatura ambiente, el error en esta ecuación es menos de 1% para presiones tan altas como 400 psia. Para el aire a una presión atmosférica, el error es menos de 1% para temperaturas tan bajas como -200 ° F. Estos factores de error variarán para diferentes gases. (Smith & Mobley, 2006)

2.2.2 Tipos de Compresores (Ver Figura 1)

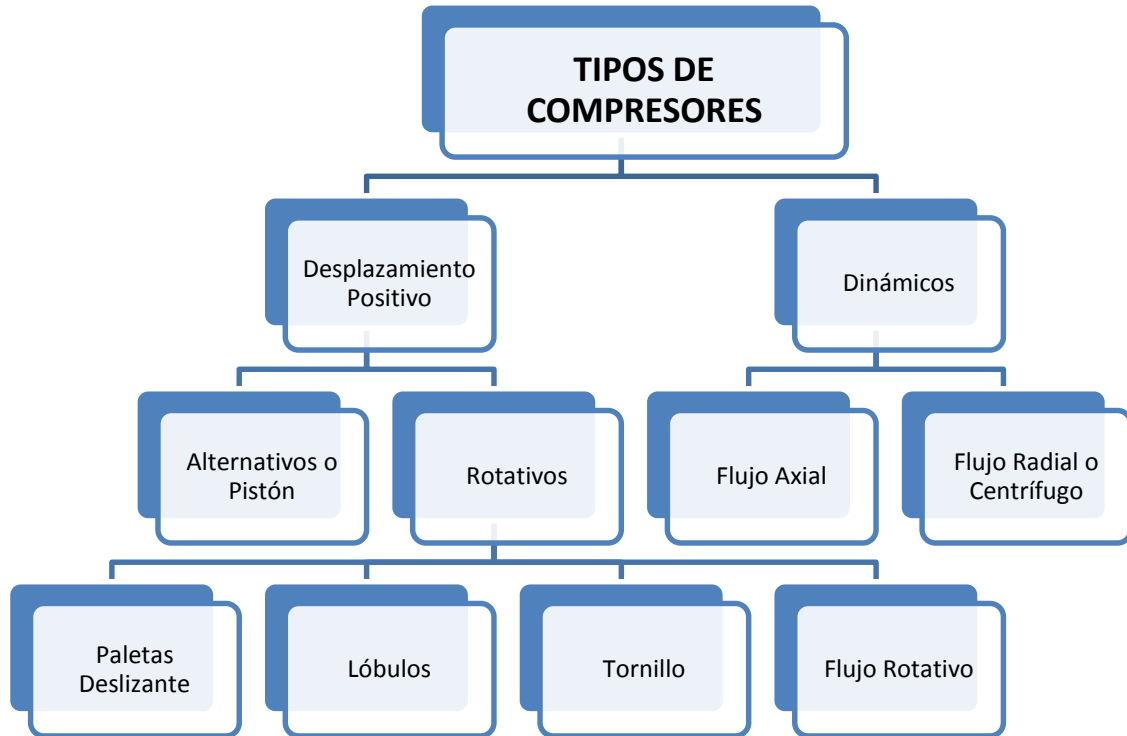


Figura 1. Clasificación de los Compresores

Fuente: Autores

2.2.2.1 Compresores de Desplazamiento Positivo

Son unidades las cuales atrapan grandes volúmenes sucesivos de aire quedando confinado en un espacio cerrado luego reduce su volumen incrementando así la presión y empujar luego el gas comprimido fuera de la cámara. (Ver Figura 2)

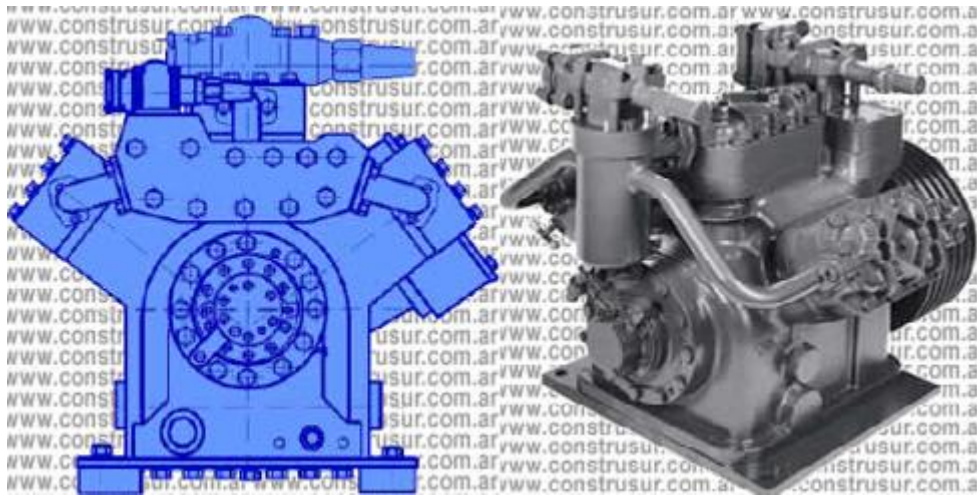


Figura 2. Compresor Desplazamiento Positivo

Fuente: (www.construsur.com.ar, s.f.)

2.2.2.1.1 Compresor Alternativo o Reciprocante

Son máquinas en las cuales el elemento que comprime y desplaza el gas es un pistón que efectúa un movimiento reciprocante (ascendente-descendente) dentro de un cilindro. (Ver Figura 3)



Figura 3. Compresor Reciprocante

Fuente: ([/www.directindustry.es](http://www.directindustry.es), s.f.)

2.2.2.1.2 Compresor de Flujo Rotativo

Son máquinas en las cuales la compresión y el desplazamiento son efectuados por la acción de elementos que están en rotación. (Ver Figura 4)

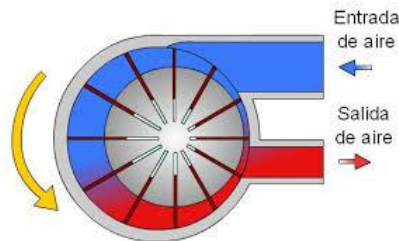


Figura 4. Compresor Flujo Rotativo

Fuente: (www.portaleso.com, s.f.)

2.2.2.1.3 Compresor de Paleta Deslizante

Son máquinas en las cuales paletas axiales se deslizan radialmente en un rotor excéntrico montado en una carcasa cilíndrica. El gas atrapado entre las paletas es comprimido y desplazado. (Ver Figura 5)

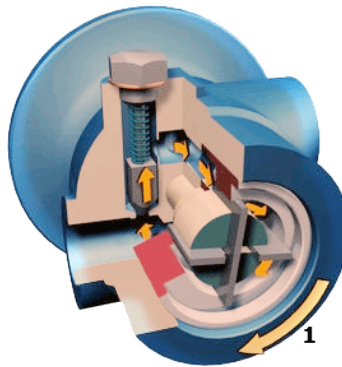


Figura 5. Compresor de Paleta Deslizante

Fuente: (www.quiminet.com, s.f.)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.2.2.1.4 Compresor de Lóbulo

Son máquinas en las cuales dos impulsores rotativos de lóbulos rectos encajados atrapan el gas y lo trasladan desde la admisión hasta la descarga. En estos compresores no hay compresión interna; el aumento de la presión se debe al contraflujo que se da en la descarga. (Ver Figura 6)



Figura 6. Compresor de Lóbulo

Fuente: (www.galloup.com, s.f.)

2.2.2.1.5 Compresor de Tornillo

Son máquinas en las cuales dos rotores de forma helicoidal encajados entre sí, comprimen y desplazan el gas. (Ver Figura 7)

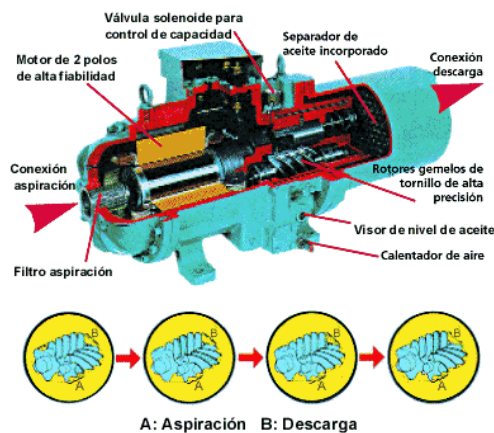


Figura 7. Compresor de Tornillo

Fuente: (<http://fluidos.eia.edu.co>, s.f.)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.2.2.2 Compresores Dinámicos

Son máquinas rotativas en las cuales un impulsor en rápida rotación acelera el gas que pasa a través de este, la cabeza de velocidad es convertida en presión, parcialmente en el elemento rotativo y en los difusores estacionario o paletas. (Ver Figura 8)

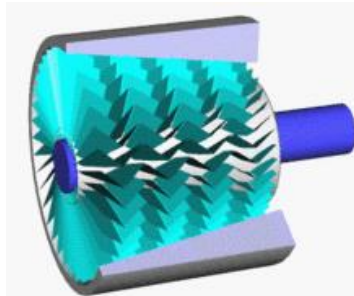


Figura 8. Compresores Dinámicos

Fuente: (<http://fluidos.eia.edu.co>, s.f.)

2.2.2.2.1 Compresor de Flujo Axial

Son máquinas en las cuales el gas se acelera y desacelera por acción conjunta de paletas móviles, montadas sobre un rotor y paletas fijas montadas sobre un estator, este cambio continuo de momentum genera aumento en la presión. El flujo principal es axial. (Ver Figura 9)



Figura 9. Compresor de Flujo Axial

Fuente: (www.atmosferis.com, s.f.)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.2.2.2.2 Compresor de Flujo Radial o Centrífugo

Son máquinas en las cuales uno o más impulsadores aceleran el gas, la energía cinética adquirida se transforma en presión en un difusor corriente abajo. El flujo del gas es radial. (Ver Figura 10)



Figura 10. Compresor de Flujo Radial o Centrífugo

Fuente: (<http://turbomaquinastermicasct3412.blogspot.com>, s.f.)

2.3 Compresores Alternativos o de Pistón

2.3.1 Generalidades de los Compresores Alternativos o de Pistón

Los compresores alternativos son los más utilizados, debido a su precio y a su flexibilidad de funcionamiento, es decir, permiten trabajar con caudales de diferentes magnitudes y con un amplio rango de relación de compresión, además son el tipo más eficiente de compresor y se pueden utilizar en cargas parciales o aplicaciones de capacidad reducida.

Debido a los pistones alternativos y otras partes, así como algunas partes rotatorias no equilibradas, las fuerzas de inercia tienden a agitar la unidad. Por ello es necesario proporcionar un montaje que estabilizará la instalación. El alcance de este requisito dependerá del tipo y el tamaño del compresor.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

El objetivo buscado es incrementar la energía del gas sin alterar su energía interna. O sea (en ausencia de transformaciones químicas), sin recurrir al aumento de su temperatura. La única manera de realizarlo consiste en aumentar la presión, disminuyendo su volumen específico.

Un compresor de aire alternativo (o pistón), es un compresor de desplazamiento positivo. Esto significa que aspiran volúmenes intermitentes de gas, el cual queda confinado dentro un espacio cerrado teniendo como resultado una mayor presión.

Existen varias formas de comprimir el aire, una de las más sencillas es mediante un pistón en el interior de un cilindro, el cual Opera con el mismo principio de funcionamiento que una bomba de bicicleta familiar, es decir, por medio de un pistón en un cilindro, A medida que el pistón se mueve hacia delante en el cilindro, comprime el aire o gas en un espacio más pequeño, aumentando así su presión. El compresor de aire alternativo realiza este funcionamiento usando un pistón que efectúa un movimiento recíprocante (ascendente, descendente) por medio de una biela conectora y un cigüeñal movido por algún tipo de motor; en el interior del cilindro se genera la compresión y el desplazamiento del gas.

El elemento básico de compresión de movimiento alternativo es un solo cilindro de compresión en un lado del pistón (de simple efecto). Una unidad de compresión en ambos lados del pistón (doble efecto) se compone de dos elementos básicos de simple efecto que funcionan en paralelo en una fundición. La mayoría de los compresores utilizados son del tipo de doble acción. (Ver Figura 11)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	



Figura 11. Compresor de Alternativo

Fuente: (company.ingersollrand.com, s.f.)

2.3.1.1 Compresores Alternativos de Una Etapa

Se considera que un compresor es de una sola etapa cuando toda la compresión se logra en un único cilindro o con un grupo de cilindros en paralelo que incrementa la presión una vez; solo poseen un depurador inter etapas, un cilindro y un enfriador inter etapa.

En la práctica, en compresores de una sola etapa no suele pasarse de relaciones de compresión de 3, 5, 4, ya que relaciones de compresión más altas necesitan un compresor voluminoso que encarece el equipo, sin embargo, muchas aplicaciones involucran condiciones que están fuera de la capacidad práctica de una sola etapa, debido a que se presenta una temperatura de descarga excesiva u otros problemas de diseño.

2.3.1.2 Compresores Alternativos de Múltiples Etapas

Son compresores que poseen varias etapas de compresión, en la que cada etapa incrementa progresivamente la presión hasta alcanzar el nivel requerido, además el gas es enfriado entre las etapas para reducir su temperatura y el volumen que ingresara a la siguiente etapa aumenta también la eficiencia del proceso de compresión. Utilizados generalmente cuando se requieren elevadas relaciones de presión (presión de salida del compresor respecto de la presión de ingreso).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Un compresor básico consta de una etapa de compresión su grado de compresión está dado por el cociente entre la presión absoluta de descargas (presión de salida) P_2 y la presión absoluta de admisión (presión de entrada) P_1 .

$$n = \frac{P_{max}}{P_{min}} \quad (4)$$

$n = \text{Número de Etapas}$

$P_{máx} = \text{Presión Máxima del Gas (Presión de Descarga)}$

$P_{mín} = \text{Presión Mínima del Gas (Presión de Admisión)}$

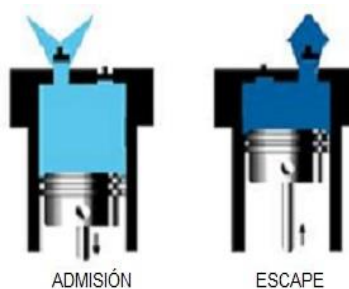
Con fines prácticos, la mayoría de los compresores de aire alternativo para plantas, que poseen una potencia superior a 100 hp (CV o caballos de vapor) se construye como unidades múltiple etapas, en las cuales uno o más de los pasos de compresión están agrupados en serie.

2.3.2 Tipos de Compresores Alternativos

Los compresores alternativos o de pistón se clasifican en diferentes tipos:

2.3.2.1 Compresor Alternativo de Simple Efecto

Pertenecen a este grupo los compresores que comprimen el gas, únicamente en la carrera ascendente del pistón. Son los equipos más sencillos y los más conocidos de todos los compresores. (Ver Figura 12)



	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Figura 12. Compresor Alternativo Simple Efecto

Fuente: (<http://www.empresaeiciente.com>, s.f.)

2.3.2.2 Compresor Alternativo de Doble Efecto

Son los compresores que comprimen el gas tanto en la carrera ascendente como la carrera descendente del pistón. Por su principio de operación el pistón es macizo y se tienen válvulas de descarga en la parte superior e inferior del cilindro. Esta ubicación se debe al hecho que mientras en un lado de pistón comprime en el otro se admite el gas. (Ver Figura 13)

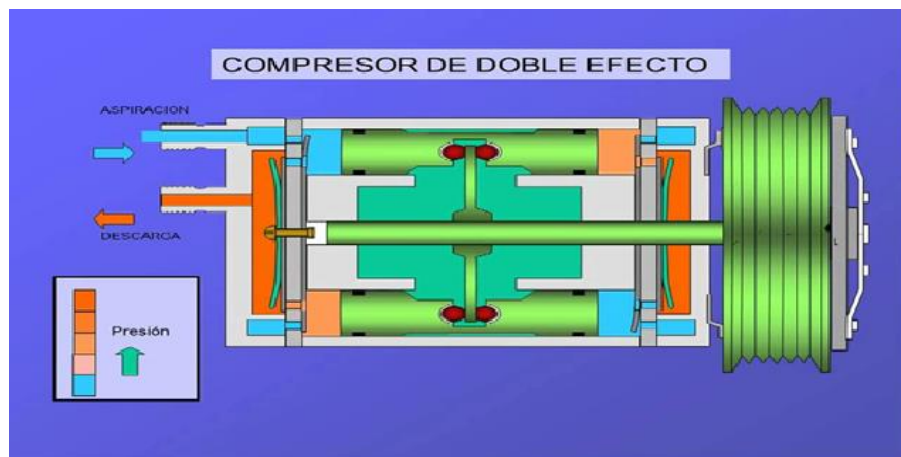


Figura 13. Compresor Alternativo de Doble Efecto

Fuente: (www.youtube.com, s.f.)

2.3.2.3 Compresor Alternativo Lubricado

Es aquel compresor que requiere aceite para lubricar sus partes internas como conjunto de biela, cilindro, pistón, bulón, rodamientos y en menor proporción los elementos de las válvulas. El compresor lubricado es el más comúnmente se tiene instalado en las plantas. (Ver Figura 14)

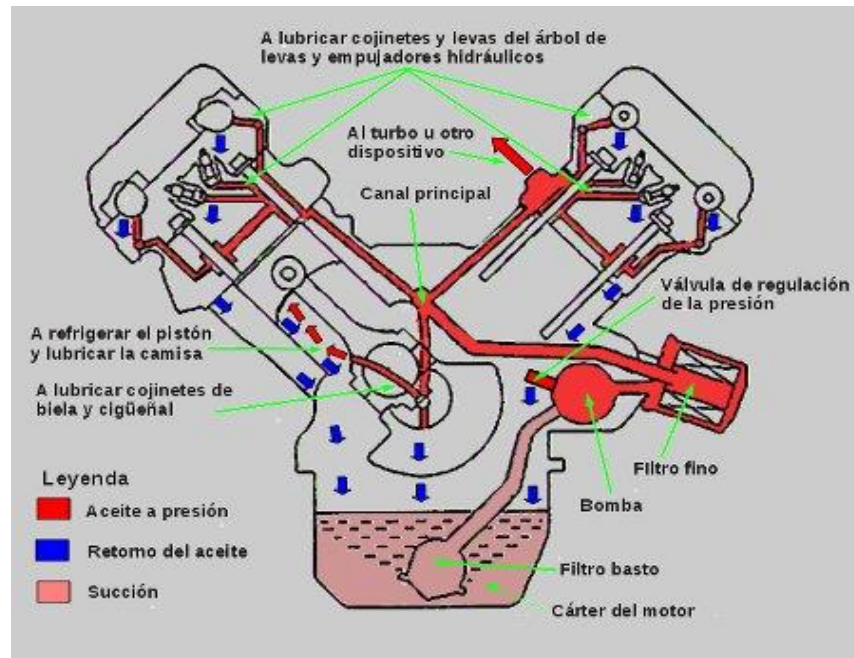


Figura 14: Compresor Alternativo Lubricado

Fuente: (Bourges et al, 2006)

2.3.2.4 Compresor Alternativo No Lubricado

Estos compresores tienen la propiedad de suministrar el gas totalmente libre de aceite, son utilizados principalmente en las industrias de bebidas y alimentos, en el sector salud y en las textiles.

Los compresores no lubricados poseen dos secciones, una sección no lubricada donde ubica a distancia piezas como pistón y válvulas encargados de realizar admisión y compresión del gas, la otra sección lubricada en la que se encuentra localizados el cigüeñal, biela y cruceta encargados de realizar el movimiento recíproco (ascendente, descendente) en el interior de un cilindro. Para separar el aire del aceite entre estas dos secciones se utilizan sellos y anillos raspadores. Los anillos normalmente son de un material compuesto por grafito y nylon con insertos de bronce, denominado TFE.

Cualquiera de los cuatro tipos de compresores recíprocos puede ser enfriado por aire o por agua. Cuando un compresor es enfriado por aire se debe considerar que el periodo de carga no debe superar el 70 % total del ciclo de trabajo para así permitir la correcta refrigeración de la unidad además no debe superar los diez minutos en carga para evitar sobrecalentamiento de los materiales.

2.3.3 Partes Internas del Compresor Alternativo (www.pressure.com.br, s.f.)

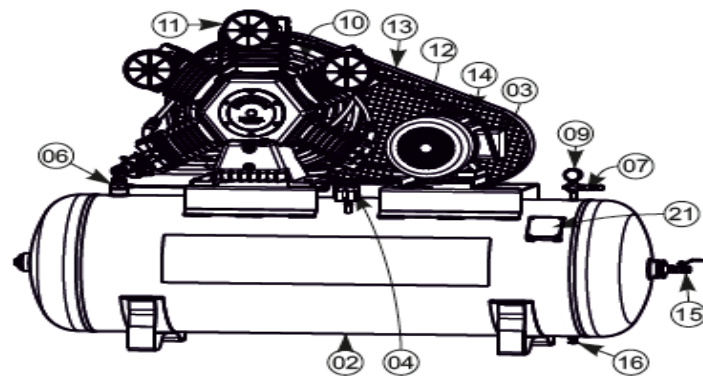


Figura 15. Partes que componen un Compresor Alternativo Lubricado

Fuente: (www.pressure.com.br, s.f.)

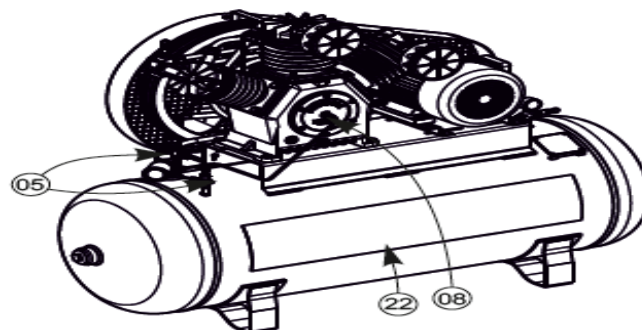


Figura 16. Partes que componen un Compresor Alternativo Lubricado

Fuente: (www.pressure.com.br, s.f.)

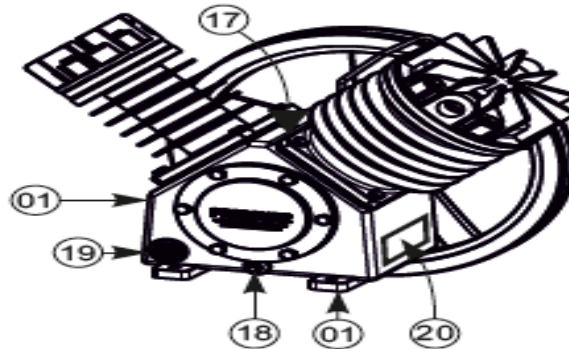


Figura 17. Partes que componen un Compresor Alternativo Lubricado

Fuente: (www.pressure.com.br, s.f.)

01 - Unidad Compresora: Aspira y comprime el aire atmosférico

02 - Recipiente de Presión/Reservatorio de Aire: Almacena el aire comprimido.

03 - Motor Eléctrico: Acciona la unidad compresora a través de la polea y correa, transformando energía eléctrica en mecánica.

04 - Presostato: Controla el funcionamiento del compresor, de modo que prohíba que exceda la presión máxima de trabajo permitida.

05 - Válvulas Piloto/Descarga: La válvula piloto controla el funcionamiento del compresor, no permitiendo que éste exceda la presión máxima de trabajo, accionando la válvula cañón para liberación de una cierta cantidad de aire y disminuyendo la presión interna del reservatorio.

06 - Válvula de Retención: Retiene el aire comprimido en el reservatorio de aire evitando su retorno cuando el cabezal se detiene.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

07 - Válvula de Seguridad: Despresuriza el reservorio de aire en el caso de elevación de la presión máxima permitida.

08 - Válvula de Alivio: Despresuriza el interior de la unidad compresora, de modo que el motor eléctrico sea puesto en marcha sin sufrir un gran esfuerzo inicial.

09 - Manómetro: Indica la presión en el interior del reservorio de aire en lbf/pulg², psig, bar, kgf/cm².

10 - Serpentina: Tubo de conexión entre la unidad compresora y el reservorio que refrigera el aire comprimido conduciéndolo al reservorio de aire.

11 - Filtro de Aire: Retiene las impurezas del aire captadas en el aire atmosférico.

12 - Correa: Transfiere la energía mecánica del motor eléctrico, siendo, de la polea del motor hacia el volante de la unidad compresora.

13 - Protector de Correa: Protege las partes giratorias, tales como: polea del motor, volante y correa.

14 - Polea: Pieza acoplada al motor eléctrico, transfiriendo la energía mecánica hacia la correa.

15 - Válvula/Registro: Controla la liberación de aire comprimido.

16 - Purgador: Válvula de salida de condensado acumulado en el interior del reservorio.

17 - Entrada de Aceite: Orificio para entrada del aceite lubricante.

18 - Salida de Aceite: Orificio de salida del aceite lubricante.

19 - Visor de Nivel de Aceite: Indica el nivel de aceite lubricante en el compresor, auxiliando la necesidad de reposición.

20 - Placa de Identificación: Indica los datos técnicos del compresor.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

21 - Placa de Identificación del Reservatorio: Indica los datos técnicos del reservatorio.

22 - Adhesivo Informativo: Indica informaciones de uso, línea y modelo del compresor

2.3.3.1 Descripción del Equipo

El compresor alternativo está compuesto por los siguientes elementos (Ver Figura 18): el cilindro de compresión; el pistón o embolo de compresión, acoplado al sistema biela-cigüeñal; y la tapa del cilindro en donde se ubican las válvulas y conductos de admisión y escape del gas. El cilindro posee en su superficie exterior aletas de enfriamiento las cuales tiene como finalidad aumentar la superficie de intercambio de calor entre el cilindro y el medio ambiente. (Ver Figura 18)

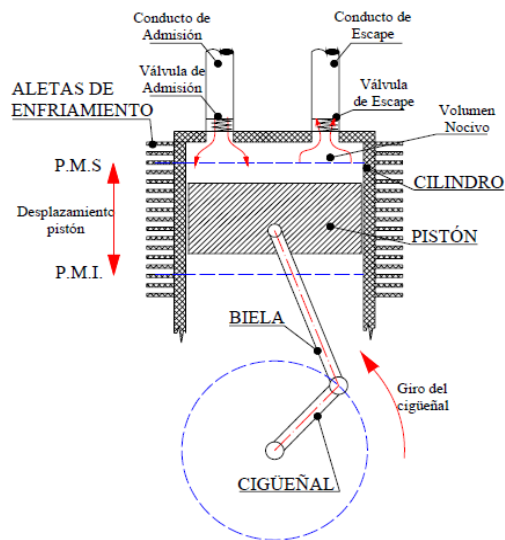


Figura 18. Descripción Interna Compresor Alternativo

Fuente: (Bourges et al, 2006)

El movimiento angular del cigüeñal es transformado en movimiento alternativo por el sistema cigüeñal-biela-pistón. En su recorrido, el pistón posee dos posiciones extremas: Punto Muerto Superior o P.M.S. (ver Figura 18) que corresponde al menor volumen, y el Punto Muerto Inferior o P.M.I. (ver Figura 18) correspondiente a un mayor volumen dentro

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

del cilindro. El menor volumen encerrado por el cilindro se lo nombra como volumen o espacio nocivo, estimándose entre un 3 y 10% del volumen desplazado según el modelo del compresor. El volumen desplazado por el pistón durante su recorrido corresponde a la diferencia entre el volumen total o máximo del cilindro y el volumen nocivo. (Bourges et al, 2006)

La existencia de un volumen nocivo provoca un retraso en el ingreso de gas durante el proceso de aspiración debido a que el gas almacenado en dicho volumen a la presión P escape debe expandirse hasta la presión P admisión (ver Figura 20) antes de permitir la entrada de gas al cilindro. Sin embargo, su efecto es doble dado que si bien por un lado disminuye el volumen de aspiración, por otro lado ahorra energía, ya que la expansión produce un efecto motor sobre el pistón; es por ello que se puede considerar que ambos efectos se compensan desde el punto de vista energético. Las válvulas de admisión y escape (ver Figura 18) permitirán el ingreso o egreso del gas respectivamente, según como sea la relación de presiones entre la cámara de compresión y el interior de los respectivos conductos de admisión o escape. (Bourges et al, 2006)

2.3.3.2 Construcción Básica de los Compresores Alternativos

El compresor alternativo es el diseño más común usado hoy en día en la industria, podemos agrupar sus partes en relación con la función que cumplan de la siguiente manera:

- **Elementos de compresión:** en el proceso de admisión y descargar de un gas encontramos elementos como los cilindros de aire, los pistones, las culatas, el plato de válvula, juego de válvulas de admisión y de descarga, empaques, filtro de aire.
- **Elementos de transmisión de potencia:** la volante es la encargada de transmitir la potencia desarrollada por la unidad de accionamiento (motor) al pistón encontramos además elementos como bielas, pie de biela, cigüeñal, vástagos de pistón con su respectivo pin candado.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- Elementos de lubricación:** encargadas de la distribuir el aceite a piezas como cojinetes, engranajes, las paredes de los cilindros, incluye además un depósito o cárter para el almacenamiento del aceite o lubricante y una bomba u otros medios que permita distribuir el aceite a las diversas piezas. Cuando no posee bomba la lubricación la realiza la biela la cual en su parte inferior tiene una especie de aleta y genera una lubricación por salpicadura. En algunos compresores se instala un lubricador alimentado a presión por separado para suministrar aceite a los cilindros del compresor.
- Elementos de control o regulación:** encargados de mantener la presión en la línea de descarga y en el depósito de aire (tanque de almacenamiento) dentro de un rango determinado de presiones de trabajo dicha función la cumple el presóstato el cual regula la presión mínima de trabajo y la presión máxima de trabajo además cumple la función de descargador reduciendo o eliminando el aire en la línea de descarga disminuyendo el torque ala motor a la hora de un arranque. Acá encontramos elementos como señales de despresurización, cheque tanque, en algunos modelos encontramos el descargador centrifugo que nos permite a la hora que el equipo llegue a su presión máxima entrar en vacío y no generar el apagado de la unidad, esto es frecuente en unidades que tienes periodos de trabajo muy cortos. (company.ingersollrand.com, s.f.)

2.3.4 Principio de Funcionamiento de los Compresores Alternativos

- Proceso de Admisión:** ocurre desde el momento en el cual se produce la apertura de la válvula de admisión o A.V.A (punto 1, Figura 20). Este proceso se prolonga hasta su cierre (punto 2, Figura 20) y se denota con las siglas C.V.A. (Cierre de Válvula de Admisión), siendo la presión dentro del cilindro durante este período constante e igual a la presión en el conducto de admisión. En proceso reales, la A.V.A. se retrasará hasta que la presión dentro del cilindro sea $(P_{\text{admisión}} - \Delta P_{\text{admisión}})$, es decir una presión menor a la existente en el conducto de admisión. La diferencia Δ

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

P admisión corresponde al hecho de que el gas deberá vencer tanto la tensión del resorte de la válvula de admisión como la resistencia al paso de flujo debido al estrangulamiento que ella provoca. Por lo tanto el gas sufrirá una expansión ΔP admisión en su paso por el orificio de la válvula de admisión. Se supone que la fuente de ingreso de gas es lo suficientemente grande para no producir efectos pulsantes.

El C.V.A. coincide, en un proceso teórico, con una de las posiciones extremas del pistón, el Punto Muerto Inferior o P.M.I. En un proceso real, el cierre de la válvula de admisión (C.V.A.) se produce instantes previos a la llegada del pistón al P.M.I.

- Proceso de Compresión:** Esta etapa inicia cuando el pistón se encuentra en el P.M.I. (punto 2, Figura 20) desplazándose hacia el P.M.S., y se prolonga hasta la apertura de la válvula de escape o A.V.E. (punto 3, Figura 20). El proceso de compresión del gas es descrito por la ecuación 5:

$$PV^k = cte. \quad (5)$$

Donde:

P: Presión

V: Volúmen

k: Razón de los calores específicos

$$k = \frac{C_p}{C_v} = \frac{C_p}{C_p - 1.986} \quad (6)$$

C_p : Calor específico (o masico) a presión constante

C_v : Calor específico (o masico) a volúmen constante

Cuando el valor de k es la unidad (k = 1) la compresión es isotérmica, es decir el gas se comprime a temperatura constante, siendo la curva de compresión como la curva 1-2 (Ver Figura 19). La ecuación (5) queda reducida a:

$$PV = cte. \quad (7)$$

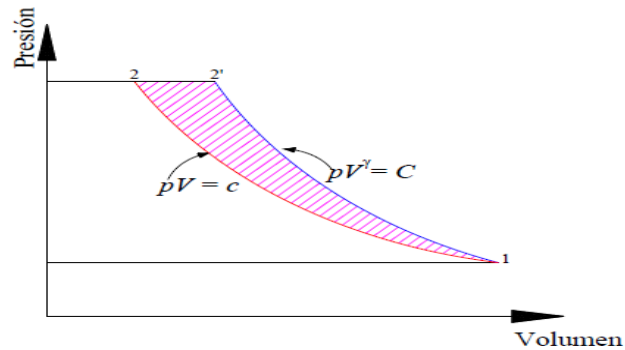


Figura 19. Comparación del Trabajo entre una Compresión isotérmica y una Compresión Adiabática.

