



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

**PLAN PARA LOS MANTENIMIENTOS MECÁNICOS PREVENTIVO Y
CORRECTIVO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLE
REUTILIZABLE EN UNA PLANTA CEMENTERA**

Sergio Estuardo García Herrera

Asesorado por el Ing. Julio César Molina Zaldaña

Guatemala, septiembre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PLAN PARA LOS MANTENIMIENTOS MECÁNICOS PREVENTIVO Y
CORRECTIVO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLE
REUTILIZABLE EN UNA PLANTA CEMENTERA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

SERGIO ESTUARDO GARCÍA HERRERA

ASESORADO POR EL ING. JULIO CÉSAR MOLINA ZALDAÑA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Pablo Rodolfo Zúñiga Ramírez
EXAMINADOR	Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres
EXAMINADOR	Ing. Raúl Guillermo Izaguirre Niriega
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

PLAN PARA LOS MANTENIMIENTOS MECÁNICOS PREVENTIVO Y CORRECTIVO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLE REUTILIZABLE EN UNA PLANTA CEMENTERA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 30 de julio de 2009.



Sergio Estuardo García Herrera

Guatemala 2 de julio de 2012

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

Señor Director:

Por este medio hago constar que tuve a bien la revisión y asesoramiento del trabajo de graduación que se titula **“PLAN PARA LOS MANTENIMIENTOS MECÁNICOS PREVENTIVO Y CORRECTIVO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLE REUTILIZABLE EN UNA PLANTA CEMENTERA”**, que fue elaborado por el estudiante Sergio Estuardo García Herrera, quien se identifica con el carné:2001-12552 de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Y para los usos del interesado, extendiendo sin ningún inconveniente este documento



Ing. Julio Cesar Molina Zaldaña

Asesor de tesis
JULIO CÉSAR MOLINA ZALDAÑA
INGENIERO MECÁNICO
COLEGIADO 3045

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

El Coordinador del Área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado PLAN PARA LOS MANTENIMIENTOS MECÁNICOS PREVENTIVO Y CORRECTIVO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLE REUTILIZABLE EN UNA PLANTA CEMENTERA, del estudiante Sergio Estuardo García Herrera, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador de Área

Guatemala, julio de 2012 .

/behdei.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área Complementaria, al Trabajo de Graduación titulado PLAN PARA LOS MANTENIMIENTOS MECÁNICOS PREVENTIVO Y CORRECTIVO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLE REUTILIZABLE EN UNA PLANTA CEMENTERA del estudiante Sergio Estuardo García Herrera, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio César Campos Paiz
DIRECTOR



Guatemala, septiembre de 2012

JCCP/behdei



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado **PLAN PARA LOS MANTENIMIENTOS MECANICOS PREVENTIVO Y CORRECTIVO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLE REUTILIZABLE EN UNA PLANTA CEMENTERA**, presentado por el estudiante universitario **Sergio Estuardo García Herrera**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, Septiembre de 2012

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser mi Señor y Salvador, quien me dio fuerzas para concluir mis estudios en esta gloriosa universidad.
- Mis padres** Camilo García y Gladys Herrera, por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida y por enseñarme a actuar de forma correcta, no sintiéndome más ni menos que mis amigos ni que ninguna otra persona, gracias infinitas que nada de lo que haga podrá pagar tan puro amor.
- Mi hermana** Carola García, por ser mi ejemplo de superación, ser como mi madre cuando ella no estaba y por las largas noches de desvelos que tuvimos juntos a lo largo de esta carrera.
- Mi abuela** Consuelo Hernández, quien estuvo apoyándome a lo largo de mi carrera universitaria y quien es un ejemplo digno de lograr lo que uno se proponga.

AGRADECIMIENTOS A:

Cementos Progreso S.A.	Especialmente al Departamento de Servicios Generales, por su apoyo en la realización de mi trabajo de graduación.
Ing. Julio César Molina	Por asesorar mi trabajo de graduación.
Ing. Ernesto Trujillo	Por su apoyo en mis prácticas profesionales y en mi trabajo de graduación.
Compañeros de trabajo	Por ser un ejemplo de superación y de enseñarme que el trabajo en equipo puede contra todo.
William Hernández	Por ser como mi hermano y enseñarme tantas cosas acerca de la Palabra de Dios (Biblia).
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la casa de estudio para mi formación.
Facultad de Ingeniería	En especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IX
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	1
1.1. Antecedentes históricos de Cementos Progreso S.A.....	1
1.2. Visión.....	2
1.3. Misión	2
1.4. Estructura organizacional.....	3
1.5. Productos a disposición de sus clientes	4
1.5.1. Cemento UGC	4
1.5.2. Cemento 4 000 psi.....	4
1.5.3. Cemento 5 000 psi.....	4
1.5.4. Cemento tipo V	5
1.5.5. Cemento clase H	5
1.5.6. Cemento y clinker a granel	6
1.6. Departamento de Mantenimiento Mecánico	6
1.6.1. Misión	6
1.6.2. Visión	6
1.6.3. Estructura del departamento	7
1.6.4. Tipos de mantenimiento	8
1.6.4.1. Mantenimiento predictivo.....	8
1.6.4.2. Mantenimiento preventivo	9

	1.6.4.3.	Mantenimiento correctivo	9
	1.6.5.	Responsabilidades	12
	1.6.6.	Mantenimiento contratado	14
2.		MANTENIMIENTO	17
2.1.		¿Qué es mantenimiento?.....	17
2.2.		Tipos de mantenimiento	18
2.2.1.		Mantenimiento correctivo	18
2.2.2.		Mantenimiento predictivo.....	21
2.2.3.		Mantenimiento preventivo	22
	2.2.3.1.	Mantenimiento periódico	23
	2.2.3.2.	Mantenimiento programado	24
	2.2.3.3.	Mantenimiento bajo condiciones	24
3.		ORGANIZACIÓN DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO.....	25
3.1.		Etapas del proceso administrativo	25
	3.1.1.	Organización.....	25
	3.1.2.	Planeación	26
	3.1.3.	Ejecución	27
	3.1.4.	Control	28
	3.1.5.	Manual de procedimiento	28
3.2.		Importancia de la ubicación y relaciones del Departamento de Mantenimiento.....	30
3.3.		Relación del Departamento de Mantenimiento con los demás departamentos.....	31
3.4.		Alternativas y métodos para organizar el Departamento de Mantenimiento.....	32
	3.4.1.	Mantenimiento por áreas	32
	3.4.2.	Mantenimiento centralizado.....	34

3.4.3.	Mantenimiento mixto.....	35
3.5.	Métodos para organizar un Departamento de Mantenimiento ..	37
4.	COSTOS DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO.....	41
4.1.	Clases de costos	41
4.1.1.	Costos directos del mantenimiento	42
4.1.2.	Costos de parada de equipo	43
4.2.	Niveles de mantenimiento	46
4.3.	Control en los gastos de mantenimiento.....	48
5.	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	51
5.1.	Definición y programación.....	51
5.2.	Implementación del mantenimiento preventivo.....	54
5.3.	Ventajas del mantenimiento preventivo	58
5.4.	Implementación de un programa de mantenimiento preventivo	60
5.5.	Programación	61
5.5.1.	Procedimientos y formatos escritos.....	62
5.6.	Manual de mantenimiento preventivo	65
5.7.	Control de mantenimiento preventivo	66
5.8.	Índices de medición.....	68
5.8.1.	Costo del sector de mantenimiento	68
5.8.2.	Método gráfico	69
5.8.2.1.	Planeación	70
5.8.2.2.	Carga de trabajo	71
5.8.2.3.	Costos.....	71
5.8.2.4.	Productividad	72
5.8.2.5.	Gráfica maestra	73

6.	DESCRIPCIÓN DE LAS BOMBAS DE DISTRIBUCIÓN DE ACEITE RECICLADO	75
6.1.	Planos de las bombas	75
6.2.	Condiciones de servicio	76
7.	ESPECIFICACIÓN E INSTALACIÓN DE LA BOMBA.....	79
7.1.	Principio de operación.....	79
7.2.	Especificaciones.....	80
7.2.1.	Lista de especificaciones.....	81
7.2.2.	Especificaciones del funcionamiento	81
7.3.	Instalación del equipo.....	82
7.3.1.	Precauciones en la instalación	82
7.3.2.	Conexión de la tubería	83
7.3.3.	Fijación al suelo	83
7.3.4.	Alineación	83
7.3.5.	Lubricación en el sistema de cierre	85
7.3.6.	Conexión del motor.....	85
8.	FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA	87
8.1.	Puesta en marcha	87
8.1.1.	Antes de la puesta en marcha.....	87
8.1.2.	Puesta en marcha.....	88
8.2.	Requisitos para un funcionamiento normal.....	88
8.2.1.	Procedimiento para la puesta en marcha.....	89
8.2.2.	Requisitos generales del funcionamiento.....	89
8.2.3.	Limpieza.....	89
8.2.4.	Procedimiento de apagado.....	90
8.3.	Procedimiento operativo en caso de un incidente	90

9.	MANTENIMIENTO DE LA BOMBA.....	91
9.1.	Lista de piezas de repuestos.....	92
9.2.	Manejo y procedimiento del equipo	92
9.3.	Condiciones de almacenamiento	93
9.4.	Mantenimiento preventivo	93
9.4.1.	Inspección periódica	94
9.4.2.	Lubricación.....	95
9.4.3.	Par de apriete	95
9.5.	Mantenimiento correctivo	96
9.5.1.	Solución de problemas	96
9.5.2.	Desmontaje de la bomba.....	100
9.5.3.	Reensamblaje de la bomba.....	101
10.	MOTOR DE LA BOMBA.....	105
10.1.	Recepción.....	105
10.1.1.	Identificación	105
10.1.2.	Almacenamiento	106
10.2.	Recomendaciones para el montaje.....	108
10.2.1.	Comprobación del aislamiento	108
10.2.2.	Ubicación y ventilación	109
10.2.3.	Acoplamiento	110
10.2.4.	Directrices eléctricas.....	111
10.2.5.	Conexión.....	112
10.3.	Mantenimiento del motor.....	113
10.3.1.	Mantenimiento diario	114
10.3.2.	Lubricación.....	115
10.3.3.	Mantenimiento de los cojinetes	120
10.3.4.	Anillos del motor	121
10.4.	Mantenimiento preventivo	121

10.5.	Guía de solución de problemas	123
10.6.	Mantenimiento correctivo	124
10.6.1.	Desmontaje del motor	124
10.6.2.	Montaje de motor.....	127
10.7.	Posición de los anillos elevadores	129
10.8.	Listas de piezas que se desgastan	131
10.8.1.	Motor	131
10.8.1.1.	Vista del motor.....	131
11.	FILTROS DE LA BOMBA	139
11.1.	Descripción.....	139
11.1.1.	Elementos del filtro filtrante	139
11.1.1.1.	House Bering.....	140
11.1.1.2.	Elemento filtrante.....	140
11.1.2.	Sistema de limpieza.....	141
11.1.3.	Montaje	142
11.1.4.	Motor	143
11.2.	Instalación y operación antes de arrancar	143
11.2.1.	Instalación del filtro	144
11.2.2.	Puesta en marcha.....	144
11.3.	Instrucciones de mantenimiento	145
11.3.1.	Importancia de drenar el filtro.....	145
11.3.2.	Rotación de cartuchos.....	146
11.3.3.	Inspección del filtro	146
11.4.	Almacenamiento.....	147
11.5.	Planos del filtro.....	147

CONCLUSIONES	149
RECOMENDACIONES.....	151
BIBLIOGRAFÍA.....	153
ANEXOS	155

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama Gerencial de Cementos Progreso S.A.....	3
2.	Organigrama del Departamento de Mantenimiento Mecánico de Cementos Progreso S.A.....	7
3.	Ejemplo de organigrama del Departamento de Mantenimiento	33
4.	Cuadro sinóptico del costo total de mantenimiento	41
5.	Gráfica de utilización del recurso restante donde C.D.M. es el Costo Directo de Mantenimiento	44
6.	Gráfica del Costo Directo de Mantenimiento C.D.M. comparado con la Capacidad Productiva de la Máquina C.P.M.	46
7.	Gráfica del nivel óptimo de mantenimiento, donde la suma de los costos de mantenimiento y parada de equipo es el mínimo.....	47
8.	Ejemplo de orden de trabajo para los diferentes tipos de mantenimiento	64
9.	Gráfica maestra que relaciona, las cuatro categorías del mantenimiento	74
10.	Planos de bomba PCM PILLAR de aceite reciclado.....	76
11.	Vista del interior de la bomba PCM PILLAR	80
12.	Rangos permisibles de alineación radial, axial y angular	84
13.	Conexiones delta y estrella para motores trifásicos.....	85
14.	Vista de las partes internas de la bomba PCM PILLAR	91
15.	Descripción de los parámetros del motor LEROY SOMER.....	106
16.	Esquema de la ventilación de un motor trifásico de alta tensión.....	110
17.	Rangos permisibles de alineación angular y radial.....	111

18.	Posición de conectores de lubricación, hacia los rodamientos del motor LEROY SOMER.....	116
19.	Posición de conectores de lubricación, hacia los rodamientos del motor LEROY SOMER Bloc Multietapas.....	118
20.	Puntos de referencia en los cuales se deben tomar las mediciones de los diferentes parámetros que pueden afectar el buen funcionamiento del motor.....	122
21.	Posición de los anillos de sujeción del motor LEROY SOMER.....	130
22.	Vista del motor LEROY SOMER.....	132
23.	Vista del Bloc 1 primera etapa.....	134
24.	Vista del Bloc Multietapas.....	136
25.	Fotos del Hause Bering del filtro.....	140
26.	Sección interna del filtro, donde se pueden apreciar los discos o cartuchos.....	141
27.	Sección interna del filtro, donde se puede apreciar el sistema de limpieza entre los discos o cartuchos.....	142
28.	Fotos del motor instalado en un filtro SCAM DISC el cual permite que el sistema se mantenga en constante movimiento.....	143
29.	Plano del filtro.....	148

TABLAS

I.	Parámetros de operación de la bomba PCM PILLAR.....	77
II.	Rangos de operación de la bomba PCM PILLAR.....	78
III.	Especificaciones de las partes internas de la bomba PCM PILLAR.....	81
IV.	Lista de piezas internas de la bomba PCM PILLAR.....	92
V.	Lubricantes recomendados para las diferentes partes de la bomba.....	95

VI.	Par de apriete para tornillos de cabeza hexagonal.....	96
VII.	Problemas de funcionamiento de la bomba y sus posibles causas y soluciones en forma numérica	97
VIII.	Descripción de las posibles causas y soluciones a los problemas de funcionamiento de la bomba	98
IX.	Instalaciones del rotor en las bombas con funda y con clavija	102
X.	Tipo de grasa que se debe utilizar para proteger los rodamientos de los motores, según el tiempo en que se encontrarán almacenados	107
XI.	Resistencia de aislamiento según tensión normal del bobinado ..	109
XII.	Cantidad de aceite en litros, utilizado para los rodamientos del motor LEROY SOMER	117
XIII.	Cantidad de aceite en litros, utilizado para los rodamientos del motor LEROY SOMER, Bloc Multietapas	119
XIV.	Parámetros a medir en los diferentes puntos del motor LEROY SOMER.....	122
XV.	Guía de soluciones a los problemas más frecuentes en los motores eléctricos LEROY SOMER	123
XVI.	Par de apriete que se debe aplicar a tornillos de cabeza hexagonal en milímetros	129
XVII.	Lista de partes del motor LEROY SOMER	133
XVIII.	Lista de partes del Bloc 1 primera etapa.....	135
XIX.	Lista de partes del Bloc Multietapas.....	137

GLOSARIO

AFNOR	Asociación de Normas Francesas.
ANSI	American National Standards Institute.
Aceite reciclado	Aceite que ha perdido sus propiedades lubricantes óptimas, pero por ser derivado del petróleo, es utilizado como combustible para las cámaras de los hornos.
Buje	Elemento de una máquina donde se apoye y gire un eje.
Clinker	Base fundamental del cemento constituido principalmente por caliza y esquisto.
Cojinete	Pieza o conjunto de ellas sobre las que se soporta y gira el árbol transmisor de momento giratorio de una máquina por caliza y esquisto.
Estator	Parte fija de una máquina rotativa y uno de los elementos fundamentales para la transmisión de potencia.

Flanje	Elemento que une dos componentes de un sistema de tuberías, permitiendo ser desmontado sin operaciones destructivas, gracias a una circunferencia de agujeros a través de los cuales se montan pernos de unión.
ISO	Organización Internacional de Normalización.
Lubricación	Proceso o técnica empleada para reducir el rozamiento entre dos superficies que se encuentran muy próximas y en movimiento una respecto de la otra.
Rotor	Es el componente que gira en una máquina, que junto con su contraparte fija, forma el conjunto fundamental para la transmisión de potencia.
Sello mecánico	Dispositivo que permite unir sistemas o mecanismos, evitando la fuga de fluidos, conteniendo la presión o impedir el ingreso de contaminantes.

RESUMEN

Para la fabricación de cemento se necesitan diversos equipos que intervienen en el proceso, los cuales deben permanecer siempre con alta disponibilidad para no afectar la producción, para que esto se cumpla, el Departamento de Mantenimiento Mecánico es el encargado de velar para que todos los equipos estén en óptimas condiciones, para ello, hace uso de herramientas y diversos tipos de mantenimiento.

Tomando aspectos como la reducción de costos para la producción de clínker (material base para la producción de cemento) a través de combustibles alternativos, la planta cuenta con bombas especiales para la distribución de aceite reciclado que es enviado a la cámara de combustión de los hornos. Debido a la importancia que tienen estas bombas deben realizarse buenas prácticas en el mantenimiento para que tengan buen funcionamiento y así suministrar constantemente este combustible.

Pero, para tener un mantenimiento exitoso no sólo basta con que el equipo funcione correctamente, sino que también se deben conocer las técnicas esenciales para su correcta ejecución, por lo que se aborda el tema de administración de mantenimiento, el cual ayudará a conocer cómo debe funcionar un Departamento de Mantenimiento y la importancia de emigrar del mantenimiento correctivo al mantenimiento preventivo.

OBJETIVOS

General

Crear un plan para los mantenimientos mecánicos preventivo y correctivo del sistema de distribución de combustible reutilizable, con el fin de evitar paros mayores en el sistema de bombas que suministran el aceite reciclado, hacia la cámara de combustión de los hornos de clínker en una planta cementera.

Específicos

1. Crear un manual de operaciones de las bombas de distribución de aceites reciclados, con el fin de conocer las características de operación, partes importantes y así establecer un buen programa de mantenimiento preventivo.
2. Establecer las principales fallas en las bombas de distribución de aceite reciclado y dar las soluciones, utilizando el mantenimiento correctivo.
3. Crear un plan de frecuencias, con el fin de establecer las actividades en el mantenimiento preventivo.

INTRODUCCIÓN

En la industria del cemento, en el proceso de fabricación del mismo, es necesario mantener una temperatura estable en los hornos, ya que, en estos se da la transformación química de las materias primas (calcio, sílice, hierro y alúmina) en lo que se conoce como clínker, que es la base fundamental del cemento. Debido a la constante demanda de energía calorífica que se requiere para dicho proceso, el consumo de combustible se hace cada vez más grande debido al trabajo ininterrumpido del horno, por lo que es necesario recurrir a combustibles alternos para minimizar los altos costos.

Debido a esta situación se ha recurrido a utilizar aceite reciclado, que es un aceite que ya ha perdido sus propiedades esenciales para la lubricación, pero sigue siendo un derivado del petróleo apto para la combustión que se requiere dentro de la cámara del horno; con esto no sólo se logra minimizar los altos costos en combustibles sino que, además, el horno se convierte en un reciclador del aceite, ya que en lugar de tirarse, se quema totalmente dentro de él, conservando así, el ambiente y previniendo la contaminación, eliminando, reduciendo o controlando los impactos significativos que estos aceites provocan al ambiente.

Para lograr una buena distribución de este combustible se ha empleado el método de bombeo, utilizando cuatro bombas que son capaces de mantener un flujo de caudal constante, transportando el aceite por tuberías hacia la cámara de combustión de los hornos de clínker, para mantenerlos a una temperatura de 1 400 grados Celsius.

Debido a que los hornos no pueden dejar de recibir combustible ya que, una variación en la temperatura puede dañar la coraza metálica si se enfría bruscamente; es necesario mantener en óptimas condiciones las bombas de alimentación y debido a la incapacidad que tienen los equipos para mantenerse en buen funcionamiento por sí mismos, se ha creado el mantenimiento que es un conjunto de actividades que deben realizarse a estos, con el fin de corregir o prevenir las fallas, buscando que continúen prestando el servicio para el que fueron diseñados.

Por lo tanto, en este trabajo de graduación, se presenta un plan para los mantenimientos mecánicos preventivo y correctivo que las bombas de distribución de aceite reciclado deben tener, con el fin de evitar paros innecesarios por fallas que se pueden corregir o evitar usando dichos métodos; además se presenta un plan de frecuencias que funciona como un cronograma de actividades, en donde se establece, el tiempo necesario para un mantenimiento, los períodos en que deben realizarse y el número de personas necesarias para el mantenimiento preventivo.

1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Cementos Progreso es una empresa líder en Guatemala que se caracteriza por la fabricación de cemento, pero que a la vez, vela por la salud y seguridad de sus colaboradores y del ambiente.

1.1. Antecedentes históricos de Cementos Progreso S.A.

Fue con mucha visión y con la idea clara de fundar una de las primeras fábricas de cemento en Latinoamérica, que un 18 de octubre de 1899, don Carlos Federico Novella Klée creó la empresa Carlos F. Novella y Cía. Don Carlos se aventuró a invertir en una cementera ejerciendo desde ese momento un liderazgo transformador ya que en ese tiempo el cemento no era el material que en Guatemala se utilizaba para la construcción.

En 1901 se inició la comercialización del cemento producido en la finca la pedrera.

A raíz del terremoto de 1917 se inició la verdadera demanda del producto ya que todas aquellas construcciones hechas con cemento soportaron las inclemencias de tal fenómeno natural.

La creciente demanda en el mercado creó la necesidad de incrementar la producción. En 1965 se adquirió la finca San Miguel Río Abajo en Sanarate, El Progreso.

En 1971 se inició la construcción de la primera línea en la planta San Miguel. Siete años después, en 1978, se construyó la segunda línea y se legalizó el nombre de Cementos Progreso, S.A. En 1996 principió la construcción de la tercera línea que arrancó en 1998.

Cementos Progreso, Planta San Miguel se encuentra situada a 46,5 kilómetros de la ciudad capital, carretera al Atlántico, Sanarate, El progreso.

1.2. Visión

“Compartimos sueños. Construimos realidades”¹.

1.3. Misión

“Producir y comercializar cemento y otros materiales para la construcción acompañados de servicios de alta calidad.

Abastecer con eficiencia el mercado y cultivar con los clientes una relación duradera para ser la mejor opción.

Dar al personal la oportunidad de desarrollarse integralmente y reconocer su desempeño.

Impulsar con los proveedores una relación de confianza, cooperación y beneficio mutuo”².

¹Departamento de Recursos Humanos, planta La Pedrera Cementos Progreso S.A.

² Ibíd.

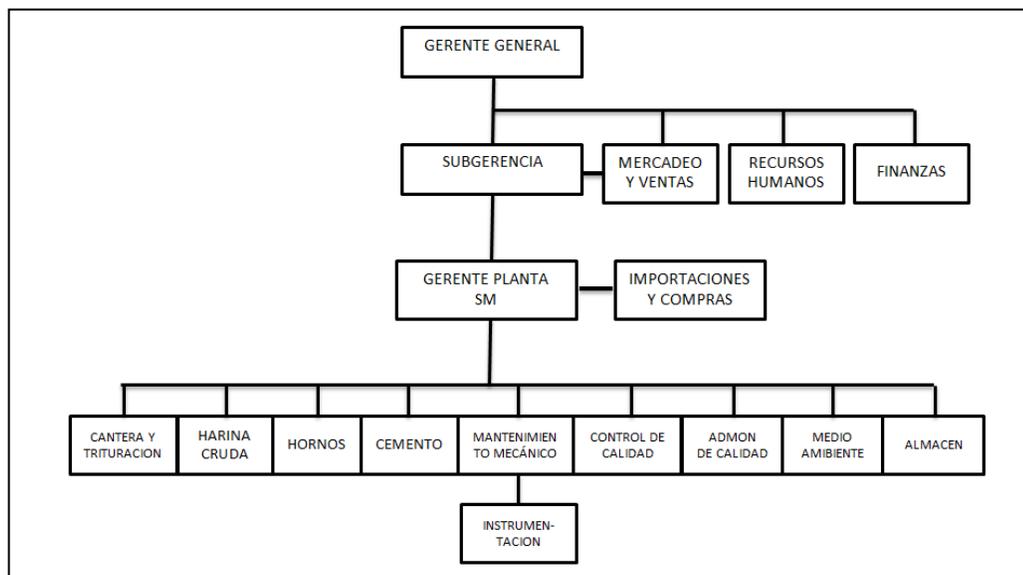
Contribuir al desarrollo de la comunidad además de proteger y mejorar el ambiente.

Garantizar a los accionistas una rentabilidad satisfactoria y sostenible.

1.4. Estructura organizacional

En la planta se cuenta con una estructura organizacional muy amplia, en donde el flujo de la información se da por medio de reuniones periódicas entre los responsables de cada área. Se tiene el siguiente organigrama donde se muestra la estructura superior de la planta.

Figura 1. Organigrama Gerencial de Cementos Progreso S.A.



Fuente: Cementos Progreso S.A.

1.5. Productos a disposición de sus clientes

Debido a que el mercado ha ido evolucionando, también el producto que se fabrica en la planta se ha diversificado para dar a sus clientes valor agregado y de esta forma lograr un vanguardismo sostenible a lo largo del tiempo.

1.5.1. Cemento UGC

Para uso general en la construcción, es ideal para zapatas, cimientos, columnas, paredes, vigas, losas, morteros, suelo cemento y demás aplicaciones. Su clase de resistencia mínima es de 4 000 libras por pulgada cuadrada, a 28 días en morteros normalizados de cemento, además de mejorar la impermeabilidad del concreto. Su color es ideal para concretos a la vista y fachadas arquitectónicas.

