



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

**MEJORA DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO  
EN LAS BOMBAS IMPULSORAS DE CONCRETO**

**Byron Eleazar Solares Zarceño**  
**Asesorado por el Ing. Héctor Alexander Juárez Reyes**

**Guatemala, junio de 2006**



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**MEJORA DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO  
EN LAS BOMBAS IMPULSORAS DE CONCRETO**

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**BYRON ELEAZAR SOLARES ZARCEÑO**

ASESORADO POR EL ING. HÉCTOR ALEXANDER JUÁREZ REYES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

**GUATEMALA, JUNIO DE 2006**



## UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



### NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Veliz Vargas

### TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Hernán Leonardo Cortés Urioste
EXAMINADOR	Ing. Jaime Humberto Batten Esquivel
EXAMINADOR	Ing. Roberto Valle Gonzáles
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Veliz Vargas



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **MEJORA DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN LAS BOMBAS IMPULSADORAS DE CONCRETO,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha noviembre 2005.

Byron Eleazar Solares Zarceño



Guatemala, 03 de abril del 2006

Ingeniero  
José Francisco Gómez Rivera  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial  
Facultad de Ingeniería  
USAC

Ingeniero Gómez:

Atentamente me dirijo a Usted, para someter a su consideración el trabajo de graduación del estudiante Byron Eleazar Solares Zarceño, previo a obtener el título de Ingeniero Mecánico Industrial.

**El trabajo en mención se titula: MEJORA DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN LAS BOMBAS IMPULSORAS DE CONCRETO.**

El cual he asesorado y revisado por tanto considero que llena satisfactoriamente los requisitos establecidos, por lo que recomiendo su aprobación.

Agradeciendo su atención a la presente y sin otro particular me suscribo.

Atentamente,



Héctor Alexander Juárez Reyes  
Ingeniero Mecánico  
Colegiado No. 5489  
ASESOR DE TESIS



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **MEJORA DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN LAS BOMBAS IMPULSORAS DE CONCRETO**, presentado por el estudiante universitario **Byron Eleazar Solares Zarceño**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Byron Estuardo Ixpatá Reyes  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial

*Byron Estuardo Ixpatá Reyes*  
*Ingeniero Mecánico Industrial*  
*Registro No. 6794*

Guatemala, mayo de 2006.

/mgp



## **AGRADECIMIENTOS**

**EMPRESA MIXTO LISTO, PLANTA SUR.** Por haberme dado la oportunidad de realizar mi trabajo de graduación en sus instalaciones.

**MI PRIMO** Ingeniero Víctor Hugo Blanco, primo y compañero que me apoyo en la realización de mi trabajo de graduación.

**JEFE DE TALLER DE BOMBAS** Ingeniero Erick Tursios, por haberme aceptado en el taller de bombas para que realizara mi trabajo de graduación.

**SUPERVISOR DE TALLER** Ingeniero Rudy López, por haber creado un ambiente de trabajo agradable durante el tiempo que estuve en las instalaciones del taller.



## **ACTO QUE DEDICO A**

- DIOS** Por darme la sabiduría para tomar las decisiones correctas, la fuerza para afrontar los obstáculos de mi vida y la motivación para seguir mis sueños, ya que sin ti nada de esto fuera posible.
- MI MADRE** Noemí Zarceño Cano de Solares, por su amor y cariño incondicional que solo una madre pude dar, permitiéndome tener la confianza para ser una mejor persona cada día.
- MI PADRE** Bernardo Solares Melgar, por el apoyo que me ha dado durante cada etapa de mi vida, el cual me ha permitido cumplir cada una de mis metas trazadas.
- MIS HERMANOS** Andy Noe Solares Zarceño y Hesler Bernardo Solares Zarceño, por estar conmigo en las buenas y en las malas, pero sobre todo por esos gratos momentos que hemos compartido juntos.
- MI FAMILIA** Por los buenos consejos que me brindaron durante el transcurso de mi carrera, los cuales me dieron ánimo para seguir adelante.



- MIS AMIGOS** Por esa buena amistad llena de confianza y lealtad, la cual me ha permitido tener esa seguridad de que siempre estarán allí cuando los necesite.
- LA FACULTAD DE INGENIERÍA** Por darme la oportunidad de adquirir los conocimientos necesarios para desarrollarme, tanto personal como profesionalmente.
- LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS** Por abrirnos las puertas del conocimiento, dándonos la formación académica, cívica, moral y profesional, para poder servir a nuestra patria con lealtad y eficiencia.
- MI ASESOR** Ingeniero Héctor Juárez, con quien tengo una deuda de gratitud por haberme brindado su tiempo y ayuda durante la realización de mi trabajo de graduación, a pesar de los momentos difíciles.



# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>VII</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>XI</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XV</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>XVII</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>XIX</b>
<b>1. ANTECEDENTES GENERALES.....</b>	<b>1</b>
1.1 <b>Mantenimiento industrial.....</b>	<b>1</b>
1.1.1    Beneficios que se obtienen del mantenimiento industrial...	1
1.1.2    Clasificación del mantenimiento industrial.....	2
1.1.2.1    Mantenimiento correctivo.....	2
1.1.2.1.1    Etapas del mantenimiento correctivo.....	3
1.1.2.2    Mantenimiento preventivo.....	3
1.1.2.2.1    Etapas del mantenimiento preventivo.....	4
1.1.2.2.1.1    Operaciones de lubricación y limpieza.....	4
1.1.2.2.1.2    Revisiones preventivas.....	4
1.1.2.2.1.3    Correcciones programadas.....	4
1.1.2.2.1.4    Costos de mantenimiento.....	5
1.1.2.2.1.5    Confiabilidad del equipo.....	7
1.1.2.2.1.6    Disponibilidad del equipo.....	8
1.1.2.3    Mantenimiento predictivo.....	9
1.1.2.4    Mantenimiento proactivo.....	11
1.2 <b>Ingeniería de métodos.....</b>	<b>11</b>
1.2.1    Enfoques primarios para análisis de la operación.....	13
1.2.2    Estándares de tiempo predeterminado.....	14

1.3	Actividad de la empresa.....	16
1.3.1	Breve historia de la empresa.....	16
1.3.2	Misión.....	16
1.3.3	Visión.....	17
1.4	Descripción de las bombas impulsadoras de concreto.....	17
1.4.1	Funcionamiento de las bombas impulsadoras de concreto.....	19
1.4.1.1	Funcionamiento mecánico.....	19
1.4.1.2	Funcionamiento hidráulico.....	21
1.5	Historial del mantenimiento en las bombas impulsadoras de concreto.....	28
1.5.1	Historial de mantenimiento correctivo.....	28
1.5.2	Historial de mantenimiento preventivo.....	30
1.6	Plan de mantenimiento actual.....	30
1.6.1	Procedimientos.....	32
1.6.2	Criterios para medir el rendimiento de mantenimiento.....	33
1.6.3	Herramienta y equipo utilizado.....	34
1.6.4	Programa de mantenimiento preventivo de 4000 m <sup>3</sup> en las bombas impulsadoras de concreto.....	35
1.6.4.1	Frecuencias del plan de mantenimiento preventivo.....	35
1.6.4.2	Rutinas de inspección.....	36
1.6.4.3	Componentes mecánicos sujetos al programa de mantenimiento preventivo.....	36
1.7	Descripción de las tareas del mantenimiento preventivo de 4000m <sup>3</sup> ..	39
1.7.1	Tareas de mantenimiento preventivo del plan de 4000 m <sup>3</sup> .....	39
1.7.2	Tiempo estimado para realizar el mantenimiento preventivo.....	41
1.8	Personal de mantenimiento de bombas impulsadoras de concreto.....	42
1.8.1	Personal disponible para realizar las actividades de mantenimiento.....	42

1.8.2	Turnos de trabajo.....	42
1.9	Distribución del área de trabajo.....	43
<b>2.</b>	<b>EVALUACIÓN DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO.....</b>	<b>45</b>
2.1	Presentación de los hechos.....	45
2.1.1	Diagramas de proceso de operaciones.....	45
2.1.2	Diagrama de pareto aplicado en los antecedentes del mantenimiento en las bombas impulsadoras de concreto.....	48
2.1.3	Diagrama de causa efecto para los tiempos prolongados de mantenimiento.....	50
2.2	Enfoques básicos para el análisis de las operaciones de mantenimiento preventivo de 4000 m <sup>3</sup> .....	51
2.2.1	Propósito de la operación.....	52
2.2.2	Secuencias de las operaciones de mantenimiento preventivo.....	54
2.2.3	Equipo y herramientas.....	54
2.3	Evaluación del plan de mantenimiento preventivo de 4000m <sup>3</sup> .....	56
2.3.1	Análisis de las frecuencias de mantenimiento preventivo.....	57
2.3.2	Programación del personal de mantenimiento.....	59
2.3.3	Análisis de costos para el mantenimiento preventivo actual...	60
2.3.3.1	Histogramas basados en los antecedentes históricos de mantenimiento en bombas impulsadoras de concreto.....	60
2.4	Ventajas y desventajas del programa de mantenimiento preventivo actual.....	61
2.4.1	Ventajas.....	62
2.4.2	Desventajas.....	62

<b>3. MEJORAS PARA EL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....</b>	<b>63</b>
3.1 Propuesta para las frecuencias de mantenimiento preventivo de componentes mecánicos.....	63
3.1.1 Frecuencia de mantenimiento individuales para el equipo.....	63
3.1.2 Rutinas de inspección.....	70
3.2 Mejora en las tareas de mantenimiento preventivo de componentes mecánicos.....	74
3.2.1 Herramienta estandarizada.....	74
3.2.2 Tareas estandarizadas.....	79
3.2.3 Necesidades de personal.....	80
3.2.4 Tiempo estándar para realizar las tareas.....	81
3.3 Personal para el mantenimiento de bombas.....	85
3.3.1 Capacitación.....	85
3.3.2 Organización de personal.....	87
3.4 Integración del mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo..	88
3.4.1 Comparación entre mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo.....	89
3.4.2 Política de mantenimiento menos cara.....	90
<b>4. IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO PROPUESTO.....</b>	<b>95</b>
4.1 Designados a utilizar las propuestas de mejora del programa de mantenimiento preventivo.....	95
4.1.1 Personal encargado de realizar las tareas de mantenimiento preventivo.....	96
4.1.2 Personal administrativo.....	97
4.2 Presentación de la mejora para el programa de manteniendo preventivo.....	97
4.2.1 Presentación de la mejora al personal administrativo.....	97

4.2.2	Presentación de la mejora al personal técnico.....	98
4.3	Encargados de la implementación de la mejora en el programa de mantenimiento preventivo.....	99
4.3.1	Jefe de departamento de bombas.....	99
4.3.2	Supervisor de departamento.....	100
4.3.3	Personal administrativo.....	100
4.4	Tiempo necesario para implementar la mejora en el programa de mantenimiento preventivo.....	101
4.4.1	Tiempo para implementar la mejora en tareas de mantenimiento preventivo.....	101
4.4.2	Tiempo para implementar la mejora de frecuencias de mantenimiento.....	102
<b>5.</b>	<b>SEGUIMIENTO DEL MÉTODO PROPUESTO.....</b>	<b>105</b>
5.1	Criterios para la evaluación de la mejora propuesta.....	105
5.1.1	Informes de mantenimiento.....	105
5.1.1.1	Utilización de índices para evaluar la mejora del programa de mantenimiento preventivo.....	106
5.1.1.1.1	Índice de disponibilidad del equipo.....	106
5.1.1.1.2	Índice de tiempo medio entre mantenimientos preventivos.....	109
5.1.1.1.3	Índice de tiempo medio para intervenciones preventivas.....	109
5.2	Control de la mejora propuestas.....	110
5.2.1	Responsables del control de la mejora propuesta.....	110
5.2.2	Verificación en el sitio de trabajo.....	111
5.2.3	Gráficos para el control de la mejora propuesta.....	111
5.3	Establecimiento de normas.....	112
5.4	Beneficios percibidos.....	114

5.4.1	Costos de mantenimiento preventivo.....	114
5.4.2	Aumento de la confiabilidad del equipo.....	117
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>119</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>121</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>123</b>
<b>APÉNDICE.....</b>		<b>125</b>
<b>ANEXO.....</b>		<b>137</b>

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1	Costos de mantenimiento.....	6
2	Modelos montados en remolque.....	18
3	Modelos de serie de vehiculo.....	18
4	Ciclo de bombeo.....	20
5	Válvula oscilante.....	21
6	Circuito hidráulico, primera fase.....	24
7	Circuito hidráulico, segunda fase.....	25
8	Circuito hidráulico, tercera fase.....	26
9	Circuito hidráulico, cuarta fase.....	27
10	Secciones que conforman el sistema SAP.....	31
11	Herramienta y equipo utilizado.....	34
12	Componentes mecánicos de una bomba marca “Schwing”.....	37
13	Componentes mecánicos de una bomba marca “Putzmeister”.....	38
14	Croquis del área de trabajo del taller de bombas.....	43
15	Diagrama de proceso de operaciones de mantenimiento de bombas “Putzmeister”.....	46
16	Diagrama de proceso de operaciones de mantenimiento de bombas “Schwing”.....	47
17	Diagrama de Pareto sobre mantenimientos correctivos de componentes sujetos al plan de mantenimiento preventivo.....	49