Fuente: (Bourges et al, 2006)

El área sombreada en la figura es un ahorro de trabajo mecánico en la compresión del gas.

Cuando el valor de k coincide con la constante $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ (relación entre los calores específicos del gas), la compresión es adiabática siendo su curva la 1-2' (ver Figura 19).

Es evidente que, en este último caso, la cantidad de trabajo necesaria para comprimir y descargar el gas es mayor que cuando la compresión es isotérmica. En consecuencia, el trabajo necesario para comprimir un gas disminuye a medida que se reduce el valor del exponente k . En un caso real, la curva de compresión se encuentra entre las dos curvas límites (1-2 y 1-2', de la Figura 19), encontrándose el valor del coeficiente k dentro los límites $\gamma < k < 1$. En estos casos se dice que la compresión es politrópica.

Nótese que durante una compresión isotérmica se extrae todo el calor equivalente al trabajo de compresión, y el gas fluye entonces del compresor con la misma energía interna que poseía al ingresar al mismo. En la compresión adiabática no se transmite calor al exterior, y el gas fluye con un aumento de energía interna equivalente al de compresión.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Finalmente, en la compresión politrópica existe una cierta absorción de calor por parte del medio exterior, y un determinado incremento en la energía interna y en la temperatura. La disipación del calor proveniente del aumento de energía interna que produce el trabajo de compresión puede obtenerse por medio de sistemas de circulación de agua o aire de enfriamiento alrededor del cilindro de compresión. Es importante señalar que no hay ninguna ventaja en que el gas comprimido salga del compresor con una energía interna mayor a la que se obtendría con una compresión isotérmica. (Bourges et al, 2006)

- Proceso de Descarga:** Esta etapa se produce mientras la válvula de escape permanece abierta, es decir entre A.V.E. (punto 3, Figura 20) y C.V.E. (punto 4, Figura 20) En un caso ideal, el C.V.E. coincidirá con el final de carrera del émbolo de compresión o P.M.S. (Punto Muerto Superior). También, en un caso ideal, la presión dentro del cilindro en esta etapa será constante (P descarga), manteniéndose hasta el cierre de la válvula de escape (Ver Figura 20). En un caso real la presión variará durante el proceso de escape del gas, siendo siempre superior a la presión del gas en la tubería de escape (Ver Figura 21). Esa diferencia de presión ΔP descarga corresponde a los mismos factores que disminuye la presión dentro del cilindro durante la admisión, solo que ahora la presión dentro del cilindro debe ser superior a la de la tubería de escape para que exista flujo de gas. (Ver Figuras 20 y 21) (Bourges et al, 2006)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

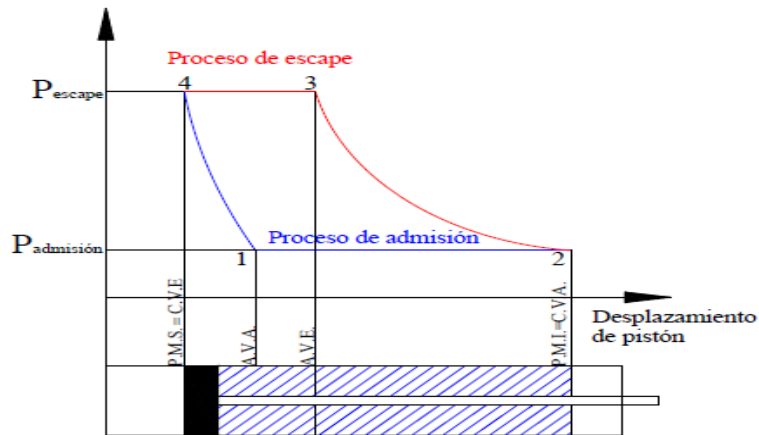


Figura 20: Ciclo de Trabajo Teórico de un Compresor

Fuente: (Bourges et al, 2006)

Donde:

P.M.S. Punto Muerto Superior

P.M.I. Punto Muerto Inferior

A.V.A. Apertura de la Válvula de Admisión

C.V.A. Cierre de Válvula de Admisión

A.V.E. Apertura de la Válvula de Escape

C.V.E. Cierre de Válvula de Escape

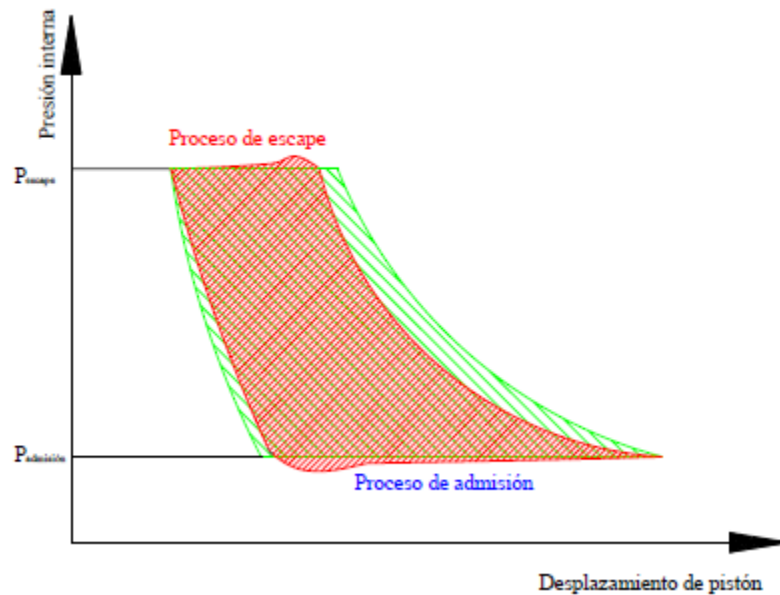


Figura 21. Comparación entre Ciclo de Trabajo Teórico (Curvas y Rayado Verde) y un Ciclo de Trabajo Real (Curvas y Rayado Rojo) en un Compresor.

Fuente: (Bourges et al, 2006)

- **Expansión sin intercambio de masa:** Este proceso comienza una vez cerrada la válvula de escape o C.V.E. (punto 4, Figura 20) y se prolonga hasta la apertura de la válvula de admisión o A.V.A. (punto 1, Figura 20).

2.3.5 Aplicaciones de los Compresores Alternativos o de Pistón

Los compresores de pistón se aplican en:

- Trasmisión de potencia para herramientas neumáticas.
- Agitación y mezcla, limpieza y embalaje de sacos, transporte de cemento, aire de combustión, etc. en la fabricación de cemento.
- Agitación de líquidos, humidificación, etc. en la industria textil
- El sopleteado con pintura
- El granallado

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- Operaciones de prensa y estampadores, carga y movimiento de materiales, aire para hornos y convertidores, etc. en el sector siderúrgico y metalúrgico
- Limpieza de quipos, moldeo, extracción de piezas moldeadas, etc. en la fabricación objetos plásticos. (company.ingersollrand.com, s.f.)

2.3.5.1 Características de los Compresores de Pistón

- Ruidosos y pesados
- Fluido de aire intermitente.
- Funciona a altas temperaturas (hasta 220 °C)
- Necesita mantenimiento costoso periódico.
- Alta presión con moderado volumen.

2.3.5.2 Ventajas y Desventajas de los Compresores de Pistón

Ventajas

- Precio hasta un 50% más barato que su equivalente en compresores de tornillo.
- Mejor Coeficiente de Rendimiento de cargas parciales.
- Mantenimiento sencillo y conocido por todo el personal mecánico.
- Sigue siendo el compresor que más se emplea en el ámbito comercial

Desventajas

- Regulación de capacidad por etapas.
- Frecuentes mantenimientos.
- Debido al incremento de calor en el compresor a pistón, el periodo de trabajo bajo carga es de 50 - 60%, con un máximo de 80%.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.3.6 Principales Fabricantes de Compresores Alternativo o de Pistón

Entre los fabricantes más destacados de compresores alternativos tenemos:

- **Ingersoll Rand:** es una empresa internacional con un capital de varios miles de millones de dólares, que se ha forjado una sólida reputación al mantener en activo a sus clientes durante más de un siglo. (company.ingersollrand.com, s.f.)
- **Atlas Copco:** Atlas Copco es un grupo industrial líder en la fabricación de compresores, equipos de construcción y minería, herramientas industriales y sistemas de montaje. El Grupo ofrece soluciones sostenibles para aumentar la productividad de sus clientes a través de productos y servicios innovadores. (www.atlascopco.com, s.f.)
- **Sullair:** Con instalaciones de fabricación en tres continentes y una red de distribución en todo el mundo, Sullair sirve a clientes en todos los rincones del globo. Instalaciones de Sullair ubicadas en los Estados Unidos, China y Australia son ISO 9001 certificada para asegurar los más altos estándares de calidad en la fabricación. Centros de formación dedicados a los tres sitios ofrecen capacitación práctica compresor a sus socios de canal y clientes en varios idiomas. (www.sullair.com, s.f.)
- **Kaeser:** KAESER Kompressoren ofrece soluciones a través de productos, servicios y sistemas completos para la generación, tratamiento y suministro del aire comprimido que se emplea como fuente de energía en la industria. Dichas soluciones tienen por objeto optimizar la eficiencia y economía de los sistemas neumáticos. (www.kaeser.com, s.f.)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.3.7 Gestión del Mantenimiento Recomendada por los Fabricantes

Tabla 1. Programa de Mantenimiento recomendado por el fabricante.
(company.ingersollrand.com, s.f.)

Mantenimiento. PRECAUCIÓN	<u>Quite la corriente antes de darle cualquier servicio a su compresor. Estas instrucciones son en base a condiciones normales de operación. Si el compresor se encuentra en un área con polvo excesivo, haga más frecuentes todas las inspecciones</u>
DIARIAMENTE	<ul style="list-style-type: none"> • Verifique el nivel de aceite antes de la partida. Tras la parada, drene el condensado del reservatorio. • Asegúrese de que el área alrededor del compresor esté libre de trapos, herramientas, escombros y materiales inflamables o explosivos. • Verifique cualquier ruido o vibración fuera de lo normal. • Verifique el nivel de aceite y añada en caso de ser necesario. • Revise visualmente el compresor. • Drene el condensado del sistema de tuberías. • Asegúrese de que las guardas y las cubiertas estén bien sujetas en su lugar.
SEMANALMENTE	<ul style="list-style-type: none"> • Quite y limpie la toma de los filtros de aire. No lave el elemento (filtro), Realice la limpieza del filtro de admisión soplando con chorro de aire comprimido seco en sentido contrario al flujo de admisión de aire. <p>ATENCIÓN: nunca utilice presiones mayores que 40 psi</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verifique la tensión de las bandas. Estas deben ser ajustadas para permitir aproximadamente de mínima 1cm máxima 2cm o 3/8 a 1/2 pulgada de flexión de presión con el dedo pulgar. • Limpie de materia extraña la cabeza del cilindro, el motor, la navaja del ventilador, las líneas de aire, el intercambiador y el tanque. • La válvula de seguridad debe ser probada manualmente y ver si no se pega.
MENSUALMENTE O 100 horas de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> • Inspeccione todo el sistema de aire para ver si no hay fugas de gas. • Revise el aceite y si está contaminado o sucio, cámbielo.
TRIMESTRALMENTE	<ul style="list-style-type: none"> • Verifique todo el sistema para ver si no hay fugas de aire alrededor de juntas, válvulas, conexiones, tuberías y los acoples, usando solución jabonosa. • Apriete todos los tornillos y tuercas si es necesario. <p>Estas ocurrencias son posibles debido a la forma constructiva de todo compresor a pistón que presente una vibración natural. De esta forma puede ocurrir el comprometimiento en el torque de ajuste original de fábrica en tornillos y conexiones.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambie el lubricante cuando el cárter este tibio. <p>Cambie el aceite del compresor frecuentemente si éste se encuentra en un lugar donde hay mucho polvo, aserrín, tierra, etc.</p>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

O 500 horas de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> Inspeccione los ensambles de las válvulas concéntricas. Limpie la rejilla del protector de correa; realice la limpieza externa de la unidad compresora, pues la acumulación de residuos en su superficie puede formar una capa aislante perjudicando la disipación normal del calor, lo que provocaría disminución del rendimiento. <p>Deben limpiarse entre las 800 y 1,000 horas de servicio.</p> <ul style="list-style-type: none"> Verifique la tensión de las correas y la alineación de la polea del motor en relación al volante del compresor, pues cuando son instalados de manera incorrecta producen vibraciones pudiendo reventar la correa, además de comprometer la vida útil de los rodamientos, cojinetes, cigüeñal y motor.
ANUALMENTE O 2000 horas de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> Realice medición en la válvula de seguridad en un órgano competente.
Tras 5 años O 10000 horas de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> Realice teste hidrostático en el taque acumulador de aire por un órgano competente.

2.4 Compresores de Tornillo

Los compresores de Tornillo tienen entre sí dos tornillos helicoidales entrelazados que giran paralelamente uno con respecto al otro en donde hay una pequeña luz la cual es sellada por la mezcla entre el aire y el aceite lubricante.

La tecnología de tornillo rotativo utiliza un principio de desplazamiento, donde las partes principales de tornillo de compresión comprenden rotores o elemento conductor y conducido que se mueven uno hacia la otra, mientras que el volumen entre ellos y la carcasa disminuye. La relación de presión de un tornillo depende de la longitud y el perfil del tornillo y de la forma de la abertura de descarga. El tornillo no está equipado con ninguna válvula y no existen fuerzas mecánicas para crear cualquier desequilibrio. Por lo tanto, puede funcionar a alta velocidad del eje y combinar un caudal grande, con pequeñas dimensiones exteriores. (García Gonzales, 2011)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.4.1 Tipos de Compresores de Tornillo

Para los **compresores de tornillo húmedos** los engranajes y tornillos lubricados por el aceite actúa también como sello. Típicamente tienen filtros coalescentes para eliminar el aceite del aire o gas comprimido. (Ver Figura 22)

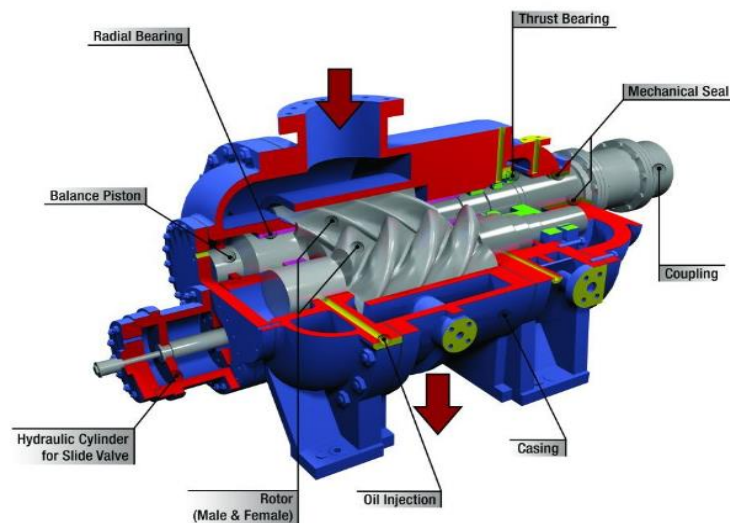


Figura 22. Compresor de Tornillo Húmedo

Fuente: (www.kobelcocompressors.com, s.f.)

Partes del Compresor de Tornillo Húmedo

- **Radial Bearing:** Rodamiento Radial
- **Balance Piston:** Embolo de Equilibrio
- **Hydraulic Cylinder for Slide Valve:** Cilindro Hidráulico para Válvulas Deslizantes
- **Rotor (Male & Female):** Rotores (Conductor & Conducido)
- **Oil Injection:** Inyección de Aceite

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- **Casing:** Carcasa
- **Coupling:** Acoplamiento
- **Mechanical Seal:** Sello Mecánico
- **Thrust Bearing:** Rodamiento Axial

Y para el caso de los compresores a tornillo secos o en su defecto Oil-Free, requieren de lubricación de sus engranajes, cojinetes y/o rodamientos pero los tornillos operan en seco. (Ver Figura 23)

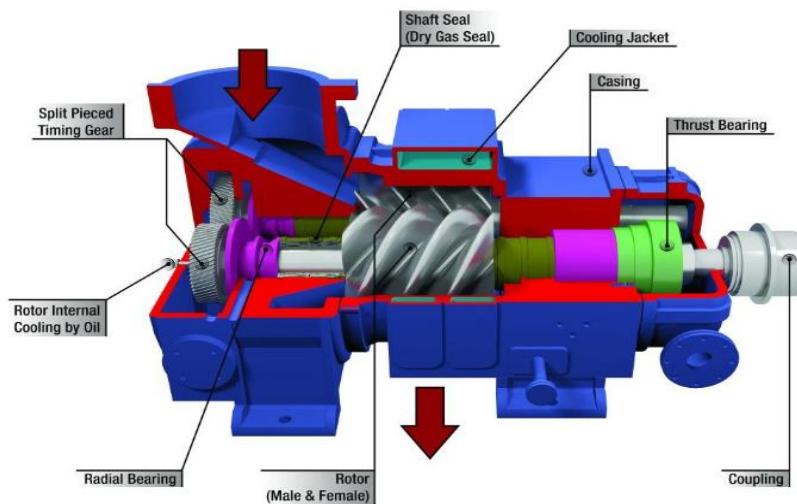


Figura 23. Compresor de Tornillo Seco

Fuente: (www.kobelcocompressors.com, s.f.)

Partes del Compresor de Tornillo Seco

- **Split Pieced Timing Gear:** Engranajes de Distribución
- **Rotor Internal Cooling by Oil:** Rotor Interno Refrigerado por Aceite
- **Radial Bearing:** Rodamiento Radial
- **Rotor (Male & Female):** Rotores (Conductor & Conducido)
- **Coupling:** Acoplamiento
- **Casing:** Carcasa

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- **Cooling Jacket:** Cámara de Enfriamiento
- **Shaft Seal (Dry Gas Seal):** Sello del Eje (Sello de Gas Seco)

Los tornillos normalmente operan en el régimen de lubricación límite y mixta mientras los engranajes operan o trabajan con lubricación hidrodinámica, los compresores lubricados con inyección de aceite utilizan aceites R&O (Resistente a oxidación por lo que trabaja entre 80 y 120°C) y aceites hidráulicos AW (anti-desgaste). Los engranajes son lubricados por salpicadura con aceite R&O. Típicamente utilizan viscosidades entre ISO 32 e ISO 68 de acuerdo a la temperatura del ambiente, la velocidad y el tamaño de sus tornillos. (García Gonzales, 2011)

2.4.2 Características de los Aceites usados en Compresores de Tornillo (García Gonzales, 2011)

El aceite debe tener una buena capacidad antiespumante y buenas características de enfriamiento por la alta velocidad y temperatura de operación del compresor.

El índice de viscosidad natural del aceite tiene que ser alto para evitar el cizallamiento y sellar los tornillos. Un aceite que utiliza muchos polímeros para mantener su índice de viscosidad sufrirá más cizallamiento y no sellará tanto como uno con un índice natural alto (Grupo II, sintetizado o sintético tradicional).

Los aceites hidráulicos (AW) formulados con aceite básico API Grupo I no deberían ser utilizados sobre 70°C por su oxidación. Caso contrario se tendrá que cambiar aceite con mayor frecuencia y limpiar los residuos de oxidación, resinas y polímeros de las superficies y cojinetes. Estos depósitos son muy difíciles de eliminar de los enfriadores (Intercambiadores de Calor) del aceite.

2.4.3 Principio de Funcionamiento de los Compresores de Tornillo

Las fases en el funcionamiento del compresor de tornillo son:

- **Aspiración:** El aire entra a través de la abertura de alimentación en los filetes abiertos de los rotores del lado de aspiración. (Ver Figura 24)

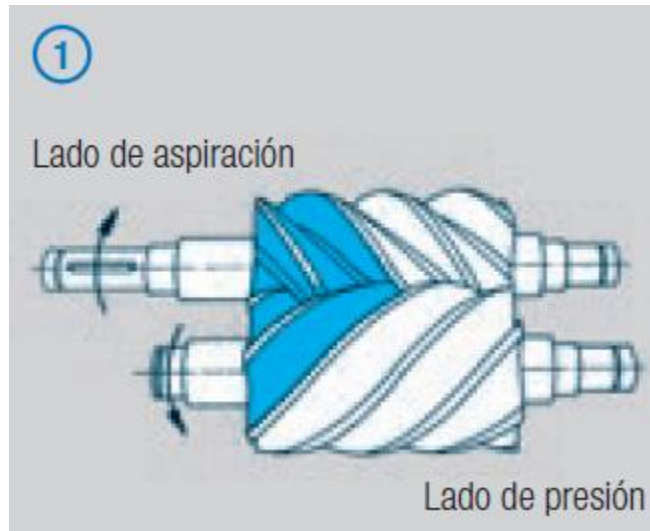
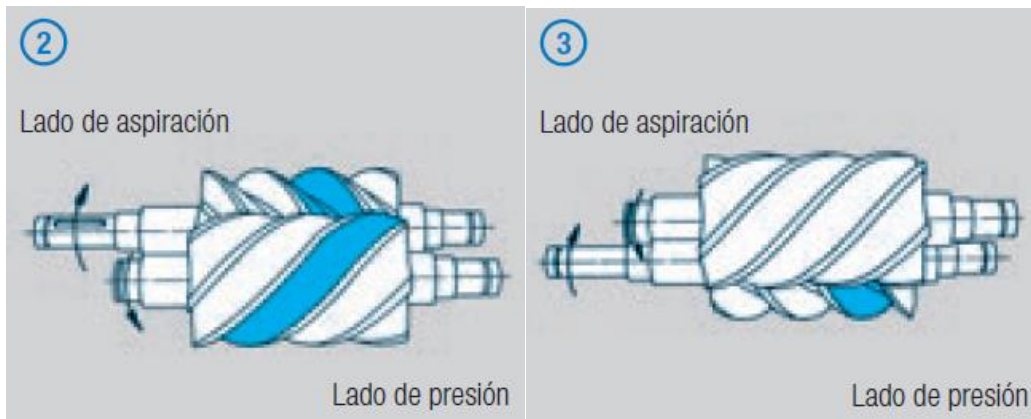


Figura 24. Proceso de Aspiración en el Compresor de Tornillo

Fuente: (www.boge.com/mx/)

- **Compresión:** Por medio del giro progresivo de los rotores se cierra el agujero de entrada de aire. El volumen en las cámaras se reduce y la presión aumenta progresivamente. Durante esta operación se inyecta aceite que lubrica los cojinetes de los rotores, obtura ranuras y evacúa el calor de compresión. (Ver Figura 25)



	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Figura 25. Proceso de Compresión en el Compresor de Tornillo

Fuente: (www.boge.com/mx/)

- **Descarga:** La compresión ha terminado, se alcanzó la presión final o la deseada a comprimir y se inicia el proceso de salida o descarga. (Ver Figura 26)

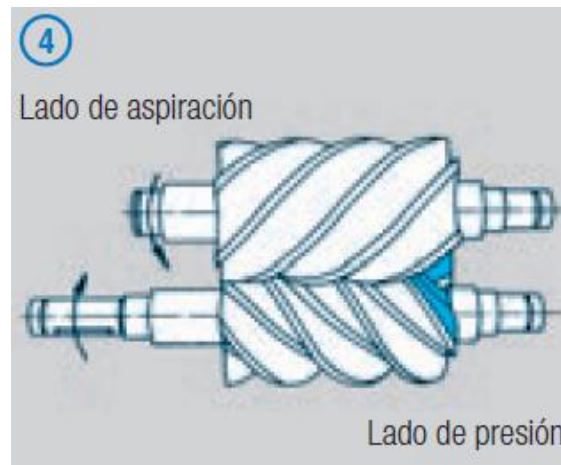


Figura 26. Proceso de Descarga en el Compresor de Tornillo

Fuente: (www.boge.com/mx/)

2.4.4 Ciclo de Compresión de un Compresor de Tornillo (Almacenes JJ., 2007)

- Inicialmente el aire atmosférico entra a la unidad a través del filtro de admisión, por efecto del vacío que generan los rotores al girar en sentido inverso.
- Se realiza la compresión de la mezcla entre aire/aceite en la unidad.
- La mezcla entre aire/aceite ya comprimida se descarga de la unidad compresores, pasa por la válvula anti-retorno para entrar a el módulo del elemento separador. La válvula anti-retorno sirve como prevención, puesto que el flujo de la mezcla se realiza por presión diferencial y en el evento de un corte de energía el aceite tiende a salir por la admisión, ya que allí es donde hay menor presión, realizándose la retención en la válvula de descarga.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- El módulo separador realiza la separación entre el aire y el aceite. La mezcla ingresa por la parte inferior del módulo en forma tangencial, creando un movimiento circular a la mezcla. Las partículas de aceite que son más pesadas o menos densa se decantan en el fondo del módulo. Pequeñas cantidades de aceite aún siguen el trayecto con el aire entrando a un elemento separador de fibra coalescente que es donde se realiza la separación final de aire y aceite. El efecto coalescente consiste en tomar neblina del aire/aceite hacerla pasar por varios orificios que desembocan en un solo orificio generando así más gotas de aceite y dejando pasar solo aire comprimido. Es en el módulo separador donde se originan los dos circuitos: el de aire y el de aceite.
- **Circuito de aire.** Siguiendo con el trayecto del aire, al salir del módulo pasa por un postenfriador, el cuál puede ser intercambiador de aire/agua o aire/aceite tipo radiador. Con los intercambiadores de calor aire/agua o aire/aceite generalmente se logra una diferencia de temperaturas frías de 15°F.

Por último el aire pasa por un separador centrífugo que tiene acoplada una trampa con drenaje automático que retira el condensado del aire, para suministrar aire más limpio y seco a la planta.

- **Circuito de aceite.** Recordemos que el aceite tiene una triple función: Sellar, enfriar y lubricar. Al salir del módulo el aceite pasa por una válvula termostática, en la cual se define la cantidad de aceite que debe ser enfriado, teniendo en cuenta que hay que mantener una temperatura de compresión estable para evitar posibles condensados en la unidad y crear oxidación y posible cavitación.

La cantidad de aceite que se necesita enfriar se hace pasar por el intercambiador de calor aire/agua o aire/aceite.

Al salir del intercambiador se pasa por un filtro de aceite, donde se retienen las posibles suciedades.

Después de filtrado el aceite llega a un distribuidor, donde se reparte el aceite a los rodamientos, engranajes y a la unidad. (Ver Figura 27)

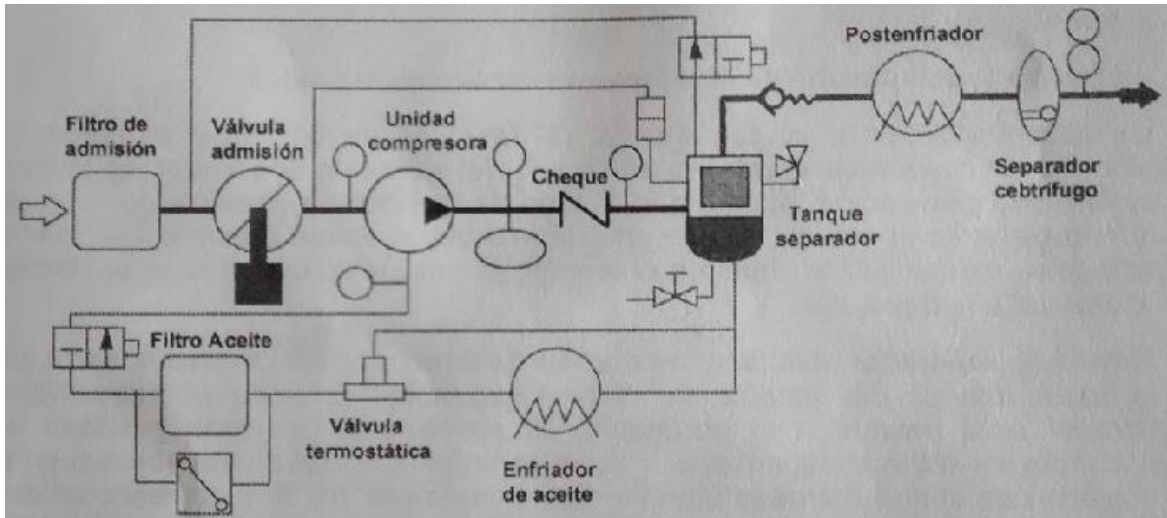


Figura 27. Circuito de Aire y Aceite en un Compresor de Tornillo

Fuente: (Almacenes JJ., 2007)

2.4.5 Aplicaciones de los Compresores de Tornillo

Dentro de las principales aplicaciones que podemos encontrar en la rama de los compresores de tornillos podemos destacar los siguientes usos:

- Líneas industriales de producción.
- Procesos de pintado y aplicación de adhesivos.
- Industria de los muebles.
- Hogar.
- Hospitales.
- Limpiador con arena a presión (Sandblast).
- Industria militar.
- Industria de la construcción.
- Industria Aeronáutica.

- Inyección de plástico.