1.5.2. Cemento 4 000 psi

Ideal para viviendas: Cemento Progreso 4 000 libras por pulgada cuadrada, puede usarse en todo tipo de construcciones, siendo su empleo ideal y más económico en construcciones que no requieren de muy alta resistencia inicial, como viviendas aisladas o en serie y otras construcciones medianas o pequeñas.

1.5.3. Cemento 5 000 psi

Ideal para fabricante: es utilizado en la industria de la construcción, para la fabricación de bloques, tubos, viguetas, paneles y otros elementos prefabricados de concreto. Es ideal para construcciones que requieran alta resistencia como puentes, edificios y grandes construcciones.

1.5.4. Cemento tipo V

Ideal para obras marítimas: es un cemento Pórtland fabricado para ser utilizado especialmente donde se requiera un concreto con una alta resistencia al ataque de sulfatos, como es el caso de obras expuestas al agua de mar, al ambiente marino o a suelos y aguas con alto contenido de sulfatos, por esta razón en otros países también se le conoce como cemento marino. Las obras portuarias (muelles, diques, escolleras, etcétera), edificaciones y construcciones aledañas al mar; especialmente si son de concreto reforzado deben ser construidas preferentemente con este tipo de cemento, así como: cimentaciones, túneles, canalizaciones enterradas, tuberías, canales de riego, muros de contención, depósitos, presas y demás obras en contacto con suelos o aguas selenitosas o que contengan sulfatos.

1.5.5. Cemento clase H

Ideal para la industria del petróleo: este es un cemento Pórtland sin adiciones hecho para ser utilizado en perforaciones de pozos de petróleo a profundidades de hasta 2 400 metros, sin aditivos. Con retardantes, dispersantes y acelerantes puede usarse en un amplio rango de profundidades y temperaturas.

Los cementos para pozos petroleros requieren de controles más estrictos que los aplicados para cementos de construcción, asegurando un producto que mantenga un desempeño adecuado bajo la diversidad de condiciones de temperaturas, presiones y grados de exposición que encontrará en su aplicación.

1.5.6. Cemento y clinker a granel

Subproductos cemento y clinker a granel, este último se distribuye a Planta La Pedrera debido a la demanda de materia prima, para la realización de productos especiales y bajo pedido.

1.6. Departamento de Mantenimiento Mecánico

El Departamento de Mantenimiento Mecánico de Cementos Progreso cuenta con los sistemas de gestión más avanzados, lo que garantiza una producción continua y costos bajos en la ejecución de los mismos.

1.6.1. Misión

“Ser un equipo que planifica, ejecuta, controla y evalúa el mantenimiento mecánico de las áreas productivas y de apoyo, para lograr una alta disponibilidad mecánica, acorde a los objetivos de calidad de la empresa, asegurando un óptimo funcionamiento de la maquinaria y los equipos.”³

1.6.2. Visión

“Ser el departamento mecánico modelo para plantas de cemento.”⁴

³ Departamento de Mantenimiento Mecánico. Planta La Pedrera Cementos Progreso, S.A.

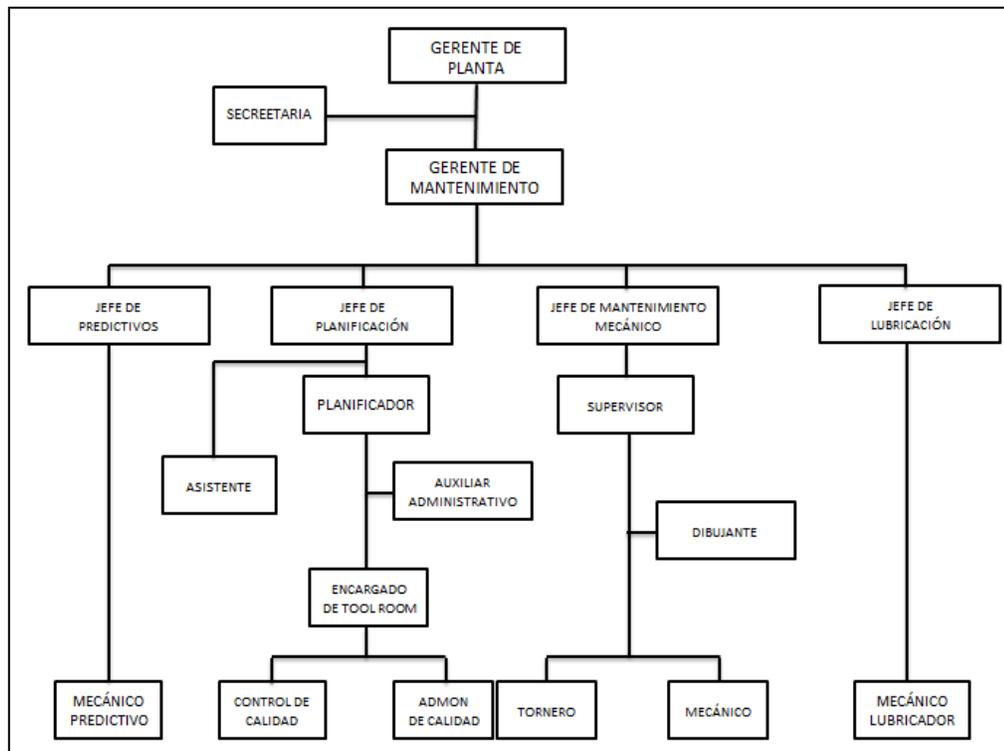
⁴ *Ibíd.*

1.6.3. Estructura del departamento

El Departamento de Mantenimiento Mecánico está encabezado por el superintendente mecánico, que es el encargado de coordinar las actividades, toma de decisiones y ser un enlace con la Gerencia. Seguidamente están los Departamentos Predictivos, Planificación, Mantenimiento Mecánico y Lubricación.

La estructura de organización en el Área de Mantenimiento Mecánico, está definida de la siguiente manera:

Figura 2. **Organigrama del Departamento de Mantenimiento Mecánico de Cementos Progreso S.A.**



Fuente: Cementos Progreso S.A.

1.6.4. Tipos de mantenimiento

El mantenimiento en la planta se divide en:

- Predictivo
- Preventivo
- Correctivo

1.6.4.1. Mantenimiento predictivo

Este tipo de mantenimiento consiste en hacer mediciones o ensayos no destructivos mediante equipos sofisticados o partes de maquinaria que sean muy costosas o a las cuales no se les puede permitir fallar en forma imprevista, pues arriesgan la integridad de los operarios o causan daños de cuantía, tanto en producción como en equipos. La mayoría de las inspecciones se realiza con el equipo en marcha y sin causar paros en la producción, gracias al equipo sofisticado y especializado que se utiliza para este tipo de mantenimiento.

Las más frecuentes son de:

- Desgaste
- Espesor
- Fracturas
- Ruido
- Vibraciones
- Temperatura

1.6.4.2. Mantenimiento preventivo

Es toda actividad desarrollada en las máquinas y equipos críticos en planta, con el fin de asegurar que la calidad de servicio que estos proporcionan permanezca dentro de los límites requeridos de disponibilidad.

Los diferentes grupos de trabajo de las áreas, ejecutan el mantenimiento bajo la inspección del supervisor de área y reportan los resultados a mano en las órdenes de trabajo.

Después de ejecutados los trabajos, el responsable de realizar el mantenimiento entrega la orden de trabajo al supervisor de área, quien revisa la ejecución correcta y total de los trabajos programados y los aprueba.

Si no se realizaron todas las actividades programadas, el supervisor investiga la razón y solicita al ingeniero auxiliar la reprogramación de las mismas, esta reprogramación aparecerá reflejada en el plan diario/semanal o en el plan maestro de mantenimiento (en SAP) en el caso del área de envasado y despacho, según sea el caso.

1.6.4.3. Mantenimiento correctivo

Actividad desarrollada en las máquinas y equipos críticos en planta, cuando a consecuencia de una falla han dejado de prestar la calidad de servicio para la que fueron diseñados. Al momento de presentarse una falla en un equipo crítico que supone la pérdida de la calidad de servicio que este presta, la indicación aparece inmediatamente en el control central respectivo.

La indicación aparece cuando se detecta una falla del funcionamiento del equipo o porque otro equipo que depende del primero ve afectados sus propios parámetros de funcionamiento. En cualquiera de los casos, el responsable de operar ese equipo desde el control central respectivo solicitará al supervisor mecánico de turno/supervisor envasado y despacho (si es un problema de índole mecánica), al electricista de turno (si es un problema de índole eléctrica) o al instrumentista de turno (si es un problema de índole instrumentista) que revise en campo el equipo, de tal forma que se pueda establecer realmente cuál es el problema que se presenta en el mismo.

El supervisor, mecánico, electricista o instrumentista analiza el problema y retroalimenta al operador del equipo y al jefe de turno con la información recopilada. Si se trata de una falla que requiere uno o varios trabajos sencillos, el supervisor y su grupo), electricista o instrumentista de turno la corrigen inmediatamente sin necesidad de una orden y dejando evidencia en el reporte de actividades en turno.

De considerarlo oportuno, el jefe de turno se presenta en el lugar y verifica en campo lo afirmado por el supervisor, electricista o instrumentista.

Si el problema o falla es grave, el jefe de turno, supervisor o responsable de mantenimiento solicita el apoyo, según considere de:

- Ingeniero de mantenimiento de turno (en el caso de los turnos de llamada).
- Jefe / asistente de mantenimiento específico (mecánico, del área a la que pertenece el equipo, eléctrico o instrumentación), si se trata de un turno diurno.

- Superintendente de taller respectivo (mecánico, eléctrico o de instrumentación, dependiendo de la raíz del problema) para determinar las actividades a llevar a cabo en el equipo.

En cualquier caso se asegura que las actividades se lleven a cabo en el menor tiempo posible y cumplan con los requerimientos que aseguren la continuidad de operación del equipo hasta el próximo mantenimiento preventivo programado.

Existen partes o accesorios de equipos críticos y algunos equipos auxiliares que no poseen ningún dispositivo de control y cuya detección de fallas depende en gran medida de las inspecciones rutinarias de los mecánicos de mantenimiento predictivo.

Cuando alguno de estos mecánicos detectan una falla que amerita mantenimiento correctivo, lo comunica inmediatamente al jefe de mantenimiento predictivo, al jefe de turno (de producción), supervisor o al jefe/asistente de mantenimiento del área, dependiendo del caso.

1.6.5. Responsabilidades

Responsabilidades en el mantenimiento de clase mundial

- Superintendente del taller mecánico, taller eléctrico o de instrumentación / jefe de envasado y despacho: coordina las actividades llevadas a cabo por los jefes de mantenimiento (mecánico, eléctrico o instrumentista) en las diferentes áreas y al asistente de mantenimiento de envasado y despacho, en el caso de este departamento, brindándoles apoyo y asesoría en trabajos de mantenimiento específicos. Verifica que los trabajos de mantenimiento efectuados en las áreas se ejecuten adecuadamente.
- Jefe de mantenimiento mecánico, eléctrico, instrumentación / asistente de mantenimiento de envasado y despacho: revisa y corrige la prioridad de las actividades programadas por el ingeniero auxiliar y garantiza la correcta supervisión de su ejecución en campo, verificando que se haga el mantenimiento de acuerdo con los requerimientos del fabricante del equipo específico.
- Jefe de planificación: verifica la adecuada administración de los planes de mantenimiento y el correcto flujo de información del sistema de gestión; es responsable de la creación, modificación o baja de los equipos críticos en SAP.
- Ingeniero auxiliar: visualiza en SAP los avisos y establece prioridades para programación de los mismos (mantenimientos futuros: correctivos, predictivos, etcétera). Administra las órdenes de trabajo generadas para mantenimiento en SAP.

Plan maestro en el caso del área de envasado y despacho y el plan de frecuencias de mantenimiento en conjunto con el plan anual de mantenimiento en el caso de las áreas y departamentos. Supervisa la retroalimentación de las órdenes de trabajo en SAP.

- Supervisor de área (mecánica, eléctrica e instrumentista): supervisa a los responsables de realizar el mantenimiento en las labores que les han sido asignadas por medio de órdenes de trabajo, este las recibe una vez terminadas, aprobando los trabajos llevados a cabo y las entrega al asistente administrativo para su retroalimentación en SAP.
- Asistente administrativo: genera las órdenes de trabajo de mantenimiento y las reservas de material, orientadas a los diferentes puestos de trabajo y retroalimenta el sistema SAP. Ingresar o actualiza los equipos críticos.
- Responsable de realizar el mantenimiento mecánico, instrumentistas de área, departamento o turno: ejecuta las labores de mantenimiento predictivo, preventivo o correctivo, necesarias para conservar la calidad de la maquinaria o equipo que presta el servicio.
- Determinación de equipos críticos: el superintendente de área determina los equipos críticos tomando en consideración aquellos que tengan un efecto sobre el cumplimiento de las variables de calidad y control del proceso, para asegurar la calidad del producto a lo largo del proceso de elaboración del cemento.

De la evaluación anterior se obtiene un listado, que se ingresa o actualiza en SAP, por el jefe de planificación o la persona que él designe. El listado que se genera en SAP es revisado por el superintendente del área por lo menos una vez al año o al momento de una modificación o instalación de equipo nuevo.

1.6.6. Mantenimiento contratado

Los tipos de mantenimiento que pueden ser contratados por departamento son:

- Departamento mecánico
 - Predictivo
 - Preventivo
 - Correctivo

- Departamento Eléctrico / instrumentación
 - Preventivo
 - Correctivo

Entre los rubros que pueden ser contratados para los diferentes tipos de mantenimiento están:

- Mantenimiento predictivo
 - Análisis de aceites
 - Mediciones con ultrasonido
 - Termografías, etcétera

- Mantenimiento preventivo
 - Personal (mano de obra)
 - Actividades específicas (modificaciones, nuevas instalaciones, etcétera).

- Mantenimiento correctivo
 - Personal (mano de obra)
 - Actividades específicas (modificaciones, correcciones, etcétera)

2. MANTENIMIENTO

Debido a la incapacidad para que los equipos e instalaciones se mantengan en buen funcionamiento por sí mismos, deben organizarse un grupo de personas para que se encarguen de esto y se constituya así el mantenimiento.

2.1. ¿Qué es mantenimiento?

Es un conjunto de actividades que deben realizarse a instalaciones y equipos, con el fin de corregir o prevenir fallas, buscando que estos continúen prestando el servicio para el cual fueron diseñados.

Desde el punto de vista de quien administra el mantenimiento, el objetivo principal es la conservación del servicio. Quiere decir que, la máquina debe realizar un mantenimiento no por ella misma, sino para su conservación y para garantizar que la función que ella realice dentro del proceso productivo se cumpla a cabalidad y se mantenga la capacidad productiva en el nivel deseado.

Lo anterior se debe basar siempre en el equilibrio de los siguientes factores:

- Minimizar los costos de parada del equipo por daños y reparaciones.
- Minimizar la utilización de capital invertido en instalaciones y equipos, aumentando así su vida útil.

- Minimizar los costos de operación y mantenimiento, para aumentar los beneficios de la actividad industrial.

Es también una función del mantenimiento garantizar la seguridad industrial.

Se ha visto que tradicionalmente los ingenieros y técnicos que operan en el campo de la ingeniería de mantenimiento, dan una mayor importancia a los aspectos de tipo técnico, dejando en segundo plano lo concerniente a la gestión administrativa y aspectos logísticos, lo cual siempre resulta en bajo nivel de servicio, altos costos y demasiadas tensiones y fricciones en la ejecución del trabajo.

2.2. Tipos de mantenimiento

Existen diversas formas de realizar el mantenimiento a un equipo de producción, cada una de las cuales, tiene sus propias características, especificaciones y objetivos de realización y aplicación. Dentro de ellos están:

2.2.1. Mantenimiento correctivo

Como su nombre lo indica, es un mantenimiento encaminado a corregir una falla que se presente en determinado momento. En otras palabras es el equipo quien determina las paradas. Su función primordial es poner en marcha el equipo lo más rápido y con el mínimo costo posible. Este mantenimiento es generalmente el único que se realiza en pequeñas empresas.

Las etapas por seguir cuando se presente un problema de mantenimiento correctivo, pueden ser las siguientes:

- Indicar el problema y sus causas
- Estudiar las diferentes alternativas para su reparación
- Evaluar las ventajas de cada alternativa y escoger la óptima
- Planear la reparación de acuerdo con personal y equipo disponible
- Supervisar las actividades por desarrollar
- Clasificar y archivar la información sobre tiempo, personal y repuestos de la labor realizada, así como las diferentes observaciones al respecto.

Este tipo de mantenimiento presenta una serie de inconvenientes en diversas áreas de la empresa, a saber:

Personal: en un principio o sea cuando el equipo es nuevo, tan solo será necesario un número reducido de técnicos para atender las fallas que se presenten, pero con el transcurrir del tiempo, el desgaste del equipo será mayor y traerá como consecuencia un incremento en el número de fallas, que ya no podrán ser atendidas por el mismo grupo de personas, lo cual hace necesario que se contrate más personal de mantenimiento para atender todos los daños.

Por otro lado, si una falla suspende el proceso productivo, el personal de producción se encontrará inactivo, sin dejar de percibir su salario mientras dure el mantenimiento; pero si además, recibe bonificación por la producción, estará presionado para una pronta reparación y esto influye a que la misma, no sea la mejor.

Maquinaria: una pequeña deficiencia que no se manifieste, puede con el tiempo hacer fallar otras partes del mismo equipo, convirtiéndose así, un arreglo pequeño en una reparación mayor que incrementan los costos debido al aumento y el tiempo de parada del equipo. Esto se podría haber evitado efectuando a tiempo el cambio del elemento o daño que hubiera sido detectado durante una revisión preventiva.

Inventario: casi podría afirmarse que el repuesto requerido para solucionar una falla no se encuentra en ese momento en el almacén, por no existir la información de la clase de cantidad de repuestos necesarios. La consecuencia de estos elementos exteriormente hacen que la demora sea mayor y se incrementan los costos. Esta información, al igual que en el caso anterior, se hubiera podido obtener mediante continuas revisiones preventivas.

Seguridad: la seguridad se verá afectada si la falla coincide con un evento inaplazable en la producción y se obliga a los equipos a trabajar en condiciones de riesgo tanto para el personal, como para la maquinaria.

Calidad: por último, la calidad del producto se verá seriamente afectada, ya que el desgaste progresivo de los equipos ocasionará una caída de esta, lo cual dará como resultado un aumento en las pérdidas debido a la mala calidad del producto terminado.

Aunque lo anterior muestra claramente que hoy en día, para una empresa media los costos de mano de obra y lucro cesante hacen imposible su administración únicamente con un sistema de mantenimiento correctivo, muchas empresas desarrolladas persisten en la idea de reparar solamente en las fallas que se van presentando.

Es demasiado complejo explicar porque sucede esto, pero se puede decir que algo que influye sobremanera es el deseo de los empresarios de producir el máximo (si es posible las 24 horas al día los 365 días del año). Aunque en las empresas hay personas preparadas profesionalmente que se oponen a esto, no son escuchadas. De todas maneras, la práctica enseña que el mantenimiento correctivo es inevitable, así se haya implementado un programa de mantenimiento preventivo, ya que en cualquier momento se pueden presentar fallas que no fueron previstas.

2.2.2. Mantenimiento predictivo

Este tipo de mantenimiento consiste en hacer mediciones o ensayos no destructivos mediante equipos sofisticados a partes de maquinaria que sean muy costosas o a las cuales no se les pueda permitir fallar en forma imprevista, pues arriesgan la integridad de los operarios o causan daños de gran importancia. La mayoría de las inspecciones se realizan con el equipo en marcha y sin causar paros en la producción.

Las más frecuentes son:

- **Desgaste:** con espectrómetro de observación atómica, aplicando sobre los aceites de lubricación que sí muestran un contenido de metal superior al normal, indican dónde está ocurriendo un desgaste excesivo.

- De espesor: con ultrasonido.
- De fracturas: con rayos X, partículas magnéticas, tintas reveladoras o corrientes parásitas, ultrasonido.
- De ruido: con medidores de nivel de ruido o decibelímetro.
- De vibraciones: con medidores de amplitud, velocidad y aceleración.
- De temperatura: con rayos infrarrojos o sea la termografía.

El mantenimiento predictivo sólo informa y sirve de base para un buen programa de mantenimiento preventivo.

2.2.3. Mantenimiento preventivo

Este sistema se basa en el hecho de que las partes de un equipo se gastan en forma desigual y es necesario presentarles servicio de forma racional, para garantizar un buen funcionamiento, por lo que se debe hacer énfasis en que la esencia de este son las revisiones e inspecciones programadas que pueden o no tener como consecuencia una tarea correctiva o de cambio.

El mantenimiento preventivo es aquel que se hace mediante un programa de actividades previamente establecidas, con el fin de anticiparse a la presencia de fallas en instalaciones y equipos.

Este programa se fundamenta en el estudio de necesidades de servicio de un equipo, teniendo en cuenta cuáles actividades se harán con el equipo detenido y cuáles cuando está en marcha. Además, se estima el tiempo que se toma cada operación y la periodicidad con que se efectúa, con el fin de determinar las horas-hombre que requiere una tarea de mantenimiento, al igual que las personas que se van a emplear en determinado momento del año.

El éxito de un programa de mantenimiento preventivo, consiste en el análisis detallado del programa de todas y cada una de las máquinas y en el cumplimiento estricto de las actividades para cuyo efecto se debe realizar una buena supervisión.

El mantenimiento preventivo puede dividirse en:

2.2.3.1. Mantenimiento periódico

Este tipo de mantenimiento, como su nombre lo indica, es aquel que se realiza después de un período de tiempo, generalmente largo (entre 6 y 12 meses). Este mantenimiento se practica por lo general en plantas de procesos tales como las petroquímicas, papeleras, cementeras, etcétera y consiste en realizar grandes paradas en las que se efectúan reparaciones mayores.

Para implementar este tipo de mantenimiento, se requiere una excelente planeación e interrelación del área de mantenimiento con las demás áreas de la empresa, para lograr llevar a cabo las acciones en el menor tiempo posible.

2.2.3.2. Mantenimiento programado

Este es otro sistema de mantenimiento que se practica hoy en día y se basa en la suposición de que las piezas se desgastan siempre de la misma forma y en el mismo período de tiempo, así se esté trabajando bajo condiciones diferentes.

En este tipo de mantenimiento se lleva a cabo un estudio detallado de los equipos y a través de él se determina, con ayuda de datos estadísticos e información del fabricante, las partes que se deben cambiar, así como, la periodicidad con que se deben hacer los cambios. Una vez hecho esto, se elabora un programa de trabajo que satisfaga las necesidades del equipo.

Aunque este método de mantenimiento es superior a los demás, presenta algunas fallas. La principal es el hecho de que, con el fin de prestar el servicio que ordena el programa a una determinada parte del equipo, es necesario retirar o desarmar partes que están trabajando en forma perfecta.

2.2.3.3. Mantenimiento bajo condiciones

Este más que un tipo de mantenimiento, es una práctica que se debe seguir cuando se tiene implantado un determinado sistema de mantenimiento y consiste en adecuar el programa según varíen las condiciones de producción (de uno a dos turnos) o las condiciones de operación (el ambiente de operación), teniendo en cuenta principalmente el efecto que cause esto sobre el equipo. En otras palabras, mediante esta práctica se mantiene actualizado el programa existente.

3. ORGANIZACIÓN DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

En la organización de un Departamento de Mantenimiento se estarán aplicando las técnicas y los principios de la administración a un área específica; por esta razón quien organiza un Departamento de Mantenimiento debe tener muy buenos conocimientos en el área administrativa, con el fin de lograr una clara definición de los objetivos, los cargos, sus funciones, los requisitos para ocuparlos y las relaciones entre personas y departamentos.

3.1. Etapas del proceso administrativo

Las diferentes etapas que se deben seguir son:

- Organización
- Planeación
- Ejecución
- Control
- Manual de procedimiento

3.1.1. Organización

La organización es el primer paso del proceso administrativo y el más importante, pues ella genera las bases sobre las cuales se desarrollan las demás. La organización es el hecho de dar forma a los recursos de la empresa, definiendo una estructura por funciones.

Para ello, se debe hacer una división clara y efectiva de la autoridad, evitando en lo posible traslapes de funciones y obligaciones.

Hay que reducir en lo posible las líneas largas de autoridad; también, racionalizar el número de personas que informen a un mismo individuo, procurando que no sea excesivo y que toda actividad esté basada siempre en el entrenamiento de los subordinados, la capacidad individual de la persona, la planeación y el control de la empresa misma.

El éxito de la organización se basa en una buena proyección de la empresa en los siguientes aspectos:

- Cargos
- Personas
- Autoridad
- Responsabilidad

3.1.2. Planeación

En la planeación se procede a definir con mayor precisión a dónde se desea llegar y el momento en el cual se logrará esta meta; a partir de esto, se analizan los recursos humanos y técnicos disponibles y las limitaciones en las diversas áreas, por último, se detallan las labores indicando su número y duración.

Cuando se han seguido los anteriores pasos, se puede llegar a saber cuándo empezar, cuándo terminar y además hacer presupuestos sobre los costos, las acciones y los tiempos. Estos presupuestos se emplean como patrones para evaluar el desarrollo de la labor ejecutada.

La planeación, es por lo tanto, una continua toma de decisiones y se compone de aspectos muy definidos que siempre deben tener en mente, tales como:

- Políticas
- Objetivos
- Procedimientos
- Métodos
- Programas
- Presupuestos

3.1.3. Ejecución

Ejecutar es poner en funcionamiento todo lo organizado y planeado hasta el momento. Dado que el único recurso de la empresa que varía por sí mismo, es el humano, hacia él debe orientarse la ejecución, un buen administrador se preocupará de poner en práctica ciertos principios para lograr que sus colaboradores se familiaricen con la estructura de la organización, las relaciones interdepartamentales y con sus deberes y autoridad.

Una vez que los subordinados han sido orientados, el superior tendrá la continua responsabilidad de aclararles sus funciones, guiarlos hacia el mejoramiento de la ejecución, el desempeño de las tareas y motivarlos a trabajar con el celo y confianza y buscar con ello alcanzar los objetivos de la mejor manera posible. Los principios mencionados son:

- Motivación
- Comunicación
- Dirección
- Coordinación

3.1.4. Control

Es la comprobación de que lo planeado se está llevando a cabo; si existe una desviación, se muestra y se ejecutan las acciones necesarias para hacer las correcciones del caso.