18 Posibles causas de tiempos prolongados de mantenimiento.....	51
19 Extractor para bujes de eje de válvula oscilante.....	56
20 Capacidad de bombeo para diferentes tipos de bombas.....	58
21 Histograma de costos de mantenimiento preventivo de 4000 m <sup>3</sup> .....	61
22 Diagrama de Pareto de segundo orden sobre frecuencias de reconstrucción de válvula oscilante en los grupos de bombas.....	64
23 Diagrama de Pareto de segundo orden sobre frecuencias de cambio de cabezas de pistón en los grupos de bombas.....	65
24 Hoja de inspección para válvula oscilante “Schwing”.....	71
25 Hoja de inspección para válvula oscilante “Putzmeister”.....	72
26 Extractor de manguito de presión (desmontaje).....	75
27 Extractor de manguito de presión (montaje).....	76
28 Inmersión de la camisa de desgaste en aceite caliente.....	78
29 Cómo desmontar el plato final de válvula oscilante.....	79
30 Empleados involucrados y procedimientos adecuados de una buena estrategia de mantenimiento.....	88
31 Diagrama de Gantt.....	102
32 Lubricación central en tolva.....	103
33 Gráficos de control.....	112
34 Diagrama de operaciones de mantenimiento preventivo.....	126
35 Lista de chequeo .....	141

## TABLAS

<b>I</b>	Historial de mantenimiento correctivo.....	29
<b>II</b>	Historial de mantenimiento preventivo.....	30
<b>III</b>	Tareas de mantenimiento preventivo.....	40
<b>IV</b>	Agrupación de bombas basándose en la capacidad de bombeo.....	64
<b>V</b>	Estado de los componentes sujetos al plan de mantenimiento preventivo de 4000 m <sup>3</sup> .....	67
<b>VI</b>	Estado de los componentes sujetos al plan de mantenimiento preventivo de 4000 m <sup>3</sup> .....	67
<b>VII</b>	Plan de mantenimiento individual.....	69
<b>VIII</b>	Grosor de pared permisible.....	73
<b>IX</b>	Análisis MTM-2.....	84
<b>X</b>	Matriz de competencias laborales.....	86
<b>XI</b>	Costos de mantenimiento preventivo Vrs. mantenimiento correctivo.....	92
<b>XII</b>	Disponibilidad de bombas.....	108
<b>XIII</b>	Objetivos de mantenimiento.....	113
<b>XIV</b>	Comparación entre costos del plan actual y el propuesto.....	114
<b>XV</b>	Ahorro en costos de mantenimiento preventivo.....	116
<b>XVI</b>	Historial de mantenimiento preventivo.....	138



## GLOSARIO

<b>Abrasión</b>	Acción de quitar, arrancar o desprender partes de las piezas mecánicas en movimiento debido a la fricción existente.
<b>Brida</b>	Reborde circular en el extremo de los tubos metálicos para acoplar unos a otros con tornillos o roblones.
<b>Buje</b>	Pieza en que se apoya y gira un eje.
<b>Lista de chequeo</b>	Lista de todos los componentes que se deben inspeccionar durante una rutina de inspección.
<b>Coefficiente de fricción</b>	Es la relación entre la magnitud de la fuerza de fricción y la magnitud de la fuerza normal.
<b>Cojinete</b>	Pieza o conjunto de piezas en que se apoya y gira el eje de un mecanismo.
<b>Confiabilidad</b>	Probabilidad de que una parte de la máquina o del producto funcione adecuadamente en un momento determinado y bajo unas condiciones establecidas.
<b>Desgaste</b>	Partes pequeñas de material que se han desprendido debido al uso o por el roce de dos superficies en contacto.

<b>Disponibilidad</b>	Porcentaje del tiempo en que una maquina esta en condiciones de uso para desempeñar su actividad.
<b>Emboladas</b>	Volumen de concreto bombeado por un cilindro de suministro.
<b>Émbolo</b>	Pieza que se mueve alternativamente en el interior de un cuerpo de bomba o del cilindro de una máquina para comprimir un fluido o recibir de él movimiento.
<b>Husillo</b>	Tornillo de hierro o madera que se usa para el movimiento de las prensas y otras máquinas.
<b>Lubricación</b>	El propósito de la lubricación es reducir o, con mayor exactitud, controlar el desgaste.
<b>Orden de trabajo</b>	Fuente de datos relativos a las actividades desarrolladas por el personal de ejecución de mantenimiento, debe incluir el tipo de actividad, su prioridad, falla encontrada y como fue reparada, duración, recursos humanos, materiales, herramientas, etc.
<b>Plumas</b>	Las plumas están incorporadas a las bombas, conectadas a la salida de las mismas, las cuales tienen movimientos semejantes a los brazos de los seres humanos, y se utilizan para colocar la tubería de suministro en una posición determinada para bombear el concreto.

<b>SAP</b>	Sistema administrativo de planificación. Este es un programa computarizado, en ambiente <i>Windows</i> , y estructura de base de datos que tiene por objeto primordial administrar de manera rápida y eficiente todas las operaciones que se llevan a cabo en un negocio.
<b>Stock de repuestos</b>	Es un nivel de inventario que se utiliza para cubrir las diferencias de tiempo en la entrega de repuestos por parte de los proveedores.
<b>Tiempo estándar</b>	Valor de tiempo unitario para una tarea que se determina por aplicación apropiada de las técnicas de la medición de trabajo mediante personal calificado.
<b>Tiempo muerto</b>	Intervalo de tiempo correspondiente a la suspensión de las operaciones debido a descomposturas de la herramienta o maquinaria, falta de material, etc.
<b>Tolerancias</b>	Diferencia necesaria en las dimensiones para asegurar el funcionamiento adecuado de las partes de acoplamiento.
<b>Ultrasónico</b>	Sonido cuya frecuencia de vibraciones es superior al límite perceptible por el oído humano. Tiene muchas aplicaciones industriales, entre ellas la medición del espesor de tuberías.



## **RESUMEN**

El presente trabajo de graduación tiene los lineamientos sobre cómo realizar la evaluación, proponer e implementar mejoras en un programa de mantenimiento preventivo. Dicho trabajo está enfocado al mantenimiento de bombas impulsadoras de concreto, pero el procedimiento es igualmente válido para proponer mejoras en cualquier centro de trabajo.

En el capítulo uno se describen los aspectos históricos y la situación actual de la empresa, los métodos que se utilizan para el mantenimiento preventivo de las bombas impulsadoras de concreto, los procesos, las herramientas que se utilizan y la mano de obra disponible para realizar el trabajo, costos del mantenimiento, confiabilidad y disponibilidad actuales, además de una descripción del funcionamiento de las bombas impulsadoras de concreto.

En el capítulo dos se realizará un análisis sistemático de las operaciones y de los métodos utilizados actualmente. Para una mejor visualización y comprensión de la información recopilada se realizarán diagramas de operaciones conjuntamente con un estudio de tiempos y se utilizarán herramientas de diagnóstico como el diagrama causa-efecto, diagrama de Pareto, etc. para analizar el método actual. También se analizarán los costos involucrados en el mantenimiento preventivo.

Luego de recopilar y analizar la información obtenida de la evaluación, en el capítulo tres se realizarán las propuestas de mejora que se crean convenientes, considerando el área de trabajo, mano de obra disponible, herramientas, etc.

En el capítulo cuatro se indica la manera de implementar el método, describiendo los procedimientos para introducir el método de trabajo propuesto. Una vez que se implementa el nuevo método es necesario que se le de un seguimiento, para garantizar que el método se cumpla de la forma en que fue creado, por lo que en el capítulo cinco se describe la manera de cómo realizar dicho seguimiento.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Contribuir con el mejoramiento del programa de mantenimiento preventivo de las bombas impulsadoras de concreto, con el fin de aumentar su eficiencia y reducir costos.

### **ESPECÍFICOS**

1. Realizar una evaluación preliminar del programa de mantenimiento preventivo actual.
2. Identificar las tareas involucrada en el mantenimiento preventivo de los componentes mecánicos y utilizar los enfoques necesarios para el análisis de operación.
3. Estandarizar las actividades de mantenimiento preventivo, para aumentar la productividad del programa de mantenimiento.
4. Aumentar los índices de disponibilidad y confiabilidad de las bombas impulsadoras de concreto controlando los costos.
5. Integrar los programas de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo (análisis de aceite) que se utilizan actualmente, para obtener un equilibrio entre los costos de cada plan.



## INTRODUCCIÓN

El entorno global al que toda empresa se está enfrentando exige el estudio incesante de todas las operaciones realizadas por la organización. En este caso se decidió analizar las operaciones de mantenimiento preventivo de las bombas impulsadoras de concreto de la Empresa Mezcladora MIXTO LISTO, la cual presta los servicios de suministro de concreto para las obras de construcción, debido a que dicho equipo es fundamental para prestar un buen servicio y por lo tanto, debe de estar en óptimas condiciones para que no falle durante el servicio, así como, tener una confiabilidad y disponibilidad elevada.

Se puede decir que la confiabilidad, la disponibilidad y los costos son los principales parámetros utilizados para medir el rendimiento de un programa de mantenimiento, por lo tanto, la propuesta de mejoramiento de mantenimiento preventivo en las bombas impulsadoras de concreto que se presenta en el siguiente trabajo se centra en mejorar cada uno de estos parámetros, para que dicha propuesta se implemente con éxito. Por esta razón, se realizará un análisis de la confiabilidad y la disponibilidad que tiene el equipo, del costo promedio que tiene el mantenimiento preventivo actual y el ahorro que pueda generar. Con el objeto de obtener un marco de referencia para medir los resultados del método propuesto.

Toda propuesta de mejora debe empezar con una evaluación sistemática de la situación actual que tiene la empresa, incluyendo las ventajas y desventajas del método, compararlo con los estándares establecidos y determinar si se están cumpliendo con los objetivos propuestos, luego de que se reúna la información necesaria que será analizada y utilizada para la toma de decisiones se procede a proponer la mejora que posteriormente será implantada con un plan de seguimiento y control. La propuesta de mejora se debe de realizar en colaboración con todos los niveles organizacionales de la empresa, especialmente con los encargados de realizar las actividades de mantenimiento y operación, debido a que son ellos los que mejor conocen el método actual y por lo tanto, sus sugerencias son muy importantes, además de que tomarlos en cuenta puede ayudar a disminuir la resistencia al cambio.

# **1. ANTECEDENTES GENERALES**

## **1.1 Mantenimiento industrial**

El mantenimiento industrial se define como el efecto de mantener o sustentar, proveer, conservar y sostener una serie de actividades encaminadas en forma lógica y ordenada en la aplicación de conocimientos y habilidades técnicas a través de la utilización de recursos adecuados como: herramientas, manuales, etc. que proporcionarán la facilidad de armar y desarmar un equipo específico para la verificación del estado interno de sus componentes.

El mantenimiento industrial es un efecto de mantener o conservar un equipo de índole industrial en condiciones óptimas de funcionamiento o bien, en condiciones similares a las originales en las que se adquirió el equipo nuevo como tal. Se constituye como una serie de actividades destinadas a corregir, prevenir y predecir fallas en instalaciones o equipos buscando que éstos se encuentren disponibles o bien presten el servicio para el cual fueron diseñados.

### **1.1.1 Beneficios que se obtienen del mantenimiento industrial**

Toda empresa que tenga un eficaz programa de mantenimiento industrial, podrá alcanzar una ventaja competitiva mediante los beneficios siguientes:

1. Minimización de los costos de producción por paradas no planeadas del equipo debido a daños y reparaciones.
2. Maximización del uso del capital invertido en las instalaciones y equipos para incrementar su vida útil.

3. Minimización de los costos de operación y servicio de mantenimiento para incrementar los beneficios de la actividad industrial.
4. Garantizar la seguridad industrial, en cuanto a la operación segura del equipo.

### **1.1.2 Clasificación del mantenimiento industrial**

El mantenimiento industrial se clasifica en:

- a) Mantenimiento correctivo
- b) Mantenimiento preventivo
- c) Mantenimiento predictivo
- d) Mantenimiento proactivo

#### **1.1.2.1 Mantenimiento correctivo**

Este es aquel tipo de mantenimiento, en el que la maquinaria, equipo o sistema no define el tiempo en el cual se va a realizar. Se conoce también como mantenimiento de fallas ya que no se anticipa a nada y se espera hasta que el equipo se interrumpa en su funcionamiento para poder intervenir o bien repararse. Es muy costoso y se corre el riesgo de que se dañen otros componentes del equipo. Este tipo de mantenimiento es propio de las empresas pequeñas y de bajo volumen de producción.