2.4.6 Componentes Internos y Externos de los Compresores de Tornillo

En la siguiente ilustración veremos cuáles son los componentes internos que traen los compresores de tornillos. (Ver Figuras 28 y 29)

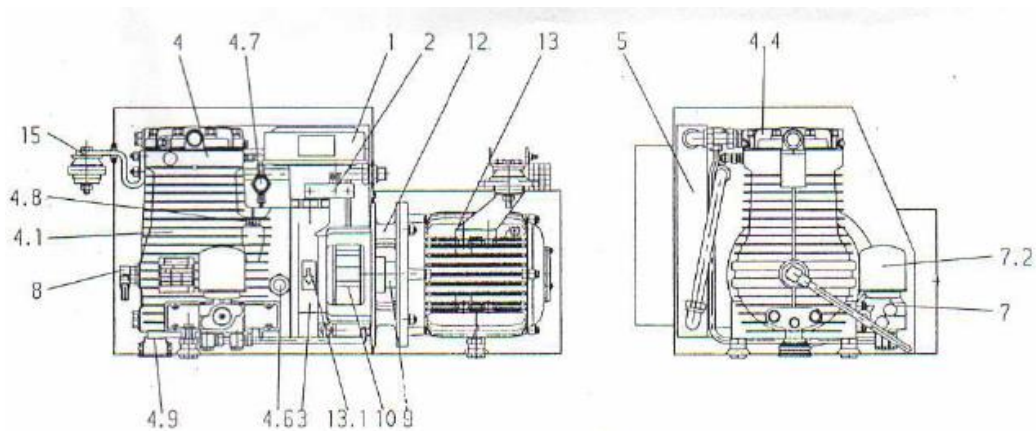


Figura 28. Componentes Externos del Compresor de Tornillo

Fuente: (Lopez Fonseca & Vasquez Godoy, 2007)

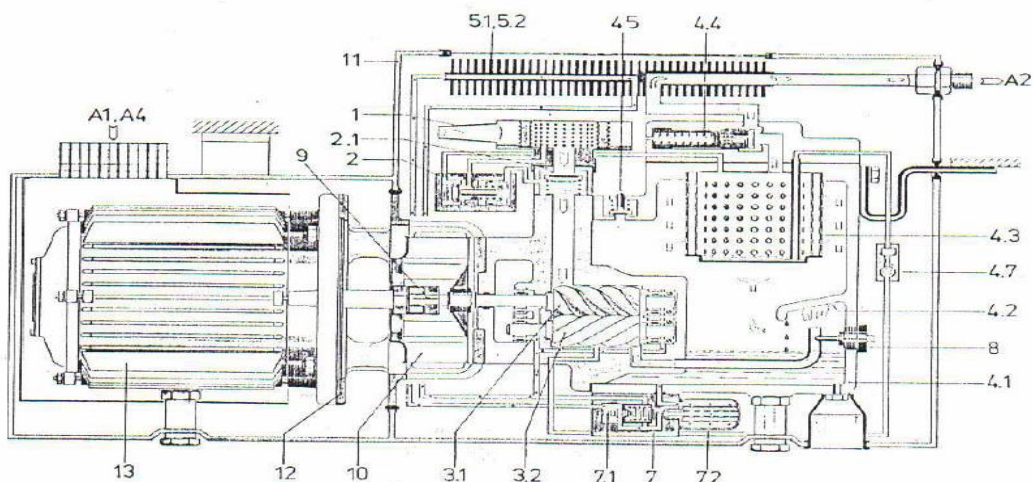


Figura 29: Componentes Internos del Compresor de Tornillo

Fuente: (Lopez Fonseca & Vasquez Godoy, 2007)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Los componentes internos y externos del compresor de tornillo se registran en la Tabla 2

Tabla 2. Componentes Internos y Externos del Compresor de Tornillo. Fuente: (Lopez Fonseca & Vasquez Godoy, 2007)

1 FILTRO DE AIRE	4.6 MIRILLA DE NIVEL DE ACEITE	9 ACOPLAMIENTO
2 VALVULA DE DESCARGA	4.7 MIRILLA ASPIRACION	10 VENTILADOR
2.1 VALVULA DE RETENCION DE ASPIRACION	4.8 VARILA NIVEL DE ACEITE	11 CARCASA
3 BLOQUE DE COMPRESION	4.9 TAPON ROSCADO	12 CUERPO DE UNION
3.1 ROTOR PRINCIPAL	5 REFRIGERADOR	13 MOTOR
3.2 ROTOR SECUNDARIO	5.1 REFRIGERADOR ACEITE	13.1 FLECHA SENTIDO DE GIRO
4 SEPARADOR DE ACEITE	5.2 REFRIGERADOR AIRE	14 INSTALACION ELECTRICA (CAJA DE BORNES)
4.1 CUERPO DEL COMPRESOR	6 RACOR AIRE COMPRIMIDO	15 ALOJAMIENTO ELASTICO
4.2 PARED REBOTADORA	7 UNIDAD DE MANDO DE ACEITE	A1 ENTRADA DE AIRE AL COMPRESOR
4.3 ELEMENTO SEPARADOR DE ACEITE	7.1 ELEMENTO REGULADOR	A2 SALIDA DEL AIRE COMPRIMIDO A LA RED
4.4 VALVULA DE RETENCION DE PRESION MINIMA	7.2 CARTUCHO FILTRO DE ACEITE	A4 AIRE REFRIGERANTE
4.5 VALVULA DE SEGURIDAD	8 INTERRUPTOR TERMICO	

2.4.7 Principales Fabricantes de Compresores de Tornillo alrededor del Mundo

Alrededor del mundo podemos encontrarnos con una alta lista de fabricantes de compresores de tornillo, lo que hace que haya una alta competencia a la hora de comercializar este tipo de dispositivo, a continuación se dará una lista de los principales fabricantes con quienes nos podemos encontrar alrededor del mundo:

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- **Atlas Copco:** Es una empresa dedicada a la fabricación de equipos de aire y gas comprimido, generadores, equipos de construcción y minería, herramientas industriales y sistemas de montaje, hasta el correspondiente servicio postventa y alquiler de maquinaria con más de 130 años de experiencia en el mercado. (www.atlascopco.com, s.f.)
- **Kaeser Kompressoren:** Es uno de los principales proveedores a nivel mundial de equipos neumáticos para ofrecer soluciones a través de productos, servicios y sistemas completos para la generación, tratamiento y suministro del aire comprimido que se emplea como fuente de energía en la industria. Dichas soluciones tienen por objeto optimizar la eficiencia y economía de los sistemas neumáticos. (www.kaeser.com, s.f.)
- **Ingersoll Rand:** Es una empresa industrial diversificada mundialmente, con la experiencia y el conocimiento necesario para ser la mejor solución que satisfaga sus requerimientos, desde completos sistemas de aire comprimido, hasta herramientas, bombas, sistemas de tratamiento de materiales y fluidos, y microturbinas amigables que no dañan el medioambiente. (company.ingersollrand.com, s.f.)
- **Boge:** Empresa líder en Alemania en diseñar, desarrollar, comercializar y mantener sistemas de abastecimiento de aire comprimido para clientes en todos los sectores de la industria, ingenierías y Fabricantes Originales de Equipos (OEMs). (www.boge.com/es, s.f.)
- **Sullair:** Empresa líder en la industria desde 1965, Sullair utiliza su experiencia para brindar soluciones a sistemas de aire comprimido, hoy cuenta con instalaciones de fabricación en diferentes países de tres continentes (Estados Unidos, China y Australia), certificadas con los estándares más altos de calidad ISO 9001. (www.sullair.com, s.f.)

En el medio local contamos con la presencia de varias marcas representativas a nivel mundial como lo son la Ingersoll Rand, Kaeser Kompressoren, Sullair y Atlas Copco, ya que

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

estas cuentan con una alta tecnología en su diseño y fabricación lo que permite verse reflejado en los altos índices de eficiencia y bajo consumo energético que es una parte fundamental en la rentabilidad de las empresas a nivel de Colombia.

2.4.8 Gestión del Mantenimiento Recomendada por los Fabricantes

En la Tabla 3 se describirá paso a paso de cuál es el mantenimiento preventivo y correctivo que recomienda el fabricante de compresores de tornillo Ingersoll Rand para obtener una máxima eficiencia y bajo consumo energético.

Tabla 3. Programa de Mantenimiento de la Serie UP. Fuente: (Ingersoll Rand, 2008)

Periodo	Mantenimiento
Cada 24 horas de Trabajo	Comprobar nivel de refrigerante, rellenar si es necesario
Inspeccionar visualmente la máquina por si tiene fugas o acumulación de polvo y comprobar si produce ruido o vibraciones inusuales.	Informar inmediatamente, contactar con el distribuidor autorizado de Ingersoll Rand en busca de ayuda en caso de duda.
Cuando el compresor sea con deposito montado	Vaciar el condensado del recipiente de almacenamiento del aire o comprobar que esté funcionando el desagüe automático
Comprobar visualmente el estado del filtro previo	Limpiarlo con aire comprimido si se requiere
Primeras 150 horas de trabajo	Cambiar el filtro refrigerante
Cada mes o 100 horas de trabajo	Desmontar y limpiar el filtro previo de la unidad y cambiarlo si fuese necesario. Revisar en el o los refrigerantes si hay acumulación de materias extrañas. Limpiar si es necesario con aire o agua a presión.
Cada año o 2000 horas de trabajo	Verificar el funcionamiento del interruptor de protección de alta temperatura del aire (109°C). Sustituir los elementos y los filtros IRGP y IRHE. Cambiar el filtro del refrigerante.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

	<p>Comprobar el tamiz barrido por si sufre atascos y proceder a limpiarlo.</p> <p>Cambiar el elemento separador.</p> <p>Cambiar el elemento del filtro de aire.</p> <p>Tomar muestra del refrigerante para ser analizado.</p> <p>Cambiar el filtro previo de la unidad.</p> <p>Comprobar las correas de accionamiento.</p> <p>Cambiar el cojinete sellado en motores sin engrasadora.</p>
<p>Inspección externa anual e inspección interna cada 6 años del recipiente presurizado.</p> <p>La frecuencia también puede establecerse en función de la legislación local o nacional.</p>	<p>Recipiente separador y recipiente de almacenamiento si se han montado.</p> <p>Inspeccionar totalmente todas las superficies exteriores y accesorios. Informar acerca de cualquier corrosión excesiva, daños mecánicos o de impacto, fugas u otros deterioros.</p>
<p>Cada dos años o 8000 horas de trabajo</p>	<p>Cambiar correas de accionamiento</p> <p>Sustituir cada intervalo que ocurra primero</p> <p>Inspeccionar y cambiar todos los elementos incluidos dentro del servicio de las 2000 horas de trabajo.</p> <p>Montar las siguientes piezas de reacondicionamiento según proceda:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kit de válvulas de solenoide • Kit de válvulas de entrada • Kit de válvulas de presión mínima • Kit de válvulas de admisión • Kit de válvulas de termostática
<p>Cada 4 años o 16000 horas de trabajo</p>	<p>Reemplazar todos los manguitos</p> <p>Compruebe los motores con las guarniciones de la grasa y la grasa por etiqueta de datos del motor.</p> <p>Montar puntas de contactores eléctricos de repuesto.</p>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

	Cambiar el cojinete sellado en motores sin engrasadora.
--	---

Dentro de los mantenimientos que recomienda el fabricante se debe tener en cuenta cuales son los componentes que requieren de un mantenimiento y la previa sustitución periódica. Además se debe tener muy en cuenta las recomendaciones que se debe de tener al momento de realizar cualquier tipo de mantenimiento como es despresurizar el sistema y verificar que la máquina no se encuentre energizada o conectada a la fuente de alimentación eléctrica.

Una recomendación muy importante en la que hace énfasis el fabricante es el espacio donde se va a instalar el equipo y en donde va a funcionar, por ende también será el lugar donde se irán a realizar las labores de mantenimiento, este espacio debe ser con muy buena ventilación, libre de mucho polvo y con cubierta en el techo para mantenerlo aislado de la lluvia, porque el compresor aspira aire de la atmósfera y si éste se encuentra muy polvoriento, el compresor con el tiempo presentará fallas causando obstrucción en el filtro de aire y otras pueden ir a parar al radiador de refrigeración impidiendo su intercambio de calor. Por todo esto es evidente que la limpieza del lugar de instalación es muy importante para evitar sobre costos en el funcionamiento y el mantenimiento. El rango de temperatura del ambiente debe de estar entre 5 y 45°C, no debe de estar ni por debajo de la temperatura mínima ni superior a la temperatura máxima, si opera con una temperatura ambiente inferior al valor mínimo puede ocurrir que se separe la condensación en el circuito y por consiguiente que se mezcle el agua con el aceite el cual perdería en este caso sus cualidades no garantizando la formación homogénea de la película lubricante entre las partes en movimiento y si se encuentra operando a una temperatura ambiente superior al valor máximo el compresor aspiraría aire demasiado caliente que no permitiría que el intercambiador de calor enfriara adecuadamente el aceite en el circuito, elevando la temperatura de funcionamiento de la máquina y causando la intervención de la protección

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

térmica que para el funcionamiento del compresor cuando se crea un recalentamiento de la mezcla aire/aceite en la salida del tornillo. La temperatura máxima se tiene que medir en el local con el compresor en funcionamiento.

Cuando se va a realizar la sustitución de los consumibles o elementos que ya han cumplido con su periodo de funcionamiento (Horas de Trabajo) como lo es el aceite lubricante, filtros de aceite, filtro separador de aceite, filtro de aire, líquido refrigerante y ajustar los contactos eléctricos, para esto se debe tener en cuenta que la máquina debe de estar completamente parada, sin presión en el tanque pulmón y aislada eléctricamente, cuando ya cumpla con cada una de estas recomendaciones ya se puede proceder a realizar cada uno de los pasos a seguir para cumplir con el cambio de los elementos que han cumplido su vida útil. Estos se deben hacer en base al tiempo de horas de funcionamiento establecidos por el fabricante.

Cada que se realiza una inspección visual o cuando se tiene que realizar cambio de algún elemento se recomienda verificar el estado y tensión de la correa, se puede realizar una verificación rápida para determinar si el ajuste es correcto, observando el lado flojo de la correa por si se forma un ligero arco cuando la unidad esté en funcionamiento. Si este ligero arco resulta evidente, la correa está, por regla general, ajustada satisfactoriamente o también se puede utilizar un dispositivo de medición de la tensión de la correa para determinar la tensión de la misma.

2.5 Bombas de Vacío

Las bombas de vacío son equipos neumáticos muy usados en la industria en diversos procesos, su función principal es extraer moléculas de gases o fluidos para finalmente crear vacío parcial, también son usadas para extraer partículas no deseadas en un elemento, su funcionamiento es el inverso al de un compresor ya que en lugar de expulsar aire, lo que hace la Bomba de Vacío es extraerlo. Ambos equipos tienen como principio de

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

funcionamiento el recorrido de un vástago o pistón por un cilindro y a través de las válvulas se crea una expulsión o una succión de aire.

Las Bombas de Vacío de un Pistón no son lo suficientemente eficientes ya que la succión de aire no es continua por el desplazamiento del pistón ya que en una fase extrae aire y en la otra lo expulsa, para mejorar este inconveniente se usa una Bomba de doble pistón en la cual los pistones funcionan alternativamente con lo cual se logra un flujo permanente, gracias a que cuando un pistón se encuentra en fase de admisión y el otro se encuentra en fase de expulsión logrando así el flujo constante a bajo costo de operación. Por otra parte en la industria son más usadas o es más conveniente usar Bombas de Vacío de Diafragma ya que son mucho más eficientes que las de pistos y sus costos de mantenimiento y operación son muy bajos.

2.5.1 TIPOS DE BOMBAS DE VACIO

2.5.1.1 Bombas de Pistón

Muy usadas en la industria pero requieren de altos costos de mantenimiento y resultan menos eficientes, su principio de funcionamiento es mediante un cilindro y vástago o pistón. (Ver Figura 30)



Figura 30. Bomba de Vacío de Pistón

Fuente: (www.directindustry.es, s.f.)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.5.1.2 Bombas de Diafragma

En la actualidad son las más usadas en la industria gracias a su eficiencia y a los bajos costos de mantenimiento requeridos, su principio de funcionamiento es el desplazamiento positivo de oscilación, mediante dos diafragmas conectados a un pistón, dichos diafragmas se encargan de la succión y la expulsión del aire. (Ver Figura 31)



Figura 31. Bomba de Vacío de Diafragma

Fuente: (<http://www.dimotec.com.ar/bombas.php>, s.f.)

2.5.1.3 Bombas de Paletas

Son bombas volumétricas compuestas por un rotor, paletas deslizantes y una carcasa, en las cuales el rotor genera el movimiento de las paletas para generar la expulsión o la succión. (Ver Figura 32)



Figura 32. Bomba de Vacío de Paletas

Fuente: (www.lima.evisos.com.pe, s.f.)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.5.1.4 Bombas de Tornillo

Funcionan de la misma manera que los compresores de tornillo con la gran diferencia que toman el aire del sistema y lo expulsan al ambiente. (Ver Figura 33)



Figura 33. Bomba de Vacío de Tornillo

Fuente: (www.directindustry.es, s.f.)

2.5.1.5 Bombas de Álabe

El rotor gira libremente dentro del estator el cual posee unas ranuras para que los alabes se muevan libremente estos son empujados a las paredes del estator por la fuerza centrífuga para formar un numero de cámaras igual al de los alabes. El aumento de volumen en las cámaras produce la depresión (fase de aspiración) y la disminución del volumen en las mismas produce la compresión (Fase de descarga). (Ver Figura 34)



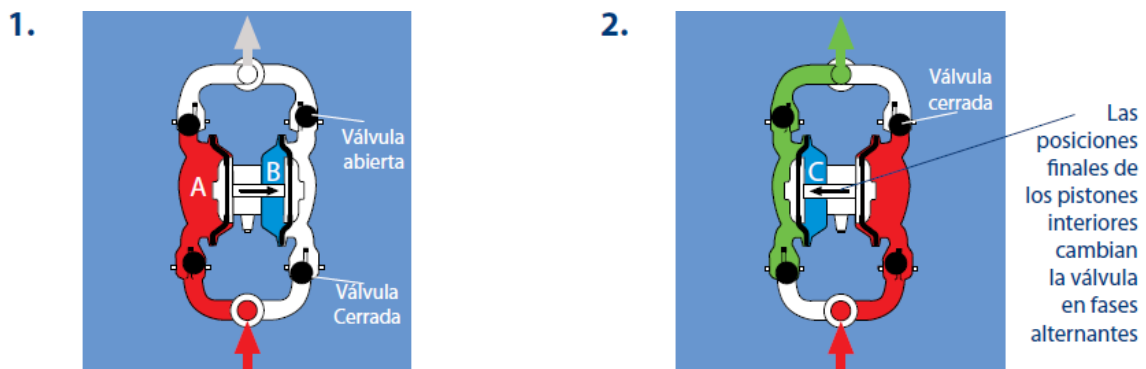
Figura 34. Bomba de Vacío de Álabas

Fuente: (www.vuototecnica.es/companie, s.f.)

2.5.2 Principio de Funcionamiento de las Bombas de Vacío de Diafragma

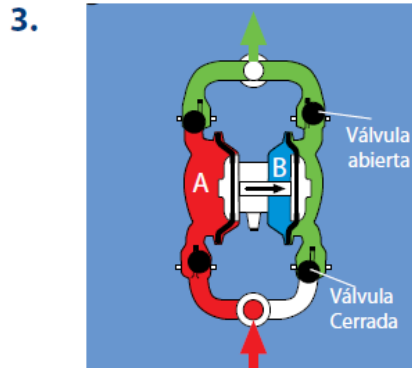
Son diseñadas para trabajar en condiciones de alto de Vacío y son muy eficientes, el vacío se logra a través del sistema de DIAFRAGMAS O MEMBRANAS conectadas a un pistón y son más eficientes que las bombas de paletas, además trabajan en seco, requieren de bajos costos de mantenimiento.

Las bombas neumáticas de doble diafragma funcionan según el principio de desplazamiento positivo de oscilación, con dos cámaras de bombeo enfrentadas. Ambas están divididas por un diafragma en una cámara de aire y una de fluido. Los dos diafragmas están conectados por un pistón, creando el efecto que durante un ciclo, hay producto que es aspirado por una cámara, mientras que por la otra el producto es impulsado. Los cuatro esquemas representan la secuencia de un ciclo completo que consta de aspiración e impulsión, mostrando una bomba neumática de diafragma “llena” y una vacía. El producto se presenta en color rojo (aspirado) o verde (impulsado) para facilitar la demostración. (Ver Figura 35)

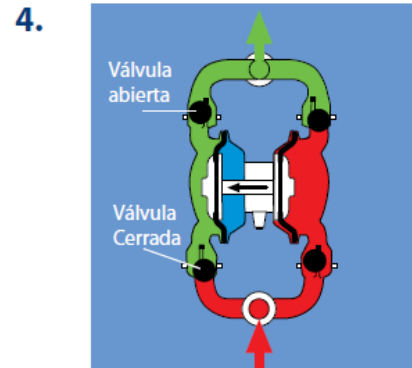


1. En el inicio, el aire presurizado en la región B (que actúa a través de los diafragmas conectados) disminuye la presión en la cámara A.

2. El aire presurizado en la región C actúa sobre el diafragma para desplazar el producto fuera de la bomba.



El proceso continúa al crear de nuevo presión en la región B, esta vez se expulsa el producto de la bomba mientras entra de nuevo producto en la cámara A



El ciclo se repite alternativamente produciendo presión en las regiones B y C mientras que la bomba está en operación.

Figura 35. Funcionamiento de Bomba de Vacío de Diafragma

Fuente: (www.cranechempharma.com, s.f.)

El funcionamiento de las bombas, está basado fundamentalmente en la acción conjunta de cuatro elementos:

- Un par de diafragmas
- Un eje que los une
- Una válvula distribuidora de aire
- Cuatro válvulas de esfera

El movimiento alternativo de los diafragmas, genera la succión y la impulsión del producto a través de las válvulas. Este movimiento es producido por aire comprimido, el cual es distribuido a un diafragma u otro por la válvula de aire. Se describe el funcionamiento a partir de una bomba sin suministro de aire y sin estar previamente cebada.

Una vez conectado el aire comprimido, la válvula distribuidora lo enviará a la parte posterior de uno de los diafragmas, haciendo que el mismo se aleje del centro de la bomba.

Ya que ambas membranas se encuentran unidas por el eje, en el mismo movimiento el diafragma de la izquierda se verá atraído hacia el centro de la bomba, generando una

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

depresión en la cámara de líquido y expulsando al exterior el aire que se encontraba en su parte posterior.

Dada la diferencia de presiones entre la cámara de líquido y el exterior, el producto a bombear ingresa al equipo abriendo la válvula de esfera. Cuando el eje llega al final de su carrera, la válvula distribuidora cambia el sentido del flujo de aire, enviándolo a la parte posterior de la otra membrana. (www.cranechempharma.com, s.f.)

A partir de este momento, ambos diafragmas y el eje efectúan un recorrido inverso al anterior, produciendo el vaciamiento de la cámara de líquido izquierda y generando vacío en la de la derecha (las válvulas de esfera que estaban abiertas se cierran y viceversa debido al cambio de sentido del flujo). Este ciclo se repite indefinidamente mientras esté conectado el suministro de aire, independientemente de si la bomba está alimentada con líquido o no.

Dado que es la presión atmosférica la que impulsa el líquido dentro de la bomba una vez producido el vacío, la presión de succión máxima teórica del equipo es de 101,3 kPa, llegándose en la práctica a valores cercanos a los 70 kPa (aproximadamente 7 m de columna de agua). (www.cranechempharma.com, s.f.)

En cambio, la presión que impulsa al producto, es directamente la presión de aire entregada, ya que líquido y aire están solamente separados por el diafragma.

Las bombas admiten una presión máxima de aire de 600 u 800 kPa (según el modelo), lo que equivale a elevar una columna de agua a 60 u 80 m. (www.cranechempharma.com, s.f.)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.5.3 Componentes Internos de las Bombas de Vacío de Diafragma (Ver Figura 36)

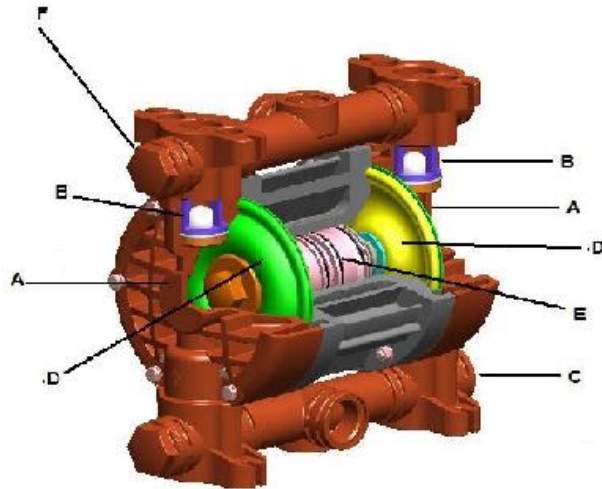


Figura 36: Componentes Internos de Bomba de Vacío de Diafragma

Fuente: (alpha-dynamic.gr)

- A-Válvulas de bola
- B-Cámara de bombeo
- C1-Membrana lado del producto
- C2-Membrana lado del Aire
- D-lector de aspiración
- E-Colector de descarga
- F-Motor neumático

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.5.4 Principales Fabricantes de Bombas de Vacío de Diafragma a Nivel Global

- **Graco Pumps:** Desde 1926, Graco Inc. ha sido un proveedor líder de bombas y equipos de pulverización de primera calidad para la manipulación de fluidos en las industria de la construcción, fabricación procesamiento y mantenimiento. (www.graco.com, s.f.)
- **DAPAAir:** Crane Chempharma es una empresa dedica al diseño y la construcción de herramientas de ingeniería con un fuerte manejo en la fabricación de bombas de vacío de doble diafragma. (www.cranechempharma.com, s.f.)
- **Yamada:** Empresa dedicada a la fabricación, prestación de servicio y soporte técnico para la línea completa de bombas de doble diafragma para el Norte, Centro y Sudamérica. (www.yamadapump.com, s.f.)
- **Lincoln:** Empresa que ofrece una alta gama de bombas de presión media y alta utilizadas para el bombeo de lubricantes y otros fluidos, entre sus productos se destacan las bombas de pistón, bombas de diafragma y sistemas de aceite a granel. (www.lincolnindustrial.com, s.f.)

2.5.5 Materiales de Fabricación de Bombas de Vacío de Diafragma (Ver Tablas 4, 5, 6, 7 y 8)

Tabla 4. Opciones de Material, Cuerpo de Bomba. Fuente: (www.cranechempharma.com, s.f.)

FA	ALUMINIO
CA	FUNDICION DE HIERRO
CX	FUNDICION DE HIERRO
SA	FUNDICION DE ACERO INOXIDABLE 316L
SS	FUNDICION DE ACERO INOXIDABLE 316L
SX	FUNDICION DE ACERO INOXIDABLE 316L
SF	FUNDICION DE ACERO INOXIDABLE 316L ELECTRO PULIDO
SLV	ACERO INOXIDABLE 304 PULIDO

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

SUV	ACERO INOXIDABLE 316L PULIDO
UEV	ACERO INOXIDABLE 316L PULIDO
PP	POLIPROPILENO
PL	POLIPROPILENO, ELECTROCONDUCTIVO
PM	POLIPROPILENO, INYECTADO
PV	PCDF
PT	PTFE
TL	PTFE, ELECTROCONDUCTIVO

Tabla 5. Opciones de Material, Bloque Central. Fuente: (www.cranechempharma.com, s.f.)

FA, SA, CA	ALUMINIO
SX, CX	BRONCE
SFS, SS, SLV, SUV, UEV	FUNDICION DE HIERRO
SF	ALUMINO, RECUBIERTO DE NIQUEL
PP, PM, PT	POLIPROPILENO
PL, TL	POLIPROPILENO, ELECTROCONDUCTIVO

Tabla 6. Opciones de Material, Válvulas de Bolas. Fuente: (www.cranechempharma.com, s.f.)

B	NSR
E	EPDM
F	FKM
G	EPDM Gris
N	NBR
R	Acero Inoxidable
T	PTFE
V	NSR/ Núcleo de Acero
W	EPDM/ Núcleo de Acero
X	EPDM Gris/ Núcleo de Acero

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Y	NBR/ Núcleo de Acero
Z	PTFE/ Núcleo de Acero

Tabla 7. Opciones de Material, Diafragmas. Fuente: (www.cranechempharma.com, s.f.)

B	NSR
E	EPDM
F	FKM
G	EPDM Gris
N	NBR
P	PTFE (DH Sólo)
S	DEPA Nopped (Santopreno)
T	PTFE
U	EPDM Gris (DH Sólo)
Z	DEPA Nopped (Diafragama de PTFE DEPA E)

Tabla 8. Opciones de Material, Asientos de Válvula. Fuente: (www.cranechempharma.com, s.f.)

B	NSR
E	EPDM
F	FKM
G	EPDM Gris
H	Acero Inoxidable sólo DB
N	NBR
R	Acero Inoxidable
T	PTFE

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Para el cuerpo de las bombas de vacío se usan materiales dependiendo su aplicación a continuación nombraremos algunos de ellos:

- **Aluminio:** Es el más usado por ser un material ligero y de propiedades versátiles ideal para el bombeo de alcoholes, pinturas, gasolinas y aceites. (www.cranechempharma.com, s.f.)
- **Polipropileno:** resistencia a productos químicos en general y la corrosión. Está disponible en versión electro conductiva para atmosferas clasificadas. Ideal para bombeo de ácidos, bases y disolventes. (www.cranechempharma.com, s.f.)

Aplicaciones industria química en general y plantas de aguas residuales.

- **Fundición Hierro:** Hierro dúctil o hierro fundido nodular (grafito esferoidal), con propiedades mecánicas más resistentes. Es indicado para aplicaciones con materiales abrasivos, alcoholes, hidrocarburos y aceites. (www.cranechempharma.com, s.f.)

Aplicaciones: Industria pesada (extracción y transformación de materias primas), productos abrasivos.

- **PTFE:** Material Termoplástico con mayor resistencia química a la corrosión. Indicado para ácidos y bases concentrados. (www.cranechempharma.com, s.f.)

Aplicaciones: Todos los productos químicos, incluyendo aplicaciones en atmosferas clasificadas EX. (www.cranechempharma.com, s.f.)

- **Acero inoxidable:** Fundición de acero austenítico muy resistente a la corrosión. Indicado para aplicaciones con ácidos, bases y disolventes. (www.cranechempharma.com, s.f.)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Aplicaciones: Productos químicos diversos, industria alimentaria y farmacéutica.

2.5.6 Principales Aplicaciones de Bombas de Vacío de Diafragma

(www.cranechempharma.com, s.f.)

Las Bombas de Vacío de Diafragma son una herramienta muy versátil en la industria ya que se acomodan a infinidad de aplicaciones las cuales mencionaremos a continuación:

- **Industria farmacéutica y cosmética:**

En estos procesos se deben cumplir unas normas de higiene y limpieza de los componentes del sistema.

- **Industria Alimenticia:**

Son diseñadas para proporcionar un flujo de producto suave, sin efectos de cizallamiento en aplicaciones de alimentos, especiales para fabricación de bebidas.

- **Pinturas y Barnices:**

Incluye varias aplicaciones intermedias. Dosificación de productos químicos y mezcla de pinturas.

- **Tanques\Cisternas:**

Operan en forma efectiva en aplicaciones como el vaciado de depósitos o cisternas. Los fluidos a bombear pueden ser tan diferentes como disolventes, ácidos o productos muy alcalinos.

- **Aplicaciones Industriales y Químicas**

La selección de materiales de cuerpo y elastómeros hace que las bombas de diafragma sean aptas para la mayoría de aplicaciones, fluidos corrosivos o altamente agresivos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Una característica muy importante de las Bombas de Vacío es que pueden ser modificadas fácilmente para cambiar de una aplicación a otra simplemente cambiando los diafragmas, las bolas y los asientos.

2.5.7 Mantenimiento y Solución de Averías Recomendadas por el Fabricante (Ver Tabla 9 y Figura 37) Fuente: (www.cranechempharma.com, s.f.)

Tabla 9. Mantenimiento y Solución de Averías Recomendadas por el Fabricante

PROBLEMA	CAUSA	SOLUCION
Hay burbujas de aire en el fluido	La línea de aspiración esta floja, o no se ha puesto suficiente sellador de roscas	Apriete las conexiones de la línea de aspiración. Utilice cinta PTFE o in líquido sellador compatible en todas las conexiones.
	El diafragma (401) está roto.	Cambie el diafragma
	Los colectores (102) están flojos o las juntas toricas (108) están dañadas.	Apriete los pernos (104) o las tuercas (106) del colector; cambie las juntas toricas (108).
	Las placas externas del diafragma (103) están flojas.	Apriete las placas.
Presencia de fluido en el aire de evacuación.	El diafragma (401) está roto.	Cambie el diafragma
	Las placas externas del diafragma (103) están flojas.	Apriete las placas.
La bomba evacua aire durante la puesta en marcha.	La cubeta de la válvula (5) o la placa (13) están desgastadas.	Cambie estas piezas.
	Las juntas del eje (30) están desgastadas.	Cambie las juntas.
La bomba evacua aire por las bridas.	Las bridas (111) están flojas.	Apriete las tuercas de las bridas (113).
La bomba evacua aire por la zona de la válvula neumática.	Los tornillos de la válvula neumática (15) están flojos.	Apretar los tornillos.
	La válvula neumática o la junta torica (19) están dañadas.	Revise, cambie la junta torica.
La bomba presenta fugas de fluido por las válvulas de retención.	Las juntas toricas (108) están desgastadas o dañadas.	Revise, cambie la junta torica.

Ver Anexo 1, página 162

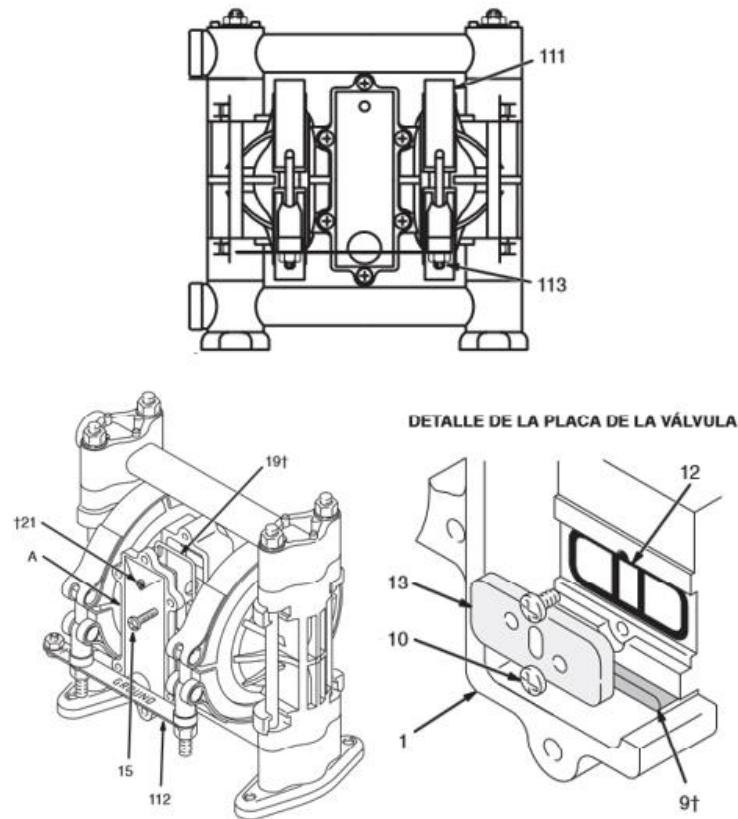


Figura 37. Partes a Reparar Según Avería

Fuente: (www.cranechempharma.com, s.f.)

Algunas de las recomendaciones que hace el fabricante antes de poner por primera vez en marcha el equipo son:

- Lave la bomba con agua antes de usarla ya que las pruebas iniciales se hacen con agua y esta puede contaminar el fluido bombeado, por ello la bomba se debe lavar con un fluido compatible antes de usar el líquido con el cual va a trabajar.
- Se debe tener mucha precaución en caso de usar fluidos tóxicos ya que pueden provocar daños serios al entrar en contacto con los ojos o la piel, en estos casos se deben cumplir estrictamente todas las normas de seguridad para el manejo de este tipo de fluidos para prevenir accidentes.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- Siempre se debe seguir el procedimiento de descompresión para evitar que se produzcan daños o accidentes al momento de liberar la presión.