Este es un proceso dinámico que se inicia al término de la planeación, por lo que, de esta manera es factible dictar parámetros de control, los cuales deben quedar escritos y ser conocidos por todos. Las etapas por seguir para ejercer el control son:

- Medir
- Comparar
- Analizar
- Corregir

3.1.5. Manual de procedimiento

Es indispensable tener un manual de procedimientos donde, de una manera clara se definan las normas para la ejecución de las diferentes actividades del sector de mantenimiento.

El manual debe contener las siguientes partes:

- Numeración de las actividades
- Nombre y contenido
- Objetivos
- Normas procedimentales
- Departamentos y personas responsables e involucradas
- Procedimientos que lo completan
- Procedimientos a los cuales reemplaza

Ejemplo de Procedimientos de un departamento de mantenimiento, son:

- Elaborar órdenes para reparaciones mayores, montaje y traslado de maquinaria; mejoramiento y modificaciones de máquinas y equipos.
- Ejecutar del mantenimiento preventivo
- Reparar maquinaria
- Declarar maquinaria o equipo fuera de uso

- Comprar servicios de ingeniería
- Comprar repuestos y materiales
- Importar repuestos y accesorios

3.2. Importancia de la ubicación y relaciones del Departamento de Mantenimiento

En el organigrama de una empresa el Departamento de Mantenimiento tiene como funciones:

- Mostrar con claridad la organización establecida
- Facilitar el análisis de la organización
- Mejorar las comunicaciones y relaciones del personal

Estos organigramas son gráficos que indican la posición del Departamento de Mantenimiento y su jerarquía dentro de la empresa. Dichos gráficos describen las líneas de autoridad entre los diferentes departamentos y las instancias superiores, dependiendo directamente del tipo de empresa y del desarrollo alcanzado.

Vale la pena tener muy en cuenta las labores propias del departamento, tales como corregir rápida y oportunamente paradas en la producción o atender emergencias en los servicios; también, ser flexibles en el cumplimiento de los conductores regulares y permitir a este departamento tomar decisiones acordes con las circunstancias.

3.3. Relación del Departamento de Mantenimiento con los demás departamentos

La comunicación, colaboración y coordinación que debe existir entre los diferentes departamentos, se logra mediante reportes y solicitudes elaborados en la mayoría de los casos por escrito, procurando así una buena relación entre los departamentos y el de mantenimiento; relaciones que hacen fácilmente superables las diferencias que se pueden presentar en determinado momento.

Los departamentos o áreas que más relación tienen con el Departamento de Mantenimiento dentro de una empresa, son:

- Producción
- Contabilidad
- Sistemas
- Compras y almacenamiento
- Relaciones industriales
- Proyectos
- Servicios

3.4. Alternativas y métodos para organizar el Departamento de Mantenimiento

Debido a las características especiales del Departamento de Mantenimiento, el tipo de servicios que presta y la calidad de su personal, así como la organización en sí, existen diferentes alternativas para realizar el mantenimiento, y son: mantenimiento por áreas, mantenimiento centralizado y mantenimiento mixto, el sistema de organización debe aparecer como una respuesta a una necesidad y es muy importante tener en claro que, a medida que la empresa crece, debe ir adaptando su organización al nivel de complejidad existente.

3.4.1. Mantenimiento por áreas

Cuando la empresa está dividida por secciones, según las características de la producción, se aprovecha este tipo de estructura y se divide el mantenimiento en áreas correspondientes; así, cada una de estas, cuenta con un personal de base, de supervisión y de dirección. Se busca con esto que las oficinas y talleres de mantenimiento estén cerca de sus respectivas zonas de trabajo, con lo cual se consigue la descentralización del mantenimiento.

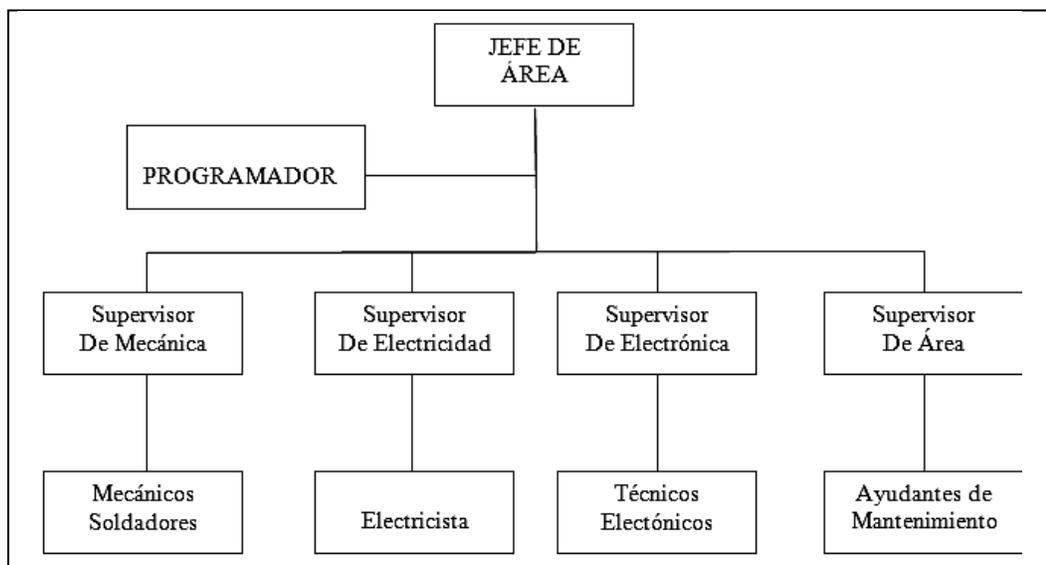
El equipo o cuadrilla de trabajo de una sección se constituye teniendo en cuenta las características de esta y su labor específica. Cada cuadrilla conserva eficientemente los equipos de su zona y acude cuando se le solicita a otras secciones, por circunstancias específicas.

Normalmente, se requiere una fuerza laboral mayor cuando se hace el arreglo por áreas ya que se tienen equipos completos al frente de cada sección y cuando se pretende trasladarlos de un área a otra se encuentran muchas dificultades.

Si se detectan fallas o problemas inminentes, el procedimiento por seguir lo determina producción, lo cual es una verdadera desventaja de este sistema, que se evidencia cuando por no parar la producción se ordena a mantenimiento hacer reparaciones menores en lugar de las adecuadas al caso; esto podría acarrear como consecuencia un daño costoso.

En el mantenimiento por áreas los costos están controlados por el tipo de organización y la relación de los supervisores con los Departamentos de Mantenimiento.

Figura 3. **Ejemplo de organigrama del Departamento de Mantenimiento**



Fuente: ROJAS, Raúl. División del sector Industrial y de la Construcción. p. 18.

3.4.2. Mantenimiento centralizado

En esta modalidad todas las actividades de mantenimiento se controlan desde una localización central. El personal no está restringido a un área y se traslada de un lugar a otro según se requiera.

El departamento está encabezado por un gerente de mantenimiento quien ocupa el mismo nivel jerárquico que el de producción. Debe existir un perfecto entendimiento entre estos dos departamentos para coordinar adecuadamente sus labores. Con este arreglo se logra un flujo continuo de mantenimiento y al cabo de cierto tiempo se contará con personal bien adiestrado que conoce todos los equipos de la planta. Además, se simplifican los procedimientos, comunicaciones, reparaciones, compras, etcétera.

Cuando se presenta una emergencia, hay todo un equipo disponible; durante los períodos de baja carga de trabajo, el personal puede adelantar programas de mantenimiento preventivo, construir o reconstruir equipos.

En el sistema centralizado, la inspección la ejerce mantenimiento y producción; por lo tanto, habrá una doble comprobación de las actividades.

Al contrario del arreglo por áreas, se evita que el Departamento de Producción conceda demasiada importancia a su autoridad, relegando a un segundo plano la opinión de mantenimiento. Como en este caso mantenimiento no tiene enlace directo con ningún otro departamento y cuenta con su propia organización, los costos pueden ascender demasiado, por lo tanto, se debe ejercer un control detallado de estos.

En principio la estructura del Departamento de Mantenimiento centralizado tiene la misma configuración que la de un mantenimiento por áreas, diferenciándose de esta en que es un solo grupo conformado por una mayor cantidad de gente y la dirección se encuentra centralizada. De lo anterior se concluye que cada alternativa de mantenimiento tiene sus ventajas y desventajas, siendo ellas propias de cada elección. Por ejemplo, de las características del mantenimiento por áreas puede concluirse:

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Mas funcionalidad.• Atención más oportuna.• Mejoramiento de la calidad del servicio.• Especificación técnica en cada área.	<ul style="list-style-type: none">• Aumento de personal.• Aumento de los costos.• Poca flexibilidad en el manejo de personal a nivel de empresa.• Falta de compromiso con instalaciones mayores.

Se puede deducir de lo anterior (sin ser una regla), que muchas de las ventajas y desventajas del mantenimiento por áreas, son las mismas del departamento centralizado.

3.4.3. Mantenimiento mixto

Por todo lo anterior, así como por el gran crecimiento estructural de algunas empresas, la discriminación geográfica de algunas de sus secciones y el manejo en la producción, se hace imposible realizar el mantenimiento únicamente con una de las alternativas anteriores, por lo cual se hace necesario en ocasiones complementarlas para producir una alternativa intermedia.

Esta alternativa, al igual que muchos de los conceptos anteriores pueden ser o no aplicables, dependiendo del tipo de empresa y de sus necesidades.

Quedaría bajo responsabilidad y manejo directo de cada sección, las siguientes actividades:

- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento correctivo
- Manejo y almacenamiento de repuestos, así como de equipos especiales

Todas estas actividades estarían supervisadas por la unidad central de mantenimiento.

Los jefes de mantenimiento de las áreas asistirán a reuniones semanales de trabajos para mantener unidad de criterios en cuanto al sistema, costos, mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo y parámetros de medición de las gestiones. Además, políticas coherentes y consistentes en lo referente a salarios, nivelación de cargos, desarrollo de personal y tecnología.

Sería de responsabilidad y manejo directo de la unidad central de mantenimiento, las siguientes actividades:

- Construcción de piezas para mantenimiento preventivo
- Construcción de piezas para mantenimiento correctivo
- Diseño e intervención en contrataciones de ingeniería (sistemas eléctricos y electrónicos, sistemas de gas y térmicos, aire acondicionado y montajes).

- Construcción de maquinaria
- Construcción de piezas reparaciones mayores
- Reparaciones mayores
- Montaje de maquinaria nueva y usada
- Adaptación y modificación a equipos de producción
- Mantenimiento predictivo
- Reparaciones eléctricas y electrónicas de taller
- Construcción de equipos bajo pedido
- Servicios generales
- Compra de repuestos importados

3.5. Métodos para organizar un Departamento de Mantenimiento

Para organizar un área de mantenimiento, en un Departamento de Mantenimiento, se deben utilizar diversos criterios, tomando en cuenta la esencia del mantenimiento, que se basa en satisfacer el servicio.

La departamentalización del mantenimiento es la división de los recursos disponibles para su mejor aprovechamiento. La forma de repartición es inherente al desarrollo de la empresa y tiene como meta agilizar dicho desarrollo.

Es necesario mencionar que varias empresas, muy semejantes entre sí, pueden tener diferentes criterios para la departamentalización del mantenimiento; sin embargo, todas pueden ser eficientes; es decir, no existen criterios únicos o sistemas ideales para esta repartición.

Los diferentes criterios son:

- Criterio numérico: este tipo de agrupación, tiene un campo válido de aplicación en aquellos casos en que el resultado de la actividad depende solamente del número de personas que la realicen.

Para este efecto tiene poca importancia, el tipo específico de trabajo, el sitio donde trabajan o las herramientas utilizadas. La departamentalización se logra, agrupando personas básicamente del mismo nivel, bajo las órdenes de un jefe.

Una razón para la decadencia de este tipo de departamentalización es que solamente es útil a los niveles más bajos de la estructura organizacional.

- Criterios por tiempo: esta es una de las formas más antiguas de la departamentalización, utilizada en los niveles más bajos de la organización.

En muchas compañías es común el empleo de varios turnos de trabajo, cuando por razones técnicas o económicas, una sola jornada no es suficiente. Salvo por algunas dificultades de supervisión, aspectos de eficiencia y el costo de los turnos, este tipo de organización presenta pocos problemas administrativos.

- Criterio por producto: la agrupación de actividades sobre la base de productos o líneas de productos, ha venido adquiriendo gran importancia en las grandes empresas que tienen una producción diversificada. El proceso ha sido típicamente evolutivo, por cuanto estas empresas se organizaron en forma funcional.

La departamentalización por productos o líneas de producto, facilita la utilización de bienes de capital especializados, mejora cierto tipo de coordinación y permite utilizar al máximo las habilidades y conocimientos especializados del personal. Así se podrá especializar a ciertos trabajadores en el mantenimiento de determinada maquinaria.

Cuando es necesario mantener un alto grado de coordinación entre todas las actividades funcionales relacionadas con un producto determinado, este tipo de departamentalización es el más apropiado.

- Criterio estacional: en algunas empresas se presenta una época de mayor demanda, por ello, se engancha personal y se adquieren equipos por períodos de tiempo fijo; es el caso de las empresas constructoras.

- Criterio por funciones: sin excepción, toda empresa se dedica a la creación de bienes o servicios, a la venta de ellos a un cierto precio y al manejo del flujo de fondos que esta operación implica. Para desarrollar todo ello, se requiere la presencia de cierto número de personas que cumplan determinadas funciones. La departamentalización funcional es la más ampliamente utilizada y se encuentra presente en casi todas las empresas en algún nivel de su organización.
- Criterio mixto: el propósito de departamentalizar es agrupar las actividades de la manera que mejor contribuya a los propósitos de la empresa y por lo tanto, no hay razón para no hacer uso de todas las alternativas posibles. El uso de un criterio de departamentalización mixta, es simplemente la aplicación del principio de la división del trabajo.

Originalmente lo enunciado por Fayol como el primero de sus catorce principios de administración, puede describirse de la siguiente manera: una estructura de organización será más efectiva y eficiente, cuanto mejor refleje las labores o actividades necesarias para alcanzar los fines de una empresa, en cuanto facilite su coordinación y en la medida que los cargos o posiciones individuales se ajusten mejor a las capacidades y motivaciones de las personas que los desempeñan.

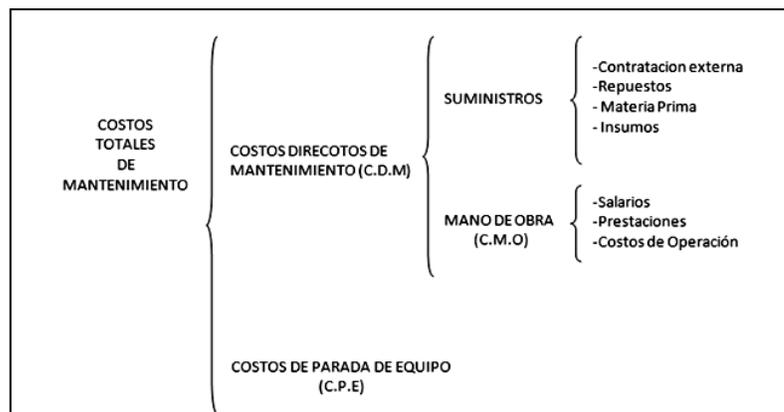
4. COSTOS DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

Desde el punto de vista de la administración del mantenimiento, uno de los factores más importantes es el costo. El ingeniero, quien es el encargado de esto, no tiene por lo regular suficiente preparación en esta área, sino en la de aspectos técnicos. Por eso el ingeniero tiene que analizar y profundizar respecto a los costos de mantenimiento con el fin de conocer su manejo y control, evitando así el crecimiento de estos. Los costos de mantenimiento tienen una gran importancia cuando se trata de medir la eficiencia del mismo.

4.1. Clases de costos

Los costos totales de mantenimiento están compuestos por dos clases: costos directos de mantenimiento (CDM) y costos por parada de equipo (CPE).

Figura 4. Cuadro sinóptico del costo total de mantenimiento



Fuente: BOTERO, Camilo. Manual de mantenimiento. p. 24.

4.1.1. Costos directos del mantenimiento

Los costos directos del mantenimiento se definen como el valor de conjunto de bienes y servicios que se consumen para adelantar una tarea de mantenimiento. Se encuentra conformado por los costos de suministros y los costos de mano de obra que incluyen los costos de operación.

- Costos de suministros: son todos aquellos costos de los elementos físicos que son imprescindibles durante una tarea de mantenimiento. Resulta conveniente aclarar que todos los suministros no son respuesta ya que suministro es una palabra genérica que incluye tanto a los repuestos específicos como a los repuestos genéricos tales como: materiales, rodamientos, tornillos, bujes, etcétera, que pudiendo ser catalogados como repuestos tienen una aplicación mucho más general que los repuestos específicos.

Estimar el costo real de un repuesto determinado es una labor difícil, debido a un sin número de factores tales como inflación, devaluación y los costos por inventario excesivo.

Es una política muy común en el manejo de los costos el incluir dentro de los suministros, los contratos externos que tengan como fin una tarea de mantenimiento, ya que estos generalmente requieren de equipo y material para ser adelantados, emitiéndose una factura única que se carga como un suministro. Estos contratos por lo general son mano de obra, servicios, asesorías, montajes, etcétera.

- Costos de mano de obra (CMO): se refiere al salario más las prestaciones sociales devengados por los técnicos del departamento asignados a una labor del mantenimiento. Además se incluye como CMO los costos de operación, que son aquellos que no pueden ser clasificados ni como suministros ni como mano de obra y cuya cuantificación atribuida a una determinada labor del mantenimiento, es casi imposible. Por lo tanto, la valorización de estos costos se hace en un período particular de tiempo. Son ejemplos de estos costos: la renta o alquiler, energía, acuerdos, impuestos sobre inmuebles, salario del jefe de mantenimiento y personal de mantenimiento.

Se incluyen también en este ítem los elementos solicitados por el taller de máquinas y herramientas, tales como: aceites, refrigerantes, buriles, brocas, fresas, etcétera, que una vez comprados se consideran consumidos y que constituyen parte de los gastos del mantenimiento que, como se verá más adelante, pasarán a formar parte de la tarifa.

4.1.2. Costos de parada de equipo

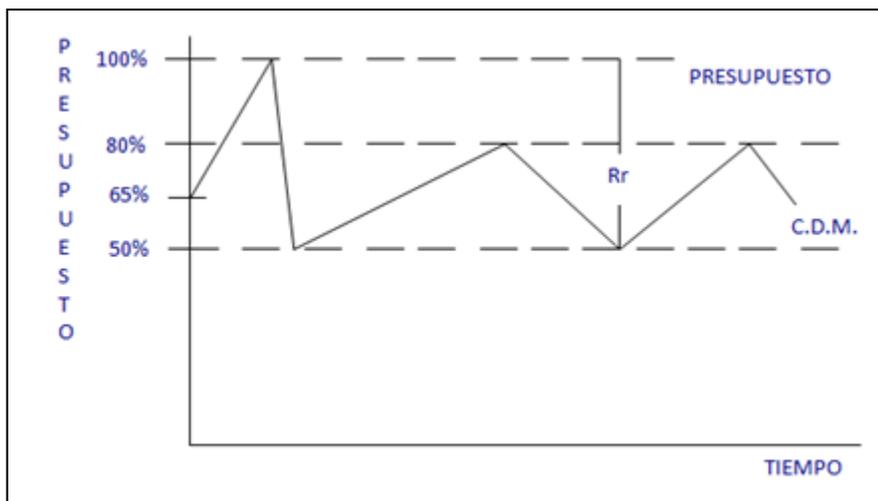
Al hallarse una máquina o equipo en estado improductivo se incurrirá en costos, debido a la tarifa horaria que tenga la máquina; en ocasiones la obsolescencia de equipos hace imposible conseguir repuestos y es necesario practicar modificaciones a la máquina; esto puede ocasionar que la máquina disminuya su capacidad y a esta pérdida se le denomina costo por falla.

Debido a que algunos de los costos a los que se ha hecho mención se basan en el tiempo de duración de una tarea de mantenimiento y en la estimación de costos actuales de un repuesto, es muy difícil dar valores exactos.

Deben cuestionarse permanentemente los costos del Departamento de Mantenimiento, sin descuidar los costos que por una buena o deficiente atención se estén generando en el sector de producción.

Puede darse el caso de que, con una buena estadística sobre estos aspectos, se logren inversiones en equipos o aumento de personal para el mantenimiento de aquellos equipos que presentan un CPE por encima de lo presupuestado.

Figura 5. **Gráfica de utilización del recurso restante donde CDM es el Costo Directo de Mantenimiento**



Fuente: BOTERO, Camilo. Manual de mantenimiento. p. 25.

Como se ve en la gráfica, los recursos se utilizan prioritariamente para cubrir los costos directos de mantenimiento. Pero estos tendrán variaciones con el tiempo, alcanzando máximos y mínimos.

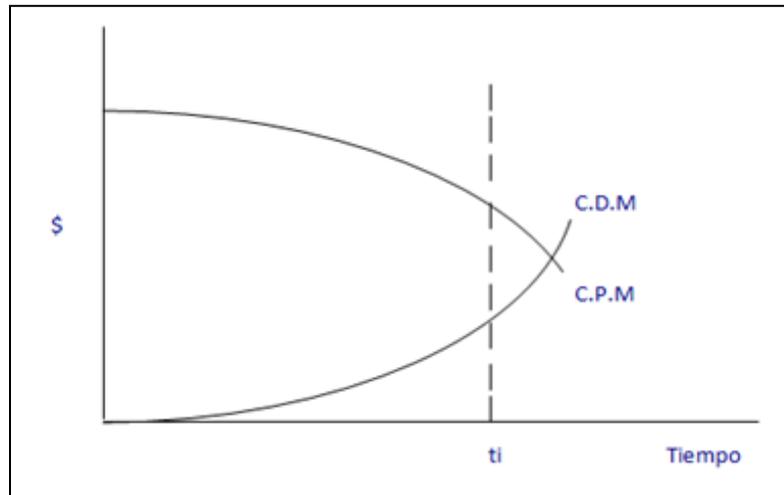
Al conocer el momento en que se presenta el mínimo, se puede determinar la utilización de los recursos restantes (R_r), en actividades tales como construcción de maquinaria, reconstrucción de la misma, traslados, montajes, adaptaciones y mejoras.

Los recursos antes mencionados pueden ser financiero, humano o tiempo. Es importante entonces optimizar la utilización del recurso humano tratando de disminuir el tiempo dedicado al mantenimiento para tener así más recursos dedicados a las actividades antes mencionadas, un punto importante es definir el costo óptimo del mantenimiento; esto no se logra sino mediante una revisión permanente de los costos, lo cual es posible si se tiene la información correcta y oportuna.

Para esto deben definirse tarifas claras y prácticas tanto para la cuantificación del costo de parada de equipo como para la evaluación del costo del mantenimiento preventivo, reparaciones en el mantenimiento correctivo, reparaciones mayores, montajes y diseños para el mejoramiento o alteración de maquinaria; es decir, la tarifa de la máquina.

Otro factor importante es el de contar con la información sobre los Costos Directos de Mantenimiento (CDM), comparando estos con la Capacidad Productiva de la Máquina (CPM), para así, determinar el momento en el cual se envía un equipo a reparación mayor (t_i).

Figura 6. **Gráfica del Costo Directo de Mantenimiento CDM comparado con la Capacidad Productiva de la Máquina CPM**



Fuente: BOTERO, Camilo. Manual de mantenimiento. p. 26.

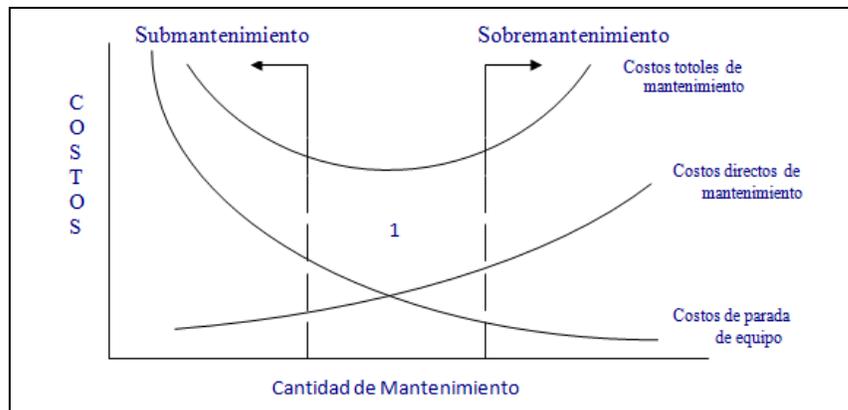
4.2. Niveles de mantenimiento

Se desea determinar el nivel real y el óptimo del mantenimiento, utilizando como elemento de análisis los costos antes mencionados, ya que la tendencia actual es la de minimizar la cantidad de horas-hombre empleadas para fabricar una unidad de un producto, con la finalidad de reducir su costo unitario y así enfrentar la creciente competencia en el mercado.

Es importante anotar lo difícil que resulta determinar el nivel del mantenimiento, ya que no se pueden generalizar las conclusiones de una fábrica ni de un período dado.

Nivel óptimo para el funcionamiento económico de la fábrica: es el punto donde la suma de los costos directos de mantenimiento y costos de paradas de equipo, sea al mínimo. Expresado gráficamente se tiene:

Figura 7. **Gráfica del nivel óptimo de mantenimiento, donde la suma de los costos de mantenimiento y parada de equipo es el mínimo**



Fuente: BOTERO, Camilo. Manual de mantenimiento. p. 26.

Si para una planta dada, los costos totales de mantenimiento están a la izquierda del punto mínimo de la gráfica de costos totales, se puede decir, que el mantenimiento es insuficiente (submantenimiento) y si está a la derecha, el mantenimiento es exagerado (sobremantenimiento).

Esto se nota mirando la gráfica y observando que tan significativa es la incidencia de los costos de mantenimiento en la suma final. Para efectos prácticos se supone que el costo mínimo total de mantenimiento coincide con el punto de corte de las dos curvas de costo (punto 1).

4.3. Control en los gastos de mantenimiento

Es esencial tener en consideración las medidas de control de los costos en el Departamento de Mantenimiento. Es importante definir adecuadamente los gastos de mantenimiento, pues con frecuencia los cargos por esta tarea han sido erróneos o no están relacionados con el mantenimiento.