### **1.1.2.1.1 Etapas del mantenimiento correctivo**

Si bien el mantenimiento correctivo no se anticipa a nada y se espera hasta que el equipo falle para poder intervenir, una vez que esto sucede es necesario tomar en cuenta las siguientes etapas:

1. Identificación del problema raíz y sus posibles causas.
2. Estudio de las diferentes opciones para proceder a la reparación.
3. Evaluación de las ventajas de cada opción y escoger la mejor o la que mejore el proceso.
4. Planear la intervención o reparación de acuerdo con el equipo y el personal que se encuentre disponible en ese momento.

### **1.1.2.2 Mantenimiento preventivo**

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

Los altos niveles de productividad que se requieren en la actualidad, exigen la implementación de un sistema de mantenimiento preventivo que permita aumentar la eficiencia de los equipos la cual es directamente proporcional a la calidad de la información con que se cuenta para llevarla a cabo.

### **1.1.2.2.1 Etapas del mantenimiento preventivo**

Para que un programa de mantenimiento preventivo tenga éxito, es necesario considerar algunas etapas en el momento de su planificación.

#### **1.1.2.2.1.1 Operaciones de lubricación y limpieza**

Es un conjunto de actividades programadas rutinarias y periódicas. Consiste en localizar los puntos críticos de lubricación en el equipo identificando adecuadamente los puntos de desgaste, los cuales deberán estar sometidos periódicamente a algún agente lubricante como aceite, grasa, etc., para que así se reduzca el coeficiente de fricción.

#### **1.1.2.2.1.2 Revisiones preventivas**

Es una labor sistemática en la cual se fundamenta el éxito del mantenimiento preventivo y la cual consiste en recoger información sobre el estado de las partes que comprenden un equipo en particular a fin de detectar posibles puntos de fallo o partes en mal estado que puedan provocar un fallo en el futuro, que permita definir las frecuencias de las revisiones.

#### **1.1.2.2.1.3 Correcciones programadas**

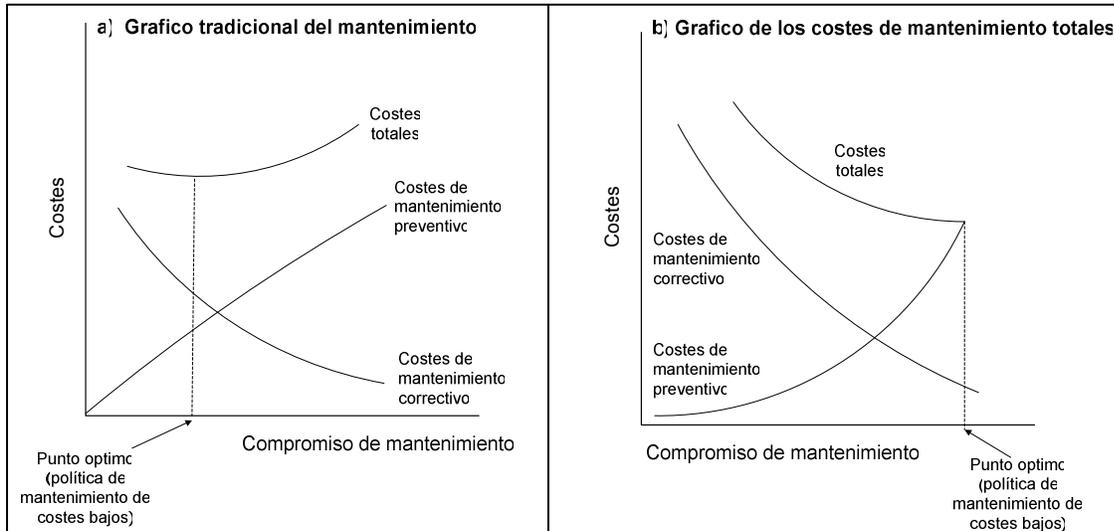
También se llama correctivo programado y en la mayoría de los casos es una consecuencia de haber realizado una revisión preventiva en la cual se determino la necesidad de reparar o reponer algún elemento del equipo que se encontraba en mal estado y era casi imposible prolongar su funcionamiento en la maquina o equipo.

#### **1.1.2.2.1.4 Costos de mantenimiento**

En la figura 1(a) se muestra el gráfico del mantenimiento preventivo y del mantenimiento correctivo. Según este enfoque, los directivos de operaciones buscan un equilibrio entre los costos de ambos. Por un lado, asignan un mayor número de recursos al mantenimiento preventivo, para reducir el número de fallos. Sin embargo, en algún punto, el descenso de los costos de mantenimiento correctivo puede ser menor que el aumento de los costos de mantenimiento preventivo. En este punto, la curva de costos totales comenzará a ascender. Más allá de este punto óptimo, es mejor que la empresa espere a que se produzca una avería y que la repare cuando ocurra.

Desgraciadamente, las curvas de costos como la representada en la Figura 1(a) rara vez consideran los costos totales de la avería. Muchos costos se ignoran por no estar directamente relacionados con una avería inmediata. Por ejemplo, no se suele considerar el costo del tiempo muerto, sin mencionar que este tiempo muerto tiene un efecto devastador sobre la moral: los empleados pueden empezar a creer que no es importante alcanzar el estándar de rendimiento, ni tampoco el mantenimiento del equipo. Por último, el tiempo muerto afecta negativamente a los horarios de entrega, y daña las relaciones con los clientes y ventas futuras. Cuando se tiene en cuenta todo el impacto de los fallos, la Figura 1(a) puede representar mejor los costos de mantenimiento. En la figura 1(b), los costos totales son mínimos cuando el sistema no falla.

**Figura 1. Costos de mantenimiento**



**Fuente: Jay Heizer, Barry Render. Dirección de la producción, decisiones tácticas. 6ª Edición. Prentice Hall**

Si se supone que se han identificado todos los costos potenciales asociados al tiempo muerto, el personal de operaciones puede calcular teóricamente el nivel óptimo de la actividad de mantenimiento. Este análisis requiere datos históricos exactos de los costos de mantenimiento, de las probabilidades de averías, y de los tiempos de reparación.

### 1.1.2.2.1.5 Fiabilidad del equipo

La fiabilidad es la probabilidad de que una parte de la máquina o componente funcione adecuadamente en un momento determinado y bajo unas condiciones establecidas. Los sistemas se componen de elementos individuales relacionados entre si, cada uno de los cuales desempeña una función determinada. Si, por cualquier motivo, uno de los componentes falla al realizar su función, puede fallar la totalidad del sistema (por ejemplo, un avión o una máquina). Se dice que cuando aumenta el número de componentes de una máquina, desciende rápidamente la fiabilidad de todo el sistema o máquina. Un método para calcular un sistema de fiabilidad es simple. Consiste en calcular el producto de las fiabilidades de cada componente de la siguiente manera:

$$F_s = F_1 * F_2 * F_3 * \dots * F_n$$

Donde **F<sub>1</sub> = Fiabilidad del componente 1**

**F<sub>2</sub> = Fiabilidad del componente 2**

Y así sucesivamente.

La ecuación anterior indica que la fiabilidad de un componente individual no depende de la fiabilidad de los otros componentes, esto quiere decir que cada componente es independiente. Además, en esta ecuación, como en la mayor parte de las representaciones de la fiabilidad, esta se expresa en términos de probabilidad. Por lo tanto, una fiabilidad del 0.90 significa que la unidad realizará su funcionamiento el 90% del tiempo. También significa que fallará  $1 - 0.90 = 0.10 = 10\%$  del tiempo.

La unidad básica de medida de fiabilidad es el índice de fallos del producto (FR; por sus siglas en inglés). El índice de fallos mide el porcentaje de fallos en relación con el número total de los productos examinados, FR%, o el número de fallos durante un determinado período de tiempo.

$$FR(\%) = \frac{\text{Número de fallos}}{\text{Número de unidades probadas}} * 100$$

$$FR(N) = \frac{\text{Número de fallos}}{\text{Número de unidades por hora del tiempo de operación}}$$

El término más común en el análisis de la fiabilidad es el tiempo medio entre fallos (TMEF), que es la inversa de FR(N).

$$TMEF = \frac{1}{FR(N)}$$

#### 1.1.2.2.1.6 Disponibilidad del equipo

La disponibilidad del equipo se define como la relación entre la diferencia del número de horas del período considerado u horas calendario con el número de horas de intervenciones por el personal de mantenimiento, ya sea mantenimiento preventivo por tiempo o por estado, mantenimiento correctivo u otros servicios, para cada ítem observado y el número total de horas del período considerado.

$$DISP = \frac{\sum (HCAL - HTMN)}{\sum HCAL} * 100$$

La disponibilidad de un ítem representa el porcentaje del tiempo en que quedó a disponibilidad del órgano de operación para desempeñar su actividad.

### **1.1.2.3 Mantenimiento predictivo**

Es aquel tipo de mantenimiento que se basa en pruebas no destructivas, a fin de conocer el desgaste, vibraciones, temperaturas, fracturas o rupturas de una máquina o elemento de máquina, además de ruidos poco usuales o extraños en el funcionamiento de la máquina o elementos de máquinas, para encontrar posibles fallas en el equipo y así poder intervenir oportunamente, planificando y programando los recursos necesarios para realizar el mantenimiento correspondiente.

En pruebas de desgaste, se suelen tomar muestras del aceite para aquellos equipos que lo utilicen como medio de lubricación, a fin de conocer la magnitud de cuerpos extraños suspendidos en el aceite y así determinar su origen, el cual pudiera ser producto de desgaste de dos elementos mecánicos con insuficiente lubricación o bien impurezas propias por un mal filtrado del aceite lubricante. Para dichas pruebas se utilizan equipos de medición como espectrofotómetros de radiación atómica, que identifican y analizan el aceite lubricante y a su vez los cuerpos extraños como el vanadio, cromo, magnesio, aluminio, cloro, minerales, entre otros. La finalidad del mantenimiento predictivo es tener conocimiento del momento exacto o aproximado del fallo del equipo.

Como parte de los estudios se debe incluir los siguientes.

- a) **Vibraciones:** se realizan con aparatos que miden la amplitud de onda en un eje específico o bien en algún elemento de máquina, a fin de determinar la comparación entre los límites normalizados de vibración mostrados por el fabricante en pruebas ideales de instalación del equipo.
- b) **Temperatura:** se utilizan equipos de termografía como pirómetros, termómetros láser o de contacto, en altas temperaturas, a fin de conocer la magnitud de la fricción existente en un mecanismo específico.
- c) **Fractura:** a través de radiografías o químicos especiales que revelen el punto exacto de micro fracturas, o bien fracturas expuestas de un elemento de máquina específico.
- d) **Ruidos:** utilización de estetoscopios especiales para maquinaria que revelen posibles elementos sometidos a fricción, vibraciones extremas.
- e) **Análisis de aceite:** es una de las mejores herramientas para la elaboración de planes de mantenimiento predictivo, pues permite conocer que está pasando en el interior del equipo tomando una muestra de aceite y analizándola para determinar qué partículas metálicas están suspendidas en el aceite.

#### **1.1.2.4 Mantenimiento proactivo**

Su aplicación se inició a principio de los años 90, es un tipo de mantenimiento que concierne a toda la empresa, se aplican los tres tipos de mantenimiento, mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo, además de que en cualquier actuación correctiva, se busca el porqué de la avería y cuáles son los medios que debemos aplicar para que no vuelva a suceder.

Aplicando el mantenimiento proactivo, el preventivo ya no depende del tiempo exclusivamente, sino que las actuaciones varían para conseguir optimizarlos, de tal forma que el mantenimiento sea un beneficio para su centro.

### **1.2 Ingeniería de métodos**

La ingeniería de métodos se puede definir como el conjunto de procedimientos sistemáticos para someter a todas las operaciones de trabajo directo e indirecto a un concienzudo estudio, con vista a introducir mejoras que faciliten más la realización del trabajo y que permitan que éste se haga en el menor tiempo posible y con una menor inversión por unidad producida. Por lo tanto, el objetivo final de la ingeniería de métodos es el incremento en las utilidades de la empresa.

Los términos análisis de operaciones, simplificación del trabajo e ingeniería de métodos se utilizan con frecuencia como sinónimos. En la mayor parte de los casos se refieren a una técnica para aumentar la productividad y, en consecuencia, reducir el costo.

La ingeniería de métodos, implica trabajo de análisis en dos etapas. Inicialmente, el ingeniero de métodos está encargado de idear y preparar los centros de trabajo donde se fabricará el producto. En segundo lugar, continuamente estudiará una y otra vez cada centro de trabajo para hallar una mejor manera de realizar las operaciones. Cuanto más completo sea el estudio de métodos efectuado durante las etapas de planificación, tanto menor será la necesidad de estudios de métodos adicionales durante la vida del producto o servicio.