PROCEDIMIENTO DE DESCOMPRESIÓN:

- Cierre el suministro de aire de la bomba.
- Abra la válvula surtidora
- Abra la válvula de drenaje del fluido para liberar la presión del mismo. Tenga preparado un contenedor para recoger el fluido drenado.

LUBRICACIÓN

La válvula neumática ha sido diseñada para funcionar sin lubricante, aunque se puede lubricar si se desea: cada 500 horas de funcionamiento, extraiga la manguera de la entrada de aire a la bomba y añada dos gotas de aceite para máquinas en la entrada de aire.

Se debe tener precaución de no lubricar la bomba en exceso, ya que puede salir aceite por el silenciador, lo cual puede contaminar el fluido u otro equipo. Una lubricación excesiva puede provocar mal funcionamiento de la bomba.

LIMPIEZA Y ALMACENAMIENTO

Lave la bomba con una frecuencia suficiente para evitar que se seque o se congele el fluido bombeado ya que podría dañar la bomba. Es muy importante usar un disolvente compatible.

Para almacenar la bomba siempre se debe liberar la presión según el procedimiento y debe ser lavada.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

3. METODOLOGÍA

Inicialmente haremos recolección de información tomada desde internet y algunos libros especializados en el tema descargados desde la base de datos de google académico, posterior a eso realizaremos visitas a las bibliotecas públicas de la ciudad y de la institución, como también haremos consultas en las bases de datos de la Institución Universitaria ITM (science direct, IEEE).

Se programaran visitas empresariales a entidades en las cuales hay gran uso de estos equipos y otras que prestan el servicio de venta autorizada, distribución y mantenimiento de estos equipos en las que podremos recopilar mucha información la cual será de gran importancia para la realización de nuestra investigación y de la cual podremos sacar conclusiones a cerca del tratamiento que se les da a los equipos de compresión y bombas de vacío en la industria, con el objetivo principal de implementar El Plan de Gestión de Mantenimiento más adecuado y completo el cual beneficie a toda la industria Colombiana.

Durante esta investigación tendremos programadas varias visitas empresariales inicialmente a dos empresas muy importantes ya que en estas se da gran uso a los equipos a continuación nombramos las entidades las cuales nos brindaran información y el tratamiento que le dan a la Gestión de Mantenimiento de los Equipos de Compresión y Bombas de Vacío:

Algunas de las visitas ya concertadas son:

- Metro de Medellín, empresa de transporte masivo del área Metropolitana tiene sistema de aire comprimido en el área de Talleres Patios de Bello dicho sistema es usado para el uso de herramientas neumáticas tales como cabina de pintura, máquina de lavado de trenes, alimentación externa a trenes en las vías donde no

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

existe catenaria, pistolas neumáticas y otros usos. Todos los trenes y vehículos auxiliares ferroviarios del Metro de Medellín cuentan con sistema de aire comprimido estando presentes en vehículos auxiliares y trenes MAN los compresores de pistón y en los trenes CAF compresores de tornillo, a todos estos equipos se les realiza la Gestión de Mantenimiento en la empresa, en dicha visita se podrán detectar posibles fallas o procedimientos a corregir mediante nuestra investigación.

- Almacenes JJ SA, empresa dedicada a la venta y/o distribución de repuestos y equipos neumáticos (compresores y bombas de vacío), prestación de servicio técnico y de mantenimiento, montajes, alquiler de equipos y asesorías a empresas de alto reconocimiento a nivel comercial e industrial en Colombia.

Luego se procederá a elaborar Plan para la Gestión del Mantenimiento para Sistemas de Compresores y Bombas de Vacío en el cual se encuentren todas las pautas y procedimientos para la Gestión de Mantenimiento.

4. DISEÑO DE GESTION DE MANTENIMIENTO PARA SISTEMAS DE COMPRESION Y VACIO

4.1 Pautas de Seguridad a Tener en Cuenta Antes de una Actividad de Mantenimiento

Antes de efectuar cualquier tipo de mantenimiento es recomendable tener todos los elementos de protección personal como son: Tapa oídos, Casco, Gafas, Guantes dieléctricos, Botas de Seguridad, Overol, entre otros.



Figura 38: Seguridad Industrial

Fuente: (Almacenes JJ., 2007)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Se debe demarcar el área de trabajo con cinta de señalización para evitar que personal externo al de mantenimiento se abstenga de circular por la zona y así evitar accidentes e incidentes.

Se debe desenergizar el circuito de alimentación del equipo a intervenir y a su vez colocar un sello o candado de seguridad en la caja de breakers para evitar que algún personal de mantenimiento energice por error el equipo el cual se está interviniendo en el momento.

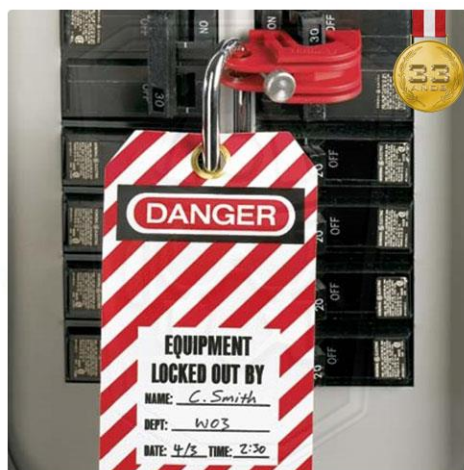


Figura 39: Candado Seguridad en Caja de Breakers

Fuente: (Almacenes JJ., 2007)

4.2 Diseño de Plan de Mantenimiento para Compresores de Pistón

4.2.1 Mantenimiento Preventivo

Una vez se realiza la puesta en marcha de un compresor, se recomienda estructurar un estricto plan de mantenimiento preventivo con el fin de alargar su vida útil y reducir los paros innecesarios, además es importancia implementar una planilla de seguimiento donde se incluya un registro rutinario de las condiciones de funcionamiento del sistema con el fin de acompañar el desempeño del equipo durante cada año con el propósito de detectar problemas inminentes, además en caso de una falla, esta información podrá ser usada para reconstruir la serie de sucesos que ocasionarían la falla.

Para poder establecer un patrón de medición es recomendado instalar un horómetro a la unidad compresora, si esta no lo posee, con el fin de medir el tiempo transcurrido y así

poder establecer situaciones de mantenimiento, prevención y precisión de actividades a ejecutarse.

Ubicación de la unidad.

Es recomendable ver manual del fabricante donde se especifican temperaturas ideales de trabajo así como también las distancias mínimas recomendadas para su instalación. Es de vital importancia fijar la unidad en una superficie de pavimento solido que soporte su peso además se deben agregar soportes elástico debajo cada base del compresor con el fin de minimizar las vibraciones y reducir los ruidos producto de su funcionamiento.

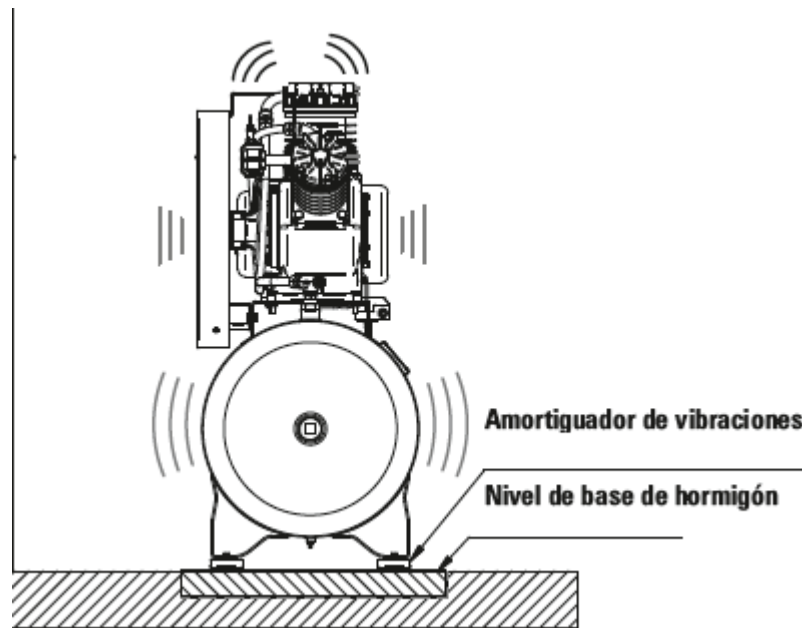


Figura 40: Correcta Ubicación de Compresor de Pistón

Fuente: (Ingersoll Rand, 2008)

Los compresores deben ser inspeccionados regularmente, sus intervalos serán determinados por la severidad de las condiciones de funcionamiento. Un buen plan de mantenimiento se inicia con una rutina de inspección diaria:

Antes de la puesta en marcha del equipo inspeccione: el nivel de aceite sea el adecuado, drenar el tanque de almacenamiento, inspección visual verificando que no exista obstrucción en polea o unidad compresora.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Una vez se proceda con el encendido de la unidad tomar el tiempo que tarde el equipo en cargar (llegar a su presión máxima de trabajo) luego se procede a generar consumo en el compresor con el fin de que cargue de nuevo, tomamos tiempos que tarde de llegar de presión mínima a presión máxima de trabajo (esto con el fin de cerciorarnos que el compresor este cumpliendo con el régimen de trabajo normal entre un 70% en carga y un 30% en paro), Verificamos que no existan vibraciones anormales o ruidos extraños así como también verificamos la temperatura en el motor buscando que no exista recalentamiento. Si al equipo se le está realizando un seguimiento diario esta información será descargada en dicha planilla para ser analizada al momento de que ocurra una falla.

Cambio del aceite

Cada fabricante recomienda un lubricante específico, es recomendado utilizar dicho lubricante o uno con las características similares ya que luego de múltiples estudios garantizan que con este tipo de lubricante hay un mayor aprovechamiento de la vida útil de las piezas que componen el compresor en su interior. El cambio del aceite se debe realizar alrededor de 3 meses o cada 500 horas de trabajo.

Pasos para el cambio de aceite:

1. Quitar tapón de aceite en tapa de cárter.
2. Quitar tapón drenaje de aceite y dejar que el aceite sea vertido en un adecuado recipiente.
3. Colocar tapa drenaje de aceite
4. Verter aceite hasta que la mirilla quede totalmente cubierta.
5. Coloque tapa de aceite y apriete únicamente con la mano.



Figura 41: Tapa de Carter

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Fuente: Visita Almacenes JJ

Nota: Si al realizar el drenaje del aceite lubricante encontramos residuos de herrumbre o limalla se recomienda hacer una limpieza interna del Carter antes de proceder con la sustitución del nuevo aceite, además de cambiar el empaque de la tapa del Carter.

Adicionalmente se puede instalar un sensor indicador de nivel de aceite el cual cumple la finalidad de apagar automáticamente la unidad cuando están con un nivel mínimo de aceite.

Condensado en unidad

No es frecuente encontrar condensado en el funcionamiento de un compresor, cuando ocurre se da debido a una elevada humedad relativa del aire y cuando la temperatura en los cilindros durante la admisión es menor que la del aire en la atmósfera, por ende se presentará condensación. Ejemplo de ello, las paredes en el cilindro en la primera etapa de un compresor de dos etapas se debe mantener a 100°F cuando la temperatura del aire de admisión sea de 80°F. Una elevada temperatura del aire en la descarga produce una rápida oxidación del aceite, además residuos de sedimentación en las válvulas de admisión y descarga.



Figura 42: Condensación en Unidad Compresora

Fuente: Visita Almacenes JJ

Si se presenta condensado en el aceite en la unidad se recomienda instalar un filtro de sílica, de ser necesario usa un aceite con mayor viscosidad.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	



Figura 43: Filtro de Sílica

Fuente: Visita Almacenes JJ

Nota: Cuando el filtro empieza a tomar un color oscuro, se debe realizar cambio del filtro.

Cambio del filtro de admisión

La limpieza del filtro de admisión debe realizarse una vez por semana, se realiza soplando el filtro con aire comprimido desde el interior del filtro hacia su exterior, nunca utilice presiones mayores que 40 psi.

Para el cambio del filtro de admisión se procede con la apertura de las abrazaderas, se retira el filtro de admisión saturado y se sustituye por el nuevo, luego se procede con la apertura de las abrazaderas. Reemplace el elemento filtrante trimestralmente o a cada 600 horas.



Figura 44: Filtro de admisión

Fuente: Visita Talleres del Metro

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Ajuste de banda

El ajuste en la banda se realiza para evitar desgaste prematuro o desliz en la banda. Se recomienda semanalmente comprobar la tensión en la banda la cual se puede hacer rápidamente observando si hay un leve arco en el lado flojo de la banda cuando la unidad está en operación, si lo hay la banda está correctamente ajustada o con una variación en la tensión de la banda entre 1cm máximo 2cm o 3/8 a 1/2.

La banda debe quedar alineada y se realiza trimestralmente o cada 500. Para ello, es necesario que la polea del motor y el volante de la unidad compresora también estén alineados. Observe la figura

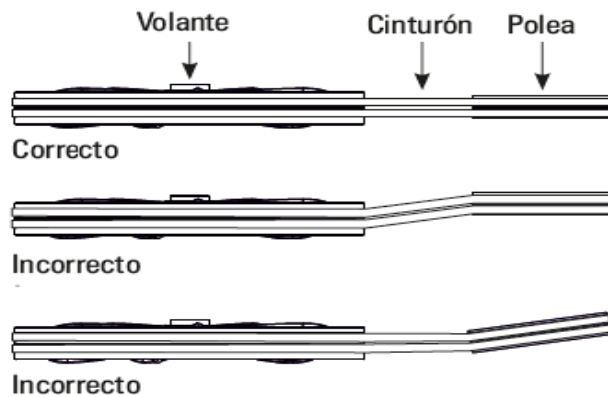


Figura 45: Ajuste Correcto de la Banda

Fuente: (Ingersoll Rand, 2008)

Cambio de rodamiento

El motor eléctrico y el cigüeñal (montado en fábrica) poseen rodamientos auto lubricado. La duración o vida útil de un rodamiento está definido por el número de horas de giro a una velocidad constante, La duración nominal es un término definido por la AFBMA (Anti-Friction Bearing Manufacturers Association) y lo emplean la mayoría de fabricantes de rodamientos por esto su frecuencia de cambio será establecida por el fabricante del rodamiento empleado.



Figura 46: Rodamiento de Cigüeñal

Fuente: Visita Almacenes JJ

Detección de fugas

Se recomienda Verificar todas las señales de descarga del sistema para ver si no hay fugas de aire alrededor de juntas, válvulas, conexiones, tuberías y los acoples, usando solución jabonosa trimestralmente o cada 500 horas.

4.2.2 Mantenimiento Correctivo

Este tipo de mantenimiento ocurre en unidades compresores debido a: la falta de implementación de un riguroso plan de mantenimiento preventivo, no tener en cuenta las indicaciones arrojadas por el plan de mantenimiento predictivo, un error humano a la hora de realizar una mala instalación de una pieza cambiada o la operación en ambiente agresivo que reduzca la vida útil de sus partes.

En el Anexo 2, página 163 se puede ver el paso a paso de un mantenimiento correctivo ejecutado a un compresor de pistón.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Localización de fallas en equipo

Tabla10. Fallas y posibles soluciones de los compresores de pistón. **Fuente:** Autores.

DEFECTOS EVENTUALES	CAUSA PROBABLE	SOLUCIÓN
Motor no Arranca o no enciende. Nota: No insista en poner en marcha el motor sin antes constatar y eliminar la causa del problema	1. banda muy estirada 2. voltaje de línea incorrecto 3. Motor eléctrico averiado 4. tanque de almacenamiento lleno de aire. 5. cableado o panel de servicios demasiado pequeño. 6. contacto incorrecto de los terminales del motor o conexiones del arrancador. 7. incorrecta selección de termo magnético.	1. Ajústela a la tensión requerida 2. revise voltaje de línea y mejore de ser necesario. 3. reemplazo de ser necesario. 4. El motor eléctrico funcionará cuando disminuya la presión en el Tanque de almacenamiento. 5. instale cableado o caja de servicios correctamente dimensionados. 6. proveer buen contacto de los terminales del motor o conexiones del arrancador. 7. instale el termo magnético adecuado.
Producción de aire reducida (manómetro permanece indicando una presión inferior a la nominal de trabajo).	1. Demanda del sistema superior a la capacidad del compresor 2. Elemento filtrante obstruido. 3. Pérdidas de aire en el compresor.	1. Redimensione el compresor si es necesario 2. Reemplácelo. 3. Reajuste los tornillos y/o las conexiones.
Sobrecalentamiento del bloque compresor.	1. Elevada temperatura ambiente (máx. 40°C). 2. Demanda del sistema superior a la capacidad del compresor. 3. Elemento filtrante obstruido. 4. Aceite lubricante incorrecto o bajo nivel de aceite. 5. Carbonización de válvulas de admisión y descarga.	1. Mejore las condiciones de instalación. 2. Redimensione el compresor si es necesario. 3. Reemplácelo. Utilice el aceite recomendado por fabricante, verifique el nivel y repóngalo 5. Proceda a la limpieza de la misma a cada 1000 horas, o 9 meses (lo que suceda primero).
Nivel de ruido o golpes anormales.	1. Elementos de fijación flojos. 2. Volante/polea motora/banda y protector de banda flojos. 3. Volante/polea motora/correa y protector de correa desalineados.	1. Localícelos y reajústelos. 2. Reajuste y tense la banda. 3. tome correctivos de alineación.
Compresor no reenciende	1. presostato pegado o dañado 2. tanque de almacenamiento con carga máxima	1. efectúe cambio. 2. induzca trabajo para que unidad cargue.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Presión en tanque de almacenamiento se eleva rápidamente o partidas muy frecuentes (lo normal es un entorno de 6 o máximo 7 veces por hora).	<ol style="list-style-type: none"> Exceso de agua en el tanque de almacenamiento. Demanda del sistema superior a la capacidad del compresor. 	<ol style="list-style-type: none"> Drene el reservatorio a través del purgador. Redimensione el compresor.
Temperatura elevada del aire comprimido.	<ol style="list-style-type: none"> Acúmulo de polvo/tinta sobre el compresor. Elemento filtrante obstruido. Elevada temperatura ambiente (máx. 40°C). 	<ol style="list-style-type: none"> Limpie el compresor externamente (Utilice manguera de aire más larga). Reemplácelo. Mejore las condiciones de instalación.
Consumo excesivo de aceite lubricante. Nota: Es común que el compresor consuma más aceite en las primeras 200 horas de servicio o 2 meses, hasta el asentamiento de los anillos.	<ol style="list-style-type: none"> Demanda del sistema superior a la capacidad del compresor. Elemento filtrante obstruido. Pérdida. Elevada temperatura ambiente (máx. 40°C). 	<ol style="list-style-type: none"> Redimensione el compresor. Reemplácelo. Localícela y elimínela. Mejore las condiciones de instalación.
Desgaste prematuro de los componentes internos de la unidad compresora.	<ol style="list-style-type: none"> Operando en ambiente agresivo. No fue realizado el cambio de aceite en el intervalo recomendado. 	<ol style="list-style-type: none"> Proceda al reemplazo de los componentes, mejore las condiciones locales. Proceda al reemplazo del aceite

4.2.3 Mantenimiento Predictivo

La implementación de un plan de mantenimiento predictivo en compresores de pistón pretende evaluar elementos vitales en un normal desempeño del compresor como lo son: estado de rodamientos, motor, tanque de almacenamiento, red de distribución neumática.

Análisis de vibraciones

Mediante un análisis de vibraciones es posible predecir la falla de un rodamiento generada por desgastes en componentes como pistas y elementos rodantes en compresores de pistón; sin embargo, mediante esta técnica no es posible predecir el reviente o fisura de una jaula del rodamientos, lo que genera un daño inminente y súbito en la máquina.

Es importante conocer la información sobre datos técnicos como lo son: potencia, rpm, rodamientos (datos geométricos), además identificar en el manual de mantenimiento recomendado por el fabricante las posibles causas de averías además conocer los noveles

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

de vibración a causa de los cambios en las condiciones de operación (carga, temperatura, velocidad).

Se recomienda realizar análisis de vibraciones cada tres meses o 500 horas de trabajo. En la gráfica se observaran los puntos de medición en motor de unidad.

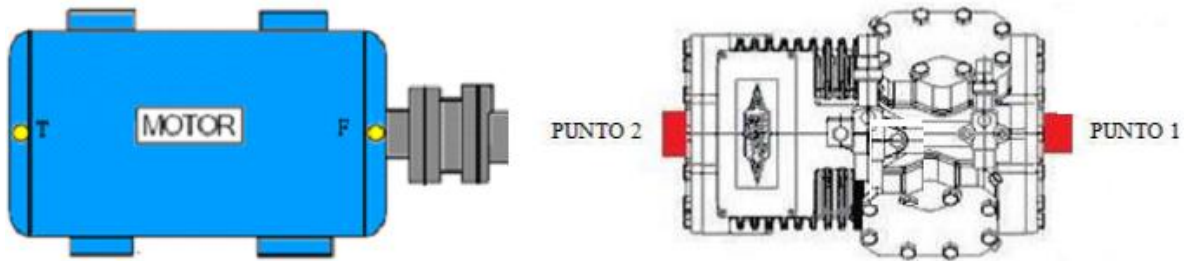


Figura 47: Puntos de Medición en Análisis de Vibraciones

Fuente: (Ingersoll Rand, 2008)

Tabla 11. Puntos de Medición en Análisis de Vibraciones. **Fuente:** Autores

PUNTOS DE MEDICION	
MOTOR ELECTRICO	
PUNTO FRONTAL	VERTICAL (FV)
	HORIZONTAL (FH)
	AXIAL (FA)
PUNTO TRASERO	VERTICAL (TV)
	HORIZONTAL (TH)
	AXIAL (TA)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Tabla 12. Puntos Inspeccionados en el Análisis de Vibraciones. **Fuente:** Autores

PUNTOS A INSPECCIONAR EN EL ANALISIS DE VIBRACIONES
--

CORRECTIVOS EN MAQUINAS	ABREVIATURA
Cambio de Rodamientos	ROD.
Alineación	ALI.
Fracturas en tensores y/o estructura	FRAC.MEC.
Balanceo dinámico	BAL.DIN.
Holguras radiales	HOLG.
Poleas descobajadas	POL.DES.
Lubricación	LUB.
Tensión y/o estado de bandas	TEN.BAN.
Desajuste mecánico	DES.MEC.
Problemas eléctricos	ELEC.
Carga en vacío	VAC.

Tabla 13. Resumen Anual del Análisis de Vibraciones. **Fuente:** Autores

RESUMEN ANUAL DE ANALISIS DE VIBRACIONES EN LAS MAQUINAS

NIVELES DE CRITICIDAD	ENERO	ABRIL	JULIO	OCTUBRE
BIEN				
SEGUIMIENTO				
CAMBIO				
SIN MEDIDA (S.M)				

Análisis de ultrasonido

Los instrumentos de ultrasonido convierten los sonidos al rango audible humano facilitándonos detectar fallas en la red del sistema de aire comprimido evitando que el compresor trabaje durante periodos más largos así como también se incrementen los costos en la producción del aire comprimido.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Las válvulas con fugas producen un flujo turbulento cuando el fluido se mueve del lado de alta presión hacia el lado de baja presión, Al pasar cualquier gas (aire, O₂, N₂, etc.) por un orificio de fuga, este genera un flujo turbulento que tiene componentes de alta frecuencia detectable y los cuales generan una marcación visible del punto sobre el cual se requiera una corrección inmediata.

Una vez es detectada la marcación de fuga queda identificado el sitio específico donde se debe realizar la corrección. Es recomendado ejecutar el análisis de ultrasonido cada 3 meses o 500 horas de trabajo con el fin de evitar que una fuga se prolongue en el tiempo.

Análisis del lubricante

Con el análisis del lubricante lo que se pretende es determinar el estado del mismo a la hora que se le realiza su estudio con el fin de maximizar su aprovechamiento en primer lugar, reducir el desgaste del equipo, analizar sus niveles de contaminación, degradación y finalmente su desgaste y vida útil restante.

El Análisis de aceites consiste en la realización de un test físico-químicos al aceite con el fin de determinar si el lubricante se encuentra en condiciones de ser empleado, o si debe ser cambiado. Es una técnica simple, la cual proporciona información al Administrador de Mantenimiento, con respecto a las condiciones de operación del equipo, la cual debe ser analizada por el laboratorio de confianza.

4.3 Diseño de Plan de Mantenimiento para Compresores de Tornillo

4.3.1 Mantenimiento Preventivo

Pautas para un adecuado almacenamiento

Durante el tiempo que se encuentra el compresor sin ser instalado es aconsejable almacenarlo en un lugar seco con temperaturas que se encuentren entre +5°C y 45°C en un lugar donde se pueda evitar al máximo el contacto con la acción de agentes atmosféricos (Polvo, Humedad, etc.).

Mientras el compresor espera para ser puesto en funcionamiento o esté en paro debido a interrupciones de producción, se debe proteger con lonas para evitar que el polvo se deposite en los mecanismos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

A continuación veremos el paso a paso que se debe seguir para la elaboración de cualquier rutina de mantenimiento en un compresor de tornillo:

Primero que todo se debe verificar que el interruptor del compresor se encuentre en modo "Off" o en la posición "O", después se procede a aislar o desconectar el compresor de la red neumática y ya a despresurizar en su totalidad el compresor.



Figura 48: Válvula de Despresurización

Fuente: Visita Industrias Corona

Cambio de Aceite

Por recomendaciones y cuestiones de garantía es aconsejable no usar otro aceite diferente al que nos dice el fabricante. Nunca se deben mezclar distintos tipos de aceite, además verificar que el circuito por donde circula el aceite se encuentre totalmente vacío para evitar que el nuevo se contamine al momento del cambio. Siempre que se cambie el aceite se debe hacer el cambio del filtro de éste.

Es aconsejable que después de haber puesto en marcha el equipo, se verifique a diario el nivel del aceite, si el indicador se encuentra por debajo del nivel que requiere el tanque, se debe llenar hasta el nivel que se requiere.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	



Figura 49: Tapón y Mirilla de Aceite en Tanque Separador

Fuente: Visita Industrias Corona

Cada 5000 horas o cada 2 años se debe realizar el cambio de aceite.

Primero se debe retirar el tapón del tanque separador, ubicar un recipiente debajo del tanque separador y por último se desconecta el racor de la manguera para continuar con el drenaje del aceite del tanque separador.

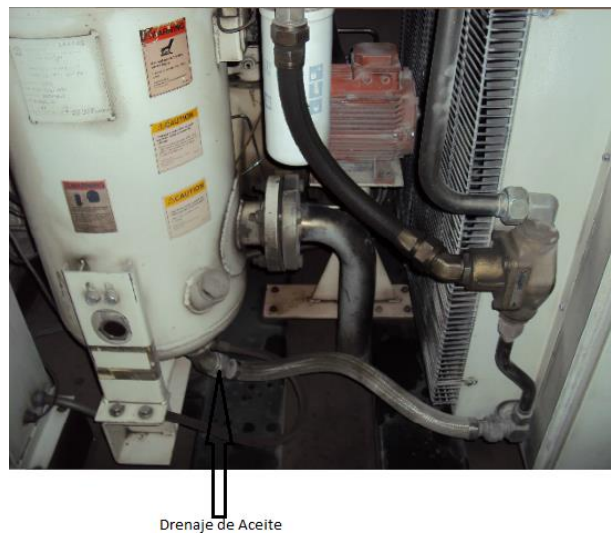


Figura 50: Punto Evacuación del Aceite en Tanque Separador

Fuente: Visita Industrias Corona

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Dentro del preventivo que se le realiza al aceite, se debe realizar inspección visual cada mes para verificar su estado y que no se encuentre con limalla por desgaste en las partes internas del compresor y que no tenga condensado. Cada que ocurre condensación durante el funcionamiento normal de un compresor, esta es causada a raíz de la elevada humedad relativa del aire y cuando la temperatura del cilindro durante la carrera de succión es menor, ahí es cuando ocurre la condensación, por ende se debe realizar el cambio del aceite para evitar la formación de herrumbre y la abrasión durante el funcionamiento. A este procedimiento lo podemos llamar como Mantenimiento Correctivo. Es de vital importancia tomar una muestra del aceite cada 2500 horas o cada año para realizarle un análisis físico-químico al aceite con el fin de determinar sus niveles de contaminación, degradación y finalmente su desgaste y vida útil de éste. Esto se considera como un Mantenimiento Predictivo.

Cambio del Filtro de Aceite

El primer cambio que se le realiza al filtro de aceite en un compresor nuevo se debe hacer en las primeras 2500 horas o cada año, y de ahí en adelante se realiza la sustitución del filtro cada que cambiemos el aceite. Para la sustitución del filtro, se desmonta el filtro de aceite con una llave para filtro, y cambiarlo por uno nuevo con las características recomendadas por el fabricante, antes de enroscar el filtro nuevo se debe de engrasar en la junta para que este pueda ingresar sin ningún inconveniente.

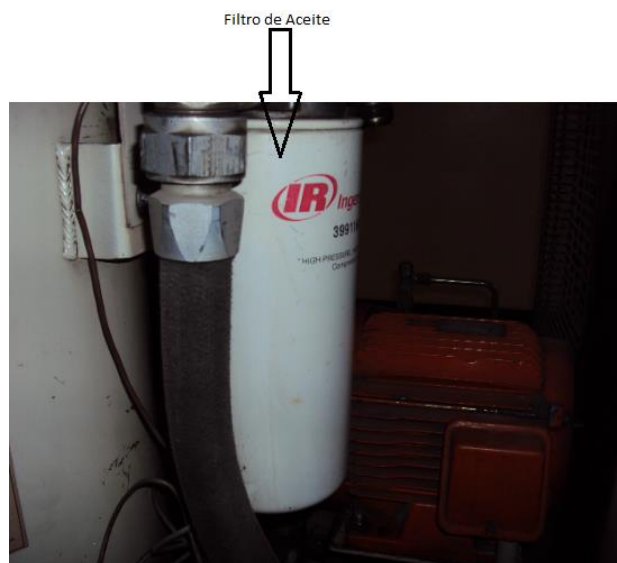


Figura 51: Filtro de Aceite

Fuente: Visita Industrias Corona

Cambio del filtro del tanque separador

Cada 2500 horas o cada año se realiza el cambio del filtro separador de aceite, el cual se encuentra ubicado en el interior del tanque separador. Para realizar el debido cambio se debe retirar los tubos del aire comprimido de sus respectivos empalmes, se retiran los pernos de la tapa para poder acceder al interior del tanque separador y último se procede al cambio del filtro separador de aceite. Se debe aplicar grasa en el empaque del filtro separador para un mejor posicionamiento al momento de instalarlo y así evitar que se produzca un daño en éste.



Figura 52: Pernos y Empalmes de Tubería de la Tapa del Tanque Separador

Fuente: Visita Industrias Corona



Figura 53: Filtro del Tanque Separador

Fuente: Visita Industrias Corona

Cambio de Filtro de Admisión

Cada 2500 horas o cada año se realiza el cambio del filtro de aire o de admisión, después de este periodo se realiza cada que se haga cambio de aceite.

Retirar la tuerca mariposa que trae en la parte superior de los filtros, extraer los mismos y proceder al cambio por unos nuevos.