El sistema de manejo de esta información debe ser ágil y sencillo; así, la información puede buscarse con facilidad de forma que cada nivel administrativo pueda revisarlo.

Se han desarrollado muchos sistemas para determinar donde se están efectuando los gastos, a veces estos mecanismos resultan complejos. La manera más sencilla que se ha experimentado es el método de acumulación de cargos por trabajo realizado, utilizando el código contable de la sección o área donde se cumplió la labor.

El sistema debe ser manejado con la ayuda del computador, lo cual permite un adecuado manejo de la información, esto se realizará adecuando la sistematización a las necesidades del departamento.

El informe de costos tendrá dos aspectos: el primero: mano de obra y el segundo: son los repuestos y suministros; además, estará dividido por una parte en las zonas o departamentos de producción y por otra en las tareas complejas como montajes, traslados, construcción y reparaciones mayores.

El informe incluye la descripción del equipo, las horas–hombre y los materiales empleados. De esta manera se podrá analizar con facilidad dónde se está gastando el dinero, a la vez que se determinarán los factores que afectan los costos de mantenimiento. Este tipo de informes revelan cuáles equipos tienen costos elevados y cuáles tienen más averías. Estos informes de costos de mantenimiento son además una fuente importante de preparación y de revisión de presupuestos; además, de estos informes se obtienen gráficos indicativos e índices para establecer estrategias, tomar decisiones y pasar informes a gerencia.

Se debe tener en cuenta que el Departamento de Mantenimiento es quien debe tener el control sobre los costos; así, aunque las solicitudes de gastos las hacen otras secciones de la planta, es mantenimiento quien tiene la responsabilidad y el adecuado manejo de los gastos.

Los costos de mano de obra son cada día más altos teniendo un efecto muy notable en los gastos de mantenimiento, pero hay otros factores para tener en cuenta y que afectan los costos de mano de obra más que ninguna otra cosa y son:

- Que el número de personas asignado para trabajar en cada tarea sea el adecuado.
- El uso de herramienta y equipo sea adecuado.
- La obtención eficiente de suministros y materiales en la región.
- La previsión en la disposición de los materiales con anterioridad al trabajo, en especial durante las paradas y reparaciones mayores.

En cuanto al personal que labore en mantenimiento, deberá incrementar su preparación y capacitación ya que este factor puede influir en los costos de la mano de obra de una manera definitiva. La capacitación debe constituir siempre una constante en cualquier programa de mantenimiento.

Por otro lado, en referencia a la carga mínima de trabajo en el Departamento de Mantenimiento, no existe una regla práctica sobre la proporción o número fijo de personas. Uno de los métodos más generales para determinar el número de personal se basa en la cantidad de trabajo pendiente en ejecución pero, los datos para tener en cuenta deberán ser confiables.

Los grupos de mantenimiento deben estar siempre a un nivel mínimo, cualquier aumento en la carga puede regularse utilizando los servicios de contratistas en mantenimiento. Para quienes no pueden en determinadas circunstancias, siempre existe la posibilidad de conseguir una mayor flexibilidad transfiriendo personal de producción (mecánicos) a mantenimiento. Cualquiera de estas modalidades siempre estará bajo la supervisión y dirección del personal de la planta de mantenimiento.

A pesar de todas las técnicas y conocimientos que se utilicen, el elemento humano sigue siendo la parte más importante para controlar y reducir los costos de mantenimiento.

Es fundamental conseguir un sincero esfuerzo de cooperación de parte de todo el personal, directa o indirectamente implicado en los problemas de la empresa y en los correspondientes gastos de mantenimiento.

5. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo no es una panacea, no es un remedio para todos los problemas que se presentan durante un proceso productivo; es simplemente una organización sistemática de lo que tradicionalmente se ha venido haciendo.

5.1. Definición y programación

El mantenimiento preventivo es aquel que se realiza mediante una programación previa de actividades, con el fin de evitar en lo posible la mayor cantidad de daños imprevistos, disminuir los tiempos muertos de producción por fallas y por ende disminuir los costos de la misma.

Los altos niveles de producción que se requieren hoy en día, exigen la implantación de un sistema de mantenimiento preventivo que permita aumentar la eficiencia de la producción, la cual es directamente proporcional a la calidad de la información con que se cuenta para llevarla a cabo.

Cuando se vaya a implementar un programa de mantenimiento preventivo, deberá hacerse una primera programación y contar en este momento con la siguiente información:

- Manuales de fabricantes
- Historial del equipo
- Planos levantados a las máquinas

- Memorias de cálculos si se han realizado mejoras o reparaciones
- Retroalimentación del personal de mantenimiento con experiencia

Se puede llevar a cabo ahora, con esta información, una primera programación, respondiendo siempre, tanto para esta como para las futuras programaciones, las siguientes preguntas:

- ¿Qué hay que mantener?
- ¿Qué hay que hacer para mantenerlo en funcionamiento?
- ¿Cuándo y cada cuánto hay que hacerlo?
- ¿Cómo hay que hacerlo?
- ¿Qué personal se tiene para hacerlo?
- ¿Cuánto tiempo requiere hacerlo?

Se tendrán ahora programadas por semana las actividades de mantenimiento. Cuando llegue la semana en la cual haya que realizar la tarea, se expedirá por parte del programador de mantenimiento (o por el computador si se tiene sistematizado el mantenimiento), una orden de mantenimiento que indique la ejecución de las actividades para la misma máquina. Esta deberá contener: nombre, código, localización, elemento que se va a mantener, actividad por realizar, quien debe realizarla, tiempo estimado de duración y un lugar en blanco donde la gente de producción colocará el día específico de la semana y la hora en la cual se realizará dicho mantenimiento.

Una vez concluidas las tareas, sobre el respaldo de la misma orden o bien, en un formato aparte, se colocarán observaciones acerca del tiempo real de duración, posibles correcciones a la frecuencia, métodos, herramientas, etcétera. A su vez se informa acerca del estado del equipo, solicitando reparaciones o reposiciones inmediatas o posteriores.

La orden a hora ejecutada y corregida vuelve a las manos del programador de mantenimiento, quien lo tomará como una fuente más de información para la próxima programación, que tendrá que ser cada vez más real y acertada debido a la constante corrección y la continúa realimentación del programa. Con el fin de simplificar en lo posible el contenido de la orden de mantenimiento, así como el de dar un mejor manejo a los costos, se buscará codificar los datos que esta contenga; por ejemplo:

- Nombre de la máquina: asignar un código a todas y cada una de las máquinas a las cuales se efectúa mantenimiento.
- Tipo de actividades y cómo desarrollarlas: reducir en lo posible las diversas actividades propias del mantenimiento, especificando de una manera muy clara los procedimientos, elementos, herramientas y precauciones, para realizarla; reunir las en grupos similares y codificarlas. Esta información a su vez puede ser consignado en un libro o especie de Guía de Mantenimiento, que será consultado por los técnicos, con el fin de encontrar todos los datos concernientes a una operación ahora codificada.
- Quién debe realizar la operación: para este efecto, como ya se vio, se puede dividir al personal de mantenimiento en diversos grupos según su categoría y especialidad.

Los datos en la orden de mantenimiento quedan consignados de la siguiente manera:

Semana 48

Máquina: bomba de aceite reciclado

Código: 0482

Localización: cuarto de bombas

Elemento: motor eléctrico

Operación: E – 08

Periodicidad: A

Técnico: eléctrico – 2

Tiempo estimado: 2,5 hora

Fecha: Nov. 30-09

Se nota aquí la importancia del manual de mantenimiento, ya que si no estuviera codificada la operación E – 08, se hubiera requerido de mucho más espacio para dar todas sus especificaciones.

5.2. Implementación del mantenimiento preventivo

Es necesario que una vez se hagan los programas de revisiones y reparaciones del mantenimiento preventivo, dichos programas se revisen periódicamente puesto que el mismo desarrollo de estos va dando las pautas para determinar si esa programación inicial fue la correcta y si está de acuerdo con la situación real de producción y por lo tanto, con el departamento de mantenimiento, quien atiende dichas necesidades.

La importancia en la veracidad de la información, es indispensable para programar eficientemente el mantenimiento preventivo, ya que, aunque una tarea se haya programado y no se realice, es menos perjudicial para el programa consignar que no fue realizada, que dar información incorrecta.

Es importante anotar que el programa de mantenimiento preventivo debe ser flexible respecto del modelo en el cual debe hacerse una revisión, adelantándola si se presenta una parada en producción o retrasándola si coincide con un instante crítico en esta; lo anterior no afectará los resultados siempre y cuando la tarea programada se ejecute.

Para la implantación de un sistema de mantenimiento preventivo son necesarias ciertas condiciones; quizá la más importante es la referente a la participación ideológica (convencimiento participativo), de todos los sectores involucrados en la ejecución del programa. Es necesario un pleno convencimiento a nivel superior de su implantación. Además, se necesita un profundo conocimiento del programa, de su metodología y de su administración para que rinda unos verdaderos frutos, buscando que todos los niveles involucrados tomen como propio el programa y convencidos de sus virtudes.

La impaciencia puede destruir el sistema, los niveles directivos pueden estar esperando resultados concretos de disminución de costos y de reducción en el número de paradas en un lapso muy corto, pero se requiere de un período razonable para dejarlo en perfecto funcionamiento. Por lo tanto, es importante que los niveles y departamentos que se verán afectados, se enteren de las dificultades que se presentarán para que colaboren en la mejor forma posible a que el programa sea todo un éxito.

En el mantenimiento es donde tiene mayor incidencia y efectividad la aplicación de los principios de la administración por objetivos.

La motivación, el trabajo en equipo con un claro sentido participativo y el control por excepción, son herramientas fundamentales para el éxito de la gestión de mantenimiento.

Es obvio que todo cambio produce traumas, dificultades, concientización de todo el personal; por lo tanto, la implantación de un programa de mantenimiento preventivo debe ser progresivo (por etapas) y principalmente, debe hacerse en una sección piloto, en la cual se irán corrigiendo los errores, mejorando los métodos y adaptando un sistema conveniente a las necesidades reales de la sección de producción en la cual se está. La sección o máquina escogida como piloto debe ser en lo posible aquella que históricamente haya causado más problemas.

El tiempo prudencial para la implantación del programa es de dos a tres años.

No puede hacerse un mantenimiento preventivo a todos los equipos de producción ni a todas las partes, puesto que esto sería sumamente engorroso y difícil de llevar a cabo. Por lo tanto, se hace una selección del equipo que por sus condiciones de producción sea más crítico y necesita una mejor atención por parte del sector o Departamento de Mantenimiento.

Se deberá también, una vez escogido el equipo y las partes por mantener, establecer una ruta de revisiones a esta área. También es importante observar que cada industria posee características diferentes y que no es posible copiar los programas de mantenimiento. Las rectas genéricas pueden conducir a un fracaso en el desarrollo del sistema.

Es importante, durante la implantación del mantenimiento preventivo, tener presente la siguiente frase: implantar el mantenimiento preventivo exige un cambio de mentalidad, una férrea voluntad de hacerlo y un sólido convencimiento del programa.

No todas las empresas están preparadas para el cambio. Si un análisis muy objetivo del programa lleva a la íntima convicción de que no es el momento oportuno, es preferible posponer la decisión.

El principal problema que representa cuando se introduce un sistema de mantenimiento preventivo es el hecho de un aumento en los costos del mantenimiento general, puesto que en las primeras revisiones se encuentran fallas que deben ser corregidas, el consumo de repuestos se eleva, al igual que los tiempos de parada. Entonces se sumarán simultáneamente los costos de mantenimiento correctivo y preventivo.

Por otra parte, si el equipo ha sido manejado tradicionalmente con base en mantenimiento correctivo lo más probable es que se encuentre en un estado bastante lamentable y por consiguiente la introducción del mantenimiento preventivo será más difícil. Por lo tanto, se recomienda, mientras se pueda, implantar el mantenimiento preventivo después de reparaciones generales; es decir, cuando el equipo esté en óptimas condiciones de operación. Esto es más fácil de hacer en las plantas de proceso tales como refinerías, cemento, azucareros, papeles, donde normalmente se hacen paradas periódicas largas y se realizan reparaciones mayores de los equipos quedando la planta en condiciones óptimas de operación.

En una planta que no sea de proceso sino donde las tareas de producción se realizan individualmente, por secciones o por máquinas muy concretas, la introducción del programa de mantenimiento preventivo puede causar mayores dificultades y tener muchos tropiezos.

La información desde un comienzo debe tener una doble intención: la de crear un programa y la de retroalimentar el mismo, en especial lo referente a tiempos de duración y periodicidad de las actividades.

El programa de mantenimiento debe ser flexible ya que en cada momento se encuentran cambios continuos que se deben realizar durante la ejecución del programa, puesto que una vez se lleva la información a la máquina, esta puede resultar errada (es demasiado corto el tiempo para la realización de la tarea, la frecuencia con que se debe hacer el trabajo debe ser mayor o menor, etcétera) esta información debe venir a través de la orden de mantenimiento o en una forma especial al programador, para que sea corregida en el programa general y dejar que el sistema vaya informándose hasta obtener una situación más acorde con las necesidades reales.

Aunque no existen parámetros matemáticos y tangibles para saber si conviene o no implementar un programa de mantenimiento preventivo, su puesta en funcionamiento muestra muy buenos resultados en el medio.

5.3. Ventajas del mantenimiento preventivo

- Con un adecuado mantenimiento preventivo, el equipo se conservará en óptimas condiciones de trabajo, permitiendo que la producción continúe su flujo normal sin interrupciones. Los niveles de productividad subirán considerablemente.
- Las personas que laboran con estos equipos se sentirán más satisfechas y trabajarán con un alto grado de motivación.

- Los equipos no sufrirán un deterioro mayor cuando han sido sometidos continuamente a un mantenimiento preventivo.
- Habrá menos deterioro de materia prima, al no ocurrir daños inesperados.
- Se cumplirán con las fechas de entrega ofrecidas a los clientes, los cuales estarán satisfechos con el cumplimiento y la calidad.
- Al reducirse la improductividad de los equipos, los costos por máquina se reducirán también, pudiéndose fijar precios más competitivos.
- Por otro lado se podrán hacer los presupuestos y proyecciones con más exactitud.
- En cuanto al inventario se refiere, se podrá establecer fácilmente la cantidad máxima y mínima de repuestos, lo cual es más racional. Se podrán adquirir los repuestos con la debida anticipación.
- Se dispondrá de las herramientas necesarias.
- Se podrá programar el trabajo del personal de mantenimiento; para cumplir con las labores preventivas.
- Se evitará en lo posible que fallas pequeñas, que no se manifiesten, ocasionen daños mayores. Se podrán planear las responsabilidades o reparaciones generales del equipo de acuerdo con la producción.

- Se podrán establecer índices para los costos de mantenimiento.
- En conjunto, se disminuirán los costos por una adecuada distribución de los recursos humanos, físicos y financieros.

5.4. Implementación de un programa de mantenimiento preventivo

Si una vez hecho el estudio para la implementación del mantenimiento preventivo, se concluye que sí va a ejecutarse, es necesario contar con lo siguiente:

- Personal directo capacitado para administrarlo
- Personal técnico capaz de hacerlo funcionar
- Convencimiento pleno por parte de todas las personas involucradas, de la eficiencia y bondades del programa.
- Recursos financieros para iniciarlo
- Sistema adecuado de acopio y manejo de información
- Áreas productivas, administrativas dispuestas a colaborar
- Sistema de control para costos, presupuestos y actividades

5.5. Programación

La programación en un Departamento de Mantenimiento es vital para el desarrollo de la labor que se ejecuta, puesto que ella es la encargada de la ejecución del programa de mantenimiento y dependiendo de si la labor del programador es eficiente o no, así serán los resultados obtenidos en este programa.

La programación es la determinación de cuándo debe realizarse cada parte de la tarea planificada, teniendo en cuenta los programas de producción, la disponibilidad de materiales y la mano de obra disponible.

Cuando la programación se lleva de acuerdo con estas definiciones, hace posible realizar el trabajo con la menor cantidad de interferencias con la producción, ayuda a tratar las tareas en la secuencia adecuada y mantener el personal trabajando con un mínimo de espera entre las tareas.

El objetivo general debe ser conseguir la realización del trabajo en el tiempo más corto posible con la mano de obra disponible.

El número de programadores en el Departamento de Mantenimiento depende del tamaño de la planta. En plantas muy pequeñas en donde la programación no es factible, el trabajo puede ser manipulado por el mecánico principal con un mínimo de papelería.

Puede darse el caso de que se deba contar con varios programadores especializados, por ejemplo, una fábrica de gran proporción, en donde se tiene un Departamento de Mantenimiento bastante grande, deben programarse actividades de:

- Mantenimiento predictivo
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento correctivo
- Paros mayores
- Montajes

La función del programador (mantenimiento preventivo) es desarrollar el programa de mantenimiento establecido, realizando sus funciones de acuerdo con una serie de procedimientos elaborados con anticipación.

Además, debe organizar la información de manera que pueda programar órdenes de trabajo y rendir informes de cumplimiento, costos e inventarios, mientras más sistematizada esté la programación, más eficiente será su tarea.

Lo ideal es realizar la programación en forma centralizada para minimizar el personal. Con el fin de llevar a cabo una programación eficiente, se deberá tener una papelería que ayude a realizarla.

5.5.1. Procedimientos y formatos escritos

Debido al volumen de información que debe manejar el programador en un Departamento de Mantenimiento, esta se debe procesar de una manera ordenada y sistemática; para ello, es necesario contar con una papelería bien organizada, con el fin de obtener una labor eficiente.

La papelería juega un papel importante dentro del Departamento de Mantenimiento ya que su eficacia depende de la exactitud de la información recibida; además, es necesaria para obtener un funcionamiento y control adecuado de las labores de mantenimiento.

Al decidir sobre su organización, es esencial que se haga un estudio de las condiciones existentes y que los resultados deseados estén claros. Cada modelo debe jugar una función importante en el control del personal, materiales o costos de tarea. La papelería es el resultado de un proceso de corrección continua, en donde se realizan ajustes, de acuerdo con las variaciones que sufre el departamento.

Demasiados o pocos papeles de trabajo no facilitarán en control. Los papeles de trabajo detallados pueden ser caros, disminuyendo el estímulo del empleado y provocan una complejidad burocrática que complicará la organización del mantenimiento. Por ello, deberá buscarse la simplificación de los informes o la especificación de los mismos.

La sistematización de la información es un factor que hay que tener muy en cuenta al generar la papelería, ya que en el momento de implementarla se puede pasar fácilmente del proceso manual al informático.

A continuación se presentan ejemplos de documentos que puede ser usada en el mantenimiento preventivo.

Figura 8. Ejemplo de orden de trabajo para los diferentes tipos de mantenimiento

ORDEN DE TRABAJO			No. <input style="width: 50px;" type="text"/>
DIA	MES	AÑO	
DIVISION		SECCION	CODIGO DE TRABAJO
MTO. PREVENTIVO <input type="checkbox"/>	DAÑO MECANICO <input type="checkbox"/>	DAÑO ELECTRICO <input type="checkbox"/>	DAÑO ELECTRONICO <input type="checkbox"/> OTROS <input type="checkbox"/>
NOMBRE DE LA PIEZA		MAQUINA	№ DEL PLANO
DESCRIPCION DEL SERVICIO: _____			

_____ MECANICO DE SECCION	_____ SUPERVISOR	_____ JEFE DE MTO.	_____ JEFE DE DISEÑO
OBSERVACIONES: _____			
TALLER			
ORDEN INTERNA		FECHA	
DE SECCION		Sr.	
PARA SECCION		Sr.	
CLASE DE TRABAJO			
INSTRUCCIONES DE Sr.		CODIGO DE TRABAJO: _____	
		CODIGO DE COSTOS: _____	
EJECUTADO POR:		RECIBIDO POR:	FECHA:

Fuente: BOTERO, Camilo. Manual de mantenimiento. p. 20.

5.6. Manual de mantenimiento preventivo

En este manual quedan consignados todos los datos que se hayan codificado para agilizar el mantenimiento preventivo, tales como los colores y símbolos de lubricación y lo concerniente a las notas de mantenimiento preventivo.

Debe contener información muy precisa, concreta y detallada, que establezca el significado de lo codificado y responda a todas las incógnitas que surjan al respecto.

La parte del manual que explica las diferentes notas del mantenimiento preventivo, se puede comparar con un manual de procedimiento administrativo que contiene:

- Código de la actividad
- Equipo o parte de la máquina sobre la cual se aplica
- Instrumentos, herramientas y accesorios requeridos para la ejecución
- Procedimientos y estándares de la ejecución
- Normas de seguridad y precaución
- Observaciones o generalidades
- Última fecha de actualización

La parte de procedimiento y estándares de ejecución debe describir, detalladamente y con lenguaje claro a cualquier nivel, los pasos por seguir y la secuencia con que se debe realizar. Para este efecto, se parte de la premisa de que el ejecutante hace la labor por primera vez, con lo cual se consigue eliminar la instrucción permanente.

También se debe incluir en esta parte una lista de soluciones a posibles fallas y sus síntomas. Además, de ser posible deben adicionarse gráficos o planos de los elementos con el fin de guiar a quien realiza la labor.

Durante la manufactura de la nota, es preciso hacer un balance en cuanto a la cantidad de instrucciones se refiere, dejando inscritas únicamente las necesarias. En esta etapa se impulsa la participación de los expertos en lubricación, mecánica, electricidad y electrónica, que son renuentes a la sistematización del mantenimiento, con el fin de que se sientan participes y procuren el éxito de las actividades e inculquen a sus trabajadores la importancia de ejecutarlas bien.

5.7. Control de mantenimiento preventivo

Una vez establecido el mantenimiento preventivo y puesto en operación, es absolutamente indispensable proveer diferentes sistemas de control, con el fin de garantizar su permanencia y efectividad. Entre los que se tiene:

- Control en la tarjeta de mantenimiento: se establece, está en la tarjeta de mantenimiento preventivo, sobre la cual, en su parte posterior se tiene la posibilidad de dejar constancia del responsable de la ejecución y también debe contarse con la firma del supervisor de producción, quien se hace corresponsable de la ejecución de la orden.

Además, aparece un párrafo de observaciones en el cual se da retroalimentación al sistema en cuanto a la frecuencia de la orden, anticipar o retrasar su ejecución, el tiempo de duración de la misma y los trabajos que deben ser acometidos a través de mantenimiento correctivo programados para ir recuperando el equipo.

Debe proveerse un medio, que puede ser un listado de computador, para almacenar esta información devuelta con la tarjeta de mantenimiento preventivo, con el fin de obtener los beneficios que ella aporta, así:

- Programador de mantenimiento preventivo: corregir frecuencias y tiempos de ejecución para adaptar cada día más, el programa a la realidad.
- Supervisor de producción: elaborar la orden de mantenimiento correctivo al departamento de mantenimiento, con el fin de corregir las anomalías.
- Jefe de mantenimiento: ejecutar efectivamente las órdenes anteriores.

Este listado debe revisarse semanalmente.

- Control del cumplimiento: el segundo control, se plantea en forma porcentual y compromete en forma definitiva la participación del jefe o supervisor de producción. Allí se comparan las órdenes devueltas, cumplidas, a la oficina de programación del mantenimiento preventivo, con las órdenes emanadas de dicha oficina.
- Control de los resultados: el tercer control es su efecto, en lo que respecta a las paradas del equipo. Se hace a través del informe de horas de parada del equipo de producción.

5.8. Índices de medición

Con el fin de evaluar el desarrollo de los programas de mantenimiento y saber con exactitud cuál es el costo de su ejecución y el tipo de beneficios que representa para la industria, el administrador de mantenimiento debe definir claramente unos parámetros de medición. Ellos pueden ser:

5.8.1. Costo del sector de mantenimiento

- Valor nominal
- Valor constante respecto a un período base

Dichos costos se pueden comparar contra otros factores como:

- Consumo de energía (kW-hr)
- Facturación de industria
- Toneladas de producción elaboradas
- Margen bruto de facturación de industria
- Horas-hombre empleadas en producción

Dichas comparaciones se pueden desarrollar a través de gráficos que darán una idea muy clara de la situación del sector. También se pueden definir algunos índices de medición, algunos ejemplos son:

Definir horas de parada como las horas empleadas en mantenimiento preventivo, correctivo, programado y limpieza, horas útiles, como las horas en las cuales el equipo está emitiendo unidades de producción.

$$I (1) = \Sigma \text{ horas parada} / \Sigma \text{ horas \u00fasiles} \times 100$$

Si quiere ponderarse el tiempo de parada con la tarifa de la m\u00e1quina, con el fin de saber qu\u00e9 es m\u00e1s costoso, se puede proceder as\u00ed:

$$I (2) = \frac{\Sigma(\text{horas parada (i)} \times \text{tarifa m\u00e1quina (i)})}{\Sigma(\text{horas \u00fasiles (i)} \times \text{tarifa m\u00e1quina (i)})}$$

Si $I (2) > I (1)$ se est\u00e1 parando m\u00e1s tiempo equipo m\u00e1s costoso

Otras medidas son:

$$\frac{\text{Costo mantenimiento (horas - hombre - repuestos)} \times 100}{\text{Facturaci\u00f3n}}$$

$$\frac{\text{Costo mantenimiento (horas - hombre - repuestos)} \times 100}{\text{Capital}}$$

5.8.2. M\u00e9todo gr\u00e1fico

Un m\u00e9todo de evaluar el desempe\u00f1o del mantenimiento fue desarrollado por W. S Luck, en la empresa E.I Dupont de Nemours & Co. Inc.

Es un m\u00e9todo gr\u00e1fico que emplea 16 \u00edndices agrupados en cuatro categor\u00edas: planeaci\u00f3n, carga de trabajo, costos y productividad.

Primero se determinaron los \u00edndices y luego las metas para cada uno de ellos.

Después se graficaron los índices situados en cada uno de ellos, los cuatro que conforman el grupo y el área total se divide en cuatro sectores que indican:

- A = buen desempeño
- B = superior al promedio
- C = inferior al promedio
- D = desempeño deficiente

5.8.2.1. Planeación

Los índices que conforman este grupo son:

- Eficiencia del trabajo
- Porcentaje de trabajo de emergencia
- Porcentajes de horas extras
- Porcentaje de trabajo planeado

En este caso la meta será: hacer el máximo de trabajo planeado en forma eficiente con el mínimo de horas extras y logrando que el trabajo de emergencia se reduzca al mínimo.