Para desarrollar un centro de trabajo, fabricar un producto o proporcionar un servicio, el ingeniero de métodos debe seguir un procedimiento sistemático, el cual comprende las siguientes operaciones:

1. **Selección del proyecto:** por lo común, los proyectos seleccionados representan nuevos centros de trabajo o centros existentes que tienen altos costos y rinden una baja utilidad o beneficio económico.
2. **Obtención de los hechos:** reunir todos los hechos importantes relacionados con el centro de trabajo. Esto incluye dibujos y especificaciones, requerimientos cuantitativos, requerimiento de distribución y proyecciones acerca de la vida prevista del producto o servicio.
3. **Presentación de los hechos:** cuando toda información importante ha sido recabada, se registra en forma ordenada para su estudio y análisis. La elaboración de diagramas de proceso en este punto es muy útil.
4. **Efectuar un análisis:** utilídense los planteamientos primarios en el análisis de operaciones y los principios del estudio de movimientos para decidir sobre cuál alternativa produce el mejor servicio o producto.

5. **Desarrollo del método ideal:** seleccionar el mejor procedimiento para cada operación, inspección y transporte considerando las variadas restricciones asociadas a cada alternativa.
6. **Presentación del método:** explicar el método propuesto en detalle a los responsables de su operación y mantenimiento.
7. **Implementación del método:** considerar todos los detalles del centro de trabajo para asegurar que el método propuesto dará los resultados anticipados.
8. **Desarrollo de un análisis de trabajo:** efectuar un análisis de trabajo del método implementado para asegurar que el operador u operadores están adecuadamente capacitados, seleccionados y estimulados.
9. **Establecimiento de estándares de tiempo:** establecer un estándar justo y equitativo para el método implementado.
10. **Seguimiento del método:** a intervalos regulares hacer una revisión o examen del método implementado para determinar si la productividad anticipada se está cumpliendo, si los costos fueron proyectados correctamente y si se pueden hacer mejoras posteriores.

### **1.2.1 Enfoques primarios para análisis de la operación**

Cuando los diez enfoques principales se emplean en el estudio de cada operación individual, la atención se centra en los puntos que con mayor probabilidad pueden producir mejoras. Todos estos enfoques no serán aplicables a cada actividad, pero generalmente más de uno debe ser considerado.

El método de análisis recomendado es tomar cada paso del método actual y analizarlo teniendo en mente un enfoque claro y específico hacia el mejoramiento, considerando todos los puntos clave del análisis. Luego se debe seguir el mismo procedimiento con las operaciones de inspección, traslados, almacenamientos, etc., según se indica en el diagrama de flujo. Por lo tanto, después de que cada elemento ha sido analizado, conviene considerar en conjunto el proceso en estudio en lugar de sus componentes elementales, y reconsiderar todos los puntos de análisis con vistas hacia la posibilidad de mejoras globales. Los diez enfoques primarios del análisis de operación son los siguientes:

1. Finalidad de la operación
2. Diseño de partes
3. Tolerancias y especificaciones
4. Materiales
5. Procesos de fabricación
6. Montaje y herramientas
7. Condiciones de trabajo
8. Manejo de materiales
9. Distribución en la fabrica
10. Principio de economía de movimientos

### **1.2.3 Estándares de tiempo predeterminado**

Además de la experiencia histórica y del estudio de tiempos, se pueden fijar estándares en las operaciones utilizando estándares de tiempo predeterminados. Los estándares de tiempo predeterminados dividen el trabajo manual en pequeños elementos básicos que ya tienen tiempos establecidos, basados en varias muestras de empleados.

Para estimar el tiempo de una tarea en particular, se suman los factores de tiempo de cada elemento básico de esa tarea. El desarrollo de un sistema exhaustivo de estándares de tiempo predeterminados sería muy caro para cualquier empresa. Por este motivo, existen varios sistemas comercialmente disponibles. El estándar de tiempo predeterminado más frecuente es el *método de la medida del tiempo* (MTM), que es producto de MTM Association<sup>1</sup>.

Los estándares de tiempo predeterminado suponen un desarrollo de los movimientos básicos, denominados *therbligs*. El término *therblig* fue establecido por Frank Gilbreth (Gilbreth deletreado al revés con la t y la h cambiadas). Los *therbligs* incluyen actividades como seleccionar, agarrar, colocar, encajar, alcanzar, sostener, apoyar o inspeccionar. Estas actividades se fijan en términos de unidades de medida de tiempo (UTM), cada una de las cuales es igual a 0.00001 horas o 0.0006 minutos. Los valores de MMT para diversos *therbligs* se especifican detalladamente en distintas tablas.

Los estándares de tiempo predeterminados tienen muchas ventajas sobre los estudios de tiempo en directo. En primer lugar, se puede establecer en el entorno de un laboratorio, donde el procedimiento no perjudicará a las actividades de producción actuales, lo que sí ocurre con el estudio de tiempos. En segundo lugar, como el estándar se puede fijar antes de realizar la tarea, se puede utilizar para la planificación. En tercer lugar, no se necesita un ritmo de realización. Por último, los tiempos estándar predeterminados son especialmente efectivos en las empresas que realizan diversos estudios en los que las tareas son similares.

---

<sup>1</sup> MMT es realmente una familia de productos disponible en Methods Time Association. Por ejemplo, MMT-HC tiene relación con el sector de la atención sanitaria, MMT-C se ocupa de las actividades de oficina, MMT-M implica actividades microscópicas, MMT-V tiene que ver con las tareas de talleres de máquinas herramientas, y así sucesivamente.

Para asegurar la precisión de los estándares de trabajo, algunas empresas utilizan el estudio de tiempos y los estándares de tiempo predeterminados.

### **1.3 Actividad de la empresa**

Mixto Listo es una empresa que se dedica al suministro de concreto premezclado para obras de construcción. Para proveer dicho servicio la empresa utiliza camiones mezcladores, bombas impulsadoras de concreto, plantas eléctricas y otros equipos.

#### **1.3.1 Breve historia de la empresa**

Mixto Listo inició operaciones en noviembre de 1954 en la zona 6, finca La Pedrera contando con una planta de producción de concreto premezclado. En 1958 y 1965 inició la construcción de la segunda y tercera planta de producción de concreto premezclado, respectivamente. Luego en 1987 inició la diversificación de sus productos a través de la producción de bolsas de mezclas predosificadas, concretos y repellos en la planta de la zona 6, ya para diciembre de 1994 se construyeron dos silos de cemento con capacidad de 7,000 y 10,000 sacos para las plantas de las zonas 6 y 12. Mixto Listo cuenta con una flotilla de más de 200 vehículos, buscando dar un servicio de calidad y, así, ampliar su cobertura.

#### **1.3.2 Misión**

Servir concreto y productos complementarios en todas las construcciones, a un precio justo y rentable, cumpliendo las especificaciones y excediendo las expectativas del cliente.

### **1.3.3 Visión**

Ser la empresa más confiable en soluciones de concreto y la primera alternativa para la industria de la construcción.

### **1.4 Descripción de las bombas impulsadoras de concreto**

Las bombas impulsadoras de concreto que se emplean y por lo tanto, que se someten al programa de mantenimiento preventivo son las bombas de pistón con válvula oscilante. Estas bombas operan hidráulica, mecánica y eléctricamente, están diseñadas para bombear concreto húmedo a través de un sistema de suministro por tuberías o mangueras. Son de construcción robusta y durable lo que permite a la unidad bombear las más difíciles mezclas dentro de las especificaciones y los rangos establecidos por cada fabricante. La operación normal es controlada por el panel de control convenientemente localizado en la unidad.

Actualmente se cuenta con bombas de dos marcas diferentes la “Putzmeister” y la “Schwing”, aunque sus diseños son muy similares, tienen algunas variantes que se expondrán mas adelante. Los dos grandes grupos en que se clasifican las bombas para ambas marcas son: El modelo montado en remolque, provisto de un motor diesel y la unidad bombeadora montados sobre un remolque transportable, con un sistema completo de gancho y frenos (figura 2), y por otro lado se tiene el modelo de la serie de vehículo en el cual la unidad bombeadora esta sobre un chasis de camión y es el motor Diesel del camión que se utiliza también para accionar la bomba, este modelo se divide a su vez en otros dos, las bombas montadas en camión y las plumas, que son bombas montadas en camión, pero además tienen plumas incorporadas a las bombas, que están conectadas a la salida de las mismas.

Las plumas, con movimientos semejantes a los brazos de los seres humanos, son operadas por el mismo personal que conduce la bomba. Los modelos descritos anteriormente se ilustran a continuación, ver figura 3.

**Figura 2. Modelo montado en remolque**



Fuente: Pagina Web de Schwing. [www.Schwing.com](http://www.Schwing.com)

**Figura 3. Modelo de serie de vehiculo**



Fuente: Pagina Web de Putzmeister. [www.Putzmeister.com](http://www.Putzmeister.com)

### **1.4.1 Funcionamiento de las bombas impulsadoras de concreto**

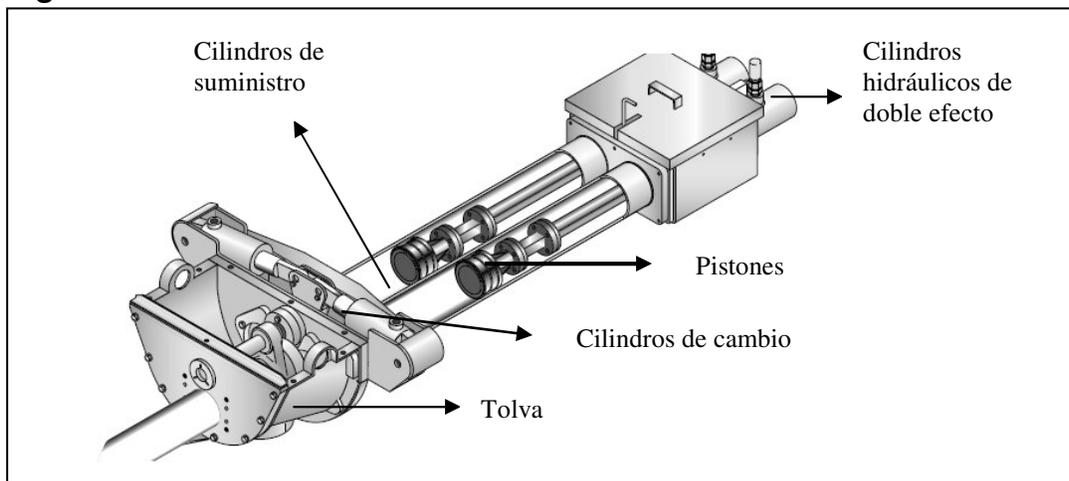
Básicamente el funcionamiento de las bombas de pistón con válvula oscilante es el siguiente: Un motor Diesel montado sobre camión o remolque operado a ciertas revoluciones RPM preseleccionadas, acciona una bomba hidráulica principal. Esta bomba hidráulica de desplazamiento variable se emplea para activar los dos cilindros hidráulicos, que accionan a su vez, los dos pistones que se encuentran en los cilindros de suministro de material. Una válvula oscilante, llamada así debido a que oscila de un lado a otro para cambiar de un cilindro de suministro a otro, diseñada para que el sistema cambie automáticamente de un cilindro de material a otro, para lograr un flujo continuo a través del sistema de suministro y una tolva estándar que es donde se deposita el concreto que será bombeado, ver figura 4.

#### **1.4.1.1 Funcionamiento mecánico**

En el ciclo de bombeo se produce un flujo continuo de concreto a través de la línea de alimentación, mediante la operación alterna de los pistones en los cilindros de suministro, los cuales están acoplados con los cilindros hidráulicos de doble efecto y tiene abierta la boca de alimentación de la tolva, cuando el cilindro hidráulico hala el pistón del cilindro de alimentación, el concreto es arrastrado por succión de la tolva al interior del cilindro de alimentación. Después de alcanzar su máxima posición de retracción, se envía una señal eléctrica o neumática, dependiendo la marca y el modelo a la válvula de cambio de dirección de la válvula oscilante.

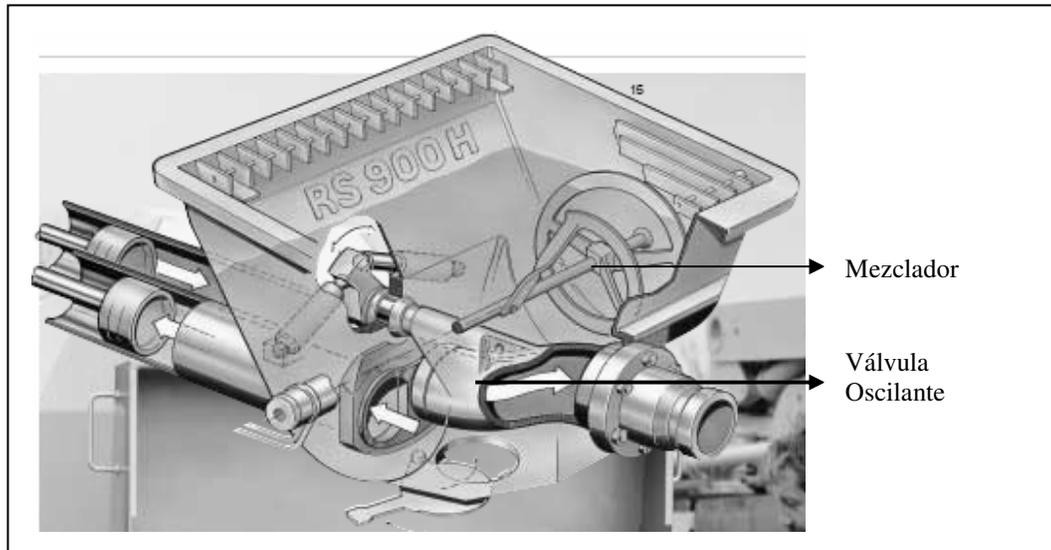
Ahora la válvula oscilante cambia de dirección por medio de los cilindros de cambio o cilindro buzo, hacia el cilindro de alimentación cargado, el cilindro hidráulico se extiende y el pistón del cilindro de alimentación impulsa el concreto a través de la válvula oscilante y expulsa la descarga hacia el interior de la línea o tubería de alimentación, ver Figura 5. El ciclo se repite con el otro cilindro, suministrando ininterrumpidamente el flujo de concreto. Mientras se repite el ciclo una y otra vez una mezcladora convenientemente colocada en la tolva gira constantemente, con el objeto de mantener la homogeneidad en el concreto.