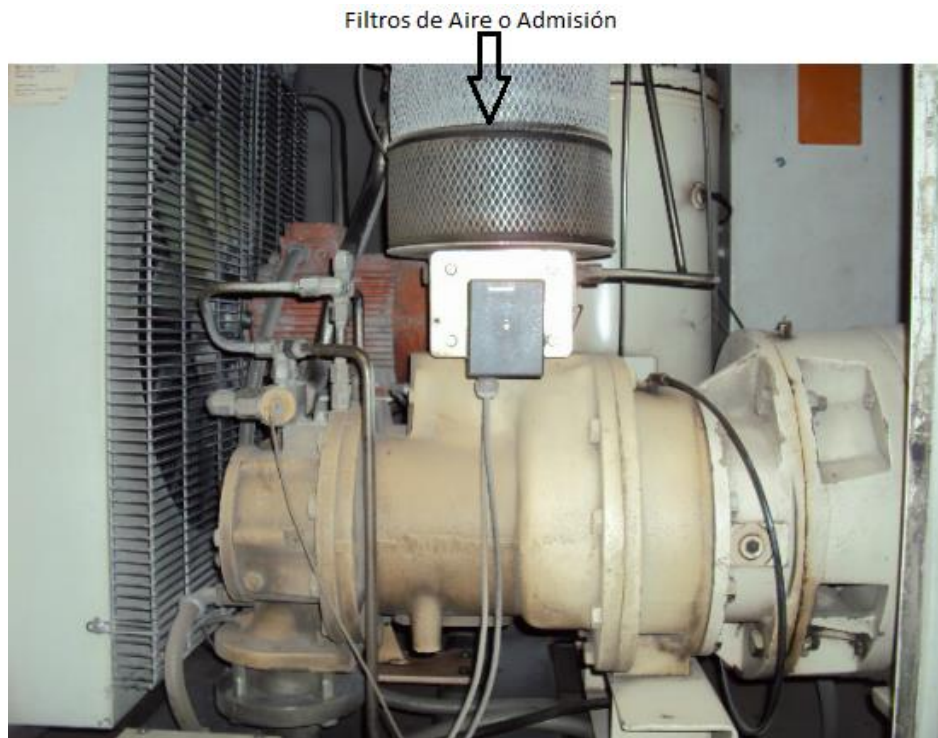


Figura 54: Filtros de Válvula de Admisión

Fuente: Visita Industrias Corona

Mantenimiento en Junta

Se debe inspeccionar cada 2500 horas de trabajo o cada año, cuando el compresor es por acople directo se recomienda revisar los torques de las tuercas periódicamente ya que la unidad genera muchas vibraciones y pueden ocasionar que éstas presenten desajuste. Una vez que se realice esta inspección se debe cambiar su respectivo empaque. Cuando el acople es por junta, se recomienda instalar un Silent-Block, el cual reduce los ruidos y vibraciones en la unidad.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

En la inspección se debe controlar que no haya ruidos anormales durante su funcionamiento, al realizar la inspección visual se debe verificar que no presente ningún agrietamiento o daño en su parte elástica, de haber algún daño se debe realizar la sustitución del mismo.

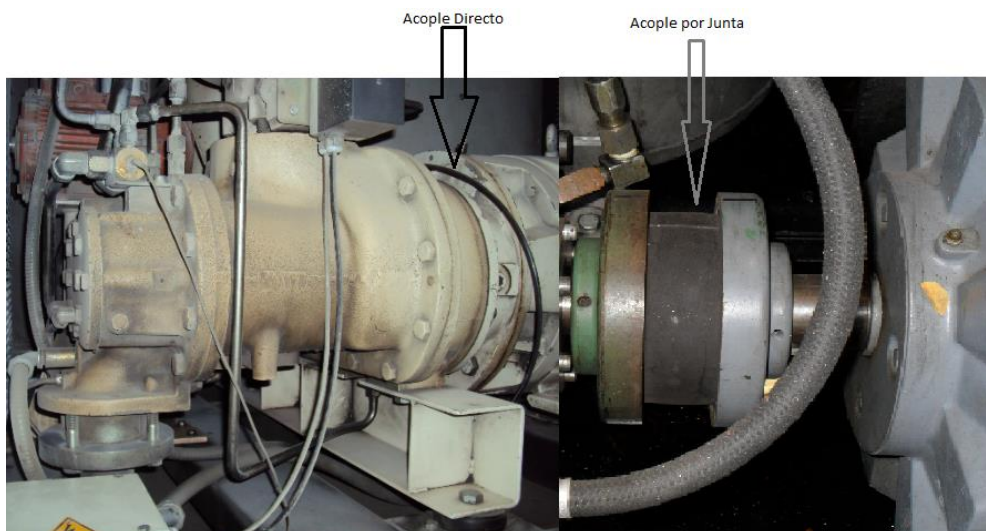


Figura 55: Acoples del Motor/Compresor

Fuente: Visita Industrias Corona

Intercambiadores de Calor

Este mantenimiento se realiza cada 1 mes de trabajo, el cual consiste en limpiar las impurezas de los intercambiadores de calor, soprándolo con aire comprimido por medio de una pistola desde el interior de la unidad hacia el exterior, si este procedimiento se realiza con mayor frecuencia se evitará que al año el intercambiador de calor se encuentre demasiado saturado. Si este se encuentra muy saturado se debe desmontar y a su vez lavar con agua a presión. Para darnos cuenta si se encuentra muy saturado, al hacer una inspección visual se debe ver hacia el otro lado del intercambiador, de lo contrario se deberá realizar lo anteriormente dicho. Es de vital importancia que los intercambiadores se encuentren en perfecto estado ya que son los que nos realizan el trabajo de retirar el calor tanto del aceite como del aire.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	



Figura 56: Intercambiadores de Calor de Aire y Aceite

Fuente: Visita Industrias Corona

Lubricación de Rodamientos del Motor y de los Rotores

Este procedimiento se realiza cada 2500 horas o cada año, esta se realiza en los puntos donde se encuentran las boquillas que es donde la lubricación va directamente a los rodamientos.

Para aplicar la grasa se debe retirar el tapón de cierre que traen las boquillas de lubricación, antes de proceder con la lubricación se debe limpiar la graseras, paso seguido se ubica la graseras en la parte superior de la boquilla, a medida que vamos aplicando la grasa se debe ir girando el eje del motor para que la grasa quede uniformemente aplicada en el rodamiento, se aconseja aplicar unos 20g de grasa aproximadamente ya que una lubricación excesiva puede ocasionar un auto-calentamiento de los rodamientos.

Una vez se haya hecho la lubricación y de su puesta en marcha la unidad es normal que la temperatura de los rodamientos aumente entre 10 y 15°C por un periodo transitorio y llegándose a estabilizar a valores normales una vez que la grasa se haya repartido uniformemente, el excedente de grasa que se pueda presentar será eliminado de la pista de los rodamientos. Después de unos minutos de prueba se debe volver a poner los tapones de las boquillas de lubricación.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

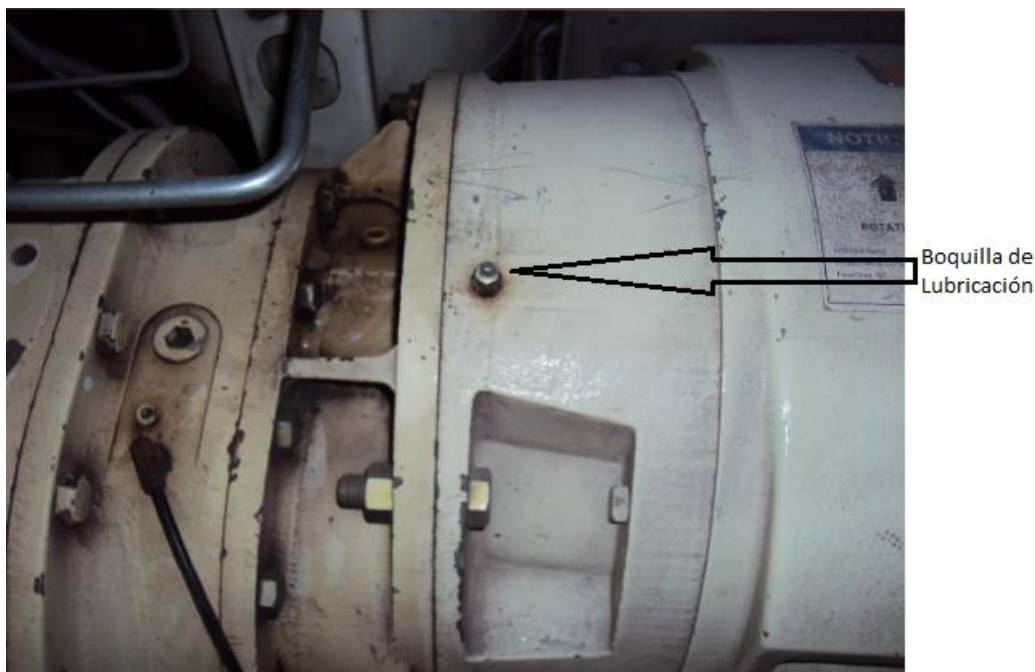


Figura 57: Boquillas de Lubricación

Fuente: Visita Industrias Corona

Independientemente de las horas de funcionamiento al año o máximo a los 2 años se deberá renovar la grasa, para este procedimiento se debe desmontar el motor, retirar las tapas del motor, se procede con la limpieza de la grasa vieja de cada uno de los rodamientos y su respectivo soporte, se deben secar los rodamientos, realizar inspección visual a las pistas para verificar su estado, además de verificar el desgaste de éstos, en caso de que haya un rodamiento en mal estado y que no haya cumplido con las horas de servicio se deberá recurrir al cambio inmediato. Luego se dispone a rellenar los espacios vacíos internos de los rodamientos con la grasa nueva, los espacios laterales no son necesario de rellenar.

Nota: Se recomienda una grasa de grado de consistencia NLGI 3, la mezcla de diversas grasas reduce la calidad, por lo tanto se deben de evitar.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	



Figura 58: Lubricación de Rodamientos

Fuente: (García Gonzales, 2011)

Nota: Si el compresor se encuentra inactivo durante largos periodos de tiempo, se recomienda el cambio del aceite y verificar que el funcionamiento sea correcto.

Cambio de Rodamientos del Motor y Rotor

Un rodamiento limpio, con una adecuada lubricación, bien montado en la pista y en condiciones normales de operación solo podrá fallar por la fatiga en el material, su vida útil está definida como el número de horas de giro a una velocidad constante. La duración nominal en un rodamiento está definido por la AFBMA (Anti-Friction Bearing Manufacturers Association) y es empleado por la mayoría de fabricantes de rodamientos el cual es nuestra base para determinar con qué frecuencia se debe realizar el cambio de rodamientos en nuestra unidad.

Es aconsejable hacer un control detallado a través de un análisis de vibraciones en los rodamientos, además se aconseja cambiarlos a partir de:

En compresores en condiciones normales (Temperatura ambiente hasta 25°C), realizarse el cambio de rodamiento a las 36000 horas de funcionamiento aproximadamente. En compresores en condiciones adversas (Temperatura ambiente hasta 40°C), realizarse el cambio de rodamiento a las 20000 horas de funcionamiento aproximadamente. Cuando vamos a realizar cambio de rodamientos de los rotores, una vez destapada la unidad se procede con el cambio de todos los empaques, se verifica el estado de los rotores (conductor y conducido), que no se encuentren rayados, que no tengan grietas, que giren libremente y no rocen el uno con respecto al otro.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Máquina	Frecuencia	Instructivo	Fecha Inicio	Fecha Finalización	Estados			Tiempo (Min.)	Anual
					Bueno	Regular	Malo		
Compresor de Tornillo	Diario	Verificar estado de alarmas						0	0
		Verificar niveles de aceite						0	0
		Comprobar fugas, ruidos y vibraciones inusuales						0	0
		Vaciar el condensado de la red						0	0
	Semanal	Limpiar filtro de admisión						0	0
		Limpiar filtro de de la caja eléctrica						0	0
		Verificar conexiones eléctricas y ajustar si es necesario						0	0
		Medición de Voltaje y Amperaje						0	0
		Limpieza exterior del equipo						0	0
	Mensual o Cada 150 Hora de Trabajo	Tomar muestra de aceite para verificar estado de éste						0	0
		Limpiar los intercambiadores de calor con aire o agua a presión si es necesario						0	0
		Verificar fugas en la red						0	0
		Verificar torques, apriete todos los tornillos y tuercas si es necesario						0	0
	Anual o Cada 2500 Horas de Trabajo	Revisar estado de válvulas de seguridad						0	0
		Verificar sensores de temperatura del aire						0	0
		Cambiar filtro aceite						0	0
		Cambiar filtro aire						0	0
		Cambiar filtro del tanque separador						0	0
		Lubricación rodamientos del motor y rotores						0	0
		Si el compresor es por acople por junta, verificar estado de la junta y el ajuste de ésta						0	0
		Limpieza general de los intercambiadores de calor						0	0
		Limpieza general de los contactos eléctricos si se encuentran sulfatados y ajustar si es necesario						0	0
		Limpiar la línea de barrido independientemente se se encuentra o no atascada						0	0
	Cada 2 años o cada 5000 Horas de Trabajo	Tomar muestra de aceite para realizarle prueba de laboratorio						0	0
		Verificar estado y tensión en banda						0	0
	Cada 3 años o cada 7500 Horas de Trabajo	Cambiar aceite						0	0
		Realizar cambio de junta						0	0
		Realizar prueba térmica en motores de la unidad						0	0
		Revisión de la válvula de admisión						0	0
		Cambio de bandas de transmisión						0	0
		Cambio Kit válvulas solenoide						0	0
		Cambio Kit válvulas de admisión						0	0
	Cada 5 años o cada 12500 horas de trabajo	Cambio Kit válvulas de presión mínima						0	0
		Cambio Kit válvulas termostática						0	0
		Verificar estado y cambiar si es necesario las mangueras flexibles						0	0
		Revisión de la brida del filtro de aceite						0	0
		Cambiar Kit de retenedores de aceite de los rotores						0	0
		Verificar estado de tubos de despresurización y cambiar de ser necesario						0	0
	Cada 20000 horas de trabajo	Cambio de rodamientos en motor del intercambiador de calor						0	0
		Cambiar O´rings de la brida del compresor de tornillo						0	0
Cambiar puntas en los contactores eléctricos							0	0	
Cada 20000 horas de trabajo	Inspeccionar estado del tanque separador y tanque de almacenamiento de aire y realizar pruebas hidrostáticas						0	0	
	Cambio de los rodamientos del motor de la unidad compresora						0	0	
		Cambio de los rodamientos de los rotores la unidad compresora					0	0	
Tiempo Total (Min)								0	0

Figura 59: Tabla de Mantenimiento Preventivo Compresor de Tornillo

Fuente: Autores

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Para optimizar los resultados del mantenimiento predictivo y disminución de costos de mantenimiento, es recomendable que las mediciones se empleen con un periodo mínimo de cada 3 MESES.

Mediante el análisis de vibraciones es posible predecir la falla de un rodamiento generada por desgastes en sus componentes como pistas y elementos rodantes; sin embargo, mediante esta técnica no es posible predecir el cizallamiento o fisura en la jaula del rodamiento, lo que genera un daño inminente y súbito en la máquina.

Nota: Es importante conservar su placa de datos técnicos así como también su codificación e identificación de la máquina donde se indique, lugar, posición y tipo de máquina, con el fin de evitar incoherencia en la toma de mediciones y la interpretación del análisis.

Puntos donde se deben realizar las mediciones en el motor y compresor de tornillo.

Los puntos de medición se deben realizar siempre en el mismo lugar para lograr uniformidad en los resultados, los puntos de medición deben ser ubicados lo más cercano posible a cada apoyo de la máquina, por lo que es de gran importancia conocer la configuración interna y la posición en la que están ubicadas las piezas en cada compresor y motor.

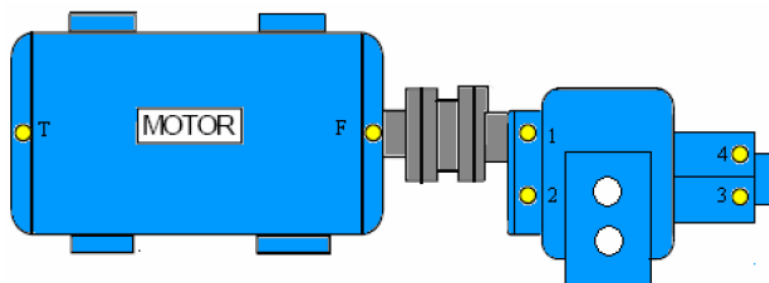


Figura 61: Puntos de Medición en Motor Eléctrico y Compresor

Fuente: (Ingersoll Rand, 2008)

Tabla 14. Puntos de Medición. **Fuente:** Autores

PUNTOS DE MEDICION			
COMPRESOR		MOTOR ELECTRICO	
PUNTO 1	VERTICAL (1V)	PUNTO FRONTAL	VERTICAL (FV)
	HORIZONTAL (1H)		HORIZONTAL (FH)
	AXIAL (1A)		
PUNTO 2	VERTICAL (2V)		

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

	HORIZONTAL (2H)		AXIAL (FA)
	AXIAL (2A)		
PUNTO 3	VERTICAL (3V)	PUNTO TRASERO	VERTICAL (TV)
	HORIZONTAL (3H)		HORIZONTAL (TH)
PUNTO 4	AXIAL (3A)		
	VERTICAL (4V)		
	HORIZONTAL (4H)		
	AXIAL (4A)		

Pasos para la realización de un análisis de vibraciones

Es importante conocer los datos técnicos: tipo de rodamientos, rpm, cantidad de álabes, potencia. Así como también es de vital importancia identificar en el manual de mantenimiento del fabricante las causas de averías, conocer las alteraciones en los niveles de vibración a causa de los cambios en las condiciones de operación (temperatura, velocidad, carga, entre otros).

Se debe realizar la medición en los puntos y direcciones de mediciones como son las axiales y radiales.

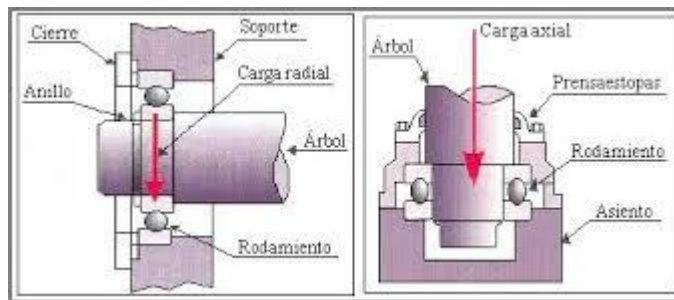


Figura 62: Cargas Axiales y Radiales de un Rodamiento

Fuente: (García Gonzales, 2011)

Medir la magnitud, como es la velocidad, aceleración y desplazamiento.

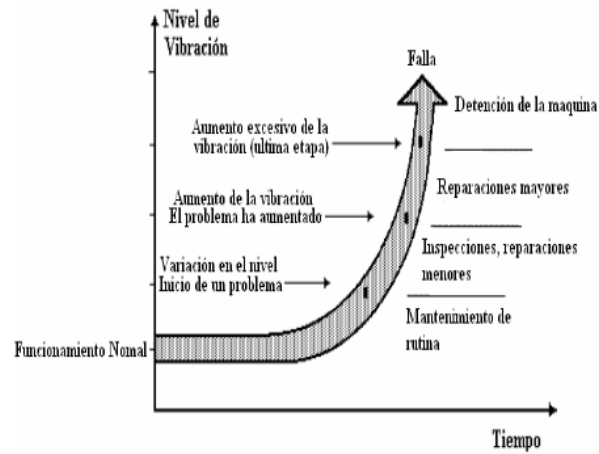


Figura 63: Niveles de Vibración vs Tiempo

Fuente: (García Gonzales, 2011)

Tabla 15: Correctivos después del Análisis de Vibraciones. **Fuente:** Autores

CORRECTIVOS DE ANALISIS DE VIBRACIONES

CORRECTIVOS EN MAQUINAS	ABREVIATURA
Cambio de Rodamientos	ROD.
Alineación	ALI.
Fracturas en tensores y/o estructura	FRAC.MEC.
Balanceo dinámico	BAL.DIN.
Holguras radiales	HOLG.
Poleas descabaladas	POL.DES.
Lubricación	LUB.
Tensión y/o estado de bandas	TEN.BAN.
Desajuste mecánico	DES.MEC.
Problemas eléctricos	ELEC.
Carga en vacío	VAC.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

RESUMEN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO REALIZADO A MAQUINAS													
Puntos del Equipo	Codigo Activo del Equipo	Nombre del Equipo	CORRECTIVOS A REALIZAR EN MAQUINAS EVALUADAS										
			ROD.	ALI.	FRAC.MEC.	BAL.DIN.	HOLG.	POL.DES.	LUB.	TEN.BAN.	DES.MEC.	ELEC.	VAC.

Figura 64: Resumen del Análisis de Vibraciones

Fuente: Autores

Tabla 16: Resumen Anual del Análisis de Vibraciones. **Fuente:** Autores

RESUMEN ANUAL DE ANALISIS DE VIBRACIONES EN LAS MAQUINAS				
NIVELES DE CRITICIDAD	ENERO	ABRIL	JULIO	OCTUBRE
BIEN				
SEGUIMIENTO				
CAMBIO				
SIN MEDIDA (S.M)				

ANALISIS DE ACEITES

Este análisis consiste en realizar un análisis físico-químico para determinar si el lubricante se encuentra en óptimas condiciones de ser empleado o debe ser sustituido, además proporciona información de las condiciones en las que opera el equipo, sus niveles de contaminación, degradación y finalmente su desgaste y vida útil.

PROCEDIMIENTO TOMA DE MUESTRA

Esta muestra debe ser extraída en condiciones normales de operación (con el aceite en circulación y en caliente), o inmediatamente después de haber parado la máquina, la muestra debe ser con una cantidad representativa y luego etiquetarla con el mayor número de datos posibles de su origen.

Nota: No se deben tomar muestras con el aceite en frío.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Después de haber tomado la muestra y de su respetiva etiquetada, es enviado a un laboratorio especializado donde se le realiza el análisis y a la espera de los resultados para tomar correctivos.

4.4 Diseño de Plan de Mantenimiento para Bombas de Doble Diafragma

De una correcta instalación de las bombas de doble diafragma depende su buen funcionamiento, a continuación daremos algunas condiciones a tener en cuenta para ello:

- El área debe encontrarse despejada y libre de tránsito ya que así se facilitan las labores de inspección, operación y mantenimiento, además de que influye considerablemente en el rendimiento del equipo. Una mala instalación da origen a desgastes, funcionamiento deficiente o roturas prematuras.
- La bomba debe ser instalada cerca de una red de aire comprimido capaz de suministrar dicho fluido con el caudal y presiones necesarias (Nunca se debe superar los 800 KPa o 8 Kg/cm²). Para obtener mejores resultados y alargar la vida útil del equipo es conveniente colocar en la línea del aire comprimido lo más cerca posible de la bomba una unidad filtrante, reguladora de presión y lubricación (Unidad de Mantenimiento FRL). En la unidad se recomienda usar un aceite tipo SAE 10, con viscosidad ISO VG-32 o un equivalente a estos.
- La bomba sólo debe ser instalada en posición vertical.
- La unidad debe ser anclada al suelo, es recomendable colocar entre la bomba y el suelo una fijación elástica con el fin de absorber los esfuerzos y vibraciones que allí se transmiten.
- Se recomienda que la tubería de succión logre soportar sin colapsar una presión externa equivalente a 100 KPa (1Kg/cm²), al igual que la tubería de descarga resista como mínimo la presión de aire que suministra la red neumática.

Nota: Si se usa tubería rígida tanto en la succión como en la descarga del producto, se recomienda instalar juntas elásticas que ayuden a absorber el golpe de ariete o vibraciones perjudiciales. Además que la tubería de succión y descarga debe ser compatible con el material a transportar.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

4.4.1 Mantenimiento Preventivo

Antes de realizar cualquier tipo de mantenimiento se debe cerrar la válvula de succión del producto para evitar accidentes e incidentes, cerrar la válvula de suministro de aire comprimido, asegurarnos de que la bomba se encuentre totalmente vacía y además conocer las características del fluido para tomar las correspondientes precauciones.

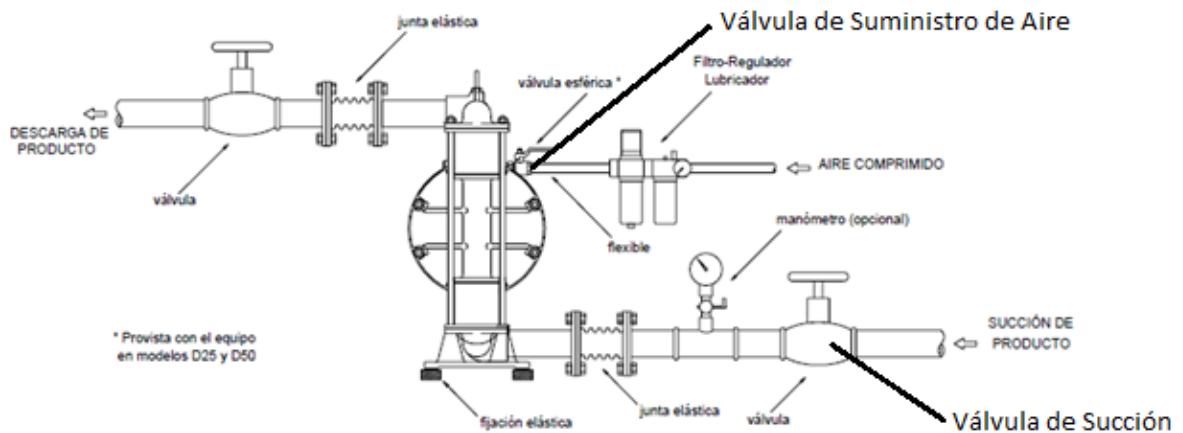


Figura 65: Esquema de instalación recomendado por fabricantes de Bombas de Doble Diafragma

Fuente: (www.cranechempharma.com, s.f.)

Antes de realizar el mantenimiento de la bomba, después de ser desmontada se debe lavar con agua ingresándola por el múltiple de entrada o de succión, esto con el fin de retirar de la bomba fluidos que puedan ser peligrosos y que atenten con la salud del personal quien realizará el mantenimiento.

Luego se procede a desmontar el múltiple de descarga y múltiple de succión o entrada, aflojando las abrazaderas que lo sujetan a la cámara del líquido o fluido. Cada que se realiza el desmontaje de esta pieza, se debe revisar las bolas de la válvula de cheque y realizar el cambio de los O rings y de los asientos de la misma válvula.



Figura 66: Múltiple de Descarga

Fuente: Visita Industrias Corona



Figura 67: Múltiple de Succión

Fuente: Visita Industrias Corona

Después de realizar el paso anterior, se procede al desmonte de las cámaras de fluido, se aflojan las abrazaderas laterales, se retira la cámara y queda expuesto el diafragma con su respectivo plato externo del diafragma.



Figura 68: Cámaras de Fluido

Fuente: Visita Industrias Corona



Figura 69: Diafragma Ensamblado

Fuente: Visita Industrias Corona

Luego se deben retirar los platos exteriores que sujetan los diafragmas, este procedimiento se debe realizar en una prensa mecánica para sea posible retirar las tuercas ya que cuentan con un torque establecido por los fabricantes, los dos diafragmas se unen por medio del vástago del émbolo.

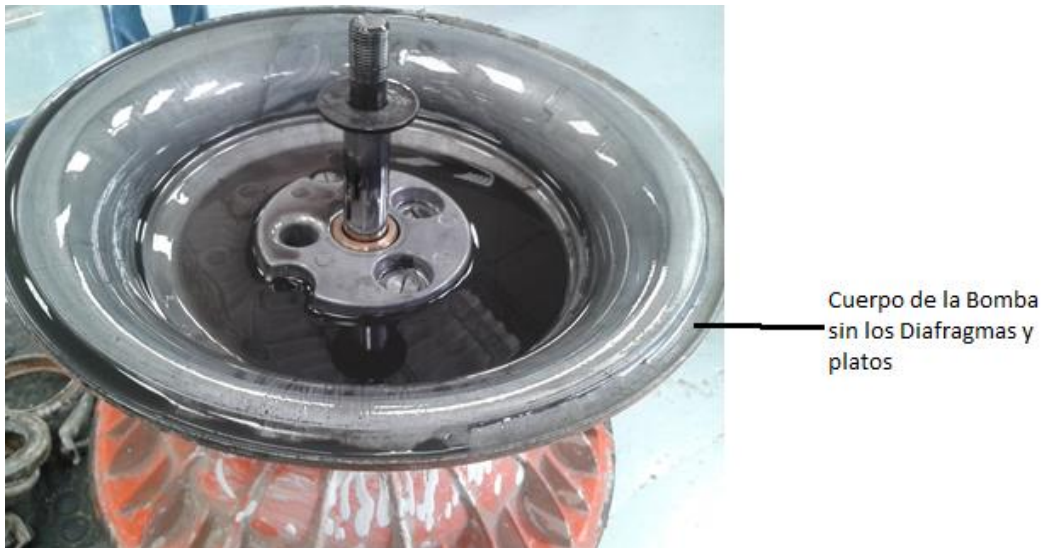


Figura 70: Cuerpo de la Bomba

Fuente: Visita Industrias Corona



Figura 71: Platos Exteriores e Interiores

Fuente: Visita Industrias Corona



Vástago del Embolo

Figura 72: Vástago de Embolo

Fuente: Visita Industrias Corona

Para hacer sustitución de la membrana se deben retirar los platos interiores y exteriores que sujetan la membrana al vástago de émbolo por medio de un perno.



Plato Exterior

Diafragma

Figura 73: Conjunto Plato, diafragma

Fuente: Visita Industrias Corona

Luego pasamos a realizar el desensamble del sistema de distribución de aire, retirando los tornillos que unen el sistema de distribución de aire con el cuerpo de la bomba, el sistema de distribución de aire en su interior cuenta con una válvula de aire que es la que se encarga de distribuir el aire hacia las cámara para la succión y descarga de los fluidos, para retirar la válvula de aire del interior del sistema de distribución se deben desmontar las tapas exteriores del sistema de distribución de aire.



Figura 74: Sistema de Distribución de Aire

Fuente: Visita Industrias Corona



Figura 75: Válvula de Aire

Fuente: Visita Industrias Corona

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Por último se debe retirar la válvula piloto, retirando el pin candado que la sujeta a la estructura de la bomba, luego mediante un buje y un martillo de goma se golpea suavemente para retirarlo del cilindro donde se aloja, y proceder al cambio de todos los O´rings y retenedores, además se debe verificar el estado del émbolo, que no tenga desgaste por corrosión, de lo contrario se aconseja retirar las impurezas mediante una hoja de lija.



Figura 76: Válvula Piloto

Fuente: Visita Industrias Corona

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Tabla 17. Planilla de Mantenimiento Preventivo para Bombas de Doble Diafragma. **Fuente:** Autores

MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Máquina	Frecuencia	Instructivo	Fecha Inicio	Fecha Finalización	Tiempo (Min.)	Anual
Bomba de Doble Diafragma	Semanal	Control Visual de fugas				0
		Inspeccionar filtro regulador de línea				0
		Inspección del Anclaje				0
		Revisión de abrazaderas de los Múltiples (Entrada y Descarga) y de la cámara de fluido				0
	Mensual	Revisar torque en piezas de sujeción				0
		Revisar hermeticidad en uniones atornilladas				0
		Inspeccionar cámara de fluido que no tenga fugas				0
		Cambiar Kit de O´rings				0
		Cambiar Kit de Asientos de Bola				0
		Cambiar Empaques				0
		Lubricar la Bomba (Opcional)				0
Tiempo Total (Min)					0	

Nota: La frecuencia de los tiempos varía de acuerdo al tipo de fluido que se esté transportando.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

4.4.2 Mantenimiento Correctivo

Orden de Trabajo N°				Codigo Activo del Equipo:			
Servicio Autorizado Por:				Servicio Realizado Por:			
Prioridad:		Alta	Media	Baja	Departamento Solicitante de Servicio:		
Causa de la Inspección: En este recuadro explicamos cuales son las causas por la cual se le realizará la inspeccion al equipo.							
Parte Intervenida	Referencia de Repuestos	Herramientas Usadas	Fecha		Tiempo de Ejecución		
			Inicio	Finalización	Hora Inicio	Hora Finalización	
Descripción del Trabajo Realizado y Recomendaciones: Se debe explicar detalladamente el tipo de reparación que se le realizó al equipo y las posibles causas para tomar futuras medidas y evitar que se presenten nuevamente fallas de este tipo.							

Figura 77: Planilla de Mantenimiento Correctivo para Bombas de Doble Diafragma

Fuente: Autores

Nota: Cada vez que se realice un desensamble de una bomba de doble diafragma se debe realizar el cambio de todos los O´rings, empaques, retenedores y asientos de las bolas, ya que de ello depende el correcto funcionamiento de la bomba evitándose así la generación de fugas, además de esto se debe realizar un lavado estricto con AGUA de todas las piezas internas de la bomba para garantizar que esta quede libre de impurezas que puedan contaminar los fluidos los cuales transporta la bomba.



Figura 78: Kit de sellos

Fuente: Visita Industrias Corona

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Recomendaciones

Al iniciar cualquier tipo de mantenimiento se deben tener en cuenta todas las precauciones de seguridad para evitar daños en personas, instalaciones y equipos, lo cual garantiza un desempeño, además de seguro, agradable para la realización de todas las actividades de mantenimiento preventivo, correctivo o predictivo. Los equipos a los cuales se les realizara algún tipo de mantenimiento, en la medida de lo posible deben estar en lugares despejados y libres de obstáculos, con el fin de facilitar las labores y evitar accidentes.



Figura 79: Correcta Instalación de una Bomba de Doble Diafragma

Fuente: Visita Industrias Corona

El aseo es un factor muy importante en el momento de hacer cualquier tipo de mantenimiento ya que un equipo que se encuentre muy sucio es un equipo que va presentar más dificultades para su intervención, por eso en el caso de las Bombas de Doble Diafragma por ejemplo antes de realizar un mantenimiento se debe tener precaución de liberar o vaciar los fluidos con los cuales trabaja la bomba. Esto con el fin de evitar lo que mostraremos en la siguiente imagen:



Figura 80: Mal procedimiento en Desensamble de Bomba de Doble Diafragma

Fuente: Visita Industrias Corona

Una intervención en un equipo en estas condiciones es realmente incómoda y puede ser propicio para provocar un accidente, lo cual se debe evitar en la medida de lo posible.