5.8.2.2. Carga de trabajo

Los índices que conforman este grupo son:

- Retraso del trabajo de mantenimiento, medidas en semanas-cuadrilla.
- Retraso total de todas las actividades en semanas-cuadrilla.
- Porcentaje del total de horas-hombre por mes de mantenimiento preventivo y selectivo.
- Porcentaje del total de horas-hombre por mes de mantenimiento correctivo y emergencias.

En el caso de los dos últimos índices, será tan malo dedicar muy poco tiempo al mantenimiento como dedicarle demasiado.

La meta en este caso es: lograr que al mantenimiento se dedique el tiempo justo y que su desarrollo y las labores productivas se retrasen lo menos posible.

5.8.2.3. Costos

Para conformar este grupo se escogieron los siguientes índices:

- Porcentaje de costos de mantenimiento respecto al total de la inversión en la planta.

- Porcentaje de aumento o disminución del costo del producto por concepto del mantenimiento con respecto a un período base.
- Porcentaje del costo de mantenimiento por concepto de mano de obra y materiales.
- Porcentaje del costo de mantenimiento por concepto de mantenimiento indirecto (supervisión, planeación, etcétera).

La meta en este caso será: hacer que la inversión en el mantenimiento sea la menor posible, de modo que se refleje lo menos posible en el costo del producto y que la inversión se emplee con preferencia en cubrir los costos directos.

5.8.2.4. Productividad

Los índices escogidos son:

- Porcentaje de las horas-hombre dedicadas al proceso productivo respecto del total.
- Porcentaje del tiempo muerto por concepto de mantenimiento.
- Porcentaje de aumento o disminución de la producción por horas-hombre de mantenimiento empleadas.
- Porcentajes de disponibilidad del equipo respecto al máximo.

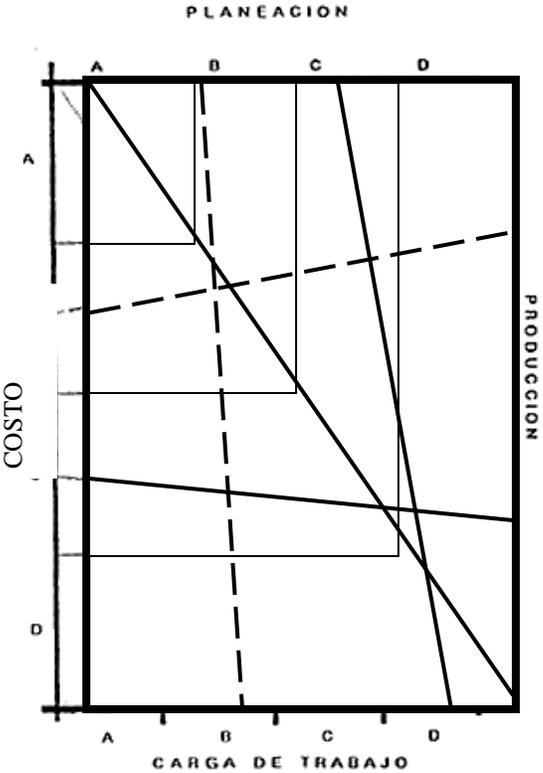
En este grupo la meta será: dedicar el máximo de tiempo al proceso productivo, reduciendo los tiempos muertos, logrando una menor variación y teniendo el equipo disponible para producir durante la mayor cantidad de tiempo.

5.8.2.5. Gráfica maestra

Los resultados de las cuatro categorías anteriores, se pasan a una gráfica maestra, donde aparecen los cuatro grupos de índices mencionados.

Uniando los cuatro lados se obtiene una calificación general de mantenimiento para el período de análisis. El valor de dicha calificación se obtiene trazando una perpendicular del punto de intersección de las líneas hasta la diagonal del cuadrado (de cero a cien).

Figura 9. **Gráfica maestra que relaciona, las cuatro categorías del mantenimiento**



Fuente: W.S., Luck. Manual de mantenimiento. p. 30.

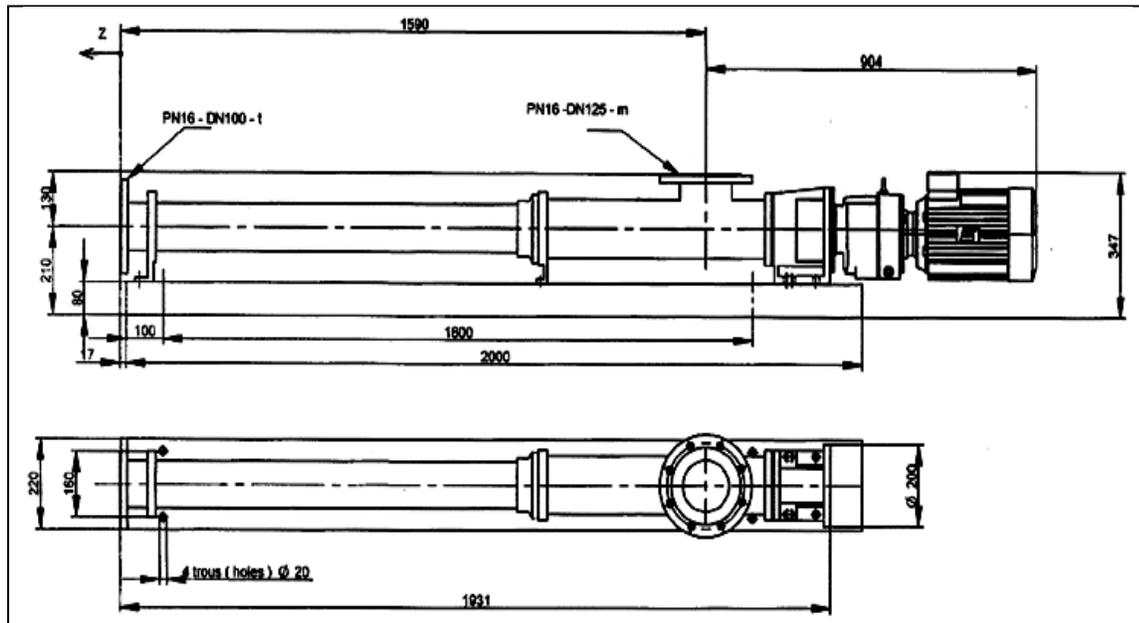
6. DESCRIPCIÓN DE LAS BOMBAS DE DISTRIBUCIÓN DE ACEITE RECICLADO

Esta bomba permite distribuir aceite reciclado desde los tanques principales, hasta las cámaras de combustión de los hornos de clínker, logrando así reducir los costos en la utilización de bunker y otros derivados del petróleo.

6.1. Planos de las bombas

A continuación se presentan los planos de la bomba, donde se describen sus medidas más importantes, ya que deben ser consideradas a la hora de montarlas para no tener ningún problema con el espacio físico del cuarto de bombas.

Figura 10. Planos de bomba PCM PILLAR de Aceite Reciclado



Fuente: PCM PILLAR. Manual de mantenimiento. p. 1.

6.2. Condiciones de servicio

Para garantizar un buen funcionamiento de la bomba de aceite reciclado, se deben tomar en cuenta las condiciones de servicio, ya que en ellas se describen sus principales parámetros de operación.

Tabla I. **Parámetros de operación de la bomba PCM PILLAR**

Producto		Instalación	
Tipo de bomba:	PCM PILLAR Aceite reciclado	Alta presión:	10,1 un 11,5 bar máx.
Viscosidad:	20 cSt	Capacidad:	De 30 a 120 l / min (de 71 a 261 rpm)
Gravedad específica:	1	Presión de succión:	En carga (0,1 a 1,5 bar máx)
Tamaño de partículas:	NC	NPSH disponible:	
Concentración:	NC	Servicio H / día:	Continuo
Temperatura:	De 0 a 60 ° C		
pH:	NC		

Fuente: PCM PILLAR. Placa de identificación de la bomba.

Tabla II. Rangos de operación de la bomba PCM PILLAR

Prueba				
N ° 77418 de estator	Material: 164,6		Fecha de Fabricación: 5/12/08	
Temperatura del fluido °C	25	25	25	25
Temperatura del estator °C				
Velocidad de salida rpm	339	338	200	78
Succión				
Descarga	0	10	10	10
Caudal m ³ /h	9,48	9,40	5,50	2,11
Tensión V	411	411	408	180
Corriente 11,2 A	4,2	8,6	6,6	6,4
Potencia kW	85 Hz	85 Hz	50 HZ	2 0Hz

Fuente: PCM PILLAR. Placa de identificación de la bomba.

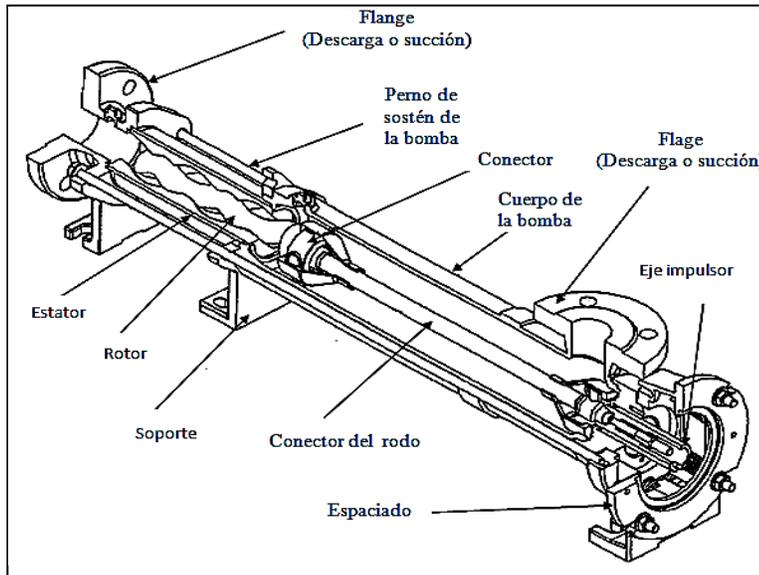
7. ESPECIFICACIÓN E INSTALACIÓN DE LA BOMBA

Bomba oleo-hidráulica es un dispositivo que transforma energía mecánica en energía hidráulica; lo que permite trasladar o transportar un fluido de un lugar a otro, a un mismo nivel, a diferentes niveles y a diferentes velocidades.

7.1. Principio de operación

Bomba de aceite reciclado es una bomba de desplazamiento positivo, la cual su principio de funcionamiento está basado en la hidrostática, de modo que el aumento de presión se realiza por el empuje de las paredes de las cámaras que varían su volumen. En este tipo de bombas, en cada ciclo el órgano propulsor genera de manera positiva un volumen dado o cilindrada, por lo que también se denominan bombas volumétricas.

Figura 11. **Vista del interior de la bomba PCM PILLAR**



Fuente: PCM PILLAR. Manual de mantenimiento. p. 2.

7.2. Especificaciones

El uso de acero inoxidable o hierro fundido en las partes del equipo está en conformidad con la Norma AFNOR. La bomba de aceite reciclado en la versión Monoblo que está fabricada bajo las Normas ISO y ANSI. El número de serie de bomba está dado en la placa, viene identificado con dos cifras, seguidas de una o dos letras: I - ID (por ejemplo: 01ID4515, donde 4515 corresponde al tamaño del motor de la serie 01).

7.2.1. Lista de especificaciones

En la siguiente tabla se detallan las especificaciones de los materiales con que fue diseñada la bomba de aceite reciclado, de esta forma se pueden seleccionar los materiales que pueden ser compatibles en una modificación.

Tabla III. **Especificaciones de las partes internas de la bomba
PCM PILLAR**

Tipo de bomba (Aceite reciclado)	
El cuerpo o carcasa y el tubo de succión	De hierro fundido o de acero inoxidable
Estator	Hypalon, neopreno, nitrilo o viton
Rotor	Z30C13 con o sin cromo Z3CND17.11.02 con o sin cromo
Biela	Z30C13 Z3CND17.11.02
Sello	El montaje del sello puede estar lubricado o no, puede ser simple o de doble sello mecánico.
Espaciador	Hierro fundido

Fuente: PCM PILLAR. Manual de mantenimiento. p. 10.

7.2.2. Especificaciones del funcionamiento

Este tipo de bombas se puede utilizar en la industria del almidón, construcción, cerámica, química, molinos de aceite, papel, etcétera. La presión de succión está entre el rango de (0,1 a 1,5 barios máximo) y la presión de descarga está en el rango de (10,1 a 11,5 baros). Lo que permite transportar aceite quemado a diferentes niveles, sin ningún inconveniente.

7.3. Instalación del equipo

Para garantizar que el equipo funcione adecuadamente, se debe instalar de forma correcta, ya que una medida que no se tome en cuenta puede ocasionar fallas recurrentes y difíciles de corregir.

7.3.1. Precauciones en la instalación

Es importante dejar suficiente espacio alrededor de la bomba para permitir el mantenimiento y los ajustes necesarios durante su vida útil. Es necesario evitar el montaje de la bomba en lugares donde la temperatura ambiente no es la adecuada, (véase las condiciones de servicio del capítulo 6). También se recomienda la instalación de un componente de conexión extraíble para permitir un fácil mantenimiento del motor (ver la dimensión Z en el espacio de diagramas). Una válvula de alivio de presión en la descarga sirve para proteger la bomba y la instalación.

Algunas recomendaciones para el óptimo funcionamiento de la bomba:

- La bomba se debe colocar preferiblemente bajo carga con la succión por debajo del líquido que se bombeará.
- Para empezar a operar la bomba debe tener una válvula de alivio de presión.

Nota: el no tener una válvula de alivio de presión en la descarga, es a menudo la causa del deterioro de la bomba o tuberías.

7.3.2. Conexión de la tubería

Se debe colocar la tubería en el extremo del estator, la cual debe ser fácil de extraer, esto permitirá que tanto el estator y el rotor se desmonten con facilidad, (ver dimensión Z en el suelo) sin tener que desmontar toda la bomba de su apoyo. La bomba no tiene que soportar el peso de las tuberías.

7.3.3. Fijación al suelo

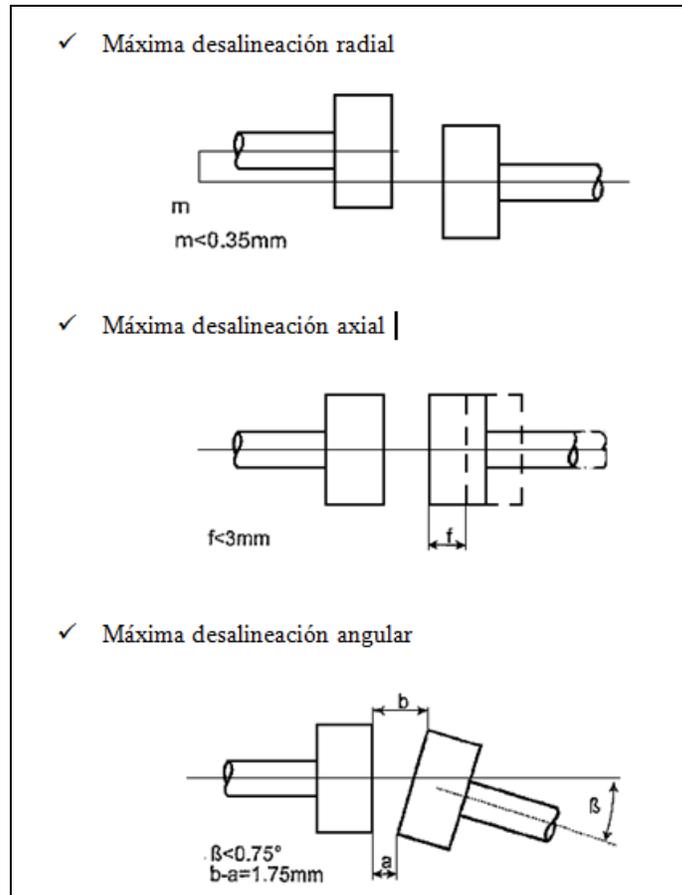
La bomba y sus dispositivos deben estar alineados con la base, la cual puede ser proporcionada por PCM Pompes. Debe ser fijado al suelo con tornillos y clavijas en una base suficientemente amplia de concreto.

7.3.4. Alineación

Las partes de la bomba deben estar alineadas y esto debe realizarse en el taller antes de que se instale la bomba definitivamente, esta acción debe ser verificada por personal capacitado. Para el efecto deben tomarse en cuenta los siguientes pasos:

- Quitar la cubierta protectora, la cuña de acoplamiento y los tornillos de fijación.
- Utilizar una regla, comprobando que la alineación específica cumpla con los diagramas que a continuación se muestran:

Figura 12. Rangos permisibles de alineación radial, axial y angular



Fuente: PCM PILLAR. Manual de mantenimiento. p. 30.

En el caso de una mala alineación, el motor debe instalarse con una base propia anclada al suelo, para que no la afecte la vibración ocasionada por el mismo.

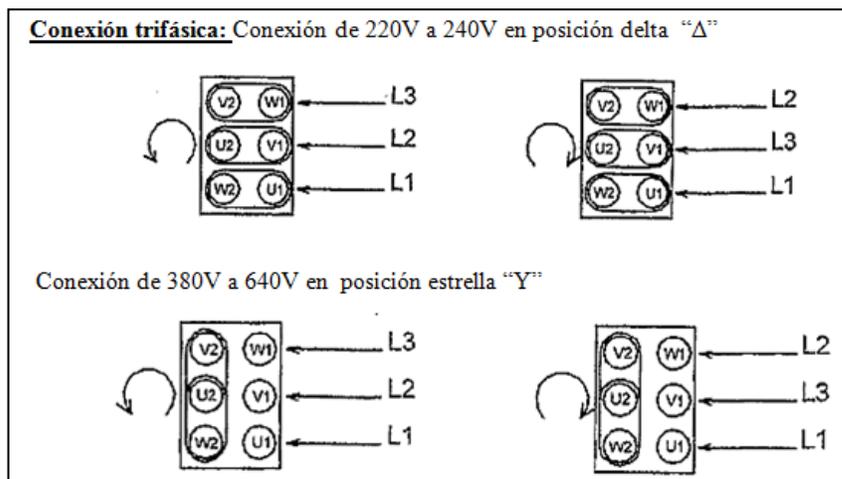
7.3.5. Lubricación en el sistema de cierre

El sistema de cierre está equipado con un dispositivo de lubricación, el cual se conecta con la entrada y salida del flujo de los puertos, esto permite que las partes metálicas del rotor no sufran desgaste por el contacto metal con metal.

7.3.6. Conexión del motor

Una vez que todas las conexiones trifásicas se han realizado, se debe arrancar la bomba (a velocidad mínima, utilizando la frecuencia mecánica o hidráulica de velocidad variable) y comprobar el sentido de rotación del motor, de acuerdo con la flecha que se encuentra en la parte superior del separador.

Figura 13. Conexiones delta y estrella para motores trifásicos



Fuente: PCM PILLAR. Manual de mantenimiento. p. 40.

8. FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA

La bomba PCM PILLAR, es un equipo que se caracteriza por su buen desempeño en la distribución de líquidos de viscosidades medias, por lo que la hace ideal para transportar aceite reciclado, ya que ha perdido parte de su viscosidad en los equipos anteriores donde fue utilizado.

8.1. Puesta en marcha

Si el cuerpo de la bomba no contiene el fluido a bombear, debe ser llenado manualmente, luego se procede a arrancar el equipo, de lo contrario al trabajar en seco puede provocar fricción entre sus partes metálicas y doblar las partes internas.

8.1.1. Antes de la puesta en marcha

Asegúrese de que:

- La conexión eléctrica sea la correcta.
- La bomba se encuentra lubricada y al nivel requerido.
- La dirección de giro del eje, cumple con la dirección requerida.
- El producto a bombear se encuentra en los tanques y en el cuerpo de la bomba.
- No hay fugas.
- Las válvulas están abiertas.
- Ajustar la velocidad respecto a la dirección del giro.

8.1.2. Puesta en marcha

Durante los primeros minutos de operación, se deben comprobar los siguientes puntos:

- El equipo bombea sin ningún inconveniente por la tubería
- La bomba no vibra
- No hay sonidos anormales
- No hay fugas
- Comprobar la presión
- Temperatura normal en:
 - Estator
 - Sistema de cierre

Comprobar que los siguientes parámetros, correspondan a los diseñados para el fabricante:

- Velocidad
- Flujo
- Presión
- Viscosidad de fluidos
- Temperatura

8.2. Requisitos para un funcionamiento normal

Para garantizar que los hornos de clínker no paren por falta de combustible y en este caso, el bombeado por las bombas de aceite reciclado, se debe garantizar su disponibilidad en la puesta en marcha y así no correr riesgos de paros continuos por mala operación.

8.2.1. Procedimiento para la puesta en marcha

Antes de cada puesta en marcha, comprobar los siguientes puntos:

- Si hay líquido para bombear
- Válvulas de succión y de entrega abiertas
- La temperatura del fluido a bombear es correcta

8.2.2. Requisitos generales del funcionamiento

Garantizar que se cumplan las siguientes condiciones:

- Que la bomba proporcione constantemente el fluido a bombear y que la potencia sea la correcta.
- Que la presión de descarga se mantenga estable e inferior al máximo de la capacidad de bomba.
- La temperatura del fluido a bombear se mantenga estable.

8.2.3. Limpieza

- Limpieza exterior: eliminar la suciedad que pueden dañar o corroer el cuerpo de la bomba.
- Limpieza interna: los procedimientos de limpieza y la frecuencia dependerán del uso que se le dé a la bomba y del fluido a bombear, utilizar siempre líquidos que no contaminen el fluido a bombear.

8.2.4. Procedimiento de apagado

El procedimiento de apagado depende del uso que se requiera del equipo, pero el procedimiento mínimo es: cerrar las válvulas de succión y descarga.

8.3. Procedimiento operativo en caso de un incidente

En caso de anomalías en el funcionamiento, tales como:

- Bomba no arranca
- La bomba no succiona
- Flujo es inconstante o irregular
- La bomba se para frecuentemente
- Ruidos anormales en la bomba

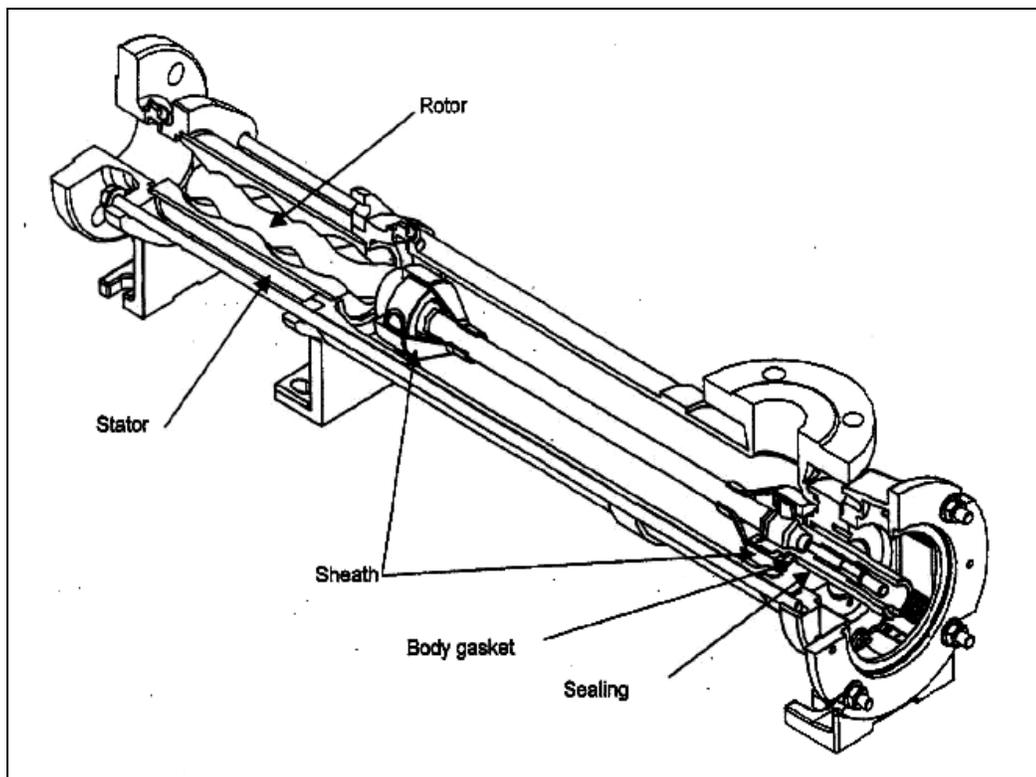
Proceder de la forma siguiente:

- Detener la bomba
- Aislar hidráulicamente y eléctricamente la bomba
- Utilizar personal capacitado para corregir la falla

9. MANTENIMIENTO DE LA BOMBA

El mantenimiento programado garantiza la vida útil de la bomba de aceite reciclado, por lo que debe realizarse en las fechas establecidas, aunque puede fallar entre mantenimientos programados, por lo que se debe contar con las técnicas y recursos necesarios para minimizar los tiempos de paro.

Figura 14. Vista de las partes internas de la bomba PCM PILLAR



Fuente: PCM PILLAR. Manual de mantenimiento. p. 22.

9.1. Lista de piezas de repuestos

Debido a que la bomba opera 24 horas al día, los siete días de la semana, es necesario contar con los repuestos adecuados en el almacén, de esa forma se garantiza que el equipo siempre esté disponible para prestar el servicio por el cual fue diseñado.

Tabla IV. **Lista de piezas internas de la bomba PCM PILLAR**

Cantidad	Nombre
1	Estator
1	Rotor
1	Juego de sellos
2	Funda de expansión
3	Flange de acoples

Fuente: PCM PILLAR. Manual de mantenimiento. p. 15.

9.2. Manejo y procedimiento del equipo

Las partes de la bomba que no pueden ser manipuladas manualmente deben ser levantadas mediante una grúa u otro equipo similar de elevación. Cadenas o polipastos no son recomendables ya que pueden dañar el cuerpo de la bomba.

Las partes frágiles, tales como el rotor, eje motor, etcétera, deben manejarse con especial cuidado para evitar cualquier impacto. Antes del montaje, deben ser puestos en bloques de madera, en forma estable y protegido contra los choques.

9.3. Condiciones de almacenamiento

La bomba y sus partes deben ser almacenadas en su envoltorio original, estos componentes deben estar protegidos de impactos y en un lugar seco.