**Figura 4. Ciclo de bombeo**



Fuente. Pagina web de Schwing. [www.Schwing.com](http://www.Schwing.com)

**Figura 5. Válvula oscilante**



Fuente. Pagina web de Putzmeister. [www.Putzmeister.com](http://www.Putzmeister.com)

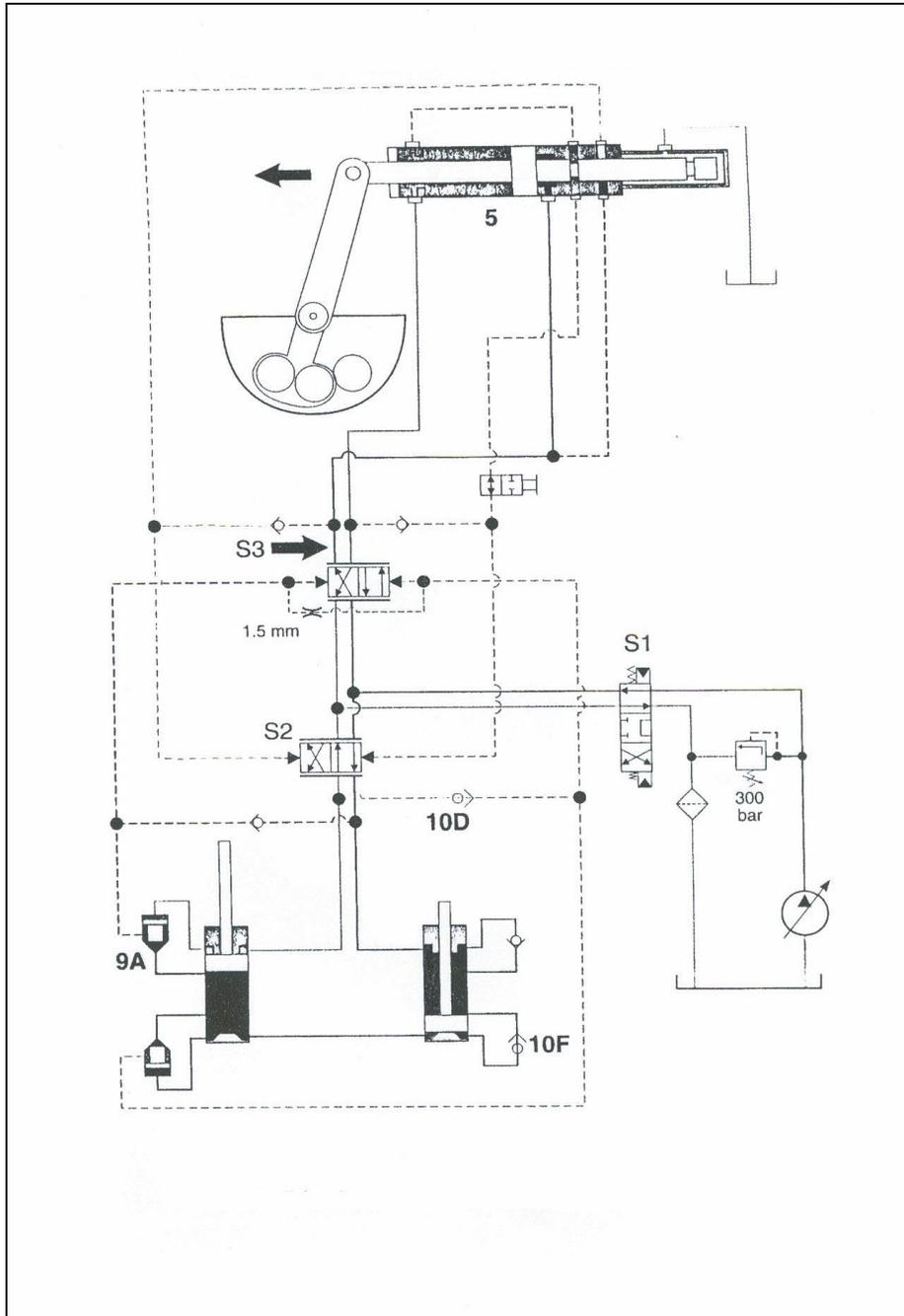
#### **1.4.1.2 Funcionamiento hidráulico**

Los componentes hidráulicos son los encargados de transmitir la energía proveniente del motor diesel a la válvula oscilante y a los pistones que impulsan el concreto a través de la tubería de suministro. Es por esta razón que todos los componentes deben de estar conectados correctamente para así obtener el trabajo que se necesita. A continuación se describirá en cuatro fases el funcionamiento de un circuito hidráulico de una bomba impulsadora de concreto con válvula oscilante.

1. La presión hidráulica procedente de la bomba pasa por la válvula V1, luego se divide en presión para la válvula V2 y V3. el aceite que pasa por la válvula V3 se dirige al cilindro de varilla de doble extremos con muescas de conmutador y eso permite que la válvula oscilante se mueva hacia la derecha, al llegar al final de su recorrido el cilindro 5; una señal piloto hace que la válvula S2 se mueva a la izquierda y esto permite que el aceite se dirija al cilindro de doble efecto del lado derecho introduciéndolo a su carcasa; el aceite que sale de este pasa al cilindro del lado izquierdo y esto hace que el émbolo salga de su carcasa, estos cilindros transmiten el movimiento a los ejes que mueve el concreto dentro de otros cilindros no mostrados en la figura, esta fase termina cuando los cilindros llegan al final de su carrera, ver figura 6.
2. La presión existente dentro de los cilindros de doble efecto, hace que la válvula conmutadora 9A envíe una señal piloto a la válvula V3 haciéndola cambiar de posición. Esto hace que la presión de aceite se dirija al lado derecho del cilindro de varilla de doble extremos con muescas de conmutador moviendo la válvula oscilante hacia la derecha, la fase termina cuando el cilindro 5 termina su recorrido. El aceite en el lado derecho del cilindro 5 retorna al tanque de almacenamiento a través de las válvulas V3, V1 y un enfriador de aceite, ver figura 7.
3. Al llegar al final de su recorrido el cilindro 5 envía una señal piloto a la válvula V2 provocando que se mueva hacia la derecha. El aceite que es bombeado, ahora se dirige hacia el cilindro de doble efecto del lado izquierdo introduciéndolo a su carcasa; el aceite que sale de este pasa al cilindro del lado derecho y esto hace que el embolo salga de su carcasa, estos cilindros accionan los ejes que mueve el concreto dentro de otros cilindros no mostrados en la figura. Esta fase termina cuando los cilindros llegan al final de su carrera, ver figura 8.

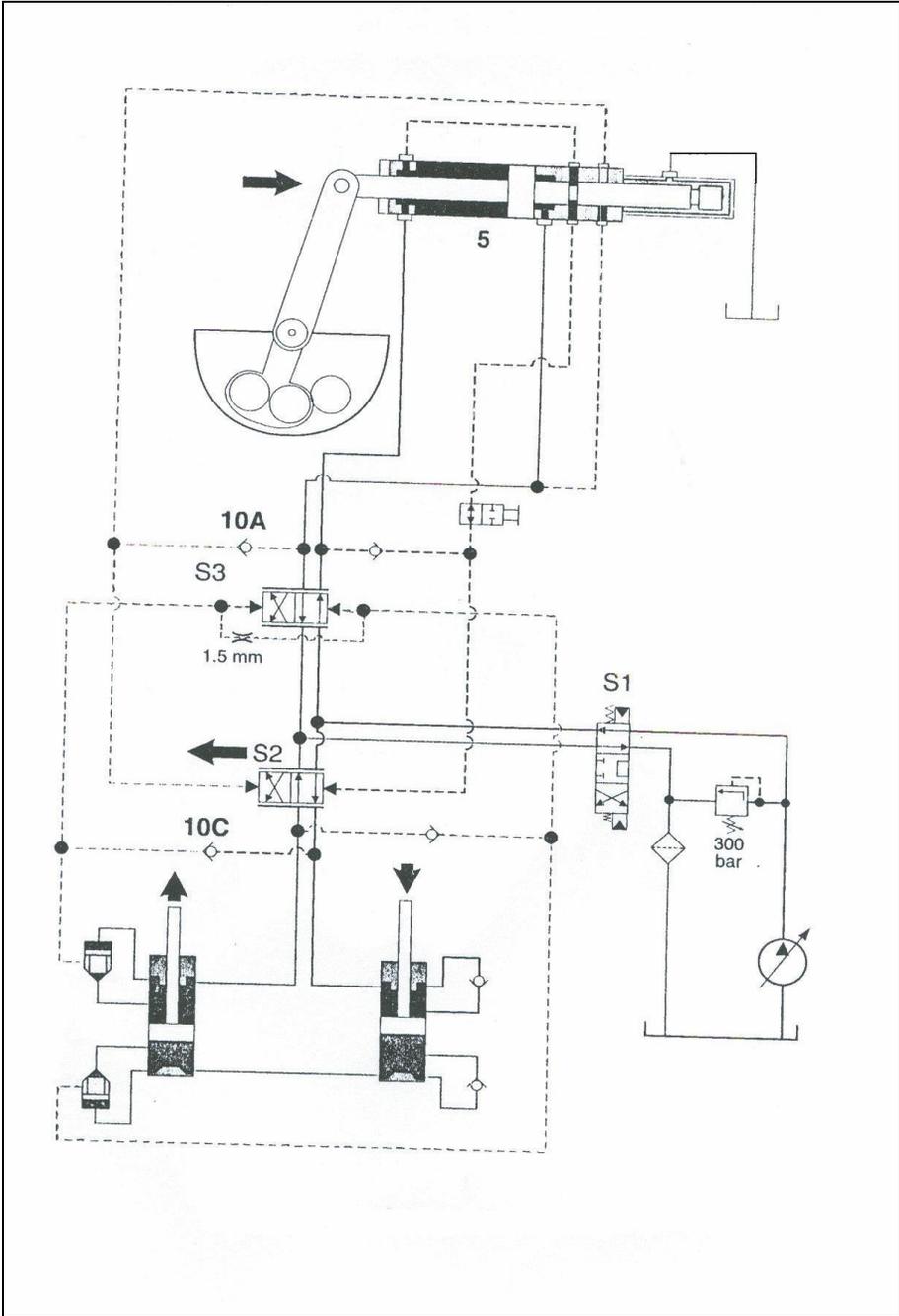
4. La presión existente dentro de los cilindros de doble efecto, hace que la válvula conmutadora 9B envíe una señal piloto a la válvula V3 haciéndola cambiar de posición. Esto hace que la presión de aceite se dirija al lado izquierdo del cilindro de varilla de doble extremos con muescas de conmutador accionado la válvula oscilante hacia la izquierda, la fase termina cuando el cilindro 5 termina su recorrido. El aceite en el lado izquierdo del cilindro 5 retorna al tanque de almacenamiento a través de las válvulas V3, V1 y un enfriador de aceite, ver figura 9.