Es muy recomendable el uso de filtros para proteger los equipos, estos elementos ayudan en gran parte a garantizar el buen funcionamiento de las bombas de Doble Diafragma ya que en los filtros se quedan muchas impurezas que pueden dañar las partes más delicadas de la bomba tales como bolas de cierre o sus asientos.



Figura 81: Filtro en “Y”

Fuente: Visita Industrias Corona

En Industrias Corona el tecnólogo de mantenimiento está pintando epóxica a las carcasas de las bombas Doble Diafragma el cual sirve para protegerlas del desgaste por el contacto con

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

el fluido que se transporta en estas, esta acción hace parte del mantenimiento preventivo ya que alarga la vida útil de las Bombas de Vacío.



Figura 82: Muestra de Pintura Epóxica para Protección de Bombas

Fuente: Visita Industrias Corona

Nota: Para una correcta gestión de mantenimiento es de vital importancia hacer un historial de todas las intervenciones hechas a los equipos, en el que se debe de describir toda la información bien sea de preventivos, correctivos y predictivos; esto con el fin de tener datos estadísticos y así poder mejorar u optimizar la vida útil de todos los equipos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

5. CONCLUSIONES

- Los compresores y bombas de vacío han ganado mucha importancia dentro de la industria ya que realizan un gran aporte a la reducción del consumo energético en un rango que oscila entre el 10 y 30% aproximadamente.
- Con una muy buena metodología del plan de mantenimiento se puede llegar a optimizar tanto los equipos (Compresores y Bombas de Vacío), como los costos de mantenimiento a causa de paros indeseados.
- Desarrollar un plan para la gestión del mantenimiento de los sistemas de compresión y vacío para las empresas en Colombia es de gran importancia ya que sirve como una guía para facilitar una correcta ejecución de todas las labores de mantenimiento llegando a la causa raíz del problema evitando que una nueva falla ocurra o en su defecto la misma.
- Para conservar la vida útil de los equipos es de vital importancia seguir las recomendaciones en la que nos hace énfasis el fabricante como por ejemplo la instalación, que no debe de realizarse en espacios confinados.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

REFERENCIAS

Almacenes JJ. (2007). *Manual de Aire Comprimido*. Medellin.

alpha-dynamic.gr. (s.f.). Obtenido de ADB AIR OPERATED DIAPHRAGM PUMPS.

Baumeister, T., Avallone, E. A., & Baumeister III, T. (1992). *Mark's Standard Handbook For Mechanical Engineers*. Naucalpan de Juárez, México: McGraw-Hill.

Bourges, G., Elicach, J., & Medina, M. (2006). Modelización Numérica de un Compresor Monocilindrico de desplazamiento positivo. En *Mecánica Computacional Vol XXV*. (págs. 1313-1334). Santa Fe, Argentina: Alberto Cardona, Norberto Nigro, Victorio Sonzogni, Mario Storti.

company.ingersollrand.com. (s.f.).

Fernandez Cabanas, M., García Melero, M., & Orcajo, A. G. (1998). *Técnicas para el Mantenimiento y Diagnóstico de Máquinas Eléctricas Rotativas*. Marcombo.

García Gonzales, W. (2011). Análisis Causa Raíz Mediante Vibraciones a Compresor Aerzen de Tornillo. Coatzacoalco, Veracruz, México .

Greene, R. (1996). *Compresores: Selección, Uso y Mantenimiento*. México: McGRAW HILL.

Hicks, T. G. (1998). *Standard Handbook of Engineering Calculations*. Mexico: McGraw-Hill.

<http://turbomaquinastermicasct3412.blogspot.com>. (s.f.).

<http://www.directindustry.es/prod/gast/bombas-vacio-piston-oscilante-sin-aceite-7063-1166473.html>. (s.f.).

<http://www.indiamart.com/hinucengineering-limited/>. (s.f.).

Ingersoll Rand. (2008). *Ingersoll Rand*. Obtenido de Manual de Operación y Mantenimiento: www.ingersollrandproducts.com

Kaeser Compresores. (2010). Técnica de Aire Comprimido: Fundamentos, Consejos y Sugerencias. *Técnica de Aire Comprimido*, 4-33.

Lopez Fonseca, F. U., & Vasquez Godoy, A. (Marzo de 2007). Mantenimiento Preventivo al Compresor SL6. Culhuacán, Mexico DF.

Olarte C., W., Botero A., M., & Cañon A., B. (2012). Técnicas de Mantenimiento Predictivo Utilizadas en la Industria. *Scientia et Technica, Universidad Tecnológica de Pereira*.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Piqué, A. (Junio de 2011). Automática e Instrumentación. *Tendencias en Neumática*. Barcelona, España: Grupo TechniPublicaciones.

Smith, R., & Mobley, R. (2006). Rules of Thumb for Maintenance and Reliability Engineers. En R. Smith, & R. K. Mobley, *Compressors* (págs. 199-223). Butterworth Heinemann.

Souris, J.-P. (1992). *El Mantenimiento: Fuente de Beneficios*. Diaz de Santos.

www.boge.com/mx/. (s.f.). Obtenido de Compresores de Tornillo.

www.fiac.it. (2006). Obtenido de MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO: Electrocompresores Silenciados Rotativos de Tornillo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

ANEXO 1

MANTENIMIENTO RECOMENDADO POR LOS FABRICANTES

COMPRESORES DE PISTÓN

Selección de la ubicación del compresor

Seleccione un área interior bien iluminada con buen espacio que permita una buena ventilación, accesibilidad y flujo de aire de enfriamientos adecuados. Ubique el compresor a una distancia no menor de 30 cm (12 pulgadas) de las paredes y asegúrese de que la fuente de alimentación principal está claramente identificada y accesible.

Las temperaturas de operación ideales fluctúan entre 0 y 37,8 °C (32 y 100 °F).

Si las temperaturas bajan sistemáticamente a 0 °C (32 °F), ubique la unidad dentro de un edificio calentado de otro modo deberá proteger las válvulas de descarga, seguridad y de drenaje contra el congelamiento.

PRECAUCION: No haga funcionar el compresor a temperaturas inferiores a -26.1°C (-15 °F) o superiores a los 51,0 °C (125 °F).

Qué tipo de aceite es recomendado por fabricantes para los compresores de pistón

El uso de lubricantes sintéticos permite al compresor bobear continuamente sin ciclación permitiéndole funcionar a un régimen continuo de 100%. Un lubricante de petróleo limita al compresor de funcionar un máximo de 36 minutos de tiempo de bombeo por hora permitiéndole funcionar a un régimen continuo de 60%. Él compresor no debe ciclar más de 10 veces por hora. Las condiciones de operación de trabajos pesados requieren una mayor viscosidad.

Para usar un lubricante de petróleo verificar que sea de primera calidad, que no contenga detergentes, que contenga solo agentes anticorrosivos, antioxidantes y antiespumantes como aditivos , con temperatura de desprendimiento de gases explosivos de 227 °C (440 °F) o superior y un punto de autoencendido de 343 °C (650 °F) o superior.(www.ingersollrand)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Temperatura alrededor del compresor		Viscosidad a 100°F (37,8°C)		Grado de viscosidad	
°F	°C	SUS	Centistokes	ISO	SAE
40 & inferior	4,4 y inferior	150	32	32	10
40 - 80	4,4 - 26,7	500	110	100	30
80 - 125	26,7 - 51,0	750	165	150	40

Otros lubricantes recomendados por fabricantes son:

Aceites R y O: (Rust and oxidation, que significa Corrosión y Oxidación.). Estos aceites son libres de Zinc, diseñados para desmulsificar el agua, resistir herrumbre y oxidación. El 100 % de su lubricación es por acción hidrodinámica. Aceites hidráulicos AW (Anti – Desgaste) industriales. Típicamente tiene los mismos aditivos que el R Y O (a veces en menor cantidad), más zinc y fósforo (entre 300 ppm y 600 ppm de cada uno) para proteger las aletas, carcasas, y los anillos de las bombas en altas presiones. Utilice aceite lubricante SAE 40 ISO 150 para compresores. Se recomienda la utilización del aceite PS Lub AW 100 PRESSURE en compresores Pressure.

Instalación Eléctrica

1. Instale llave magnética con protección térmica (de responsabilidad del cliente) en serie con presostato (automático) para funcionamiento automático de carga y recarga del recipiente de presión/tanque de almacenamiento del aire.
2. Instale un botón de emergencia (parada del motor) próximo al compresor.
3. Utilice fusibles/disyuntores y relé de protección térmica en un 10% superior al amperaje del motor eléctrico.

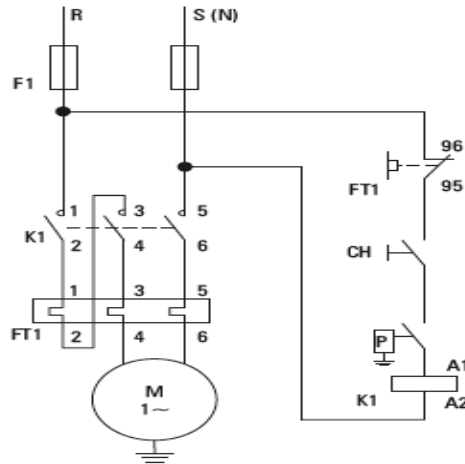
Dimensionamiento de los Cables Eléctricos

Para realizar un dimensionamiento de acuerdo con la norma NBR5410 verifique las siguientes condiciones:

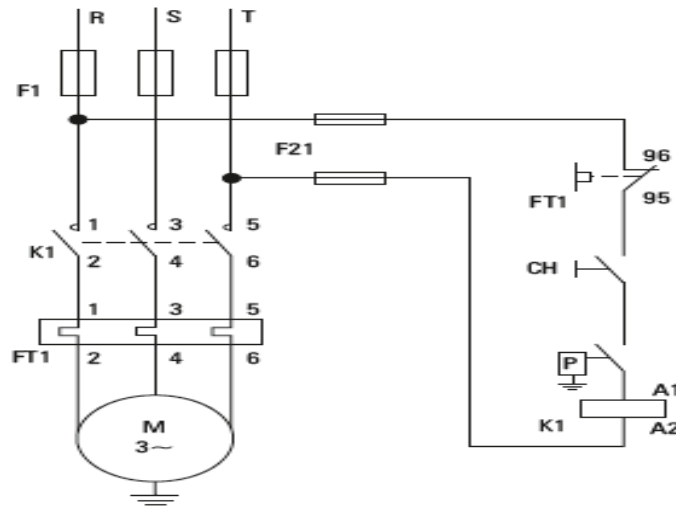
- Deberá ser aplicada la reglamentación local, en caso de que sea más rigurosa que los valores propuestos por el fabricante.
- Conductores aislados o cables unipolares en electroducto sobre la pared;
- La caída de tensión no puede exceder un 4% de la tensión nominal. Puede ser necesario utilizar cables de diámetro superior a lo indicado para cumplir este requisito;
- Longitud máxima de los cables = 30 m;
- Máxima temperatura ambiente = 40°C;

- Para otras condiciones, los diámetros deben ser redimensionados.

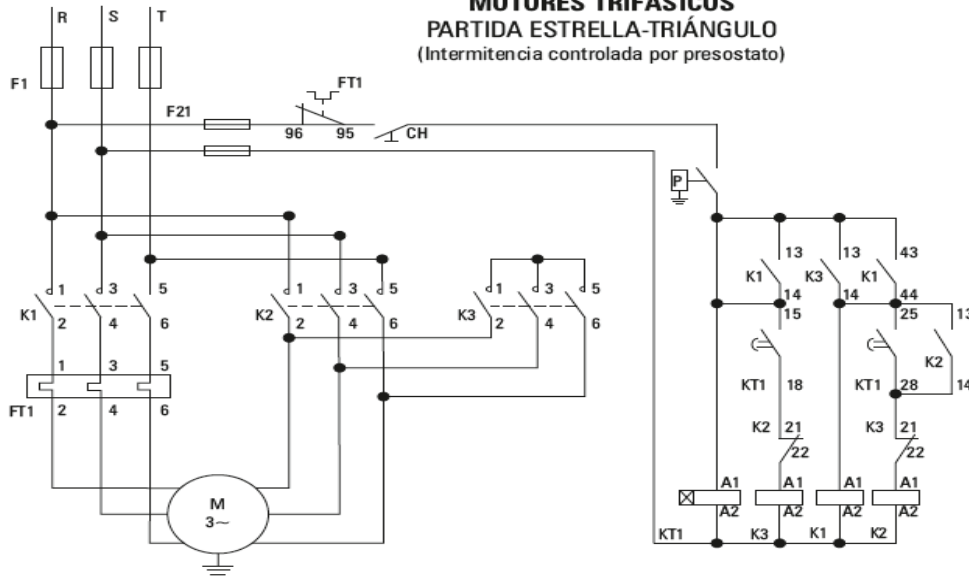
**ESQUEMA ELÉCTRICO
MOTORES MONOFÁSICOS**



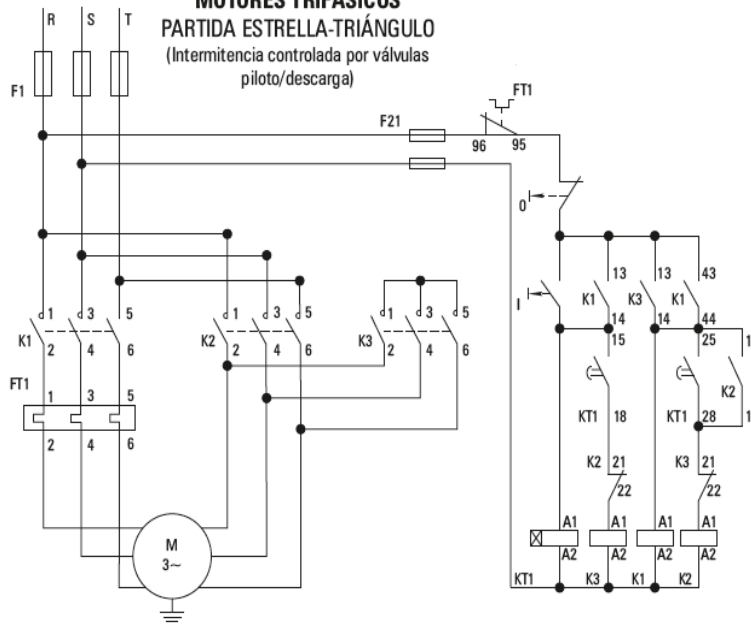
**ESQUEMA ELÉCTRICO
MOTORES TRIFÁSICO
PARTIDA DIRECTA**



**ESQUEMA ELÉCTRICO
MOTORES TRIFÁSICOS
PARTIDA ESTRELLA-TRIÁNGULO
(Intermitencia controlada por presostato)**



**ESQUEMA ELÉCTRICO
MOTORES TRIFÁSICOS
PARTIDA ESTRELLA-TRIÁNGULO
(Intermitencia controlada por válvulas piloto/descarga)**



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

SÍMBOLOS	DESCRIPCIÓN
F1	FUSIBLE TIPO “D” O “NH”
F21	FUSIBLE DE COMANDO (2A)
K1	CONTACTOR TRIPOLAR
K2	CONTACTOR TRIPOLAR
K3	CONTACTOR TRIPOLAR
FT1	RELÉ DE SOBRECARGA (DEBE SER AJUSTADO EN LA CORRIENTE NOMINAL DEL MOTOR ELÉCTRICO)
P	PRESOSTATO
M	MOTOR ELÉCTRICO
CH	LLAVE ENCIENDE/APAGA
KT1	RELÉ DE TIEMPO
I/O	BOTÓN ENCIENDE/APAGA

Filtro de admisión

El filtro de aire para captación es un componente de protección de la entrada de aire de la unidad compresora. Este filtro protege la entrada de polvo y limaduras de hierro, que perjudiquen el adecuado funcionamiento de su compresor. En ambientes con exceso de contaminación utilice filtros especiales para este propósito. Trimestralmente o a cada 600 horas, reemplace el elemento filtrante.

TORQUE RECOMENDADO POR FABRICANTE

Los valores de torque crítico en tuercas, pernos, tornillos de presión y elementos de fijación se enumeran a continuación en la tabla.

ELEMENTO DE SUJECION ROSCADA	TORQUE
CULATA O TAPA DE CILINDRO DE ALTA PRESIÓN	75
CULATA O TAPA DE CILINDRO DE BAJA PRESIÓN	75
PESTAÑA DE CILINDROS	50
TAPA DEL CARTER	17
TAPA EJE CIGUEÑAL	17
PASADOR EJE DE CIGUEÑAL	11
VALVULA DE ALTA PRESION - ADMISION	11-15 EN LB
VALVULA DE BAJA PRESIÓN – ADMISION	25-30 EN LB
VALVULA DE ALTA PRESION - DESCARGA	11-15 EN LB
VALVULA DE BAJA PRESIÓN - DESCARGA	25-30 EN LB
POLEA	60

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Poco a poco y de manera uniforme en dos etapas, apretar cada sujetador al par final utilizando una secuencia de apriete en cruz. Utilice las llaves de torque sólo calibrados.

Cuidados necesarios con compresores de pistón.

El compresor de aire, si es utilizado inadecuadamente, puede causar daños físicos y materiales. A fin de evitarlos, proceda a las siguientes recomendaciones:

1. Este equipamiento:

- * Requiere una persona capacitada para la utilización y mantenimiento del equipamiento debiendo el operador hacer uso de Equipamientos de Protección Individual (EPI) apropiados;
- * Posee partes calientes, eléctricas y piezas en movimiento; por ese motivo, no deberá ser operado en locales dónde personas no autorizadas, niños o animales tengan acceso;
- * Debe ser instalado y operado en locales ventilados y con protección contra humedad o incidencia de agua, debiendo la entrada de aire estar siempre limpia, impidiendo la aspiración de residuos a través del filtro.
- * Necesita la conexión de un cable tierra en el chasis del motor para su seguridad. La inobservancia de este ítem puede causar choque eléctrico;
- * Cuando está conectado a la energía eléctrica, puede encender o apagar automáticamente en función de la presión en el reservatorio o actuación de elementos de protección eléctrica;
- * Puede provocar interferencias mecánicas o eléctricas en equipamientos sensibles que estén próximos;

2. El aire comprimido producido es impropio para el consumo humano, ya que puede contener monóxido de carbono y otras sustancias nocivas. Si es usado para tal, es necesaria la instalación de filtros especiales tras el compresor. Consulte al fabricante para mayores informaciones.

3. No altere la regulación de la válvula de seguridad y del presostato, dado que los mismos ya provienen regulados de fábrica. Si es necesario algún ajuste en el presostato, Consulte al fabricante.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

4. Nunca utilice extensión eléctrica fuera de lo especificado. En este caso, mantenga el compresor próximo a la toma corriente y utilice una manguera de aire más larga. La inobservancia de esta instrucción podrá ocasionar daños a la parte eléctrica del compresor y al propio usuario.

5. No efectúe el mantenimiento con el compresor encendido, no retire accesorios fijados en el reservatorio cuando el mismo esté presurizado, no realice limpieza, ni toque la parte eléctrica sin antes desconectar el compresor de la red eléctrica. La inobservancia de estas orientaciones podrá causar daños físicos al usuario.

6. Nunca efectúe la limpieza de la parte externa del compresor con solvente. Utilice detergente neutro.

7. Verifique que no ocurra acúmulo de solventes, tintas u otros productos químicos que puedan ocasionar riesgo de explosión o daños al compresor.

8. Nunca realice reparaciones o servicios de soldadura en el tanque de almacenamiento, ya que éstos pueden afectar su resistencia u ocultar problemas más serios. En caso de que exista alguna pérdida, rajadura o deterioración por corrosión, suspenda inmediatamente la utilización del equipamiento y contacte al fabricante.

9. Antes de mudar de local desconecte el compresor. Efectúe una buena fijación al transportar en vehículos.

10. En la presencia de cualquier anomalía en el equipamiento, suspenda inmediatamente su funcionamiento y contacte al servicio técnico.

COMPRESORES DE TORNILLO

Mantenimiento de Rutina de los Compresores de Ingersoll Rand de la Serie UP (Ingersoll Rand, 2008)

Esta sección se refiere a los componentes que requieren un mantenimiento y sustitución periódica.

Debería tenerse en cuenta que los intervalos entre necesidades de servicio pueden reducirse significativamente como consecuencia del mal ambiente de trabajo. Esto incluye efectos de contaminación atmosférica y extremos de temperaturas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

El aire comprimido puede ser peligroso si no se utiliza correctamente. Antes de realizar algún tipo de trabajo en la unidad, asegúrese de que se ha liberado toda la presión del sistema y que la máquina no pueda arrancar accidentalmente.

Precaución: Antes de realizar cualquier trabajo de mantenimiento en el compresor, abrir, bloquear y precintar el interruptor de desconexión eléctrica principal y cerrar la válvula de aislamiento de la descarga del compresor. Ventilar la presión de la unidad abriendo lentamente una vuelta completa del tapón de llenado del refrigerante. Al desenroscar el tapón de llenado, se abre un agujero de ventilación taladrado sobre el tapón, permitiendo que la presión sea liberada a la atmosfera. No quitar el tapón de llenado hasta que se haya liberado toda la presión de la unidad a la atmosfera. Ventilar además los conductos abriendo ligeramente la válvula de vaciado. Al abrir la válvula de vaciado o el tapón de llenado, mantenerse alejado de la descarga de la válvula y llevar puesta la protección adecuada para los ojos.

Aviso: Puede que esta máquina tenga un circuito monofásico separado para el secador y/o para la válvula de drenaje eléctrica. Antes de realizar cualquier trabajo en la máquina, es imprescindible desconectar el suministro de energía de todos los circuitos, así como identificar el dispositivo de desconexión.

Cerciorarse de que el personal de mantenimiento esté adecuadamente adiestrado, sea competente y lea los manuales de mantenimiento.

Antes de empezar cualquier tarea de mantenimiento, cerciórese de:

- Que se alivie toda la presión de aire y se aisle de presiones el sistema. Si para ello se usa el purgador automático, hay que darle tiempo suficiente para efectuar el alivio total.
- La máquina no se puede arrancar accidentalmente o de otro modo de encendido.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- Que se desconecten o aislen las fuentes de electricidad (batería y tomas de energía eléctrica)

Antes de abrir o quitar tapas o cubiertas para meter manos en la máquina, cerciőrese de:

- Que quienes pongan manos en la máquina sepan que están ahora más expuestos a tales riesgos como de tocar superficies calientes y movimientos intermitentes de mecanismos.
- La máquina no se puede arrancar accidentalmente o de otro modo de encendido

Antes de empezar alguna operación de mantenimiento en una máquina que está en marcha, cerciőrese de:

Peligro: Sólo personas adecuadamente adiestradas y competentes deberán encargarse de tareas de mantenimiento estando el compresor funcionando o con la energía eléctrica conectada.

- Que sólo se hagan operaciones para las que sea necesario tener la máquina en marcha.
- Que, si se harán operaciones para las que se quitarán o suprimirán dispositivos de protección, sólo sean operaciones para las que sea necesario tener la máquina en marcha con dispositivos de seguridad suprimidos o quitados.
- Que estén conscientes de todos los peligros (ej. Dispositivos con presión, piezas eléctricas con corriente, guardas, tapas y cubiertas quitadas, temperaturas extremas, aspiración y descarga de aire, piezas en movimiento intermitente, descarga por la válvula de seguridad, etc.).
- Que se use ropa y equipo de protección personal.
- Que se quiten o atajen pulseras, ropa suelta, cadenitas, etc. Y se recojan el cabello si lo tienen largo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- Que se pongan letreros de prevención (ej. Máquina Reparándose) donde sean visibles.

Al terminar las tareas de mantenimiento y antes de ponerse la máquina en marcha, cerciórese de:

- Probar apropiadamente la máquina.
- Que se han montado de nuevo y funcionan correctamente todas las defensas y dispositivos de protección de la seguridad.
- Colocar todas las tapas y cerrar el capot y las compuertas.
- Los materiales de riesgo se contienen y desechan eficazmente de manera que se cumplan los códigos locales o nacionales de protección del medio ambiente.

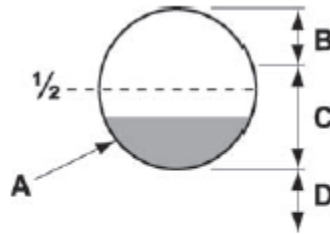
Advertencia: No abrir en ningún caso ninguna válvula ni desmontar componentes del compresor sin asegurarse primero de que el compresor está Completamente Parado, la alimentación desconectada y despresurizada todo el sistema de aire.

Procedimiento para restablecer el nivel de refrigerante

- Retirar lentamente el tapón de llenado
- Verter líquido refrigerante en el conducto hasta casi se desborde
- Sustituir y apretar el tapón de llenado de aceite
- Poner en funcionamiento la unidad durante 10 segundos aproximadamente (hasta que el líquido refrigerante se drene por la parte inferior de la mirilla)
- Retirar lentamente el tapón de llenado
- Volver a llenar el conducto de refrigerante hasta casi se desborde
- Sustituir y apretar el tapón de llenado
- Hacer funcionar la unidad

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Nota: El nivel de líquido refrigerante es el correcto cuando se muestra líquido refrigerante en la mitad inferior de la mirilla de la unidad a temperatura de funcionamiento (tras diez minutos funcionando cargada).



- A. Temperatura de funcionamiento correcta
- B. Demasiado
- C. Adecuado
- D. Demasiado poco

Repetir este procedimiento para que el líquido refrigerante llegue a nivel adecuado a temperatura de funcionamiento.

Por lo general, cuando se apaga la unidad, el líquido refrigerante llena la mirilla. No ajustar el nivel de refrigerante basándose en el nivel que se muestra con la unidad apagada. El nivel adecuado debe fijarse siempre con la unidad encendida a temperatura de funcionamiento.

Precaución: Cerciorarse de que se usa el nuevo refrigerante SSR ULTRA, de no hacerlo así, se invalidaría la garantía del fabricante.

Procedimiento de Cambio del Refrigerante

Es mejor drenar el refrigerante inmediatamente después de que el compresor haya estado funcionando ya que el líquido drenará más fácilmente y cualquier contaminante permanecerá en suspensión en el mismo.

- Parar la máquina, aislarla eléctricamente y disipar toda la presión atrapada.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- Colocar un recipiente adecuado cerca de la válvula de purga.
- Retirar lentamente el tapón de la válvula de purga.
- Quitar el tapón de la válvula de purga.
- Abrir la válvula de purga y vaciar el refrigerante en el recipiente.
- Cerrar la válvula de purga.
- Montar de nuevo el tapón en la válvula de purga.
- Rellenar la máquina siguiendo el procedimiento anterior para “restablecer el nivel de refrigerante. Tras el llenado inicial, para purgar cualquier tapón de aire, se deberá hacer funcionar la máquina durante unos minutos realizando el ciclo entre carga y no carga, antes de comprobar que el nivel sea el correcto.
- Sustituir y apretar el tapón de llenado.

Procedimiento de cambio del filtro refrigerante

- Parar la máquina, aislarla eléctricamente y disipar toda la presión atrapada.
- Aflojar el filtro usando la herramienta correcta.
- Retirar el filtro del alojamiento.
- Meter el filtro usado en una bolsa hermética y desecharlo de forma segura.
- Limpiar las superficies coincidentes del alojamiento teniendo en cuenta de que no penetre partícula alguna en la máquina.
- Extraer el nuevo filtro de repuesto de Ingersoll Rand de su paquete protector.
- Aplicar una pequeña cantidad de lubricante en la junta de estanqueidad del filtro.
- Enroscar el nuevo filtro hasta que la junta de estanqueidad haga contacto con el alojamiento y luego apretarlo media vuelta más con la mano.
- Arrancar el compresor y comprobar las posibles fugas.

Procedimientos de Cambio del Elemento del Filtro

- Para la máquina, aislarla eléctricamente y disipar toda la presión atrapada.
- Desenrosque la tuerca de retención y retire el elemento antiguo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- Montar el nuevo elemento.
- Colocar de nuevo la tapa de retención.

Procedimiento de Sustitución del Elemento Separador

- Para la máquina, aislarla eléctricamente y disipar toda la presión atrapada.
- Aflojar el elemento separador con la herramienta adecuada.
- Extraer el elemento de la caja, colocarlo en una bolsa sellada y deséchelo de manera segura.
- Limpiar las superficies coincidentes del alojamiento.
- Extraer el nuevo elemento de repuesto de Ingersoll Rand de su paquete protector
- Aplicar una pequeña cantidad de lubricante al sello del elemento.
- Atornillar el nuevo elemento hasta que el sello entre en contacto con la caja y, seguidamente, apretar con la mano media vuelta más.
- Poner en marcha el compresor e inspeccionarlo por si tiene fugas.

Precaución: Esta unidad no se ha diseñado ni propuesto para funcionar cuando esté contaminada de silicona. Los lubricantes, grasas y otros productos que contengan silicona no deberán utilizarse con esta unidad.

Procedimiento de Limpieza del Refrigerador

- Parar la máquina, aislarla eléctricamente y disipar toda la presión atrapada
- Quitar la tapa superior para lograr acceso al refrigerador
- Limpiar el refrigerador
- Montar todo otra vez siguiendo el orden inverso

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Procedimiento de Verificación y Ajuste de Correas

Verificar de vez en cuando la tensión de las correas, especialmente si se sospecha que estén flojas. Se puede realizar una verificación rápida para determinar si el ajuste es correcto, observando el lado flojo de la correa por si se forma un ligero arco cuando la unidad esté funcionando. Si este ligero arco resulta evidente, la correa está, por regla general, ajustada satisfactoriamente.

Se puede utilizar un dispositivo de medición de la tensión de la correa para determinar la tensión de la misma.

La tensión de la correa se puede conseguir aflojando los pernos de anclaje de la unidad compresora; se incluye un perno de tensión de la correa para ayudar a mover la unidad compresora.

Seguir el procedimiento siguiente para fijar y medir correctamente la tensión de la correa.

- Poner una regla a lo ancho de la superficie superior exterior del accionamiento de la correa desde la polea hasta la roldana
- En el centro de ese tramo, aplicar, perpendicularmente a la correa, presión a la superficie exterior de la correa usando un medidor de la tensión. Obligar la correa a la desviación indicada en el cuadro abajo y comparar la lectura del medidor de la tensión con las cifras que se indican.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

TENSIÓN DE LA CORREA								
	5hp/4kw *		7.5hp/5.5kw *		10hp/7.5kw *		15hp/11kw **	
	Nueva	Usada	Nueva	Usada	Nueva	Usada	Nueva	Usada
60hz								
125 psig	75 Lb (34 Kg)	62 Lb (28 Kg)	110 Lb (50 Kg)	90 Lb (41 Kg)	110 Lb (50 Kg)	90 Lb (41 Kg)	140 Lb (64 Kg)	120 Lb (54 Kg)
150 psig	75 Lb (34 Kg)	62 Lb (28 Kg)	90 Lb (41 Kg)	75 Lb (34 Kg)	110 Lb (50 Kg)	90 Lb (41 Kg)	140 Lb (64 Kg)	120 Lb (54 Kg)
210 psig	75 Lb (34 Kg)	62 Lb (28 Kg)	90 Lb (41 Kg)	75 Lb (34 Kg)	110 Lb (50 Kg)	90 Lb (41 Kg)	150 Lb (68 Kg)	125 Lb (57 Kg)
50hz								
8 bar	85 Lb (39 Kg)	70 Lb (32 Kg)	85 Lb (39 Kg)	70 Lb (32 Kg)	110 Lb (50 Kg)	90 Lb (41 Kg)	140 Lb (64 Kg)	120 Lb (54 Kg)
10 bar	90 Lb (41 Kg)	75 Lb (34 Kg)	85 Lb (39 Kg)	70 Lb (32 Kg)	120 Lb (54 Kg)	100 Lb (45 Kg)	140 Lb (64 Kg)	120 Lb (54 Kg)
14.5 bar	90 Lb (41 Kg)	75 Lb (34 Kg)	100 Lb (45 Kg)	80 Lb (36 Kg)	120 Lb (54 Kg)	100 Lb (45 Kg)	150 Lb (68 Kg)	125 Lb (57 Kg)
* Tensiómetro "Krikrit I" o equivalente								
** Tensiómetro "Krikrit II" o equivalente								

Antes de arrancar de nuevo el compresor, cerciorarse de que la polea y la roldana estén correctamente alineadas y de que los tornillos de anclaje del motor queden adecuadamente apretados.