Si en 6 meses no se han usado algunos repuestos de la bomba realizar lo siguiente:

- Cambiar el envoltorio de los dispositivos.
- Comprobar que la superficie de los dispositivos no presentan corrosión y volverlos a engrasar si es necesario.

9.4. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo debe realizarse cada 750 horas de uso, todas las operaciones de mantenimiento deben ser realizadas por personal capacitado. Antes de realizar cualquier trabajo en la bomba, comprobar que se han tomado las medidas de seguridad pertinentes, las cuales pueden ser:

- Cerrar las llaves de succión y alimentación de la bomba
- Bloquear eléctrica e hidráulicamente el sistema

Las acciones que se deben realizar en un mantenimiento preventivo deben ser:

- Purgar el cuerpo de la bomba.

- Revisar estado del rotor, si este presenta un desgaste de 1/8 de pulgada por lado, cambiar el rotor.
- Revisar el estado de estator, si este presenta un desgaste de 1/8 de pulgada por lado, cambiar el estator.
- Verificar el estado de las estopas y prensa estopas.
- Verificar el estado de los cojinetes.
- Comprobar que no hay fugas de aceite.
- Reemplazar el lubricante de la bomba.

9.4.1. Inspección periódica

Si la bomba funciona de forma intermitente o inferior a cinco horas por día, inspeccionarla una vez al mes.

Si la bomba funciona durante más de cinco horas por día, comprobar los siguientes puntos semanalmente:

- Los sellos de la bomba en la succión y descarga
- El sello en los flange
- Los tornillos de fijación de los flange de carga y descarga
- Nivel de lubricante
- Ventilador de enfriamiento del motor
- Estado de los cables eléctricos

9.4.2. Lubricación

La bomba como cualquier dispositivo, tiene partes metálicas que están en contacto constantemente, esta debe lubricarse periódicamente, esto es vital para prevenir desgaste prematuro o complicaciones que dejen a la bomba detenida por rotura de cualquiera de sus partes metálicas.

Tabla V. **Lubricantes recomendados para las diferentes partes de la bomba**

Partes a lubricar	Lubricante recomendado	Proveedor
Fundas de conexiones	ANTISEEZE 76772 TOTAL FM	LOCTITE TOTAL
Rodamientos	AVIACIÓN N ^o 10 UPTON 400	ELF LABO

Fuente: SHELL. Manual técnico de lubricantes. p. 20.

9.4.3. Par de apriete

El valor del par de apriete de los tornillos de fijación en los flange, tanto en la carga como en la descarga son los siguientes:

Tabla VI. **Par de apriete para tornillos de cabeza hexagonal**

Diámetro de tornillo	Torque máximo
M 8	7,4 N.m
M 10	15 N.m
M 14	40 N.m
M 16	61 N.m

Fuente: FORJAS, Bolívar. Manual de torque para tornillos milimétricos y americanos.

p. 7.

9.5. Mantenimiento correctivo

Aunque no se puede predecir cuándo fallará un equipo, si se puede contar con los recursos necesarios y las técnicas adecuadas para garantizar que el equipo vuelva a prestar el servicio y así evitar gastos mayores por paros en la producción por falta de combustible.

9.5.1. Solución de problemas

A continuación se presentan dos tablas en las cuales se da una lista de los problemas más comunes que pueden presentarse en la bomba de aceite reciclado, sus causas y sus posibles soluciones.

La tabla VII indica los problemas y da las posibles causas y soluciones al mismo en forma numérica ya que pueden ser varias causas y varias soluciones para un mismo problema; y la tabla VIII, describe la causa y solución al problema.

Tabla VII. **Problemas de funcionamiento de la bomba y sus posibles causas y soluciones en forma numérica**

Problema	Posibles causas y soluciones
La bomba no arranca	1, 2, 7, 8, 13, 14, 16, 17, 18, 22, 23
La bomba no succiona	3, 4, 5, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 17, 20, 21, 24, 26, 27
El flujo es demasiado bajo	3, 4, 5, 9, 10, 15, 16, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26
La presión es demasiado baja	3, 4, 5, 9, 10, 15, 20, 21, 22, 23, 24, 26
La bomba está detenida	2, 7, 8, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 22, 23,
La bomba no descarga el fluido	3, 4, 5, 7, 9, 10, 13, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 23, 24, 26, 27
Sobrecarga de la unidad	1, 2, 3, 8, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 22, 25, 26
La bomba hace ruido o vibra anormalmente	3, 4, 5, 6, 12, 13, 14, 17, 20, 23, 25, 26, 27, 28
Fugas en los sellos	9, 10, 11, 28
El estator gastado prematuramente	2, 3, 5, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 25, 26, 27,
El rotor gastado prematuramente	3, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 25,
Flujo no constante	9, 10, 20, 21, 22, 23, 26

Fuente: PCM PILLAR. Manual de mantenimiento. p. 17.

Tabla VIII. **Descripción de las posibles causas y soluciones a los problemas de funcionamiento de la bomba**

No.	Posible causa	Solución
1.	El par estático de apriete en el estator es demasiado alto.	Comprobar el torque según la tabla de torques y corregir si es necesario.
2.	Estator se ha expandido.	El material del estator se expande cuando entra en contacto con el fluido a bombear, compruebe la temperatura del fluido, esta no debe pasar de los 30 grados Celsius.
3.	El estator se ha vuelto duro y quebradizo.	Comprobar que la temperatura del líquido bombeado es inferior a la temperatura máxima admisible en el estator.
4.	Estator está desgastado.	Reemplazar el estator y comprobar el estado del rotor.
5.	Rotor está desgastado.	Determinar la causa de este desgaste; abrasión, corrosión o cavitación.
6.	Los tornillos de fijación al suelo están desgastados, falta alguno o están mal apretados.	Verificar el estado de los tornillos y cambiar si es posible, fijar bien el suelo sin dar lugar a posibles holguras.
7.	Sistema de accionamiento del rotor se encuentra dañado.	Determinar la causa de este incidente, comprobar las uniones entre el motor, reductor y cojinetes y sustituir las partes dañadas.
8.	Si los dispositivos se han almacenado por mucho tiempo, verifique que estos no se han pegado por el paso del tiempo.	En primer lugar, quitar las piezas cambiadas y verificar su estado, limpiar con líquidos disolventes e instalar nuevamente. Si no mejora la operación sustituir por nuevas.
9.	Fuga en estopero.	Reemplazar la estopa y verificar que el prensaestopa no esté dañado, si lo está, reemplazarlo.
10.	Eje dañado.	Cambiar el eje, verificar la alineación entre el motor y el eje impulsor de la bomba.
11.	Dirección incorrecta de rotación.	Cambiar el sentido de rotación de motor.
12.	Desajuste entre la bomba y motor.	Volver a alinear el acople.
13.	Acople desgastado o roto.	Sustituir el acople y verificar el estado del cuñero, alinear nuevamente y diagnosticar la causa de la rotura.

Continuación de la tabla VIII.

14.	Temperatura del líquido bombeado es menor de lo esperado.	Colocar un precalentador en los tanques de almacenamiento del fluido a bombear.
15.	Porcentaje de sólidos disueltos demasiado alto al porcentaje normal.	Verificar el estado del filtro y limpiar si es necesario.
16.	Sedimentos o líquidos en el cuerpo de la bomba.	Limpiar y enjuagar la bomba después de cada uso.
17.	Presión demasiado alta.	Medir la presión mediante un manómetro y comparar con el dato técnico. Verificar si hay algún tapón en la tubería de succión o descarga.
18.	Presión positiva en tubería de succión demasiado baja.	Reducir pérdidas de carga en la tubería de succión, la disminución de la temperatura, aumenta el nivel de viscosidad y reduce la velocidad de succión.
19.	Aire en la succión de la bomba.	Verificar que no hayan fugas en las tuberías y que se encuentren por debajo del nivel del líquido a succionar.
20.	La instalación eléctrica no es compatible.	Comprobar la tensión de red.
21.	Falta de lubricante.	Comprobar el nivel de aceite en la bomba y verificar que la cantidad esté entre los parámetros establecidos; de no ser así, agregar la cantidad necesaria de aceite.
22.	Velocidad de rotación demasiado baja.	Graduar la velocidad del motor.
23.	Velocidad de rotación demasiado elevada.	Graduar la velocidad del motor.
24.	Instalación, tubería y accesorios deben comprobarse.	Comprobar que las tuberías no están bloqueadas por cuerpos extraños, verificar el estado de las válvulas.
25.	La bomba funciona en seco.	Verificar que el cuerpo de la bomba se encuentra lleno del fluido a bombear, de no ser así, cebarla de forma manual.
26.	Rodamientos desgastados.	Desmontar el rodamiento y sustituirlo.
27.	Viscosidad del líquido bombeado es mayor de lo esperado.	Asegurarse de que la viscosidad no es superior a lo esperado, de ser así precalentar el aceite antes de que pase por la bomba.
28.	Bomba bloqueada por cuerpo extraño.	Desmontar la bomba, limpiar y cambiar los componentes dañados.

Fuente: PCM PILLAR. Manual de mantenimiento. p. 18.

9.5.2. Desmontaje de la bomba

Para corregir cualquier problema ocasionado por lo citado anteriormente, desarmar la bomba, pero antes asegurar lo siguiente:

- Verificar que la bomba no esté funcionando
- Eliminar toda presión de succión y descarga en las tuberías
- Bloquear eléctrica e hidráulicamente la bomba
- Preparar los instrumentos necesarios para el desmontaje

Los pasos a seguir en el desmontaje de la bomba, son los siguientes:

- Purgar el cuerpo de la bomba.
- Retirar los tornillos de los flange que unen las tuberías de carga y descarga.
- Desacoplar el eje motriz del impulsado.
- Retirar el cuerpo de la bomba y colocar en un lugar donde no reciba impactos.
- Desacoplar el rotor y el estator.
- Retirar los prensa estopas y estoperos.
- Verificar el estado de los cojinetes, si están dañados sustituirlos.

9.5.3. Reensamblaje de la bomba

Instalación de los rodamientos:

- Instalar las juntas de los rodamientos.
- Engrasar el exterior de las juntas de rodamientos.
- Instalar el cojinete en caliente, calentado el cuerpo donde va instalado el cojinete, teniendo cuidado de que no sobrepase los 100 grados Celsius esta operación puede tardar unos 45 minutos.
- Instalar la presa estopa y sus estoperos.

Instalación del rotor

Según el modelo y la presión de operación, las conexiones están protegidas por fundas o clavijas.

Tabla IX. **Instalaciones del rotor en las bombas con funda y con clavija**

Bomba con funda	Bomba con clavija
<ul style="list-style-type: none"> • Montar el rotor. • Instalar el pasador y colocar el conjunto de anillos en su posición final. • Colocar los tornillos en su posición y apriete hasta que está seguro el rotor. • Engrasar el interior de la funda y girarla al punto de unión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Engrasar la conexión antes de instalarla. • Montar el rotor. • Instalar el pasador y colocar el conjunto de anillos en su posición final. • Colocar los tornillos en su posición y apretar hasta que está seguro el rotor.

Fuente: elaboración propia.

Instalación de estator

- Conectar el estator en el rotor previamente lubricado.
- Colocar los tornillos con roldanas planas y de presión y apriete según el torque deseado.
- Fijar la bomba de apoyo a la base o suelo.

Instalación del cuerpo de la bomba

Nota: antes de cualquier operación de reinstalación del cuerpo de la bomba proteger el rotor y las conexiones de cualquier posible impacto.

- Colocar el cuerpo y las juntas de centrado.
- Deslizar el cuerpo a lo largo de la shafting y moverlo a la posición deseada.
- Colocar los tornillos con roldanas planas y de presión.

Instalación de la bomba en el sitio de funcionamiento

- Colocar la bomba en su lugar y conectar el motor.
- Instalar el acoplamiento, con el eje del reductor, tal como se indica en el capítulo anterior.
- Ensamblar nuevamente las tuberías de carga y descarga de la bomba, antes de este procedimiento colocar empaque nuevo.

Lubricar

- Lubricar el sistema, dejándolo al nivel requerido por el fabricante.

10. MOTOR DE LA BOMBA

Es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de campos magnéticos. Este equipo es el que permite que la bomba de aceite trabaje y pueda distribuir el fluido a los niveles que se requieran, en este caso, hacia el horno de clínker.

10.1. Recepción

La caja o container deberá ser revisado luego de que el motor arribe a la planta para asegurar su perfecto estado o detectar algún daño causado en el transporte. Las superficies torneadas son protegidas contra oxidación, verificar que estén cubiertas con pintura antioxidante; cualquier avería debe ser comunicada a la empresa que suministra el servicio para proceder con el reclamo pertinente.

10.1.1. Identificación

Se debe asegurar que la placa de identificación esté en conformidad con la orden de recepción de las especificaciones del motor.

Figura 15. Descripción de los parámetros del motor LEROY SOMER

 3 ~ LS 100 L - TR N° 078594 HA 002							
IP 55 IK 08 cl.F 40°C S1						kg 18	
V	Hz	min ⁻¹	kW	cos φ	A		
Δ 380	50	2840	3	0.89	6.4		
Δ 400	-	2860	-	0.83	6.3		
Y 690	-	-	-	-	3.6		
Δ 415	-	2870	-	0.79	6.7		
Δ 440	60	3430	3.6	0.90	6.5		
Δ 460	-	3455	-	0.87	6.3		

 MOT. 3 ~ FLSC 355 LB N° 703 481 00 HA 002 kg : 1550							
IP 55 IK 08 I cl. F 40 °C S1						% d/h	
V	Hz	min ⁻¹	kW	cos φ	A		
Δ 380	50	1483	300	0.91	525		
Δ 400	-	1485	-	0.90	504		
Y 690	-	-	-	-	291		
Δ 415	-	1486	-	0.89	493		
Δ 440	60	1777	345	0.91	518		
Δ 460	-	1780	-	-	499		

 MOT. 3 ~ FLSB 180 M N° 596 059 GH 001 kg : 208							
IP 55 IK 08 I cl. F 40 °C S3						40 % 6 d/h	
V	Hz	min ⁻¹	kW	cos φ	A		
Δ 220	50	1427	17	0.88	60		
Y 380	50	1427	17	0.88	35		
U _R 250					I _R 42		

ESSO UNIREX N3 GREASE			
DE 6322 C3	60 cm ³	4500 / 3000 H 50/60 Hz	
NDE 6322 C3	60 cm ³	4500 / 3000 H 50/60 Hz	

ESSO UNIREX N3 GREASE			
DE 6310 C3	15 cm ³	11000 /	H 50/60 Hz
NDE 6310 C3	15 cm ³	11000 /	H 50/60 Hz

Fuente: LEROY SOMER. Placa de identificación del motor.

10.1.2. Almacenamiento

El motor se debe almacenar al momento de recibirlo, se debe evitar la corrosión en los rodamientos si estará largo tiempo en el almacén, por lo que debe estar en un ambiente seco, libre de polvo y con pocas vibraciones ($V_{ef} \leq 0,2$ milímetros/segundo). El almacenamiento acorta la vida útil de la grasa de los rodamientos.

En caso de almacenajes de más de 12 meses, hay que llevar a cabo una verificación del estado de la grasa en los rodamientos. En caso de que la grasa esté contaminada (la penetración de agua de condensación provoca una alteración en la consistencia de la grasa) hay que cambiarla. Para períodos más largos de almacenamiento ver la siguiente tabla:

Tabla X. Tipo de grasa que se debe utilizar para proteger los rodamientos de los motores, según el tiempo en que se encontrarán almacenados

	Grasa grado 2	Grasa grado 3	
Período de almacenamiento	Menos de 6 meses	Menos de 1 año	El motor puede ser encargado sin previa lubricación.
	Más de 6 meses Menos que 1 año	Más de 1 años Menos que 2 año	Reengrasar antes de la ponerlo en funcionamiento.
	Más de 1 año Menos de 5 años	Más de 2 año Menos de 5 años	Desmontar el rodamiento <ul style="list-style-type: none"> • Limpiar • Renovar la grasa totalmente
	Más de 5 años	Más de 5 años	Cambiar el rumbo <ul style="list-style-type: none"> • Reengrasar completamente

Fuente: ESSO. Manual de lubricantes. p.15.

10.2. Recomendaciones para el montaje

Se debe comprobar la compatibilidad del motor con el equipo de bombeo antes de su instalación. Los motores eléctricos son productos industriales, por lo tanto, sólo debe ser instalado por personal calificado y con experiencia. La seguridad de las personas y bienes deben ser garantizados al instalar el motor en la máquina.

10.2.1. Comprobación del aislamiento

Antes de arrancar el motor, es recomendable comprobar el aislamiento entre fases y tierra, esta verificación es indispensable si el motor ha sido almacenado por más de 6 meses o si ha estado en una atmósfera húmeda.

Si la resistencia de aislamiento medida es menor que 100 Megahomios a 40 grados Celsius, los bobinados deben ser secados antes de que la máquina entre en operación; para lo cual se debe seguir este procedimiento:

- Desmontar el motor retirando el rotor y los rodamientos.
- Llevar la carcasa con el bobinado del estator a un horno y calentarla a una temperatura de 130 grados Celsius, permaneciendo en esta temperatura por lo menos 8 horas.
- Utilizar el mismo procedimiento para rotores bobinados de motores de anillos.
- Verificar si la resistencia de aislamiento alcanzada está dentro de los valores aceptables, conforme a la siguiente tabla:

Tabla XI. **Resistencia de aislamiento según tensión normal del bobinado**

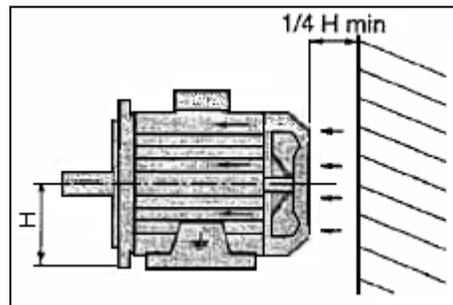
Tensión nominal del bobinado (V)	Prueba de resistencia de aislamiento Tensión continua (V)
< 1000	500
1000 – 2500	500 – 1000
2501 – 5000	1000 – 2500
5001 - 12000	2500 – 5000
> 1000	5000 - 10000

Fuente: LEROY SOMER. Manual de instalación y mantenimiento de motores eléctricos de inducción trifásico de alta y baja frecuencia. p. 8.

10.2.2. **Ubicación y ventilación**

Ventilación: generalmente estos motores son enfriados por flujo de aire, el cual corre a través de su superficie. Se utiliza un ventilador, que está ubicado en la parte trasera del motor, el aire es aspirado a través de la rejilla y el chorro de aire golpea las partes internas del motor y así, garantiza que no se sobrecaliente en cualquier posición de giro que se encuentre.

Figura 16. **Esquema de la ventilación de un motor trifásico de alta tensión**



Fuente: LEROY SOMER. Manual de instalación y mantenimiento de motores eléctricos de inducción trifásico de alta y baja frecuencia. p. 25.

Ubicación: esta debe ser óptima, ya que se debe considerar el espacio necesario para realizar los mantenimientos posteriores, además, el motor debe montarse sobre una base lo bastante rígida para evitar la distorsión y las vibraciones.

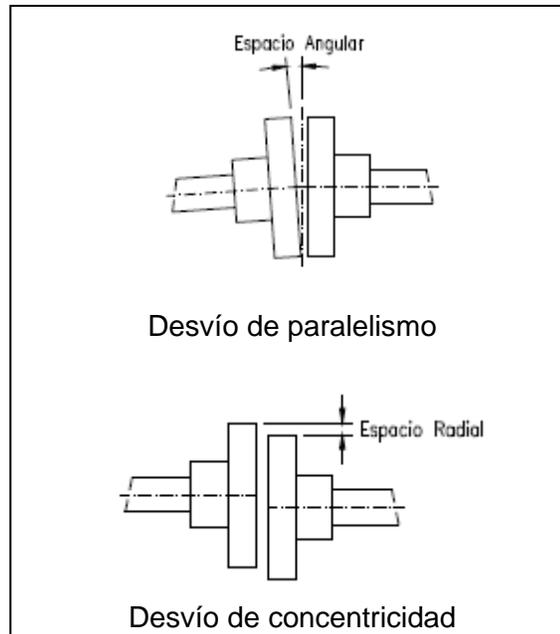
10.2.3. Acoplamiento

El motor eléctrico debe estar perfectamente alineado con la máquina, especialmente en los casos donde el acoplamiento es directo. Un alineamiento incorrecto puede causar defectos en los rodamientos, vibraciones y hasta rupturas del eje.

Una manera de conseguir un alineamiento correcto es usando relojes comparadores, colocados uno en cada acople, uno apuntando radialmente y otro axialmente. Así, es posible verificar simultáneamente el desvío del paralelismo y el desvío de concentricidad (ver figura 17), al dar una vuelta completa a los ejes.

Una medida en cuatro diferentes puntos de circunferencia no podrán presentar una diferencia de lectura mayor que 0,03 milímetros.

Figura 17. **Rangos permisibles de alineación angular y radial**



Fuente: LEROY SOMER. Manual de instalación y mantenimiento de motores eléctricos de inducción trifásico de alta y baja frecuencia. p. 20.

10.2.4. Directrices eléctricas

Estos motores están destinados a instalaciones industriales, para un funcionamiento eficaz tomar en cuenta las siguientes directrices:

- Con el fin de preservar la instalación, cualquier aumento de temperatura en el cableado de los conductos se debe evitar y verificar al mismo tiempo que los dispositivos de protección del arranque no estén dañados.

- Problemas que afectan el funcionamiento de otros dispositivos conectados a la misma fuente, esto se debe a la disminución de la tensión causada por la corriente de arranque, que puede ser varias veces mayor que la actual consumida por el motor a plena carga (aproximadamente 7 veces).

- Otros sistemas de control (inversores de frecuencia, control del vector de flujo): deben tomarse en cuenta las precauciones necesarias cuando los motores de inducción estándar se utilizan para el control de velocidades variables, accionado por un inversor de frecuencia o un regulador de voltaje:
 - Durante la prolongada operación a baja velocidad, la eficiencia en el enfriamiento disminuye. Por lo que es aconsejable instalar una unidad de ventilación adicional, que funcione independientemente del ventilador principal con el fin de asegurar un flujo constante de aire.

 - Durante la prolongada operación a alta velocidad, el ventilador puede hacer ruido excesivo. Una vez más, es aconsejable instalar una unidad de ventilación extra.

10.2.5. Conexión

Para conectar los cables de alimentación, destornille las tapas de las cajas de conexión del estator y el rotor (si existe). Cortar los anillos de veda (motores normales sin prensa-cables) conforme los diámetros de cables que serán utilizados. Colocar los cables dentro de los anillos.

Cortar el cable de alimentación al tamaño necesario, decapar la extremidad y colocar los bornes a ser utilizados. Unir el revestimiento metálico de los cables (caso exista) al cable de conexión para tierra común. Cortar los cables de conexión para la tierra, al tamaño necesario y conectarlo al conector existente en la caja de conexiones existente en la carcasa. Apretar firmemente todas las conexiones.

OBS: no utilizar arandelas de acero u otro material mal conductor de corriente eléctrica al fijar los terminales.

Nota: el diagrama de conexión se encuentra en el apéndice 2.

10.3. Mantenimiento del motor

En un mantenimiento de motores eléctricos, se deben inspeccionar periódicamente niveles de aislamiento, la elevación de temperatura (bobinas y descansos), desgastes, lubricación de los rodamientos, examinar eventualmente el ventilador, para el correcto flujo de aire, niveles de vibraciones, desgastes de escobillas y anillos colectores.

Cualquier descuido en cualquiera de los anteriores ítems puede significar paradas no deseadas del equipo. La frecuencia con que deben ser hechas las inspecciones, dependen del tipo del motor y de las condiciones locales de aplicación.

La carcasa debe ser mantenida limpia, sin que acumule aceite o polvo en su parte externa para facilitar el intercambio de calor con el medio.

10.3.1. Mantenimiento diario

Después de aproximadamente 15 horas de operación, comprobar que los tornillos de fijación del motor y los dispositivos de acoplamiento estén apretados; verificar también las transmisiones y comprobar el aislamiento y temperatura.

Limpieza: los motores deben ser mantenidos limpios, exentos de polvo, detritos y aceites. Para limpiarlos, se deben utilizar cepillos o trapos limpios de algodón. Si el polvo no es abrasivo, se debe emplear aire comprimido, soplando la suciedad de la tapa deflectora y eliminando toda la acumulación de polvo contenido en las aletas del ventilador y en las aletas de refrigeración. Los tubos de los intercambiadores de calor (sí existen) deben ser mantenidos limpios y desobstruidos para garantizar un perfecto intercambio de calor. Para la limpieza de los tubos, puede ser utilizada una baqueta con un cepillo redondo en la extremidad, que al ser introducida en los tubos, retira la suciedad acumulada.

Medición de temperatura en bobinas: esta operación debe ser hecha con el máximo cuidado y, solamente por personas calificadas. El incremento de la temperatura no debe exceder a 5 grados Celsius por hora y la temperatura final no debe pasar de 150 grados Celsius. Un cambio muy brusco en la temperatura puede producir vapor y esto perjudica el aislamiento. Al encontrarse vapor en las bobinas, estas deben secarse cuidadosamente con una temperatura controlada; al mismo tiempo, se debe medir la resistencia de aislamiento periódicamente ya que esta resistencia irá disminuyendo a medida que aumente la temperatura.

El proceso de secado debe continuar hasta que las sucesivas mediciones de la resistencia de aislamiento indiquen que esta llegó al valor mínimo indicado; es muy importante suministrar una buena ventilación en el interior del motor durante la operación del secado para asegurar que la humedad se ha retirado efectivamente.

10.3.2. Lubricación

La finalidad del mantenimiento, en este caso, es prolongar lo máximo, la vida útil del sistema de rodamientos y tapaderas (descansos). El mantenimiento requiere:

- Observar el estado general en que se encuentran los rodamientos con respecto a las tapaderas.
- Lubricación y limpieza.
- Examen más minucioso de los rodamientos.

El ruido en los motores deberá ser observado en intervalos regulares de 1 a 4 meses. Un oído bien entrenado es perfectamente capaz de distinguir un ruido normal de uno anómalo, con un sistema simple (utilizando un desarmador). Para un análisis más confiable en las tapaderas, se aconseja la utilización de equipos que permitan hacer análisis predictivos.