**Figura 6. Circuito hidráulico, primera fase**



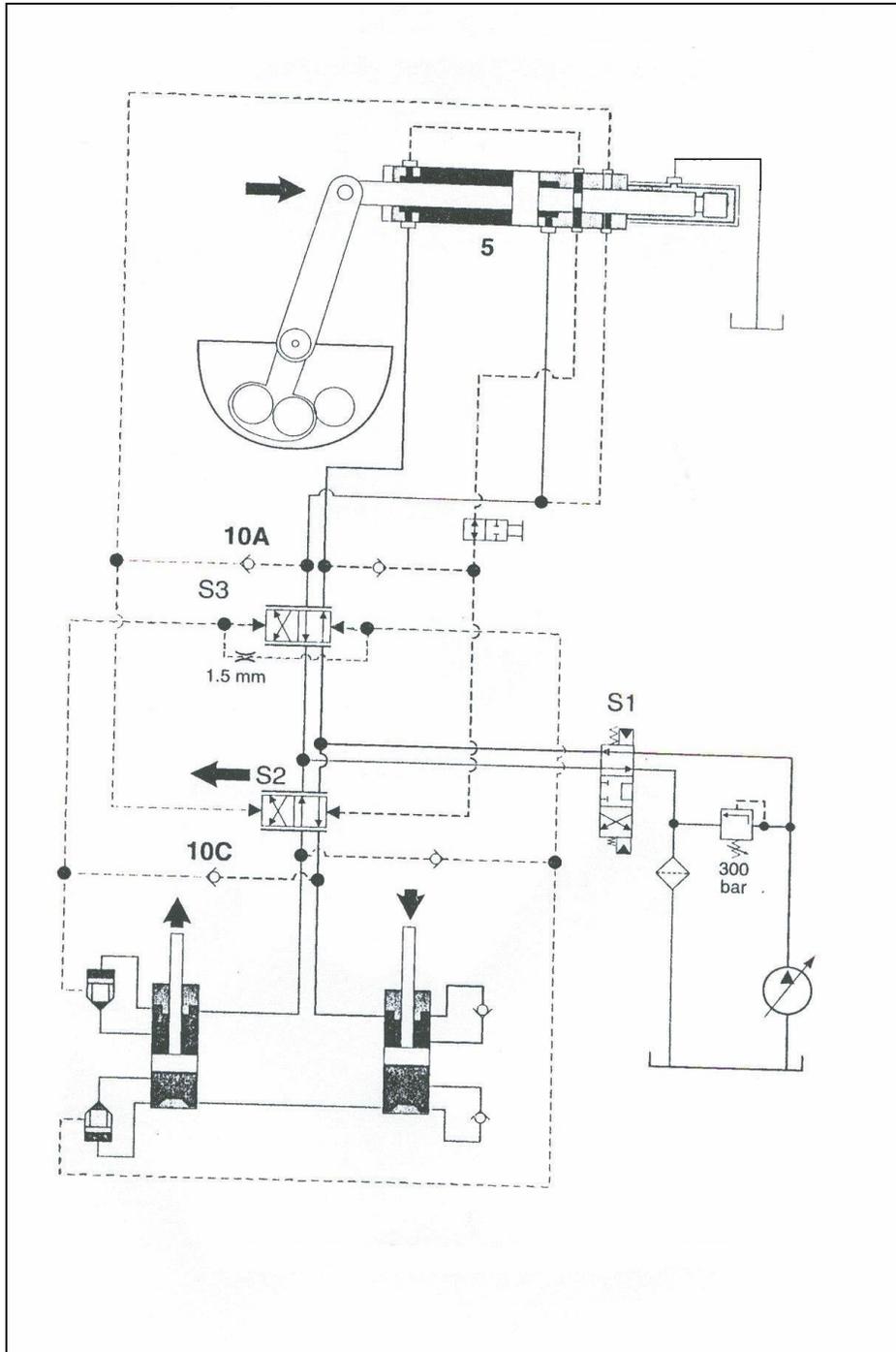
**Fuente. Héctor Alexander Juárez Reyes.** El Análisis de aceite, implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite hidráulico para un equipo de bombeo de concreto. **Trabajo de graduación. USAC**

Figura 7. Circuito hidráulico, segunda fase



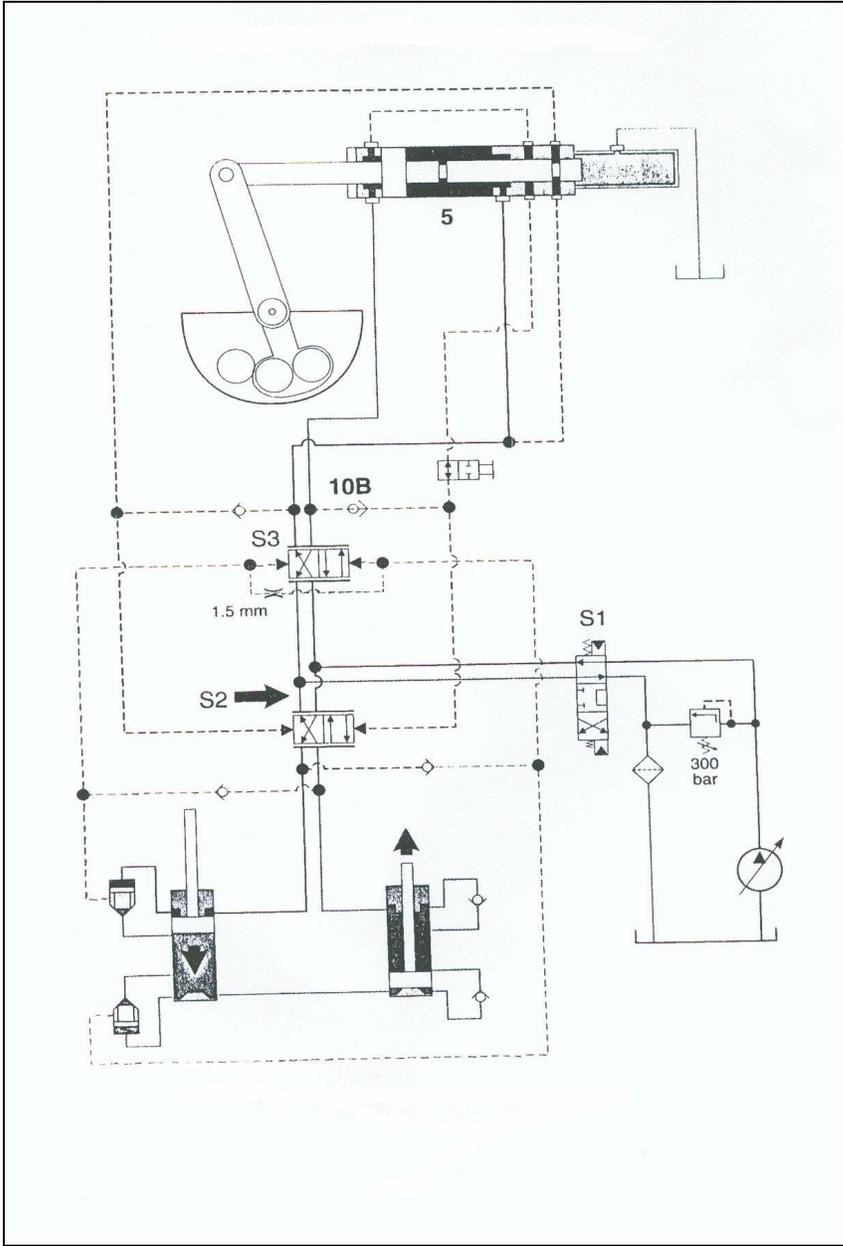
Fuente. Héctor Alexander Juárez Reyes. El Análisis de aceite, implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite hidráulico para un equipo de bombeo de concreto. Trabajo de graduación. USAC

**Figura 8. Circuito hidráulico, tercera fase**



**Fuente. Héctor Alexander Juárez Reyes.** El Análisis de aceite, implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite hidráulico para un equipo de bombeo de concreto. **Trabajo de graduación. USAC**

**Figura 9. Circuito hidráulico, cuarta fase**



**Fuente. Héctor Alexander Juárez Reyes.** El Análisis de aceite, implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite hidráulico para un equipo de bombeo de concreto. **Trabajo de graduación. USAC**

## **1.5 Historial del mantenimiento en las bombas impulsadoras de concreto<sup>2</sup>**

Para tomar decisiones es necesario que las empresas analicen el camino por el que han pasado y los resultados que se han obtenido. Por lo que se debe prestar atención a los datos históricos y almacenarlos ordenadamente. Estos registros o datos históricos proporcionan el perfil tanto del tipo de mantenimiento como del tiempo y los costos del mantenimiento. El historial de mantenimiento en las bombas impulsadoras de concreto se obtuvo de los archivos almacenados en el sistema SAP, los cuales están divididos en historial de mantenimientos correctivos e historial de mantenimientos preventivos.

### **1.5.1 Historial de mantenimiento correctivo**

En la tabla I se muestra el historial de reparaciones correctivas de la bomba impulsadora de concreto designada como BIC-001, en la que se describe el número de orden, la fecha en la que se realizó, el equipo, la descripción de la actividad que se realizó y el costo<sup>3</sup> de la reparación.

---

<sup>2</sup> Por cuestiones de espacio solo se muestra el historial de una bomba, aclarando que para el análisis se utilizó el historial completo, el cual se puede ver en el anexo.

<sup>3</sup> Los costos de mantenimiento son estimaciones hechas en base a los costos reales, solo son validos para efectos de comparación y análisis.

**Tabla I. Historial de mantenimiento correctivo**

<b>Orden</b>	<b>Fecha ref.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Texto breve</b>	<b>Costo Total</b>
629587	10.01.2005	BIC-001	CAMBIO DE CABEZA DE PISTÓN	Q.2.868,05
629171	17.01.2005	BIC-001	SALIDA: REVISIÓN DE SIST. FRENOS	Q.251,62
634128	09.02.2005	BIC-001	CAMBIO DE SOPORTE DE TAPADERA DE TOLVA	Q.1.947,39
636974	24.02.2005	BIC-001	RECONSTRUCCIÓN DE VÁLVULA OSCILANTE	Q.6.071,43
635202	28.02.2005	BIC-001	CORRECCIÓN DE FUGAS HIDRÁULICAS	Q.1.514,13
655028	13.05.2005	BIC-001	CAMBIO DE O-RING/BOQUILLA	82,25
663915	24.06.2005	BIC-001	CAMBIO DE FITING P/MANGUERAS HIDRÁULICAS	Q.87,08
668231	15.07.2005	BIC-001	PINTURA DE TOLVA	Q.249,87
			<b>Total</b>	<b>Q.13,071.82</b>

**Fuente. Historial de mantenimiento.**

### 1.5.2 Historial de mantenimiento preventivo

La tabla II muestra el historial de mantenimiento preventivo de la misma bomba y con el mismo formato que el de mantenimiento correctivo.

**Tabla II. Historial de mantenimiento preventivo**

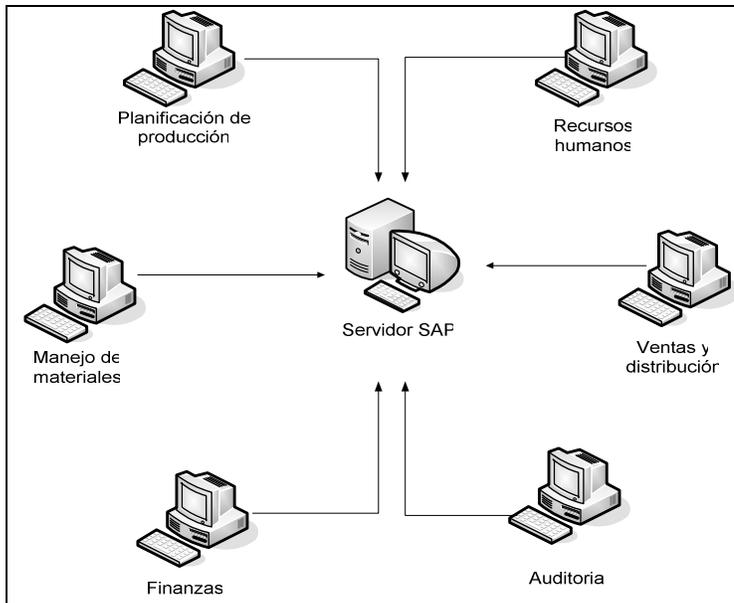
Orden	Fecha ref.	Equipo	Texto breve	Costo Total
663120	30.06.2005	BIC-001	ACE 2000 HRS. HIDRÁULICO BOMBAS- PLUMAS	Q.6.637,02
683169	20.09.2005	BIC-001	CAMBIO CUERPO DE VÁLVULAS MANUALES	Q.57.146,52
672069	02.09.2005	BIC-001	CAMBIO DE COJINETES	Q.1.169,88
628469	31.01.2005	BIC-001	CAMBIO DE MANGUERAS HIDRÁULICAS	Q.3.898,80
632469	11.02.2005	BIC-001	MP 4000 m <sup>3</sup> BOMBAS CONCRETO	Q.20.051,68
683167	23.09.2005	BIC-001	MP 4000 m <sup>3</sup> BOMBAS CONCRETO	Q.20.053,29
625394	06.01.2005	BIC-001	NIVELACIÓN DE ACEITE 2,005	Q.1.077,93
682859	19.09.2005	BIC-001	REVESTIMIENTO DE VÁLVULA OSCILANTE	Q.102,63
			<b>Total</b>	<b>Q.110137.75</b>

Fuente. Historial de mantenimiento.

### 1.6 Plan de mantenimiento actual

El plan de mantenimiento de las bombas impulsadoras de concreto es administrado utilizando el sistema administrativo de planificación SAP, este es un programa computarizado, en ambiente *Windows*, y estructura de base de datos que tiene por objeto primordial administrar de manera rápida y eficiente todas las operaciones que se llevan a cabo en una empresa. En la figura 10 se pueden observar algunas de las secciones que conforman el sistema SAP.