Precaución: Siendo incorrectas la alineación de la polea/roldana y la tensión de la correa puede ocasionar sobrecarga del motor, vibración excesiva y fallo prematuro de la correa y/o de rodamientos. Para evitar la ocurrencia de estos problemas, cerciorarse de que resulten satisfactorias la alineación de la polea y de la roldana y la tensión de la correa después de instalar nuevas correas o de tensar las correas ya existentes.

Válvula Eléctrica de Vaciado

Descripción del producto: La válvula eléctrica de vaciado (EDV) elimina el líquido refrigerante y el agua condensados en el tanque acumulador de aire. Se pueden instalar drenajes adicionales en todo el sistema de aire comprimido, incluyendo posrefrigeradores, filtros, tuberías de vaciado y secadores.

La válvula eléctrica de vaciado opera bajo un temporizador que puede regularse para que vacíe automáticamente el tanque colector de aire a intervalos designados por el operador.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Las características clave incluyen:

- 100% trabajo continuo
- Envolvente según NEMA 4
- Tiempo regulable encendido (0.5-10 segundos)
- Tiempo regulable apagado (0.5-45 minutos)
- Operador de acero inoxidable
- Diodo emisor de luz (LED) para indicar que la corriente eléctrica está conectada
- Diodo emisor de luz (LED) para indicar que la válvula está abierta
- Sobremultiplicador manual

Funcionamiento

- Abrir la válvula esférica del purificador



- Ajustar los botones de tiempo “apagado” y “tiempo encendido”
- Durante el funcionamiento del compresor, comprobar si hay fugas de aire

Ajustes del Temporizador

El ajuste de “tiempo apagado” determina el intervalo entre ciclos desde 30 segundos hasta 45 minutos. El ajuste del “tiempo de encendido” determina el tiempo en sí que el compresor vacía el condensado.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

La relación del ciclo del temporizador y del tiempo de apertura del desagüe deberá ajustarse para que se abra justamente durante el tiempo suficientemente largo para descargar el condensado. El temporizador está adecuadamente ajustado cuando se abre y descarga el condensado y luego ventila aire durante un segundo aproximadamente antes de cerrarse. Los ajustes pueden realizarse en función de muchos factores, la humedad y el ciclo de trabajo incluidos.

Localización de Fallas

FALLO	CAUSA	ACCION
La válvula no se cierra	Suciedad que en la válvula de solenoide impide el asiento del diafragma.	Retirar la válvula de solenoide, desarmarla, limpiarla y montarla de nuevo.
El temporizador no se activa	No hay suministro eléctrico. Funcionamiento defectuoso del temporizador. Lumbrera obstruida. Funcionamiento defectuoso de la válvula de solenoide. Purificador obstruido.	Aplicar la corriente. Cambiar el Temporizador. Limpiar la válvula. Cambiar la válvula de solenoide. Limpiar el purificador.

Mantenimiento

Limpiar periódicamente el tamiz del interior de la válvula para mantener el desagüe funcionando a máxima capacidad. Para ello, realizar los pasos siguientes:

- Cerrar por completo la válvula esférica del purificador para aislarla del tanque colector del aire.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- Pulsar el botón de PRUEBA en el temporizador para ventilar la presión remanente en la válvula. Repetir la operación hasta que se haya eliminado toda la presión.

Precaución: El aire a alta presión puede ocasionar lesiones a causa de piezas volantes. Cerciorarse de que la válvula esférica del purificador esté completamente cerrada y de que se elimina la presión de la válvula antes de realizar limpieza.

- Quitar el tapón del purificador utilizando una llave adecuada. Si se oye salir aire de la lumbrera de limpieza, PARAR RAPIDAMENTE y repetir los pasos 1 y 2.
- Quitar el tamiz del filtro de acero inoxidable y limpiarlo. Eliminar toda suciedad que pueda haber en el cuerpo del purificador antes de montar de nuevo el tamiz del filtro.
- Montar de nuevo el tapón y apretarlo con la llave.
- Al volver a poner la válvula eléctrica de vaciado en funcionamiento, pulsar el botón de prueba para confirmar que funciona correctamente.

Antes de acceder a piezas eléctricas, desconectar la alimentación eléctrica al secador utilizando el interruptor de desconexión o desconectando las conexiones de cables.

Mantenimiento Preventivo

Para obtener un óptimo rendimiento del secador, respétese el programa de mantenimiento periódico que se describe a continuación:

Semanalmente	Desagües del Condensado: Comprobar que los desagües del condensado funcionan correctamente.
Cada 4 Meses	Condensador: Limpiar el polvo acumulado en las aletas del condensador.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Anualmente	Desagües del Condensado: Desmontar por completo los desagües y limpiar todos sus componentes. Filtro de Aire: Cambiar el elemento del filtro de aire.
-------------------	--

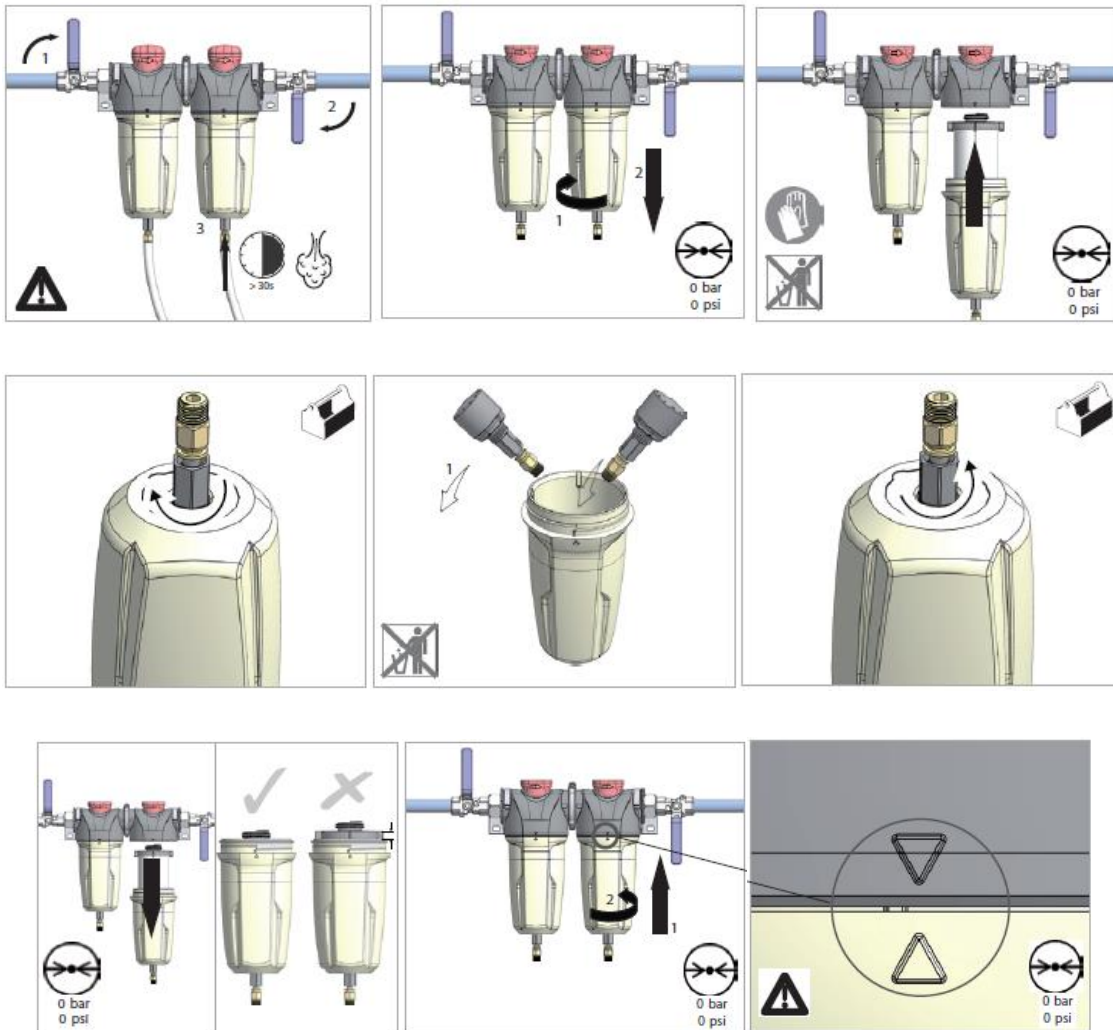
Mantenimiento del Separador de la Humedad

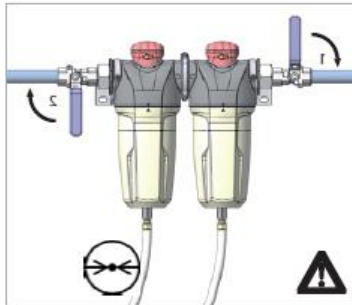
El separador de la humedad funcionará indefinidamente bajo condiciones normales de trabajo, aunque en algún momento tal vez requiera cambiar las juntas de estanqueidad en caso de que la carcasa mostrase fugas.

- Aislar la carcasa del suministro de aire
- Eliminar por completo la presión de la cubeta de desagüe según proceda
- Desenroscar la cubeta y retirarla. Si no se ha liberado la presión de la cubeta por completo, el aire se escapará por el agujero de aviso produciendo una alarma sonora. Enroscar la cubeta y repetir la instrucción 2 antes de intentarlo de nuevo. Si se experimenta resistencia al desenroscarla, se provee una llave en forma de “C” que encaja en los refuerzos de la cubeta.
- Comprobar el estado de las juntas de estanqueidad de la cubeta y cambiarlas si fuere necesario. Limpiar las roscas.
- Montar otra vez la cubeta junto con la junta tórica.
- Someterla a presión de nuevo y comprobar si sufre fugas. En caso positivo, lo más probable es que ocurran por la junta tórica de la cubeta. Eliminar la presión de la carcasa y quitar la junta tórica e inspeccionar y limpiar. Cerciorarse que las superficies coincidentes estén limpias y luego montar la junta tórica y someter a presión otra vez.

Mantenimiento del Filtro de Aire

Con el fin de asegurar la óptima calidad del aire, deberá cambiarse el filtro de aire como se indica a continuación. (Los elementos del filtro usados deberán desecharse de conformidad con las normas locales). Utilizar únicamente elementos de repuesto genuinos de Ingersoll Rand.





Desmontaje de la Unidad

La unidad ha sido concebida y fabricada para garantizar un funcionamiento continuo.

La larga duración en servicio de algunos componentes, tales como el ventilador y el compresor, está en función de un buen mantenimiento.

La unidad sólo deberá ser desmontada por un especialista en refrigeración.

El líquido refrigerante y el aceite lubricante del interior del circuito de refrigeración han de recuperarse de conformidad con la normas actuales del país en el que la máquina sea instalada.

DESMONTAJE DE RECICLAJE	
Bastidor y paneles	Acero/poliéster de resina epoxidica
Intercambiador de Calor (Refrigerador)	Acero Inoxidable
Tuberías	Cobre
Aislante	Goma sintética
Compresor	Acero/Cobre/Aluminio/Aceite
Condensador	Aluminio
Refrigerante	R134a
Válvula	Acero

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Fugas de Refrigerante en el Circuito de Refrigeración

La unidad se despacha ya cargada y en perfectas condiciones de trabajo. Las fugas del refrigerante pueden identificarse al desconectarse el protector de sobrecarga de refrigeración.

SI SE DETECTA UNA FUGA EN EL CIRCUITO DE REFRIGERACION, SOLICITE ASISTENCIA TECNICA.

Carga de Refrigerante

Esta operación solo deberá realizarla un especialista en refrigeración

Cuando se repare el circuito de refrigeración recoger todo el refrigerante en un recipiente y desecharlo de la manera apropiada

Características del Refrigerante R134a

Bajo condiciones normales de temperatura y presión, el citado refrigerante es un gas incoloro de la clase A1/A1 gas con un valor TLV de 1000ppm (clasificación de ASHRAE).

Si ocurre una fuga de refrigerante, ventilar bien la sala ante de comenzar con algún trabajo.

Localización de Fallas

FALLA	CAUSA	ACCION
La válvula de condensado de solenoide no se cerrará.	<ul style="list-style-type: none"> Suciedad que en la válvula de solenoide impide el asiento del diafragma. Cortocircuito en un componente eléctrico. 	<ul style="list-style-type: none"> Retirar la válvula de solenoide, desarmarla y limpiarla y montarla nuevamente. Comprobar y cambiar el cable de

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

		corriente o del temporizador, según proceda.
El temporizador de drenaje no funcionará.	<ul style="list-style-type: none"> • No hay suministro eléctrico • Funcionamiento defectuoso del temporizador • Lumbrera obstruida • Funcionamiento defectuoso de la válvula de solenoide • Purificador obstruido 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar la corriente • Cambiar el temporizador • Limpiar la válvula • Cambiar la válvula de solenoide • Limpiar el purificador

Mantenimiento

Limpiar periódicamente el tamiz del interior de la válvula para mantener el desagüe funcionando a máxima capacidad. Para ello, realizar los pasos siguientes:

- Cerrar por completo la válvula esférica del purificador para aislarla del tanque colector del aire.
- Pulsar el botón de PRUEBA en el temporizador para ventilar la presión remanente en la válvula. Repetir la operación hasta que se haya eliminado toda la presión.

Precaución: El aire a alta El aire a alta presión puede ocasionar lesiones a causa de piezas volantes. Cerciorarse de que la válvula esférica del purificador esté completamente cerrada y de que se elimina la presión de la válvula antes de realizar limpieza.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- Quitar el tapón del purificador utilizando una llave adecuada. Si se oye salir aire de la lumbrera de limpieza, PARAR INMEDIATAMENTE y repetir los pasos 1 y 2.
- Quitar el tamiz del filtro de acero inoxidable y limpiarlo. Elimina toda suciedad que pueda haber en el cuerpo del purificador antes de montar de nuevo el tamiz del filtro.
- Montar de nuevo el tapón y apretarlo con la llave.
- Al volver a poner la Válvula Eléctrica de Vaciado en funcionamiento, pulsar el botón de PRUEBA para confirmar que funciona correctamente.

Solución de Averías

AVERIA	CAUSA	SOLUCION
El compresor no arranca	<ul style="list-style-type: none"> • No posee tensión de la red principal o de control • Temporizador defectuoso de arrancador Estrella/Delta 	§ Comprobar el suministro eléctrico entrante. § Comprobar el fusible del circuito de control. § Comprobar el devanado secundario del transformador para la tensión de control. § Cambiar temporizador de Arranque Estrella/Delta.
La máquina se para periódicamente	<ul style="list-style-type: none"> • Alta temperatura del "Airend" • Sobrecarga del motor 	Restablecer el nivel del refrigerante

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

	<ul style="list-style-type: none"> Variación de tensión de línea 	<p>§ Fijar la sobrecarga en el valor correcto y cambiar a reposición manual.</p> <p>§ Cerciorarse de que la tensión no caiga por debajo del 10% al arrancar y del 6% en funcionamiento.</p>
Alto consumo de corriente	<ul style="list-style-type: none"> Compresor funcionando a presión superior a la nominal Elemento separador contaminado Baja tensión Tensión desequilibrada “Airend” dañado 	<p>Fijar la presión en el régimen correcto para la máquina.</p> <p>Cambiar el filtro de aire y el elemento separador.</p> <p>§ Cerciorarse de que la tensión no caiga por debajo del 10% al arrancar y del 6% en funcionamiento.</p> <p>Tensión correcta del suministro entrante</p> <p>† Cambiar la unidad compresora.</p>
Bajo Consumo de Corriente	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación del filtro de aire Compresor funcionando sin carga 	<p>Cambiar el filtro de aire.</p> <p>Fijar la presión en el régimen correcto para la máquina.</p>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

	<ul style="list-style-type: none"> • Alta tensión • Válvula de admisión defectuosa 	<p>Reducir la tensión del sitio hasta la tensión correcta de trabajo.</p> <p>† Montar el kit de servicio de la válvula de admisión.</p>
Alta presión de descarga	<ul style="list-style-type: none"> • Ajuste defectuoso o incorrecto del interruptor de presión • Válvula de purga defectuosa • Funcionamiento defectuoso de la válvula de admisión 	<p>Cambiar o fijar la presión en el régimen correcto para la máquina.</p> <p>† Montar el kit de servicio de la válvula de solenoide de seguridad.</p> <p>† Montar el kit de servicio de la válvula de admisión.</p>
Baja Presión de Aire del Sistema	<ul style="list-style-type: none"> • Elemento separador contaminado • Ajuste incorrecto del interruptor de presión • Funcionamiento defectuoso de la válvula de presión mínima • Válvula de purga defectuosa 	<p>Montar el nuevo elemento separador.</p> <p>Fijar la presión en el régimen correcto para la máquina.</p> <p>† Montar el kit de servicio de la válvula de presión mínima.</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • La correa de accionamiento patina • Fugas en el sistema de aire • Funcionamiento defectuoso de la válvula de admisión • La demanda del sistema supera la descarga del compresor • Filtros de aire comprimido contaminados 	<p>† Montar el kit de servicio de la válvula de solenoide de purga.</p> <p>Montar la nueva correa.</p> <p>† Reparar fugas.</p> <p>† Montar el kit de servicio de la válvula de admisión.</p> <p>Reducir la demanda o instalar un compresor adicional.</p> <p>Sustituir los elementos del filtro de aire.</p>
<p>Punto de Rocío Alto</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El compresor de refrigeración no recibe corriente • Funcionamiento defectuoso del sistema de condensación 	<p>Comprobar el suministro eléctrico entrante.</p> <p>Comprobar el funcionamiento de la válvula de drenaje.</p> <p>Comprobar el funcionamiento de las</p>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

	<ul style="list-style-type: none"> • Condensar sucio 	válvulas de retención de condensación. Limpiar el condensador y sustituir el elemento del filtro del panel.
Formación de Hielo en el Secador	<ul style="list-style-type: none"> • Baja presión del evaporador 	Comprobar el ajuste de la válvula de gas caliente.

Precaución:

Aplicaciones de Baja Demanda. Durante los periodos de baja demanda, el compresor puede no alcanzar su normal temperatura de funcionamiento. El funcionamiento sostenido a baja demanda puede tener como resultado la acumulación de condensación en el refrigerante. Si ocurre esta situación, las características de lubricación del refrigerante pueden deteriorarse y puede llevar a daños en el compresor.

Al compresor debe permitírsele un amplio tiempo de funcionamiento de al menos 10 minutos por hora durante el uso normal diario.

El compresor se dispara debido a temperatura excesiva	<ul style="list-style-type: none"> • Compresor funcionando a presión superior a la nominal • Filtro previo de la unidad atascado • Refrigerador atascado 	Fijar la presión en el régimen correcto para la máquina. Limpiar/Cambiar el filtro previo de la unidad. Limpiar el refrigerador.
--	---	--

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

	<ul style="list-style-type: none"> • Faltan o están incorrectamente montados los paneles de la envolvente • Bajo nivel del refrigerante • Alta temperatura ambiente • Flujo restringido del aire refrigerante 	<p>Cerciorarse de que todos los paneles de la envolvente estén correctamente contados.</p> <p>Restablecer el nivel del refrigerante y comprobar si existen fugas.</p> <p>Cambiar de sitio el compresor.</p> <p>Asegurar el caudal correcto de aire al compresor.</p>
Consumo Excesivo de Refrigerante	<ul style="list-style-type: none"> • Fuga en el elemento separador • Drenaje bloqueado del elemento separador • Compresor funcionando por debajo de la presión nominal • Fugas en el sistema refrigerante 	<p>Montar el nuevo elemento separador.</p> <p>† Retirar accesorios y limpiarlos.</p> <p>Fijar la presión en el régimen correcto para la máquina.</p> <p>† Reparar fugas.</p>
Excesivo Nivel de Ruido	<ul style="list-style-type: none"> • Fugas de aire en el sistema • Airend defectuoso 	<p>† Reparar fugas.</p> <p>† Cambiar la unidad compresora.</p>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

	<ul style="list-style-type: none"> • Correas patinando • Motor defectuoso • Componentes flojos 	Cambiar correa y tensor. † Cambiar el motor. † Apretar nuevamente los componentes que se encuentren flojos.
Fugas en el sello del eje	<ul style="list-style-type: none"> • Sellos del eje defectuosos 	† Montar el kit de servicio de juntas de estanqueidad de la unidad compresora.
Válvula de alivio de presión se abre	<ul style="list-style-type: none"> • Interruptor defectuoso o ajuste del interruptor de presión incorrecta • Mal funcionamiento de la válvula de presión mínima • Válvula de purga defectuosa • Mal funcionamiento en la válvula de entrada • Válvula de alivio de presión defectuosa 	Cambiar o fijar la presión en el régimen correcto para la máquina. † Montar el kit de servicio de la válvula de presión mínima. † Montar el kit de servicio de la válvula de solenoide de seguridad. † Montar el kit de servicio de la válvula de admisión. Comprobar el ajuste de la válvula de seguridad de presión y la presión de régimen.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Residuos en Protector de Correa/Caja de Refrigeración	<ul style="list-style-type: none"> • Correa de transmisión patina • Poleas desalineadas • Poleas desgastadas 	<p>Cambiar correa y tensor.</p> <p>Alinear nuevamente las poleas.</p> <p>† Cambiar poleas y correas.</p>
Válvula de Seguridad del Compresor cuando está con Carga	<ul style="list-style-type: none"> • Válvula de presión mínima atascada • Válvula de seguridad defectuosa 	<p>Desmontar la válvula de presión mínima, examinarla y repararla si es necesario.</p> <p>Comprobar el ajuste de la válvula de seguridad y la presión de régimen.</p>

§ Ha de llevarlo a cabo un electricista competente.

† Se recomienda que este trabajo sea realizado únicamente por un técnico de servicio autorizado de Ingersoll Rand.

BOMBAS DE VACIO DE DIAFRAGMA

Mantenimiento bomba de vacío de diafragma Husky 307

Lubricación

La válvula neumática ha sido diseñada para un funcionamiento sin lubricante, aunque se puede lubricar si se desea: cada 500 horas de funcionamiento (o una vez al mes), extraiga la manguera de la entrada de aire a la bomba y añada dos gotas de aceite para máquinas en la entrada de aire.

Precaución: No lubrique bomba en exceso, ya que puede salir aceite por el silenciador, pudiendo contaminar el fluido u otro equipo. Una lubricación excesiva puede provocar también un funcionamiento defectuoso de la bomba.

Limpieza y almacenamiento: Siga siempre las instrucciones de la sección Procedimiento de descompresión para evitar que se produzcan serios daños cuando se deba liberar la presión.

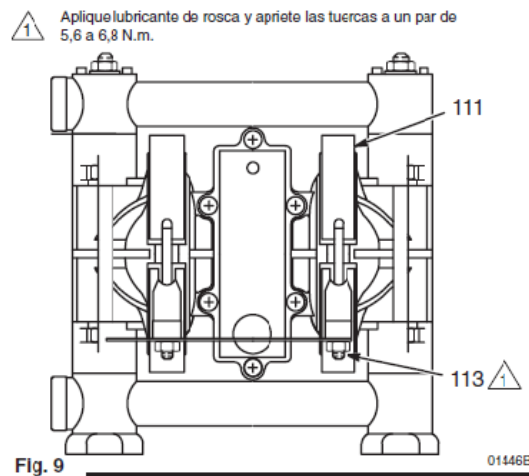
Lave la bomba con una frecuencia suficiente para impedir que se seque o se congele el fluido bombeado en la misma, ya que podría dañarla. Utilice un disolvente compatible. Antes de almacenar la bomba, lávela siempre y libere la presión.

Apriete de las conexiones roscadas

Antes de cada uso, compruebe si las mangueras están desgastadas o dañadas, y cámbielas cuando sea necesario. Compruebe que todas las conexiones roscadas estén bien apretadas y que no presenten fugas. La frecuencia con que se deben apretar las conexiones varía con el uso de la bomba; por lo general se recomienda apretar las piezas cada dos meses.

Apriete de las bridas

Cuando se aprieten las bridas (111), aplique lubricante para roscas en los pernos y asegúrese de apretar las tuercas (113) a un par de 5,6 a 6,8 N.m. Vea la Fig. 9.

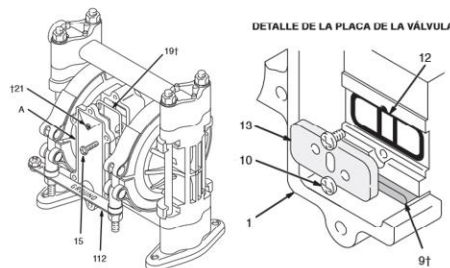
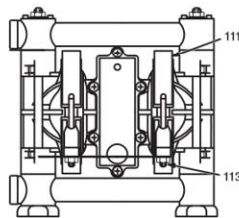


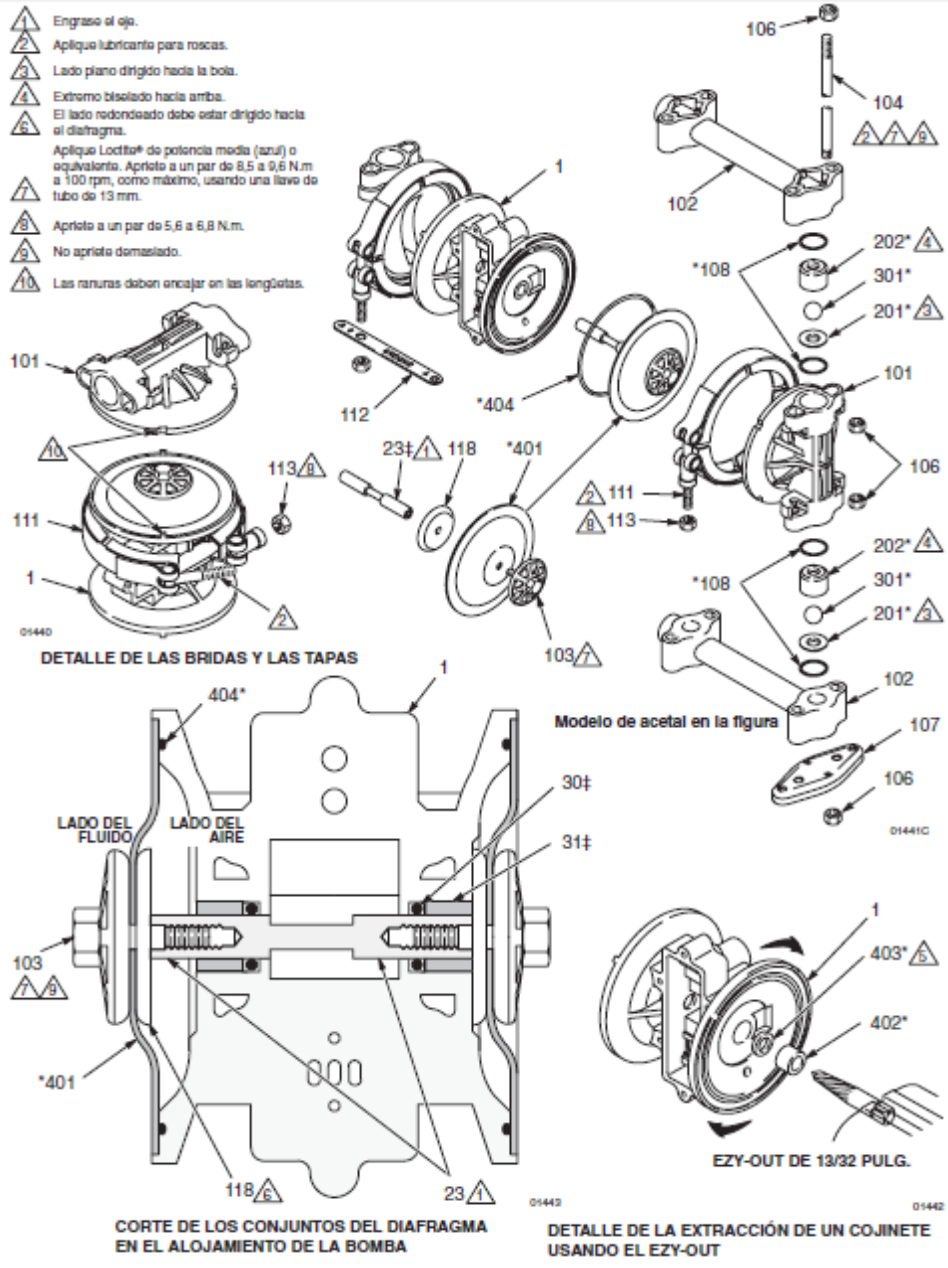
Detección de problemas

PROBLEMA	CAUSA	SOLUCION
La bomba no gira, o gira una vez y después se para.	<ol style="list-style-type: none"> 1. La válvula neumática está atascada o sucia. 2. La varilla de retención (22) está desgastada o rota. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gire el eje de reposición (21). • Desarme la válvula neumática y límpiela. • Utilice aire filtrado. • Reemplace la varilla de retención (22) y la bola (8).

	<p>3. Los muelles (3, 6) y/o la cubeta de la válvula (5) y la placa (13) está rotas o dañadas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sustituya las piezas.
<p>La bomba gira durante el proceso de parada o pierde presión durante la parada.</p>	<p>4. Las válvulas de retención o las juntas tóricas (108) presentan fugas.</p> <p>5. Las bolas de retención (301) o el asiento (201) están desgastados.</p> <p>6. La bola de retención (301) está mal montada en el asiento (201).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sustituya las piezas. • Sustituya las piezas. • Cambie la bola.
<p>Hay una pérdida de aire excesiva en la salida de evacuación.</p>	<p>7. La cubeta de la válvula (5) o la placa (13) están desgastadas.</p> <p>8. Las juntas del eje (30) están desgastadas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sustituya las piezas. • Sustituya las juntas.
<p>La bomba funciona de forma irregular.</p>	<p>9. La tubería de aspiración está atascada.</p> <p>10. Las bolas de la válvula de retención (301) están pegadas o presentan fugas.</p> <p>11. El diafragma (401) está roto.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Revise y limpie la tubería. • Limpie o cambie las bolas. • Sustituya el diafragma.
<p>Hay burbujas de aire en el fluido.</p>	<p>12. La línea de aspiración está floja, o no se ha puesto suficiente sellador de roscas.</p> <p>13. El diafragma (401) está roto.</p> <p>14. Los colectores (102) están flojos o las juntas tóricas (108) están dañadas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Apriete las conexiones de la línea de aspiración. Utilice cinta de PTFE o un líquido sellador compatible en todas las conexiones. • Sustituya el diafragma. • Apriete los pernos (104) o las tuercas (106) del colector; cambie las juntas tóricas (108).

	15. Las placas externas del diafragma (103) están flojas.	<ul style="list-style-type: none"> • Apriete las placas.
Presencia de fluido en el aire de evacuación.	16. El diafragma (401*) está roto. 17. Las placas externas del diafragma (103) están flojas.	<ul style="list-style-type: none"> • Sustituya el diafragma. • Apriete las placas.
La bomba evacua aire durante la puesta en marcha.	18. La cubeta de la válvula (5) o la placa (13) están desgastadas. 19. Las juntas del eje (30) están desgastadas.	<ul style="list-style-type: none"> • Sustituya las piezas. • Sustituya las juntas.
La bomba evacúa aire por las bridas.	20. Las bridas (111) están flojas.	<ul style="list-style-type: none"> • Apriete las tuercas de las bridas (113).
La bomba evacúa aire por la zona de la válvula neumática.	21. Los tornillos de la válvula neumática (15) están flojos. 22. La válvula neumática o la junta tórica (19) están dañadas.	<ul style="list-style-type: none"> • Apretar los tornillos. • Revise y cambie la junta tórica.
La bomba presenta fugas de fluido por las válvulas de retención.	23. Las juntas tóricas (108) están desgastadas o dañadas.	<ul style="list-style-type: none"> • Revise, cambie las juntas tóricas.





 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

ANEXO 2

EXPERIENCIAS EN VISITAS EMPRESARIALES

(VISITA EMPRESARIAL ALMACENES JJ, COMPRESORES DE PISTON)

Almacenes JJ cuenta con personal de Ingenieros y Técnicos certificados por las fábricas para prestar servicio de mantenimiento y asistencia al producto, dotados de los elementos y equipos especiales, necesarios para poner a punto la maquinaria instalada en las Plantas de sus clientes. Desarrolla acuerdos de mantenimiento preventivo basados en las pautas dictadas por los fabricantes y por la instalación misma de sus clientes, tendientes a optimizar y mantener el desempeño de los equipos en el punto más alto de confiabilidad, soportado por medios predictivos como análisis de fluidos, análisis de vibraciones por impulsos de choque y análisis de la calidad del aire de admisión a los compresores. Además cuenta con un amplio surtido de repuestos y accesorios originales para satisfacer los requerimientos de los equipos en los diferentes fabricantes que representan, garantizando la confiabilidad y disponibilidad para el sistema productivo de sus clientes, manteniendo los estándares de fabricación y desempeño de los mismos.