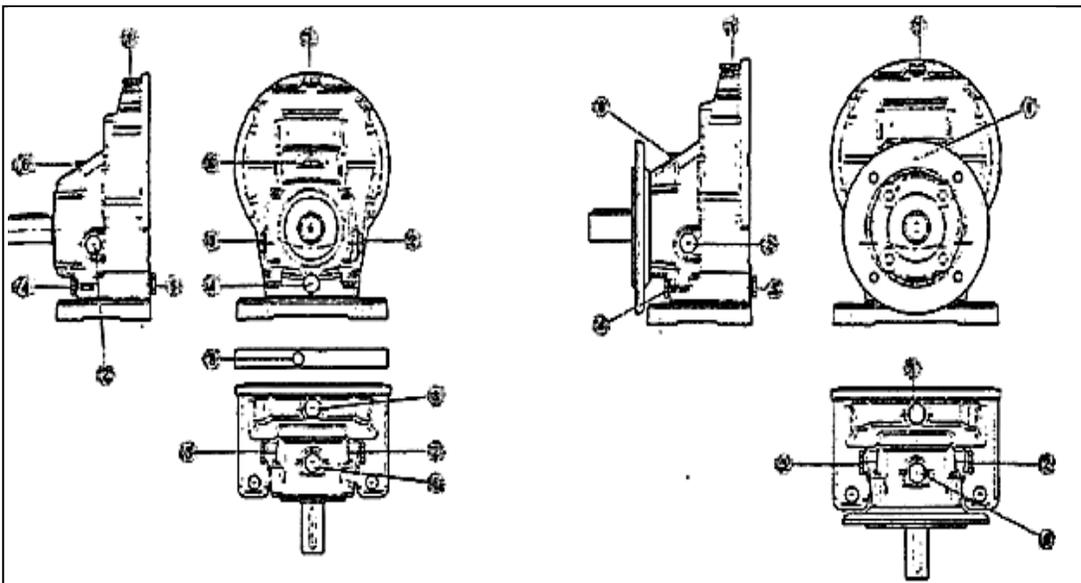
- Posición de los conectores, cantidad de aceite

Para un buen funcionamiento de los cojinetes en los motores eléctricos, se debe engrasar correctamente ya que estos giran a altas revoluciones y pueden fallar si no se aplica lubricante o si se aplica en exceso.

A continuación se describen las posiciones de los conectores y la cantidad de aceite a utilizar:

- Posición de los conectores: en la siguiente gráfica se presenta la posición de los conectores en la pieza para un mejor entendimiento hay que hacer referencia a ello.

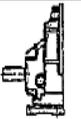
Figura 18. **Posición de conectores de lubricación, hacia los rodamientos del motor LEROY SOMER**



Fuente: LEROY SOMER. Manual de instalación y mantenimiento de motores eléctricos de inducción trifásico de alta y baja frecuencia. p. 28.

- Cantidad de aceite en litros: en la siguiente tabla se presenta la cantidad de aceite en litros que se utilizan para realizar el rodamiento de los motores.

Tabla XII. **Cantidad de aceite en litros, utilizado para los rodamientos del motor LEROY SOMER**

		Plug type	Cb 3031' litre ²	Plug position	Cb 3131 litre ²	Plug position	Cb 3231 litre ²	Plug position	Cb 3331 litre ²	Plug position	Cb 3431 litre ²	Plug position	Cb 3531 litre ²
B3 	B5 	Level	-	2-3	0,35	2-3	0,25	2-3	0,9	2-3	1,98	2-3	3,2
		Draining	-	4		4		4		4			
		Breather	-	1-8		1-6-8		1-8		1-8			
		Filling	-	1-8		1-6-8		1-8		1-8			
B6 	B52 	Level	-	1-4-5	0,5	1-4-6-5	0,6	1-4-5	1,4	1-4	3,08	1-4	6
		Draining	-	2*-8*		2*-8*		2*-8*		2*-8*			
		Breather	-	3-8*		3-8*		3-8*		3-8*			
		Filling	-	3-8*		3-8*		3-8*		3-8*			
B7 	B54 	Level	-	1-4-5	0,5	1-4-6-5	0,6	1-4-5	1,4	1-4	3,15	1-4	5
		Draining	-	3*-8*		3*-8*		3*-8*		3*-8*			
		Breather	-	2-8*		2-8*		2-8*		2-8*			
		Filling	-	2-8*		2-8*		2-8*		2-8*			
B8 	B53 	Level	-	2-3	0,7	2-3	1	2-3	1,9	2-3	4,18	2-3	7,3
		Draining	-	1		1		1		1			
		Breather	-	4-5		4-5		4-5		4			
		Filling	-	4-5		4-5		4-5		4			
V5 	V1 	Level	-	1	0,55	1	0,65	1	2,1	1	3,83	1	5,8
		Draining	-	4		4		4		4			
		Breather	-	5-8		5-8		5-8		8			
		Filling	-	5-8		5-8		5-8		8			
V6 	V3 	Level	-	1	1,0	2-3	1,2	2-3	2,1	2-3	2,98	2-3	7,6
		Draining	-	1-8		1-8		1-8		8			
		Breather	-	4		4		4		4			
		Filling	-	2-3-4		2-3-4		2-3-4		2-3-4			

Fuente: LEROY SOMER. Manual de instalación y mantenimiento de motores eléctricos de inducción trifásico de alta y baja frecuencia. p. 29.

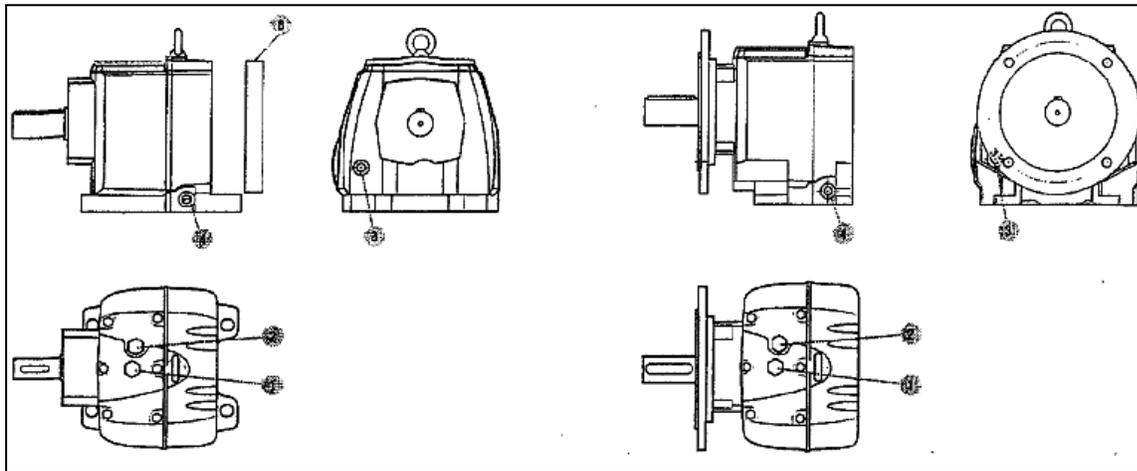
- Bloc Multietapas: el motor Bloc Multietapas, es un equivalente que se puede utilizar en las bombas de aceite reciclado, dando otra opción de motor a la hora de que el principal falle.

A continuación se describen las posiciones de los conectores y la cantidad de aceite a utilizar:

- Posición de los conectores

En la siguiente gráfica se presenta la posición de los conectores en la lubricación en las piezas, para un mejor rodamiento.

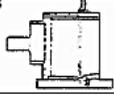
Figura 19. **Posición de conectores de lubricación, hacia los rodamientos del motor LEROY SOMER Bloc Multietapas**



Fuente: LEROY SOMER. Manual de instalación y mantenimiento de motores eléctricos de inducción trifásico de alta y baja frecuencia. p. 30.

- Cantidad de aceite en litros: en la siguiente tabla se presenta la cantidad de aceite en litros que se utilizan para realizar el rodamiento de los motores.

Tabla XIII. **Cantidad de aceite en litros, utilizado para los rodamientos del motor LEROY SOMER, Bloc Multietapas**

	Plug type	Plug position	Cb 3032' litre ²	Cb 3033' litre ²	Cb 31xx litre ²		Cb 32xx litre ²		Cb 33xx litre ²		Cb 34xx litre ²		Cb 35xx litre ²		
					2T	3T	2T	3T	2T	3T	2T	3T	2T	3T	
	B5	Level	3	0,6	0,7	0,6		0,95		1,6		3,3		5,2	
		Draining	4												
		Breather	1 - 2												
		Filling	1 - 2												
		Without													
	B52	Level	2	0,6	0,7	0,95	1,23	1,75	2,3	3,3	4,37	7 (L : ②)		12,5	
		Draining	4												
		Breather	3 - 8*												
		Filling	3												
		Without													
	B54	Level	1	0,6	0,7	0,85		1,55		2,95		4,7		8,3	
		Draining	3*												
		Breather	4 - 8*												
		Filling	4												
		Without													
	B53	Level	3	0,6	0,7	1,1		2,25		4,45		6,7		13,2	
		Draining	1 - 2												
		Breather	4 - 8*												
		Filling	4												
		Without													
	V1	Level	4	0,6	0,7	1,15		2,25		4,5		7,5		14,7	
		Draining	3												
		Breather	8												
		Filling	4 - 8												
		Without													
	V3	Level	1 - 2	0,6	0,7	1,4		2,7		4,4		7,5		13,7	
		Draining	4 - 8												
		Breather	3												
		Filling	3												
		Without													

Fuente: LEROY SOMER. Manual de instalación y mantenimiento de motores eléctricos de inducción trifásico de alta y baja frecuencia. p. 31.

10.3.3. Mantenimiento de los cojinetes

En Ingeniería un cojinete es la pieza o un conjunto de ellas sobre las que se soporta y gira el árbol de transmisión de momento giratorio de una máquina.

De acuerdo con el tipo de contacto que existan entre las piezas, el cojinete puede ser un cojinete de deslizamiento o un rodamiento respectivamente.

- Comprobación de los rodamientos

Cuando se detectan en el motor: un ruido o vibraciones anormales, aumento de temperatura en el cojinete, cuando es correctamente engrasado, se debe verificar el estado del cojinete. Los cojinetes dañados se deben sustituir cuanto antes para prevenir daños mayores al motor y al equipo conductor.

Los sellos deben sustituirse cuando se cambian los cojinetes.

El cojinete con holgura permite que el eje se expanda por las altas temperaturas, lo cual ocasiona una deformación en el eje y puede fracturar las tapaderas.

Para verificar el estado de los cojinetes es necesario desmontar el motor, quitar la grasa vieja y limpiar los rodamientos y accesorios con un desengrasante; luego lubricar nuevamente el cojinete a un 50% de su capacidad y ponerlo a funcionar para distribuir la grasa, si el ruido persiste cambiar los cojinetes y verificar la medida de las tapaderas, si estas tienen una holgura con respecto a los cojinetes mayor de 1/32 pulgadas por lado, se deben tornear y balancear antes de instalarlas nuevamente.

Advertencia: demasiada grasa hace que el rodamiento se sobrecaliente drásticamente (las estadísticas demuestran que se dañan más los cojinetes con exceso de grasa que con poca).

Nota importante: la grasa que se va aplicar debe ser nueva y no debe contener ninguna impureza (polvo, agua u otros).

10.3.4. Anillos del motor

Estos deben mantenerse limpios y secos; la limpieza deberá realizarse cada mes, no deben mostrar signo de irregularidad. Si el colector está obstruido, límpielo con un paño humedecido con algún disolvente dieléctrico.

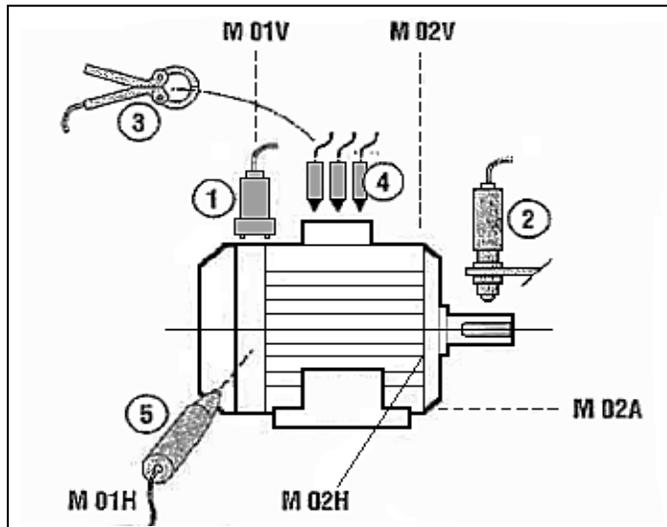
Asegúrese de que los anillos:

- Deslicen libremente en su jaula
- Estén centrados
- Las escobillas en contacto con los anillos (100% de contacto)

10.4. Mantenimiento preventivo

El diagrama y la tabla que a continuación se muestra, recomienda el equipo a utilizar y las posiciones sobre el motor, en las cuales se efectúan las mediciones de todos los parámetros que pueden afectar el funcionamiento de la máquina:

Figura 20. **Puntos de referencia en los cuales se deben tomar las mediciones de los diferentes parámetros que pueden afectar el buen funcionamiento del motor**



Fuente: LEROY SOMER. Manual de instalación y mantenimiento de motores eléctricos de inducción trifásico de alta y baja frecuencia. p. 35.

Tabla XIV. **Parámetros a medir en los diferentes puntos del motor LEROY SOMER**

Detector	Medida	Puntos de Medición								
		M 01V	M 01H	M 02V	M 02H	M 02A	ShaR	E01	E02	E03
1 Acelerómetro	Vibración	●	●	●	●	●				
2 Celda foto-eléctrica	Medida de velocidad y fase								●	
3 Medidor de tensión	Medida actual (D.C y trifásica A.C)									● ● ●
4 Voltímetro	Medida de voltaje									● ● ●
5 Detector infra-rojo	Medida de temperatura	●		●						

Fuente: LEROY SOMER. Manual de instalación y mantenimiento de motores eléctricos de inducción trifásico de alta y baja frecuencia. p. 35.

10.5. Guía de solución de problemas

A continuación se da una tabla, en donde se indican las averías más comunes que puede presentar un motor eléctrico, sus posibles causas y cuál debería ser la acción a tomar para reparar el motor.

Tabla XV. **Guía de soluciones a los problemas más frecuentes en los motores eléctricos LEROY SOMER**

Avería	Posible causa	Acción
Ruido anormal	Causa mecánica: si el ruido persiste después de apagar el suministro eléctrico.	Desacoplar el motor y probar sí solo.
	Causa mecánica: si el ruido persiste después de apagar el suministro eléctrico.	Comprobar que está bien anclado al suelo.
	Causa mecánica: si el ruido persiste después de apagar el suministro eléctrico.	Verificar estado del ventilador y si tienen grasa los cojinetes.
Ruido anormal	Eléctrica causa: si el ruido se detiene después de apagar el suministro eléctrico.	Comprobar la fuente de alimentación del motor en los terminales.
	Tensión normal y 3 fases equilibradas.	Comprobar el bloque de terminales de conexión y refuerzo de los conectores.
Motor se calienta anormalmente	Tensión anormal	Comprobar la línea de suministro de energía.
	Desequilibrio de la fase	Comprobar la resistencia de devanados.
	Ventilación defectuosa	Verificar la temperatura del ambiente.
		Limpiar la cubierta de ventilación y las aletas del ventilador.
	Sobrecarga	Comprobar que el ventilador está correctamente montado en el eje.
Parcial cortocircuito	Verificar que no se exceda la carga, de producto que transporta el equipo al cual el motor hace girar.	
Motor no arranca	Sin carga	Comprobar la continuidad eléctrica de las bobinas o la instalación, verificar que las líneas del motor no estén aterrizadas.
	Bloqueo mecánico	Comprobar que no se apaga: Comprobar que el eje gira libremente a mano.
	Rota la línea de suministro	Comprobar fusibles, protección eléctrica y dispositivo de arranque.
	En carga	Comprobar la dirección de la rotación (fase de orden).
Desequilibrio de la fase	Comprobar la resistencia y la continuidad de las bobinas. Comprobar la protección eléctrica.	

Fuente: elaboración propia.

10.6. Mantenimiento correctivo

Aunque no se puede predecir cuándo fallará el motor eléctrico, si se puede contar con los recursos necesarios y las técnicas adecuadas para garantizar que el equipo vuelva a prestar el servicio y así evitar gastos mayores por paros en la producción.

10.6.1. Desmontaje del motor

- Rotor de jaula

Lado accionado:

- Retire el intercambiador de calor (si existe).
- Retire los detectores de temperatura del soporte (si existe).
- Retire los tornillos que fijan el conjunto de soporte.
- Retire los anillos externos de fijación (para motores con descansos de rodamiento).
- Desatornille la tapa. Los tornillos después de ser retirados deberán ser colocados en las roscas vacías existentes en las tapas para forzar su salida. Verifique, que el eje este apoyado para evitar la caída del rotor sobre el estator.
- Remueva el(los) rodamiento(s) (para motores con descansos de rodamiento).

- Retire el anillo interno de fijación (para motores con descansos de rodamiento).

Lado no accionado:

- Desatornille la tela de protección del ventilador(motores cerrados).
 - Retire el ventilador soltando los tornillos que lo sujetan sobre el eje.
 - Suelte las 4 tuercas que fijan la caja de protección del ventilador y remuévalo. Retire los tornillos distanciadores.
 - Repita la operación 2 a 7 del párrafo anterior.
- Rotor de anillos

Lado accionado: idéntico al de rotor de jaula

Lado no accionado:

- Retire la tapa trasera de protección del portaescobillas.
- Desconecte los cables de los anillos colectores. Retire las escobillas y desmonte el portaescobillas.
- Desatornille la caja de protección del portaescobillas de la caja de ventilación.

- Retire el colector de anillos y el disco de ventilación.
- Repita las operaciones 2 a 4 del lado no accionado para motores de jaula.

Desarme del rotor

Por medio de un dispositivo adecuado, retire el rotor de dentro del estator. El dispositivo deberá impedir que el rotor se raspe en el paquete del estator o en las cabezas de la bobina.

Lado accionado:

- Desconectar los cables de las resistencias de calentamiento de las cajas de conexión.
- Retirar los detectores de temperatura de los soportes (si hay).
- Soltar los tornillos que fijan el conjunto del soporte.
- Retirar los anillos externos de fijación (para motores con descansos de rodamiento).

- Desatornillar la tapa. Por medio de la herramienta adecuada vaya forzando la tapa para que salga, girándola. Rectificar que el eje este apoyado para evitar la caída del rotor sobre el estator.
- Remover el (los) rodamiento(s) (para motores con descansos de rodamiento).
- Retirar el anillo interno de fijación.

Lado no accionado:

- Retire la tapa deflectora
- Suelte el anillo de retención del ventilador
- Repita las operaciones 2 a 7

10.6.2. Montaje de motor

- Utilizando el dispositivo adecuado, colocar el rotor dentro del estator, insertar por la parte trasera del motor y con el debido cuidado para que el rotor no roce en el paquete del estator o en las cabezas de bobina.
- Colocar los anillos de fijación internos.
- Llenar con grasa $\frac{3}{4}$ del compartimiento de los anillos internos y del rodamiento (ver tipo de grasa en las tarjetas de características de los rodamientos, fijados en las tapas del motor).

- Examinar con cuidado las superficies del eje y de las tapas donde quedarán alojados los rodamientos, verificando que no existan golpes y certificando las correctas tolerancias de las dimensiones mecánicas.
- Calentar y colocar los rodamientos delantero y trasero.
- Levantar el rotor, coloque apoyos abajo del eje y colocar las tapas delantera y trasera.
- Colocar el centrifugador de grasa delantero y trasero y fíjelos en el eje. Colocar los anillos de fijación externos delantero y trasero, fijándolos junto con los anillos de fijación internos.
- Colocar el ventilador en la parte trasera, fijándolo con el anillo de retención.
- Colocar la tapa deflectora trasera.
- Conectar los cables de los sensores de temperatura, en los terminales de la caja de conexión de los accesorios.
- Llenar de grasa los rodamientos a través de las graseras trasera y delantera.

Par de apriete de los tornillos

La tabla abajo presenta los pares de apriete de los tornillos recomendados para montaje del motor o de sus piezas:

Tabla XVI. **Par de apriete que se debe aplicar a tornillos de cabeza hexagonal en milímetros**

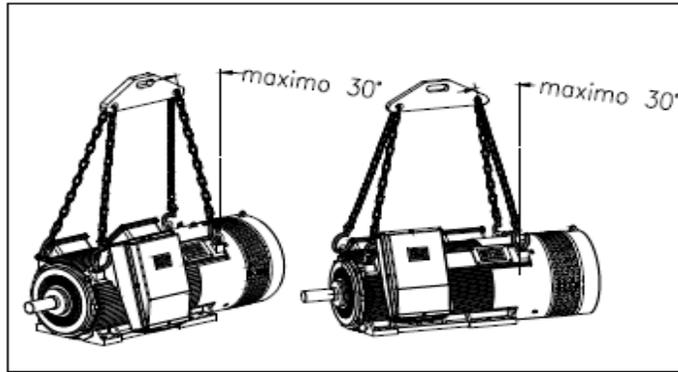
Clase de resistencia	4.6	5.8	8.8	12.9
Diámetro	Par de apriete (Nm) – tolerancia $\pm 10\%$			
M6	1.9	3.2	5.1	8.7
M8	4.6	7.7	12.5	21
M10	9.1	15	25	41
M12	16	27	42	70
M16	40	65	100	175
M20	75	125	200	340
M24	130	220	350	590

Fuente: LEROY SOMER. Manual de instalaciones y mantenimiento de motores eléctricos de inducción trifásica de alta y baja frecuencia. p. 64.

10.7. Posición de los anillos elevadores

Para levantar el motor, use solamente los ojales existentes en el mismo. En caso de ser necesario, usar una plataforma para proteger el motor. Utilizar equipo especial capacitado para soportar el peso del motor que indica la placa; nunca levantar bruscamente ya que puede dañar los cojinetes del motor.

Figura 21. **Posición de los anillos de sujeción del motor
LEROY SOMER**



Fuente: LEROY SOMER. Manual de instalación y mantenimiento de motores eléctricos de inducción trifásico de alta y baja frecuencia. p. 40.

Notas:

- Los cáncamos de suspensión de la carcasa son para levantar solamente el motor. No los utilice para levantar el conjunto motor + máquina accionada.
- Las corrientes o cables de izaje deben tener un ángulo máximo de 30 grados con relación a la vertical.
- Utilizar todos los cáncamos fijados en la carcasa, que acompañan el motor.
- No observar estas recomendaciones podrá causar daños al equipo, heridas a personas o ambos.

10.8. Listas de piezas que se desgastan

En un motor eléctrico es necesario conocer cuáles son las piezas que sufren más desgaste por el uso y así cambiarlas antes de que fallen, de lo contrario podrían ocasionar fallas mucho más grandes.

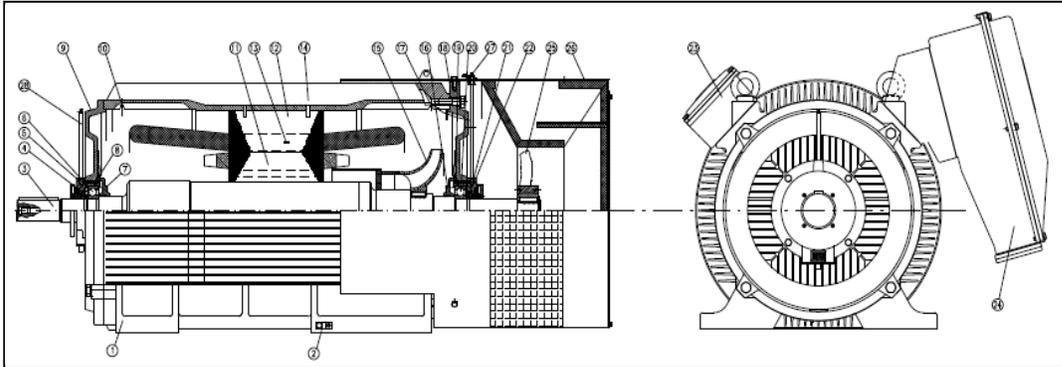
10.8.1. Motor

A continuación se muestran las partes externas del motor y una tabla en donde se describen las piezas que se deben tener en almacén, aunque se debe tener cuidado de qué piezas son las que tienen mayor rotación y cuáles no.

10.8.1.1. Vista del motor

En la siguiente figura se muestran las partes externas e internas del motor, en donde se puede encontrar sus componentes vitales y también los que no requieren un cambio constante.

Figura 22. **Vista del motor LEROY SOMER**



Fuente: LEROY SOMER. Manual de instalación y mantenimiento de motores eléctricos de inducción trifásico de alta y baja frecuencia. p. 40.

- Lista de piezas del motor

En la siguiente tabla se pueden encontrar las partes del motor según lo indica el fabricante, es conveniente mantener el nombre que se le da al repuesto o parte en almacén, para no confundirse a la hora de buscarlo.

Tabla XVII. **Lista de las partes del motor LEROY SOMER**

Pos	Denominación	Pos	Denominación
1	Carcasa	15	Ventilador interno
2	Terminal de tierra	16	Anillo de fijación trasero interno
3	Eje	17	Resistencia de calentamiento trasera
4	Centrifugador de grasa delantero	18	Tapa trasera
5	Anillo de fijación delantero externo	19	Sensor de temperatura de tapadera trasera
6	Rodamiento delantero	20	Rodamiento trasero
7	Anillo de fijación delantero interno	21	Centrifugador de grasa trasero
8	Sensor de temperatura de tapadera delantera	22	Anillo de fijación trasero externo
9	Tapa delantera	23	Caja de conexión de los accesorios
10	Resistencia de calentamiento delantera	24	Caja de conexión del estator
11	Rotor completo	25	Ventilador externo
12	Paquete del estator	26	Tapa deflectora
13	Sensor de temperatura del estator	27	Grasera del cojinete trasero
14	Tornillo de fijación del estator	28	Grasera del cojinete delantero

Fuente: LEROY SOMER. Manual de instalación y mantenimiento de motores eléctricos de inducción trifásico de alta y baja frecuencia. p. 41.