**Figura 10. Secciones que conforman el sistema SAP**



**Fuente. Serrano Gálvez, Paulo David.** Utilización del sistema administrativo de planificación SAP para un programa de mantenimiento preventivo en una fabrica productora de jabón sintético. **Trabajo de graduación. USAC**

En el área de planificación de la producción, además de administración de la producción, se encuentra implícito el módulo de mantenimiento preventivo PM, que ayuda con la administración del mantenimiento preventivo.

El encargado de mantenimiento trabaja en la planificación del mismo y prepara las actividades asignadas. Estas actividades son ejecutadas a través del uso del modulo PM del sistema SAP, las cuales incluyen:

- Lista de tareas de mantenimiento
- Órdenes de mantenimiento
- Ejecución de las órdenes de mantenimiento
- Aviso o notificaciones de mantenimiento
- Manejo y programación de planes de mantenimiento
- Informes del historial del equipo

En el sistema SAP se introducen los distintos planes de mantenimiento preventivo programado y los intervalos de tiempo para su ejecución. Entre los planes de mantenimiento preventivo programado que se tienen actualmente están, el plan de 2000 horas para el análisis y cambio de aceite hidráulico, el de 1000 horas para el sistema de enfriamiento, el de 250 horas para el motor y cambio de filtros y el de 4000 m<sup>3</sup> de concreto bombeado que es el que se analizará.

### **1.6.1 Procedimientos**

Para realizar cualquier actividad de mantenimiento en las bombas impulsadoras de concreto, es necesario que en el área de planificación se ejecute una orden de trabajo en el sistema SAP para llevar el control adecuado del mantenimiento de bombas.

Para el mantenimiento preventivo, el sistema SAP tiene una base de datos con la información de todas las bombas, sus respectivos planes de mantenimiento, ya sea en horas o en metros cúbicos bombeados y sus repuestos en bodega. Cuando las bombas llegan a su límite de trabajo en horas o metros cúbicos bombeados, el sistema notifica al encargado de planificación las bombas que necesitan mantenimiento preventivo, para informarle al supervisor de taller y así pueda realizar la programación de mantenimiento. Luego de que la bomba llega al taller para que se le realice el mantenimiento preventivo, el mecánico se dirige al área de planificación para solicitar que se ejecute la orden de trabajo y se le da una orden impresa con las actividades o tareas que deben ser realizadas en el mantenimiento preventivo de bombas, con esto el mecánico puede iniciar con la realización de las tareas de mantenimiento en la bomba. Para solicitar los repuestos, también es necesario dirigirse al área de planificación e imprimir la lista de reserva de materiales para dirigirse a bodega y solicitar los repuestos.

Cuando a la bomba impulsadora de concreto se le debe realizar un mantenimiento correctivo el procedimiento es prácticamente el mismo que el de mantenimiento preventivo, con la excepción de que para ejecutar una orden de trabajo las tareas deben ser descritas e introducidas al sistema SAP, ya que por no estar programado, las tareas no están especificadas en el sistema.

Luego de que se termina con el mantenimiento de la bomba impulsadora de concreto es necesario que el mecánico se lo informe al supervisor de taller para que este a su vez se lo informe al departamento de planificación, para que este cierre la orden de trabajo en el sistema SAP y así la bomba pueda ser programada en una obra, para que inicie su ciclo de trabajo.

### **1.6.2 Criterios para medir el rendimiento de mantenimiento**

Para medir el rendimiento de mantenimiento en las bombas impulsadoras de concreto se utiliza el índice de la disponibilidad del equipo basado en el porcentaje de bombas disponibles diariamente y el índice de utilización, el cual se refiere al porcentaje de bombas disponibles que se utilizan diariamente.

*Bombas disponibles = bombas totales – bombas en taller*

$$\%Disponibilidad = \frac{\#Bombas.Disponibles}{Bombas.Totales} * 100$$

$$\%Utilizacion = \frac{\#Bombas.Programadas}{Bombas.Disponibles} * 100$$

### 1.6.3 Herramienta y equipo utilizado

Cada mecánico cuenta con su propia caja de herramientas provista de llaves de diferentes medidas, desatornilladores, metro, vernier, alicates, maneral y copas de diferentes medidas, llave ajustable o cangrejo, etc.

El equipo con que cuenta el taller de bombas está conformado principalmente por un compresor de aire para utilizarlo en la herramienta neumática como las pistolas de impacto, pistolas de pintura, taladros neumáticos, etc. También se cuenta un polipasto manual y uno eléctrico con capacidad de carga de 2 toneladas para levantar cualquier equipo pesado, en el mantenimiento preventivo se utiliza principalmente para desmontar la válvula oscilante y la tolva en algunos casos. El taller también cuenta con gatos hidráulicos para elevar, ya sea los camiones o los remolques de las bombas, ver figura 11.

**Figura 11. Herramienta y equipo utilizado**



Fuente. Pagina web [www.Lorenzotools.com](http://www.Lorenzotools.com)

Se puede decir que no es necesario equipo o herramienta especializada para realizar el mantenimiento preventivo de los 4000m<sup>3</sup> en las bombas impulsadoras de concreto.

#### **1.6.4 Programa de mantenimiento preventivo de 4000 m<sup>3</sup> en las bombas impulsadoras de concreto**

El programa de mantenimiento preventivo de 4000 m<sup>3</sup> es realizado para reemplazar los componentes que sufren desgaste abrasivo, luego de 4000 m<sup>3</sup> de concreto bombeado, debido al contacto directo que tienen con el concreto. Este plan de mantenimiento al igual que los otros planes de mantenimiento ya mencionados es introducido al sistema SAP, que se encarga de notificar el momento oportuno de realizar el mantenimiento preventivo.

##### **1.6.4.1 Frecuencia del plan de mantenimiento preventivo**

Las frecuencias del plan de mantenimiento preventivo fueron determinadas basándose en las recomendaciones del fabricante, pero sobre todo basándose en la experiencia obtenida con los años. La frecuencia como se menciono anteriormente es de 4000 m<sup>3</sup> de concreto bombeado, pero puede variar, ya que el comportamiento del desgaste en los componentes depende de la velocidad, diámetro de tubería, composición del concreto, dureza del agregado en el concreto, etc.

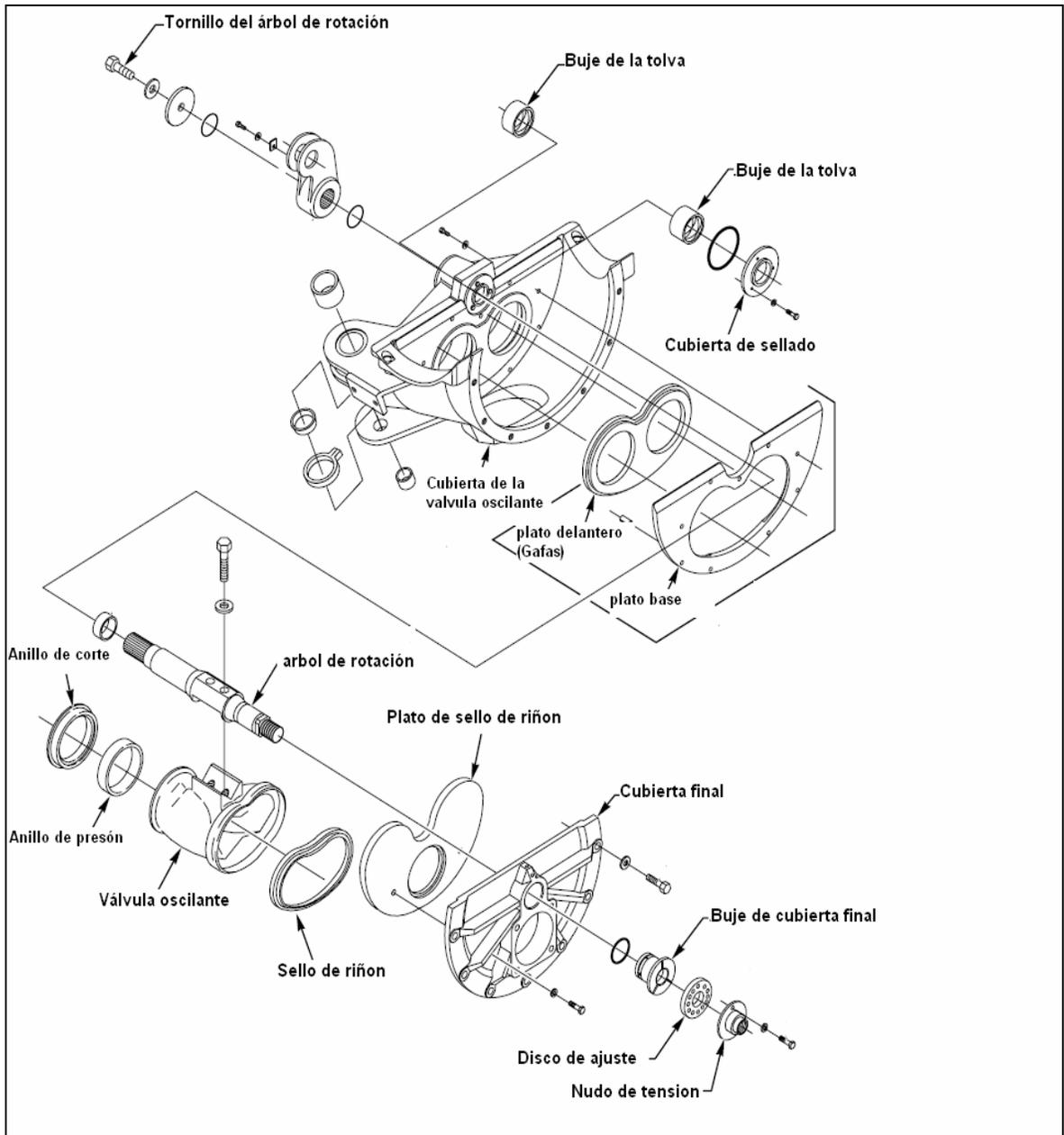
#### **1.6.4.2 Rutinas de inspección**

Las rutinas de inspección se dividen en dos tipos: las efectuadas en la planta, que es donde se arrancan los motores y se accionan las bombas para comprobar que funcionen adecuadamente, esta inspección se realiza en la mañana. Y las rutinas efectuadas en las obras de construcción, donde el mecánico llena una lista de chequeo similar a la que se muestra en el anexo, junto con el operario para determinar el estado de la bomba y corrigen los problemas que se presenten siempre y cuando no sean muy complicados, ya que de ser así la bomba debe dirigirse al taller.

#### **1.6.4.3 Componentes mecánicos sujetos al programa de mantenimiento preventivo.**

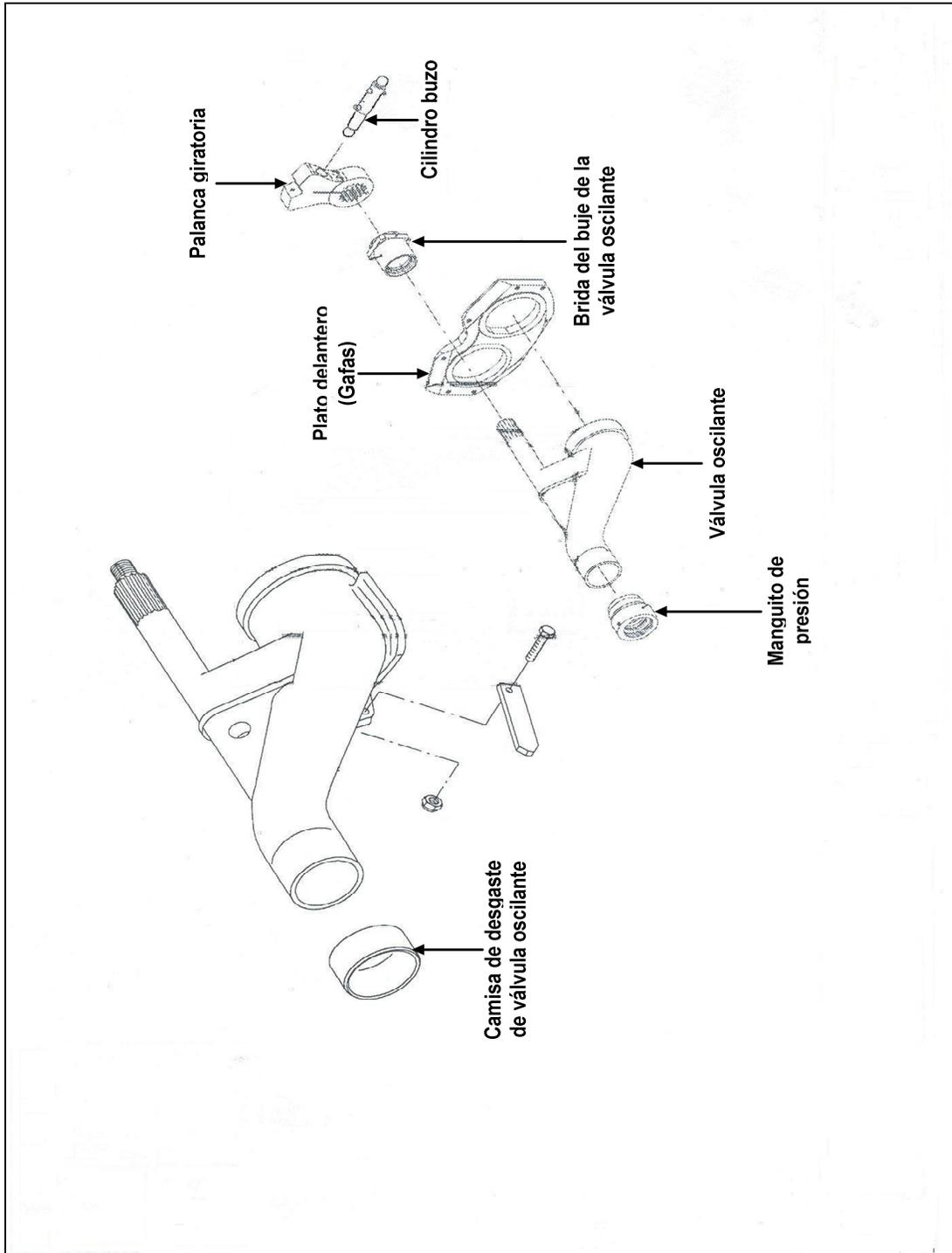
Los componentes mecánicos sujetos al programa de mantenimiento preventivo para las bombas “Schwing” y “Putzmeister” se muestran en las figuras 12 y 13 respectivamente.