Seguimiento a mantenimiento correctivo en compresor modelo SS3 INGERSOLL RAND

El compresor de pistón modelo SS3 (figura 22) es un compresor de simple efecto, de una etapa, con un motor monofásico AC de 230 V, 14.7 A, 60 Hz, clase B, con un Factor de Servicio 1.0, 3 hp potencia con transmisión por banda tipo A, con relaciones de transmisión en sus poleas entre 580 RPM mínima hasta 1250 RPM máximas, con un rango máximo de presión de 135 PSI y tanque vertical con una capacidad de 3.2 BHP.



Compresor de pistón de simple efecto modelo SS3 Ingersoll Rand

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Se recibe la unidad de compresión la cual es empleada para labores de pintura de tanques en una empresa distribuidora de gas domiciliario razón por la cual la unidad presenta una apariencia azul. El cliente argumenta que la unidad estaba trabajando y se quedó frenada de un momento a otro quedando la polea bloqueada.



Unidad compresor de pistón de simple efecto modelo SS3 Ingersoll Rand

Por las experiencias anteriores del técnico argumenta que la posible causa del bloqueo de la polea puede ser que la unidad se quedó sin aceite y se frenó la unidad. Lo primero que revisa es el nivel de aceite en la unidad compresora encontrando que tiene un nivel muy bajo de aceite. Se procede a desensamblar la unidad para su inspección. Primero se aflojan los pernos de la tapa del cilindro y se quita la culata o tapa de cilindro (figura 24) pegándole un leve golpe para que afloje ya que se encontraba pegada debido al sellamiento que produce el empaque, cada que se destape la unidad se debe cambiar los empaques para un mejor sellamiento.



Tapa del cilindro y su respectivo empaque

Observamos el plato de válvula el cual presenta resto de pintura azul lo cual es a causa de trabajar la unidad con el filtro de admisión taponado. Podemos ver las válvulas de descarga en la parte superior y admisión en la parte inferior del plato de válvula carbonizada debido a las altas temperaturas alcanzadas por falta del lubricante.



Parte superior del plato de válvula y válvulas de descarga.



Parte inferior del plato de válvula donde se alojan las válvulas de admisión con su respectivo empaque.

Se procede con el desmonte las válvulas de admisión y descarga las cuales se encuentran fijadas al plato de válvula por medio de un tornillo y una tuerca. Una vez desmontadas válvulas de admisión y descargas se revisa su estado encontrando corrosión la cual se puede lijar, lo que hay que mirar es que no tenga un aspecto de espejo o brillo el cual se presenta por el constante abrir y cerrar de la válvulas; si se presenta un aspecto de espejo en la válvula es tiempo de cambio.



Válvulas de admisión con aspecto una de corrosión y la otra de espejo lo cual sugiere cambio en válvulas de admisión.



Válvulas de descarga con aspecto de corrosión y de espejo lo cual sugiere cambio en válvulas de descarga.

Se procede a desmontar el bloque de cilindros el cual está sujeto al Carter por medio de 4 tornillos. Se genera una fuerza vertical en cruz con un chipote de goma y así poder sacar el bloque de cilindros de los pistones.



Cilindro y bielas las cuales se ven carbonizadas en su parte superior

Observamos que los cilindros se encuentran rayados debida a la fricción entre el cilindro y los pistones a causa de la falta de aceite en unidad a la hora de estar en servicio, La refrigeración entre los pistones y el cilindro se efectúa por salpicadura producida por una aleta en la parte inferior de la biela. Al estar el Carter con una cantidad mínima de aceite la aleta no produjo su efecto de salpicadura lo cual género que la unidad se frenara a causa de las altas temperaturas producidas por la fricción a alta velocidad causada por el efecto reciprocante entre el cilindro y los pistones dejando como consecuencias rayas profundas en cilindros y pistones.



Cilindro rayados a causa de fricción con pistones sin aceite.



Pistón rayado a causa de fricción con cilindro sin aceite.

El brazo de biela está sujeto al cigüeñal por perdió de dos tornillos que fijan la tapa de la biela al cigüeñal, para mirar si hay desgaste en cigüeñal se procede a desmontar los dos tornillos entre el brazo de la biela y la tapa de biela. Encontramos desgaste en el cigüeñal el cual puede ser lijado y así corregir este pequeño desgaste. El desgaste en brazo y tapa de biela no se pueden corregir ya que son de un materia más blando que el cigüeñal y sufren mayor desgaste por lo cual se procede con el cambio de bielas.



Tornillos que fijan el brazo de biela a la tapa de la biela en cigüeñal además observamos el desgaste leve en la parte derecha de cigüeñal.



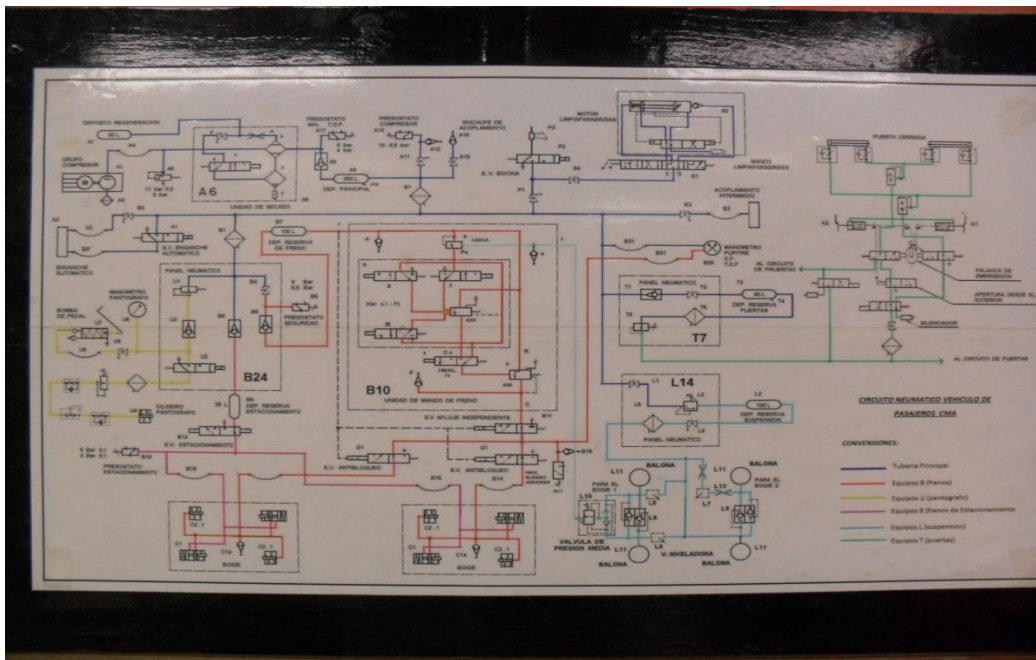
Desgaste en brazo de biela

Desgaste en tapa de biela.

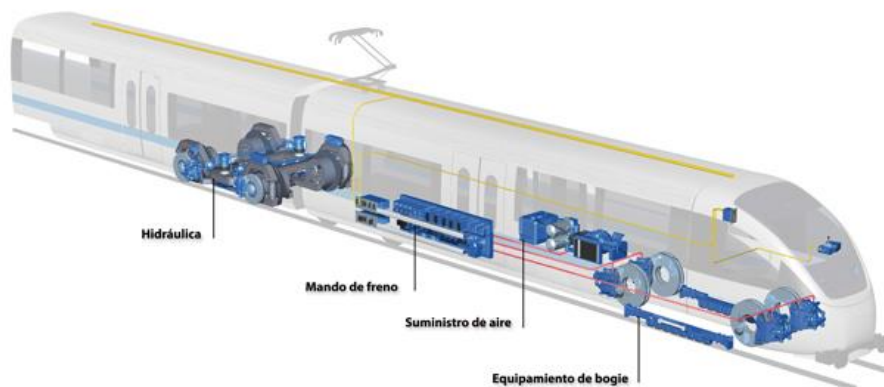
Se procede con el lapeado en cilindros para borrar las rayas en los cilindros para luego proceder a la medición de tolerancias: entre pistón y cilindros (la cual debe estar entre 0.03 y .005 milésimas de pulgada), entre anillos y cilindros (la cual debe estar entre 0.06 y .023 milésimas de pulgada), entre cigüeñal y bielas (la cual debe estar entre 0.01 y .002 milésimas de pulgada) que son los rangos normales de trabajo de lo contrario se debe proceder con el cambio de la parte por fuera de tolerancia. En esta unidad todas las partes antes mencionadas están por fuera de tolerancia lo cual requiere cambio de las mismas. En esta unidad pudimos observar lo costoso que sale dejar la unidad sin aceite ya que la reparación de esta misma sale más costosa que comprar una unidad nueva. Se recomienda estar revisando periódicamente el nivel de aceite en la unidad además se recomienda tomar una pequeña muestra para verificar que el aceite: tenga buena viscosidad, no tenga impurezas y esté libre de condensado.

(VISITA EMPRESARIAL METRO DE MEDELLIN, COMPRESORES DE PISTON)

En la visita al Metro de Medellín conocimos los compresores de pistón instalados en los trenes o vagones, son Compresores de marca Knorr – Bremse AG tipo VV 230 – 2. Este tipo de compresores para vehículos ferroviarios controlan: el sistema completo de frenado, sistema de cierre y apertura de puertas, sistema de climatización, sistema de diagnóstico de bogie (encargado de mantener el tren nivelado independiente de la ubicación de las personas), los limpiaparabrisas.



Circuito neumático en vehículo para pasajeros



Sistemas que alimenta un compresor para vehículos ferroviarios

Compresor de una capacidad de 10 bares, 4 cilindros, de 2 etapas (alta y baja), con un Carter con capacidad máxima de 3.2 litros, su sistemas de lubricación es por salpicadura, utiliza un aceite sintético tipo Shell Corena con un consumo de aceite aproximado entre 1.5 a 2 $cm^3 \times hora$.



Unidad de compresión marca Knorr – Bremse AG tipo VV 230 – 2

Los compresores de pistón son encargados de alimentar al sistema de la unidad de tren con aire, el compresor admite el aire del exterior atreves del filtro de admisión (filtro de alta impurezas con corena), este es protegido en su interior por aceite, el cual tiene la función de separar las impurezas o contaminantes que trae el aire de la atmósfera ingresando solo aire limpio a la unidad, luego el aire entra al depósito principal (A9) con una capacidad de 10 Bares.



Filtro de admisión de alta impurezas con corena

Una vez se realiza la admisión y compresión el aire ingresa al intercambiador de calor en donde el aire es refrigerado.



Intercambiador de calor encargado de bajar la temperatura del aire comprimido

Las rutinas de mantenimiento que se realiza a estos compresores son de acuerdo al kilometraje, en la inspección **I1** solo se revisa el nivel de aceite y su viscosidad, además se revisa que no exista contaminantes o restos de limallas, esta inspección se realiza visualmente así como también se miran que las aspas que refrigeran al intercambiador de calor no estén rotas; en la inspección **I2** (cuando el tren lleva aproximadamente 60.000 Km de recorrido) la cual consta de un mantenimiento superficial que comprende cambio de aceite, cambio de válvulas de admisión y descarga, se revisa tolerancia entre biela y cigüeñal ; las bielas están soportadas sobre unos rodamientos de canastilla en el cigüeñal permitiendo juego axial mas no radial.



Cigüeñal encargado de realizar movimiento reciprocante a pistón-biela las cual está alojado sobre rodamientos.

En la inspecciones **I3** (cuando el tren lleva aproximadamente 150.000 Km de recorrido o alrededor de 1 año) el mantenimiento es más general en el cual se cambian válvulas de admisión y descarga, filtro de admisión, cambio de aceite, se realiza inspección en rodamientos y aspas de ventilación. Cada dos o tres meses se realiza análisis de vibraciones a las unidades para detectar si se presenta golpeteo de ser así la unidad entre al taller para ser inspeccionada.

El mantenimiento mayor **R** (cada 4 años y medio o 5 años) se realiza revisión general del compresor y se cambian todas las partes del compresor independientemente del estado en que se encuentren los elementos como son: el cambio de rodamientos, válvulas de admisión y descarga, aceite, empaques ,se revisa culatas, Carter, se realiza metrología en cigüeñal y bielas, pistón y cilindro buscando que las tolerancias permitidas por el fabricante se encuentren dentro del rango normal de trabajo de lo contrario se procede al cambio.



Biela completa

Valvulas de admision y compresion



Parte exterior del Carter



Parte interior del Carter



Bloque de cilindros

culata o tapa de cilindro

Bloque de cilindro donde se encuentra las etapas de alta y baja con sus respectivos pistones.

Una vez terminados todos los procedimientos la unidad se lleva al banco de pruebas donde se realizan la prueba en vacío, la cual consiste en poner a trabajar el equipo sin carga para mirar el funcionamiento de iniciación de marcha, se verifica que el equipo este cargando eficientemente , se verifica la lubricación en la unidad, se toman valores de voltaje y corriente para verificar que todo funcione correctamente, se deja trabajando la unidad por media hora en vacío, luego se poner a cargar el equipo y se toman los tiempos que toma en cargar para ver si está dentro los rangos normales de carga para verificar que la unidad se encuentra trabajando en condiciones normales de servicio, los trabajos de bobinados en el motor son realizados por personal externo.



Banco de pruebas para unidades reparadas

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Los compresores entran a mantenimiento cuando el técnico detecta en su inspección golpeteo en el análisis de vibraciones, desprendimiento o rompimiento de un tornillo, rompimiento del soporte de un amortiguador, rompimiento en válvula de suspensión, contaminación del aceite o desprendimiento de viruta en aceite.

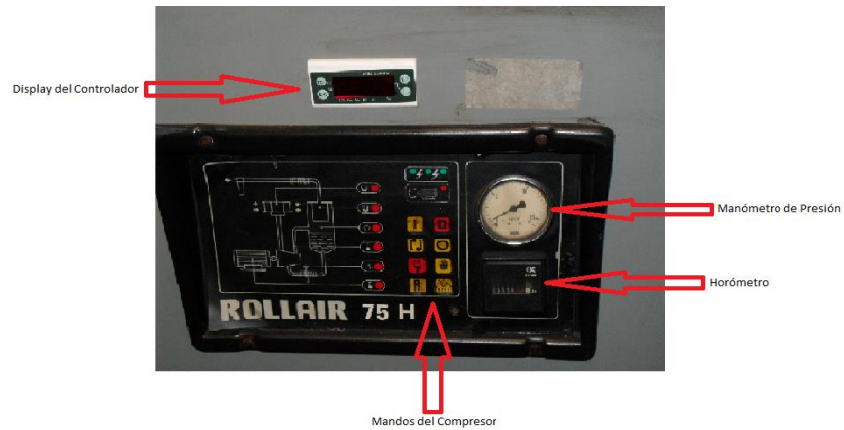
Todos los mantenimiento en las unidades de compresión se llevan a cabo en base a los manuales de procedimiento o rutinas recomendados por el fabricante de este modo los técnico ejecutan las labores de inspección y mantenimiento en las unidades.

Un compresor se da de baja o sale de circulación cuando en su estructura o cuerpo presenta fisuras debido a las altas temperaturas, frecuente en culatas o carter, así como también desgaste en bridas.

(TALLERES METRO DE MEDELLIN, COMPRESORES DE TORNILLO)

En visita realizada a las instalaciones de los talleres del metro de Medellín, específicamente al laboratorio de neumática y cuarto de compresores, tuvimos la oportunidad de conocer más de cerca como es el proceso de distribución por medio de los compresores de tornillo con los que ellos cuentan. En total son tres compresores de tornillos, dos de ellos marca Rollair 75H, tecnología de aproximadamente 30 años atrás y uno marca Atlas Copco, además cuentan con dos secadoras y dos tanques pulmón o acumuladores de aproximadamente $12 m^3$ cada uno con una presión en la red de 8 Bares aproximadamente. El principal objetivo de estos compresores dentro de las instalaciones es abastecer de aire todos los equipos que se encuentran en el taller. El modo de funcionamiento de los compresores depende del consumo que se tenga en el momento, además cuando está trabajando uno, el otro se encuentra en stand by por si falla uno esté el otro para suplir las necesidades, a esto le podemos llamar como Modo Redundante. Según la información suministrada por el ingeniero el compresor de marca Atlas Copco el cual se encuentra nuevo y con garantía vigente, aún no se le ha hecho nada por lo tanto solo se le realiza limpieza exterior, mientras que los otros dos de marca Rollair 75H se le realiza una rutina de mantenimiento cada tres meses, haciendo limpieza de filtros, verificación de vibraciones, cambios de aceite si ya se ha cumplido las horas de trabajo, estos compresores por ser de una tecnología de muchos años atrás se le han ido haciendo algunas modificaciones entre ellas la del acople entre motor-compresor.

En la figura podemos ver el esquema de funcionamiento, el manómetro de presión, el horómetro, display y mandos, desde los cuales podemos controlar, dar encendido o apagado al compresor.



En esta figura vemos donde se alojan los rotores que son los que realizan la compresión del aire que toma desde la atmósfera haciéndola pasar primero por un filtro de admisión para evitar la impurezas que toma del ambiente.

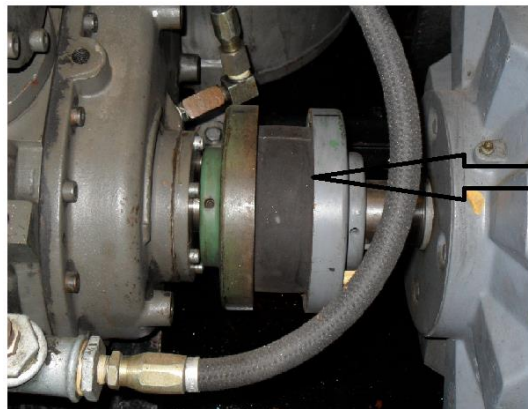


En esta figura encontramos lo que llamamos el tanque separador, aquí es donde se separa el aceite del aire por medio del método de decantación, donde el aceite es más denso y por ende se va al fondo del tanque, ya luego de separados entran cada uno a su respectivo intercambiador de calor para retirarle la alta temperatura con la que salen del compresor.

Tanque Separador Mezcla (Aire/Aceite)



En esta figura podemos observar la modificación que se le realizó al acople entre el motor eléctrico y el compresor, dado de que es un equipo de muchos años atrás, se vieron en la obligación de realizar esta modificación, es un acople de caucho o bien dicho un Silentblock, el cual permite reducir ruidos y vibraciones y a la vez aumenta la eficiencia y reduce el consumo energético.

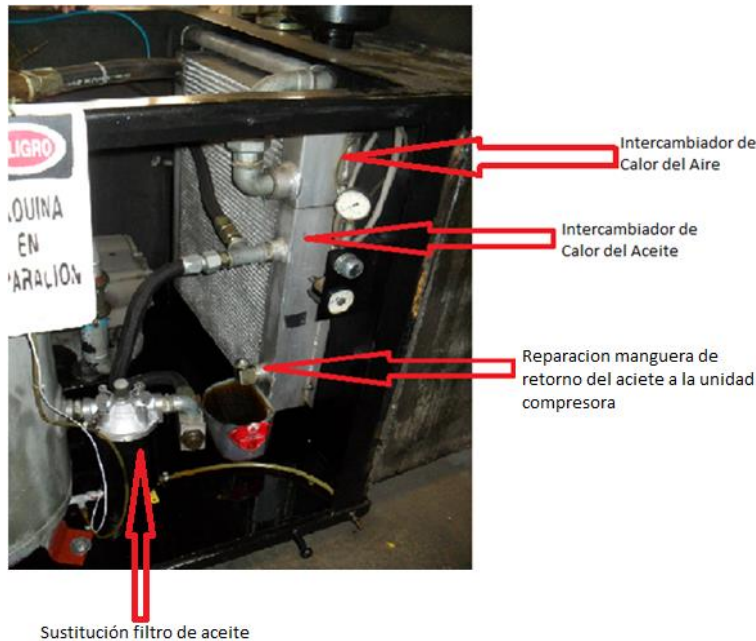


Acople Directo entre Motor Eléctrico y el Compresor

En esta figura podemos ver cada uno de los intercambiadores de calor, los distintos manómetros que nos miden la presión tanto del aceite como la del aire que circulan por cada uno de éstos, además podemos ver un correctivo que se le va a realizar a causa de una manguera que se reventó y es por donde circula el aceite hacia la unidad compresora,

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

además vemos que se retira el filtro de aceite para ser sustituido por uno nuevo ya que el que tenía anteriormente ya había cumplido con su ciclo de trabajo.



El plan de mantenimiento inicia con la consecución del formato que indica las pautas a verificar y realizar al momento de llevar a cabo cualquier tipo de mantenimiento en los compresores de los talleres del metro de Medellín, en este formato el personal a cargo del mantenimiento puede encontrar además de las normas ambientales y normas de seguridad con las cuales se deben realizar las actividades también se puede encontrar el paso a paso de los elementos a revisar en el compresor y secador, es un formato muy fácil de diligenciar y a su vez de orientar sobre cuáles son los elementos que se deben inspeccionar en un orden lógico sin omitir ningún punto crítico a revisar. A continuación podemos ver el formato con el cual se lleva a cabo dicho mantenimiento:

MANTENIMIENTO PREVENTIVO 14 CUARTO DE COMPRESORES												
Número de personas requeridas:		1		Tiempo req. Persona (min):		400		Tiempo total requerido (min):		400		
ACTIVIDADES	T _{op}	Observación	Manual	Hoja	VALOR INF	VALOR SUP	VALOR REF	RIESGO	FORMA DE SEGURIDAD	MATRIZ AMBIENTAL	FUNCIONES	
PREPARACIÓN PARA EL SERVICIO Y SEGURIDAD 20												
Verificar e identificar Cadena de Trabajo												
Aplicar las normas de seguridad VIGENTES.												
Verificar estado de herramientas y materiales reservados para este servicio								MSA-199-R01 Movilización de clientes	MSB-03-v2.pdf	MSA-198-F-02 Movilización de clientes.xls	MSA-075-075Manual de Responsabilidades	
Solicitud de la maquina y de las llaves a base taller												
Realizar pruebas funcionales												
14 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO 10												
Verificar la presion de descarga del compresor								MSA-199-R01 Movilización de clientes	MSB-03-v2.pdf	MSA-198-F-02 Movilización de clientes.xls	MSA-075-075Manual de Responsabilidades	
Verificar el drenaje automatico del compresor												
14 REVISION DEL COMPRESOR 150												
Revisar que no existan fugas de aceite en la red hidraulica												
Verificar el nivel de aceite del compresor												
Revisar, limpiar y sumergir en aceite el filtro del compresor												
Soplar con aire el radiador del compresor								MSA-199-R01 Movilización de clientes	MSB-03-v2.pdf	MSA-198-F-02 Movilización de clientes.xls	MSA-075-075Manual de Responsabilidades	
Limpiar interna y externamente el compresor												
Revisar que no existan fugas en la red neumatica												
Drenar el filtro que hay antes de los tanques acumuladores												
Par de apriete de las uniones roscadas del compresor												
14 REVISION DEL SISTEMA ELECTRICO 60												
Revisar y limpiar el sistema electrico								MSA-199-R01 Movilización de clientes	MSB-03-v2.pdf	MSA-198-F-02 Movilización de clientes.xls	MSA-075-075Manual de Responsabilidades	
Reapriete de los contactos electricos												
Revision y limpieza del tablero de potencia												
14 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL SE 10												
Verificar el drenaje automatico del secador								MSA-199-R01 Movilización de clientes	MSB-03-v2.pdf	MSA-198-F-02 Movilización de clientes.xls	MSA-075-075Manual de Responsabilidades	
14 REVISION DEL SECADOR 100												
Verificar que no existan fugas de gas en la red neumatica												
Verificar la presion del gas del secador								MSA-199-R01 Movilización de clientes	MSB-03-v2.pdf	MSA-198-F-02 Movilización de clientes.xls	MSA-075-075Manual de Responsabilidades	
Limpiar con aire comprimido el radiador												
Limpiar interna y externamente el secador												
Par de apriete de los tornillos de los ventiladores del secador												
14 REVISION DEL SISTEMA ELECTRICO DI 30												
Limpiar el tablero y revisar los leds del secador								MSA-199-R01 Movilización de clientes	MSB-03-v2.pdf	MSA-198-F-02 Movilización de clientes.xls	MSA-075-075Manual de Responsabilidades	
Revisar y limpiar el sistema electrico												
NOTIFICACION DE LA INSPECCION 20												
Notificación y registro de puntos de medida								MSA-199-R01 Movilización de clientes	MSB-03-v2.pdf	MSA-198-F-02 Movilización de clientes.xls	MSB-075-075Manual de Responsabilidades	
Tiempo total:	400 minutos		6,7 horas									
<div style="border: 1px solid green; padding: 5px; display: inline-block;"> Modificar la matriz de riegos y agregar matriz ambiental </div> Ing.Hoorrea - Aux.Acardona												
se cambia para actualizar las rutinas según sus riesgos y funciones												
Diciembre/03/2008												

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

(VISITA EMPRESARIAL INDUSTRIAS CORONA, BOMBAS DE DOBLE DIAFRAGMA)

Organización Corona es una multinacional con más de 100 años de creación, dedicada a la fabricación de elementos cerámicos para el uso en el hogar, la empresa para la fabricación de sus productos emplea gran cantidad de bombas de doble diafragma, en la planta de Medellín trabajan aproximadamente con 163 bombas de doble diafragma.



Durante la asesoría con el personal de corona pudimos experimentar el desarme de una Bomba de Diafragma ya que esa herramienta es de uso diario en su planta y tienen en funcionamiento 163 de ellas lo cual hace que el mantenimiento de estas se realice a diario, además deben mantener una buena cantidad de estas disponibles para instalar en el momento que otras se encuentran al mantenimientos correctivos, tienen 26 de repuesto con el fin de no detener la producción, las cuales están listas para la instalación.



Dentro de las fallas más comunes que se presentan en las Bombas de Doble Diafragma se ha detectado en Industrias Corona y los motivos por los cuales se presentan son:

- Contaminación de la pasta (contienen impurezas desde fábrica).
- Falta de limpieza en los circuitos (alta producción de sedimentación) que produce explosión en las tuberías. La limpieza se realiza cada 6 meses.
- Poco personal encargado del mantenimiento con lo cual no es posible cumplir con exactitud con los tiempos de mantenimientos preventivos. (Una sola persona encargada de las bombas de doble Diafragma y de todo el sistema que las complementa como: tuberías, válvulas, filtros y demás componentes, además de correctivos). Pero se ha avanzado ya que hace poco el mantenimiento de las Bombas de Vacío era hecho por empresas externas, con lo cual se tenía muchos inconvenientes ya que se presentaban muchas fallas en los equipos lo cual ocasionaba retardos en los procesos de producción.
- Infraestructura antigua para la cual es difícil la consecución de repuestos.

-Bajo presupuesto para la gestión del mantenimiento, lo cual se traduce en la contratación de poco personal para una correcta Gestión del Mantenimiento.

-Fallas Humanas.

-Tecnología obsoleta ya que hay bombas muy antiguas para las cuales es difícil la consecución de los repuestos, y estas forman la mayor parte de las bombas en funcionamiento. Los repuestos para estas bombas se consiguen de Bombas de Vacío que desechan en el área de pisos y paredes los cuales si tienen buen presupuesto y cambian constantemente sus equipos.



La empresa que responde con más eficiencia la venta de repuestos es TRASEGAL porque cuenta ya con más de 15 años de experiencia, pero solo maneja bobas Wilden, hace cuatro años aproximadamente entran al mercado Colombiano nuevos proveedores, los cuales importan bombas de nuevas marcas como Graco, Yamada, San Paiper.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	



Según el tecnólogo de Mantenimiento encargado de las bombas Husky es más recomendable porque tienes más fuerza de descarga y mueve más cantidad de fluido y sus repuestos tienen mayor durabilidad con respecto a bombas de otras marcas y cuando se les realiza mantenimiento requieren menos cantidad de repuestos para recambio lo que hace más sencillo y económico el mantenimiento.

Una gran ventaja que ofrecen las bombas de doble diafragma es que no es necesario cerrar la alimentación del aire cuando se requiere detener el funcionamiento de la bomba, solo se requiere cerrar la válvula de descarga y la bomba queda presurizada sin dañar ninguno de sus componentes internos, ya que estas están diseñadas para soportar la presión aun cuando no están funcionando (Las bolas de succión y descarga funcionan como válvulas anti retorno), la presión entre la tubería y la bomba siempre son las mismas y no requieren válvula de alivio, ni sensores de presión.

En Industrias Corona se maneja un controlador de flujo conectado a las cisternas que cuando estas llegan a un nivel mínimo manda una señal para activar el llenado de las cisternas y así evitar que las bombas succionen material sedimentado (Material que se

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

acumula en el fondo de las cisternas, el cual contiene materiales pesados, hongos y demás impurezas) el cual la puede averiar las bombas.

En industrias corona las bombas de doble diafragma son usadas principalmente para realizar el llenado de los tanques donde se almacena el material para la fabricación de la mayor parte de las piezas tales como sanitarios y lavamanos.

Las bombas de vacío también son usadas en industrias corona para la extracción del agua depositada en la mezcla de cerámica (Proceso de vacío) con la que se fabrican los elementos, para luego pasar al proceso consolidación (inyección de aire a la mezcla para lograr la dureza deseada).

ANEXO 3

POSIBLES AVERIAS

Compresores de Tornillo

Averías	Causa	Probable Solución
Paro de la máquina, activación de la alarma de aceite (led rojo encendido).	Temperatura excesiva de la mezcla entre el aire/aceite en la salida de los tornillos (105°C).	Se debe controlar el nivel de aceite, controlar que esté limpio el intercambiador de calor, verificar la temperatura del ambiente que no se encuentre demasiado alta, verificar la distancia del compresor con respecto a las paredes, cerciorarse si el tipo de aceite es el indicado. Para poner en marcha nuevamente el compresor se debe abrir el panel frontal, oprimir el botón de reset y finalmente pulsar start.
Paro de la máquina por activación de la protección térmica del motor (Led rojo encendido).	Activación de la protección térmica del motor.	Verificar que la conexión eléctrica sea correcta, medir que las tres fases de alimentación sean del mismo valor, inspeccionar que las conexiones en el tablero eléctrico estén ajustadas, la rejilla de aspiración del motor esté libre de suciedad u otros objetos. Para poner nuevamente en funcionamiento el motor se debe dejar enfriar. Verificar si el motor está funcionando con dos fases o tiene un fusible quemado, siendo así se debe reparar el motor o cambiar el fusible, y si la temperatura ambiente es demasiado alta, se debe esperar a que rebaje a por lo menos unos 45°C.

<p>Paro de la máquina por activación de la protección térmica del motor del intercambiador de calor (Led rojo encendido).</p>	<p>Activación de la protección térmica del motor del intercambiador de calor.</p>	<p>Verificar que la conexión eléctrica sea la correcta, que las fases sean casi iguales en valores. Verificar que los cables estén bien ajustados en los bornes del tablero. Para poner nuevamente en funcionamiento el motor se debe esperar a que se enfríe. Verificar si el motor está funcionando con dos fases o tiene un fusible quemado, siendo así se debe reparar el motor, y si la temperatura ambiente es demasiado alta, se debe esperar a que rebaje a por lo menos unos 45°C.</p>
<p>Los rotores giran pero no carga el compresor.</p>	<p>No se activa la válvula de admisión.</p>	<p>Verificar que la electroválvula de mando funcione en perfecto estado, verificar el sentido de giro de los rotores, en caso de estar invertidos, proceder a repararlos para evitar daños mayores, verificar estado de la válvula anti-retorno o mínima si se encuentra defectuosa, cerciorarse si la demanda de aire es muy alta, de ser así es necesario ubicar otro compresor en paralelo para abastecer el alto consumo.</p>
<p>Paro de la máquina por activación de presóstato (Led rojo encendido).</p>	<p>La presión supera el valor de la presión establecida.</p>	<p>Controlar la presión de línea, descargar la presión llevándola a los valores de trabajo establecidos.</p>
<p>Al primer encendido la máquina no se pone en marcha. Alarma rotación (Led rojo encendido).</p>	<p>Los tornillos y el motor del intercambiador de calor giran en sentido contrario.</p>	<p>Invertir dos fases de la alimentación.</p>
<p>Expulsión de aceite por el filtro de aire.</p>	<p>El nivel de aceite es demasiado alto, la válvula de admisión esta defectuosa.</p>	<p>Descargar el nivel de aceite hasta alcanzar el nivel correcto.</p>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Válvula de seguridad está obstruida.	La marcha en vacío la máquina no despresuriza, el filtro del tanque separador está atascado.	En este caso se debe contactar al proveedor o distribuidor autorizado.
Alto consumo de aceite.	El aceite empleado no es el adecuado, el filtro del tanque separador se encuentra roto o el nivel de aceite es demasiado alto.	Se debe sustituir el aceite por el recomendado por el fabricante, se debe cambiar el filtro del tanque separador o llevar el nivel de aceite al correcto.