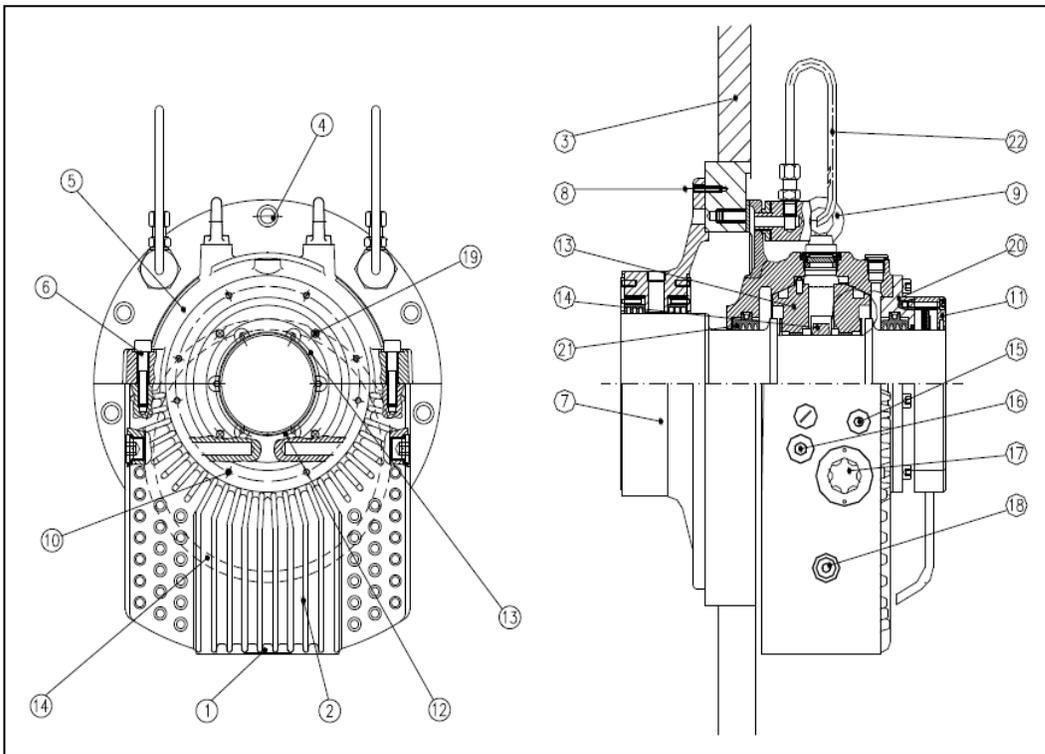
- **Bloc 1 primera etapa**

Bloc 1 primera etapa, es otro tipo de motor que se puede utilizar para mover la bomba de aceite reciclado, si por alguna razón se decide cambiar el tipo anterior de motor.

- Vista del Bloc 1 primera etapa

En la siguiente figura se muestran las partes externas e internas del motor, en donde se pueden encontrar sus componentes vitales, así como, los que no requieren un cambio constante.

Figura 23. Vista del Bloc 1 primera etapa



Fuente: LEROY SOMER. Manual de instalación y mantenimiento de motores eléctricos de inducción trifásico de alta y baja frecuencia. p. 43.

- Lista de piezas del Bloc 1

En la siguiente tabla se encuentran las partes del motor según lo indica el fabricante, es conveniente mantener el nombre que se le da al repuesto o parte en almacén, para no confundirse a la hora de buscarlo.

Tabla XVIII. **Lista de partes del Bloc 1 primera etapa**

Pos	Denominación	Pos	Denominación
1	Tapón de drenó	12	Casquillo inferior
2	Carcasa del soporte	13	Casquillo superior
3	Carcasa del motor	14	Anillo pescador
4	Tornillos	15	Entrada del aceite
5	Tapa de la carcasa del soporte	16	Conexión para sensor de temperatura
6	Tornillos de la tapa del soporte bipartido	17	Nivel de aceite o salida de aceite para lubricación
7	Sello de la máquina	18	Tapón para tubos
8	Tornillos del sello máquina	19	Tornillos de protección externa
9	Ojal para suspender	20	Alojamiento del laberinto
10	Tornillos de la tapa externa	21	Mitad inferior del alojamiento del laberinto
11	Tapa externa	22	Tubo de respiro

Fuente: LEROY SOMER. Manual de instalación y mantenimiento de motores eléctricos de inducción trifásico de alta y baja frecuencia. p. 44.

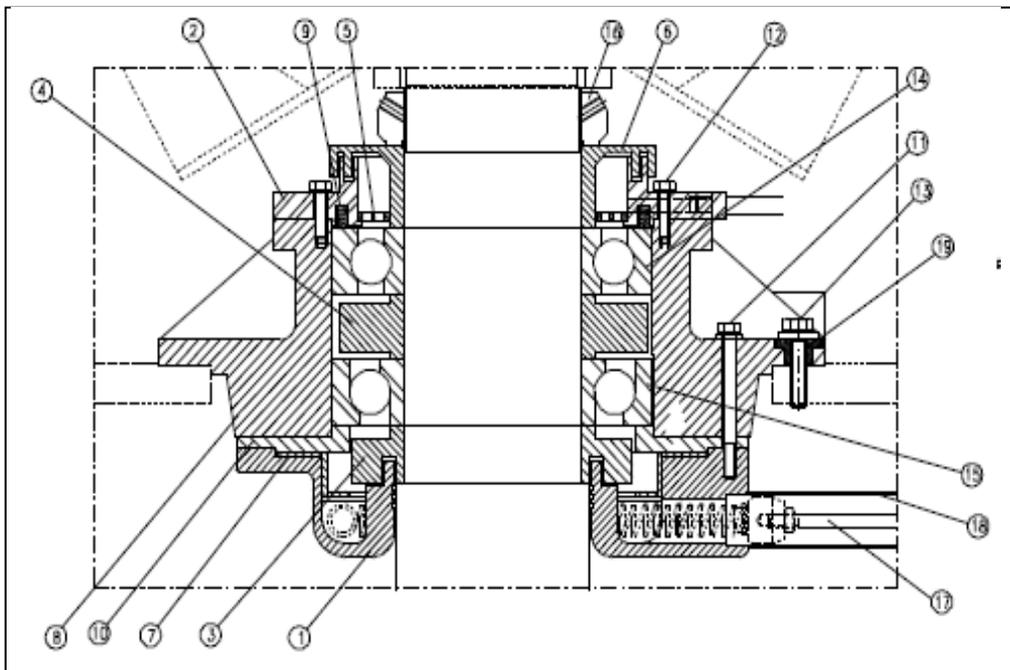
- **Bloc Multietapas**

Bloc Multietapas, es otro tipo de motor que se puede utilizar para mover la bomba de aceite reciclado, si por alguna razón se decide cambiar el tipo anterior de motor.

- **Vista del Bloc Multietapas**

En la siguiente figura se muestran las partes externas e internas del motor, en donde se encuentran sus componentes vitales, así como, los que no requieren un cambio constante.

Figura 24. **Vista del Bloc Multietapas**



Fuente: LEROY SOMER. Manual de instalación y mantenimiento de motores eléctricos de inducción trifásico de alta y baja frecuencia. p. 46.

- Lista de piezas del Bloc Multietapas

En la siguiente tabla se encuentran las partes del motor según lo indica el fabricante, es conveniente mantener el nombre que se le da al repuesto o parte en almacén, para no confundirse a la hora de buscarlo.

Tabla XIX. **Lista de partes del Bloc Multietapas**

Pos	Denominación	Pos	Denominación
1	Anillo de fijación interno	12	Tornillo de fijación
2	Anillo de fijación externo	13	Tornillo de fijación
3	Centrifugador de grasa	14	Rodamiento externo
4	Anillo separador	15	Rodamiento interno
5	Tapa de grasa	16	Tuerca de fijación
6	Disco de cerramiento externo	17	Resorte retirada grasa
7	Protección del resorte	18	Alivio de grasa
8	Tapa trasera	19	Arandela de presión
9	Resorte de precarga		
10	Anillo interno		
11	Tornillo de fijación		

Fuente: LEROY SOMER. Manual de instalación y mantenimiento de motores eléctricos de inducción trifásico de alta y baja frecuencia. p. 47.

11. FILTROS DE LA BOMBA

Los filtros de la bomba de aceite reciclado, son la línea de defensa contra todas aquellas partículas que pueden ocasionar fallas en los elementos internos de la bomba, por lo que es indispensable que estas funcionen correcta y adecuadamente.

11.1. Descripción

Para un buen funcionamiento del equipo, es indispensable contar con un dispositivo filtrante que cumpla con las condiciones necesarias para retener las partículas que pueden afectar el funcionamiento de la bomba, ya que se transportará aceite reciclado, el cual se almacena con sólidos no deseados. Debido a esto se ha empleado un filtro con el sistema SCAMDISC, el cual permite un filtrado constante a base de discos giratorios con tamices diferentes, los cuales permiten retener las partículas no deseadas que transportan el aceite reciclado.

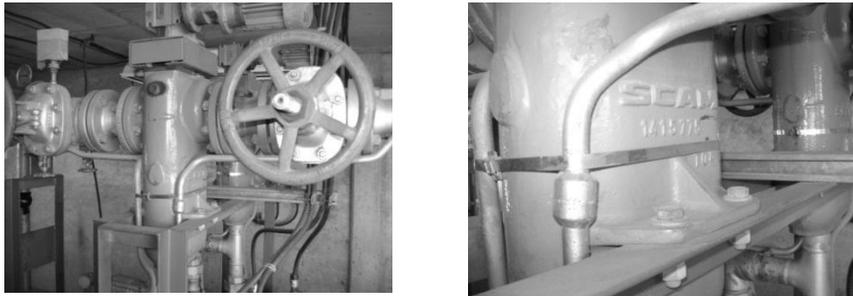
11.1.1. Elementos del filtro filtrante

- House Bering: hecho de hierro fundido, acero al carbono o acero inoxidable.
- Elemento filtrante: cartuchos o discos de acero al carbono, acero inoxidable o bronce.
- Motor: para la rotación constante de los cartuchos.
- Accesorios: purgas y detectores de rotación.

11.1.1.1. House Bering

El exterior del House Bering está hecho de hierro fundido, con el objeto de proteger las partes internas del filtro, las cuales en contacto con agua, polvo y otros elementos que se encuentran en el ambiente pueden dañarlas, ocasionando una baja eficiencia en el filtrado.

Figura 25. Fotos del House Bering del filtro

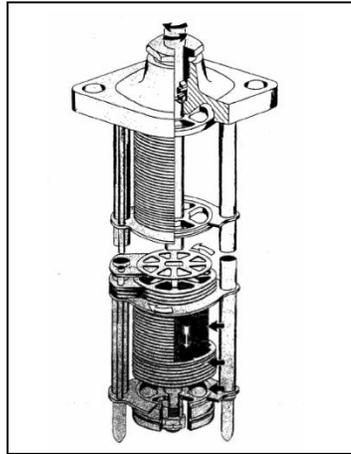


Fuente: Cementos Progreso, Planta San Miguel. Zona 6. Guatemala.

11.1.1.2. Elemento filtrante

El elemento de filtro se compone de un eje de acero inoxidable, en el cual se colocan los discos o cartuchos de diferentes tamices que giran constantemente para impedir que las partículas lleguen a la bomba y puedan dañar sus partes internas; la filtración viene dada por el espacio entre los disco y pueden retener partículas que van desde 500 hasta 400 micrones.

Figura 26. **Sección interna del filtro, donde se pueden apreciar los discos o cartucho**

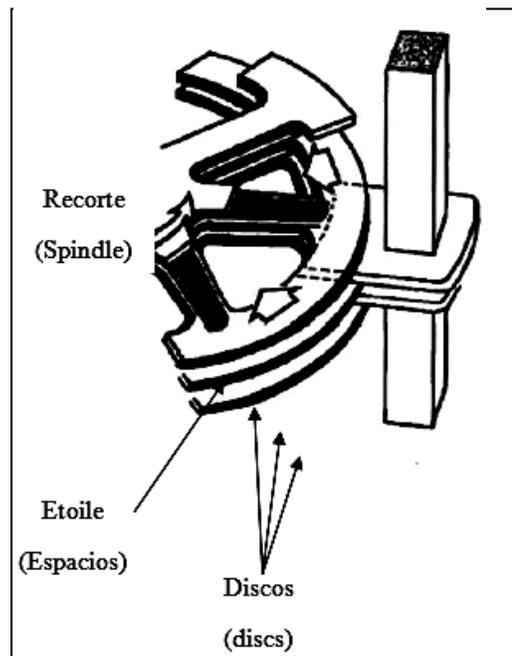


Fuente: SCAM DISC. Manual de operación y mantenimiento. p. 2.

11.1.2. Sistema de limpieza

El sistema de limpieza del filtro consiste en unos espaciadores que están sujetos a una barra fija en la periferia del disco, los cuales permiten limpiar los tamices de los discos, además de proporcionar soporte a los discos, ya que se encuentran en medio de cada uno de ellos.

Figura 27. **Sección interna del filtro, donde se puede apreciar el sistema de limpieza entre los discos o cartucho**



Fuente: SCAM DISC. Manual de operación y mantenimiento. p. 4.

11.1.3. Montaje

El montaje de este equipo debe ser realizado por personal técnico capacitado, ya que un error en el montaje podría dañar el filtro y el equipo que requiere la protección del filtro, en este caso la bomba de aceite reciclado.

11.1.4. Motor

Este es utilizado para hacer girar los diferentes discos del filtro, para así garantizar un filtrado constante y uniforme, es vital que se esté monitoreando la rotación de estos, ya que una falla en el motor podría saturar los cartuchos y por ende el filtro. Se recomienda instalar sensores de movimiento al motor que hagan parar el equipo cuando este falle.

Figura 28. Fotos del motor instalado en un filtro SCAM DISC el cual permite que el sistema se mantenga en constante movimiento



Fuente: Cementos Progreso, Planta San Miguel, zona 6, Guatemala.

11.2. Instalación y operación antes de arrancar

Para garantizar el buen funcionamiento de los filtros, es necesario leer las recomendaciones del fabricante y estar seguro de que es el adecuado, para las necesidades de la planta.

11.2.1. Instalación del filtro

Con el fin de permitir que los sólidos contaminantes caigan al fondo del Hause Bering, el filtro debe montarse en posición vertical o con una inclinación menor a 10 grados Celsius; al instalar la unidad se debe respetar la dirección del flujo.

Antes de instalar el filtro, asegúrese de que las tuberías de succión estén limpias.

No permita que agua circule por el interior del filtro ya que puede oxidar sus partes internas.

11.2.2. Puesta en marcha

- Asegúrese de que el elemento filtrante gira libremente.
- El elemento filtrante no puede girar en ausencia de líquido, verificar antes de ponerlo a funcionar que el Hause Bering esté lleno del líquido a filtrar.
- Verifique la presión interna del filtro con un manómetro. Esta no debe ser mayor a 20 megapascuales.
- Verificar que la unidad filtrante tiene una válvula de purga automática, para eliminar sólidos y líquidos.

11.3. Instrucciones de mantenimiento

Como todo equipo es necesario mantener en buenas condiciones, los filtros no son la excepción, ya que estos no garantizan que las partículas que arrastra el aceite reciclado no lleguen hacia la bomba y destruya las partes internas.

11.3.1. Importancia de drenar el filtro

La purga periódica es vital para el buen funcionamiento del filtro, esta debe realizarse con un sistema automático que consta de una válvula que actúa por medio de diferencia de presión, se acciona cuando la presión marca una diferencia de 20 megapascales, al normalizarse se cierra automáticamente.

Esta válvula debe monitorearse periódicamente y se debe garantizar su buen funcionamiento, el mal estado de esta válvula puede permitir el paso de algunas partículas que pueden dañar las partes internas de la bomba.

La frecuencia de purga de los sólidos depende de la contaminación de sólido que se encuentren en el líquido filtrado

11.3.2. Rotación de cartuchos

Advertencia: elementos filtrantes no están diseñados para la rotación sin líquido.

Es importante señalar que la operación de purga es eficaz sólo si el cartucho se ha limpiado eficientemente, de hecho, es la rotación del elemento que elimina las impurezas de la superficie del cartucho y les permite caer al sistema de purgar; si el elemento no gira libremente, intente liberarlo girándolo hacia la derecha e izquierda repetidas veces hasta conseguirlo, de no funcionar, desarme el filtro y limpie cuidadosamente sus partes internas con un disolvente y vuelva armar, si encuentra discos en mal estado sustitúyalos por nuevos. Esto garantiza la buena y eficaz rotación de los cartuchos o discos.

11.3.3. Inspección del filtro

Se debe inspeccionar visualmente que no existan fugas de líquidos, no se debe acumular suciedad en el Hause Bering, verificar que la tornillería se encuentra en su lugar y bien apretada, verificar la temperatura del motor y que este se encuentre limpio.

Realizar estas inspecciones dos veces al día, para garantizar que el sistema de filtrado se encuentra operando de forma correcta, esto debido a que el líquido a filtrar posee muchas impurezas.

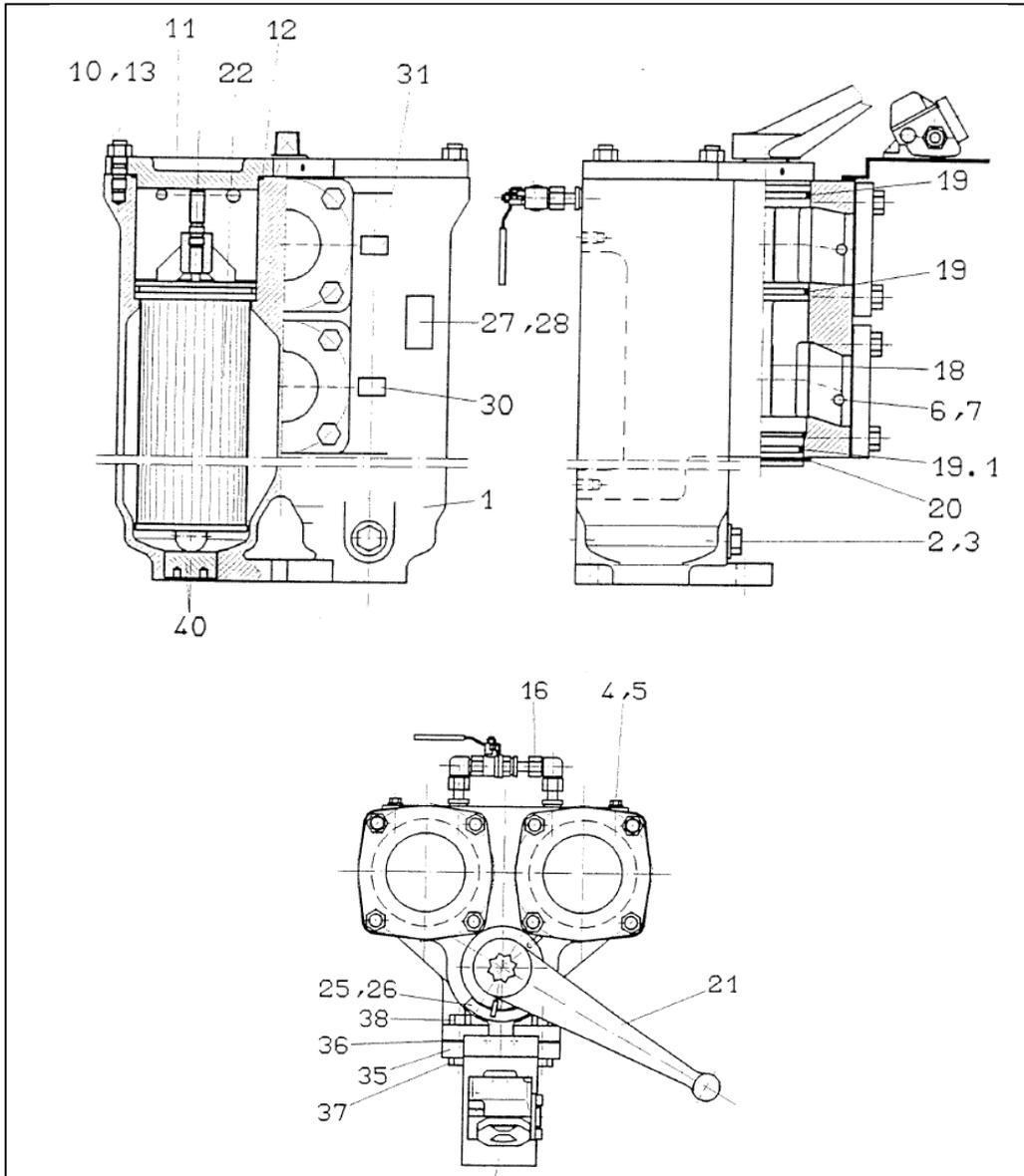
11.4. Almacenamiento

- Si el filtro permanece en almacenamiento más de 12 meses, se debe proteger el housing contra la corrosión con aceite y los elementos del filtro, sumergirlos en aceite.
- Girar el elemento filtrante (izquierda y derecha) para estar seguro de que el elemento gira libremente en ambas direcciones.
- Si el elemento filtrante no se encuentra en el housing, colocar el elemento en una bolsa para evitar la incrustación de elementos dañinos al mismo, como polvo, agua, etcétera.

11.5. Planos del filtro

A continuación se presenta el plano en donde se pueden apreciar los diferentes puntos en donde se deben realizar las inspecciones visuales.

Figura 29. Plano del filtro



Fuente: SCAM DISC. Manual de operación y mantenimiento. p. 15.

CONCLUSIONES

1. Anteriormente no se contaba con un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para las bombas de combustible de aceite reciclado, lo que ocasionaba constantes fallas y paros en los hornos de clínker, por lo que con la ayuda de los técnicos en bombas, manuales del fabricante e historial del equipo, se creó un plan que describe las rutinas necesarias y las frecuencias para realizar los mantenimientos preventivos y los pasos necesarios para realizar cualquier reparación correctiva si se presentara, logrando reducir paros en los hornos de clínker por falta de combustible reutilizable una vez arrancado este plan.
2. Se estableció un programa de mantenimiento preventivo con la elaboración del manual de operaciones de la bomba, donde se describen las características técnicas del equipo y sus partes importantes; con este manual se mejoró el uso del equipo y las condiciones de operación.
3. De acuerdo con el historial del equipo y a la experiencia de los técnicos en bombas de aceite reciclado, se establecieron las fallas más recurrentes del equipo, facilitando las soluciones de las mismas y aplicando el mantenimiento correctivo correspondiente a la falla; con este listado se minimizaron los tiempos de paro por fallas en las bombas de aceite reciclado.

4. Debido a que no se contaba con un plan de frecuencias de mantenimiento preventivo, tomando como base las frecuencias de mantenimiento establecidas anteriormente en otros equipos similares y lo sugerido por el fabricante, se estableció que cada 750 horas de operación continua de las bombas, se realice el mantenimiento preventivo, con lo cual se mejoró el tiempo medio entre fallas de la bomba y aumentó la vida útil de sus partes más importantes.

RECOMENDACIONES

1. Que los técnicos y encargados de las bombas de combustible reutilizable utilicen este plan de mantenimiento preventivo y correctivo, actualizando constantemente para evitar fallas recurrentes y paros en los hornos de clínker por falta de combustible.
2. Que el personal encargado de las bombas de aceite reciclado hagan uso del presente manual y sigan las recomendaciones que en él se describen, ya que de esta forma se aumentará la vida útil del equipo y se garantizará una operación óptima del mismo.
3. Se recomienda a los técnicos en bombas, utilizar el presente manual, donde se describen las principales fallas de la bomba de aceite reciclado, para minimizar el tiempo de reparación; retroalimentándolo constantemente si surgieran fallas no descritas en este manual.
4. Se recomienda al personal de planificación, que el mantenimiento preventivo se realice cada 750 horas para evitar daños en las partes más importantes de la bomba y, garantizar el buen funcionamiento de la misma.

BIBLIOGRAFÍA

1. BOTERO G., Camilo. *Manual de mantenimiento*. Bogotá: Grupo publicaciones SENA Digeneral, 2002. 89 p.
2. CASAL, Joaquim, et al. *Análisis del riesgo en instalaciones industriales*. Barcelona: UPC, 1999. 359 p. ISBN 84-8301-227-8.
3. DUDA, Walter H. *Manual tecnológico del cemento*. 9a ed. España: Editores Técnicos, 2007. 842 p.
4. LEROY SOMER. *Manual de instalación y mantenimiento de motores eléctricos de inducción trifásico de alta y baja frecuencia*. 5a ed. Francia: Ankama Éditorial, 2007. 150 p.
5. PCM PILLAR. *Manual de mantenimiento*. 3a ed. Francia: PCM, PILLAR group, 2007. 180 p.
6. SANCHO BRU, Joaquin Luis. *Mantenimiento mecánico de máquinas*. 4a ed. Bogotá: Grupo publicaciones SENA Digeneral, 2007. 391 p.
7. SCAM DISC. *Manual de operación y mantenimiento*. 3a ed. Francia: Scam Disc group, 2007. 31 p.

ANEXOS

Anexo 1. **Fechas de mantenimiento preventivo**

Fechas de mantenimientos preventivos
para las bombas de aceite reciclado (manto cada 750 horas)

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
31/02/12											
	02/01/2012		02/04/2012								
				03/05/2012							
					04/06/2012						
						05/07/2012					
							06/08/2012				
								06/09/2012			
									08/10/2012		
										08/11/2012	
											10/12/2012

Fuente: PCM PILLAR. Manual de mantenimiento. p. 120.

Anexo 2. **Mantenimiento 750 horas**

Para el siguiente mantenimiento siga estos pasos:

- Llamar al eléctrico de turno para bloquear el equipo
- Avisar a personal de producción de la actividad a realizar
- Cerciorarse que el equipo esta des energizado eléctricamente y por cualquier otro tipo de energía, en este caso hidráulica, verificar que la tubería esa bacía y que no hay presión acumulada en ella.

Herramienta y equipo de protección personal a utilizar en el mantenimiento:

- Juego de Llaves copa corona milimétricas (10 – 24 mm)
- Llave stilson de 24”
- Juego de Llaves Allen milimétricas
- Martillo y cinceles
- Rach raíz 3/4
- Aflojalotodo
- Guaipe
- Casco de seguridad
- Lentes de seguridad
- Botas punta de acero
- Guantes de cuero y de nitrilo

Fuente: Cementos Progreso S.A., planta San Miguel, zona 6, Guatemala.