**Figura 12. Componentes mecánicos de una bomba marca “Schwing”**



Fuente. Manual de servicio “Schwing”

**Figura 13. Componentes mecánicos de una bomba marca “Putzmeister”**



Fuente. Manual de servicio “Putzmeister”

## **1.7 Descripción de las tareas de mantenimiento preventivo de 4000m<sup>3</sup>**

Las órdenes de trabajo del mantenimiento preventivo que se imprimen y se entregan al mecánico tienen un total de trece actividades generalizadas que son:

1. Dar vuelta al plato delantero o gafas
2. Cambio de anillo de corte
3. Cambio de cabezas de pistón
4. Cambio de empaque delantero/trasero
5. Cambio de hules y bujes del remezclador
6. Cambio punta de remezclador lado derecho
7. Cambio punta de remezclador lado izquierdo
8. Cambio de buje delantero válvula
9. Cambio de o´ring de eje de remezclador
10. Cambio de o´ring de conector de salida
11. Limpieza de pichacha de bomba de agua
12. Limpieza exterior
13. Calibrado, alivio y sobrecarga del sistema hidráulico.

### **1.7.1 Tareas del mantenimiento preventivo del plan de 4000 m<sup>3</sup>**

Luego de una observación minuciosa de las actividades de mantenimiento preventivo de 4000 m<sup>3</sup>, se identificaron noventa operaciones necesarias, de las cuales sólo un 10% presentaron ciertos inconvenientes, dichas operaciones se muestran en la Tabla III.

**Tabla III. Tareas de mantenimiento preventivo**

1 Desenroscar tornillos de salida de tolva	25 Desmontar cilindro buzo lado derechc
2 Quitar la boquilla de salida de Tolva	26 Desenroscar tuerca del árbol de rotaciór
3 Inspeccionar el desgaste de boquilla de Tolva	27 Desmontar palanca giratoria
4 Desenroscar tornillos del motor de remezcladora Lado derecho	28 Desenroscar tornillo de soporte con brida de válvula oscilante
5 Desmontar motor de remezcladora lado derecho	29 Anclar válvula oscilante
6 Desenroscar tornillos del motor de remezcladora Lado Izquierdo	30 Extraer válvula oscilante de la tolva
7 Desmontar motor de remezcladora lado izquierdo	31 Desmontar manguito de presión posterior
8 Desenroscar tornillos de tapa de remezclador lado derecho	32 Corte de camisa de boquilla de válvula oscilante
9 Desmontar tapa de remezclador lado derecho	33 Colocar cordones de soldadura a las boquillas de las valvulas
10 Desenroscar tornillos de tapa de remezclador lado izqierdc	34 Quitar los sellos y c-ring del manguito de presion
11 Desmontar tapa de remezclador lado izquierdo	35 Limpiar manguito de presion
12 Limpiar eje de remezclador	36 Destapar conductos engrasadores de manguito de presior
13 Corte de tornillos de punta de remezclador ladc derecho	37 Extraer el anillo y el hule separador de la válvula oscilante
14 Desenroscar tornillos de tapa de remezclador lado Izquierdo	38 Limpieza general a tolva
15 Desmontar eje de remezclador	39 Desplazarse a bodega
16 Desmontar punta de remezclador lado derecho	40 Solicitar repuestos en bodega
17 Desmontar punta de remezclador lado izquierdo	41 Trasportar los repuestos al área de trabajc
18 Desmontar Manguito de presión	42 Extraer el anillo y el hule separador de la válvula oscilante
19 Desenroscar mangueras hidraulicars	43 Colocar cellos y O-ring en el manguito de presion
20 Desenroscar tornillo de chapa de soporte	44 Montar Nueva camisa en la boquilla de válvula oscilante
21 Desmontar chapa de soporte	45 Montar bujes y hules en la tapas de remezcladora (2 tapas)
22 Desenroscar tornillos del seguro de cilindro buzo ladc derecho	46 Montar tapa de remezcladora lado derecho
23 Desmontar cilindro buzo lado derechc	47 Montar tapa de remezcladora lado izquierdc
24 Desenroscar tornillos de seguro de cilindro buzo lado izquierdc	48 Montar punta de remezcladora lado derechc
	49 Montar punta de remezclador lado izquierdc
	50 Anclar válvula oscilante

## Continuación. Tareas de mantenimiento preventivo

51. Montar válvula oscilante en la tolva	73. Desplazar la cabeza de pistón a posición final lado derecho
52. Montar anillo de corte y anillo separadores válvula oscilante	74. Desenroscar los tornillos de fijación de brida separadora
53. Engrasar el manguito de presión posterior	75. Extraer brida separadora
54. Montar el manguito de presión posterior y acoplarlo con el eje de la válvula.	76. Acercar vástago del embolo de accionamiento a la cabeza de pistón
55. Centrar el eje de válvula oscilante	77. Fijar el embolo de accionamiento con la cabeza de pistón
56. Montar palanca giratoria en eje centrado	78. Desplazar el embolo de accionamiento a posición final para extraer la cabeza de pistón del cilindro
57. Montar arandela y enroscar tuerca de árbol de rotación	79. Desmontar la cabeza de pistón antigua del embolo de accionamiento
58. Montar manguito de presión en la tolva	80. Limpiar a fonda el borde del cilindro de transporte
59. Montar cilindro buzo lado derecho	81. Llevar la cabeza de pistón a la mesa de trabajo
60. Montar seguro de cilindro buzo y enroscar tornillos lado derecho	82. Desmontar el embolo y el anillo separador de la cabeza de pistón
61. Montar cilindro buzo lado izquierdo	83. Engrasar y Montar el nuevo embolo y separador a la cabeza de pistón
62. Montar seguro de cilindro buzo y enroscar tornillos lado izquierdo	84. Transportar la cabeza de pistón al cilindro transportador
63. Montar chapa de soporte y enroscar tornillos	85. Engrasar la cabeza de pistón
64. Conectar mangueras hidraulicas	86. Fijar la cabeza de pistón al embolo de accionamiento
65. Montar boquilla de salida de la tolva	87. Desplazar el embolo de accionamiento para que introduzca ligeramente la cabeza de pistón
66. Enroscar tornillos de la boquilla de salida de la tolva	88. Desmontar el embolo de accionamiento de la cabeza de pistón
67. Quitar tornillos cortados del remezclador	89. Desplazar el embolo de accionamiento a su posición final
68. Posicionar remezcladora en la tolva	90. Montar brida separadora
69. Montar motor de remezclador lado derecho	
70. Enroscar tornillos de motor de remezclador lado derecho	
71. Montar motor de remezclador lado izquierdo	
72. Enroscar tornillos de motor de remezclador lado izquierdo	

### 1.7.2 Tiempo estimado para realizar el mantenimiento preventivo.

Actualmente no se cuenta con un tiempo estándar para las actividades de mantenimiento preventivo de 4000 m<sup>3</sup>, pero se estima que el tiempo para concluir con el mantenimiento es de cuatro días, si no surgen grandes inconvenientes al momento de realizar las tareas.

## **1.8 Personal para el mantenimiento de bombas impulsadoras de concreto**

El personal de mantenimiento es el responsable de que las bombas estén disponibles y sean confiables durante la operación, para que se preste un buen servicio a los clientes.

### **1.8.1 Personal disponible para realizar las actividades de mantenimiento.**

Actualmente se cuenta con cinco personas para realizar todas las actividades relacionadas con el mantenimiento de las bombas impulsadoras de concreto, a los que se les programa un horario de trabajo semanalmente. Además el operario ayuda en el mantenimiento preventivo de 4000 m<sup>3</sup>, por lo que el trabajo es realizado entre el operario y el mecánico asignado.

### **1.8.2 Turnos de trabajo**

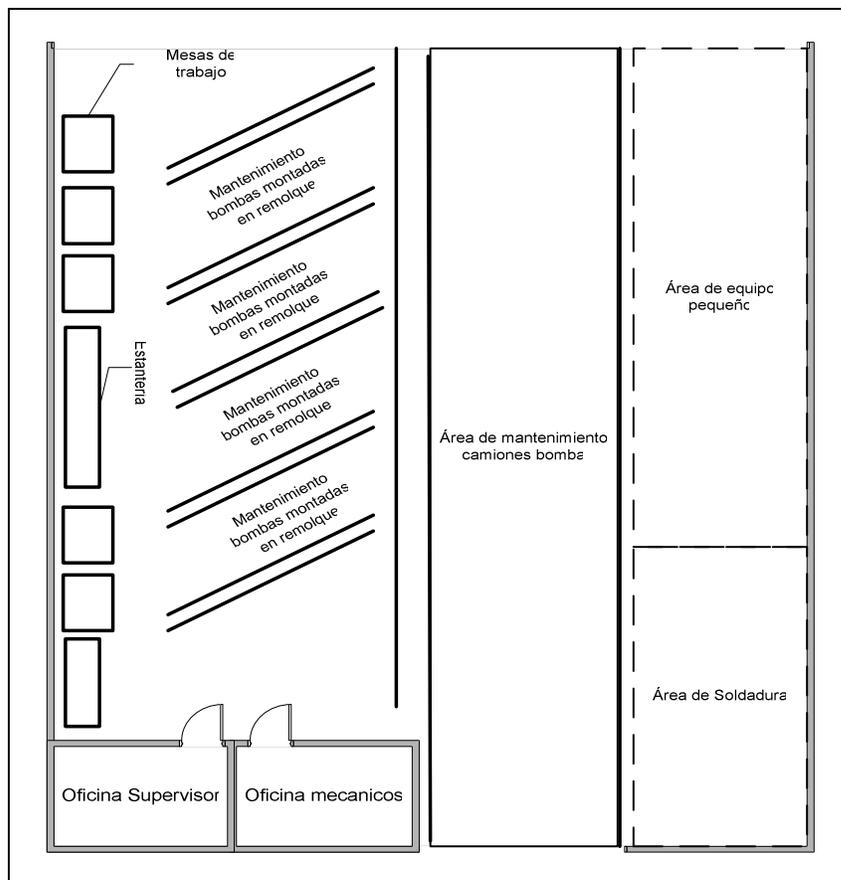
Los turnos normales de trabajo son los siguientes:

- 3 mecánicos con turnos de 8:00 a 16:00 horas para cumplir con su jornada laboral.
- Un mecánico con turno de 12:00 a 18:00 horas, pero esta disponible si se requiere terminar un trabajo mas allá del tiempo normal de trabajo
- Un mecánico para chequeo en obra, que se encarga de arrancar y revisar las bombas en la planta, antes que se manden a trabajar, y luego se dirige a las obras de construcción para revisar un determinado número de bombas programadas diariamente durante una semana para verificar su funcionamiento.

## 1.9 Distribución del área de trabajo

La distribución del área de trabajo se muestra en el croquis de la figura 13, en el que se observa que se tiene un espacio para cuatro bombas montadas en remolque y dos bombas montadas en camión, además se tiene el área de soldadura, que es donde se realizan todos los trabajos que involucren el proceso de soldadura. El área de equipo pequeño no está relacionado con las actividades de mantenimiento de bombas, ya que en esa área se les da mantenimiento a motores pequeños utilizados en los trabajos de fundición.

**Figura 13. Croquis del área de trabajo del Taller de Bombas**





## **2. EVALUACIÓN DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO**

### **2.1 Presentación de los hechos**

Los hechos obtenidos durante la etapa de recopilación de datos son la base para proponer las mejoras en el programa de mantenimiento preventivo, por lo que registrarla de una forma ordenada y clara es sumamente importante para realizar una evaluación o análisis eficaz del método actual y seleccionar la alternativa de mejora más apropiada para la empresa.

#### **2.1.1 Diagrama de proceso de operaciones<sup>4</sup>**

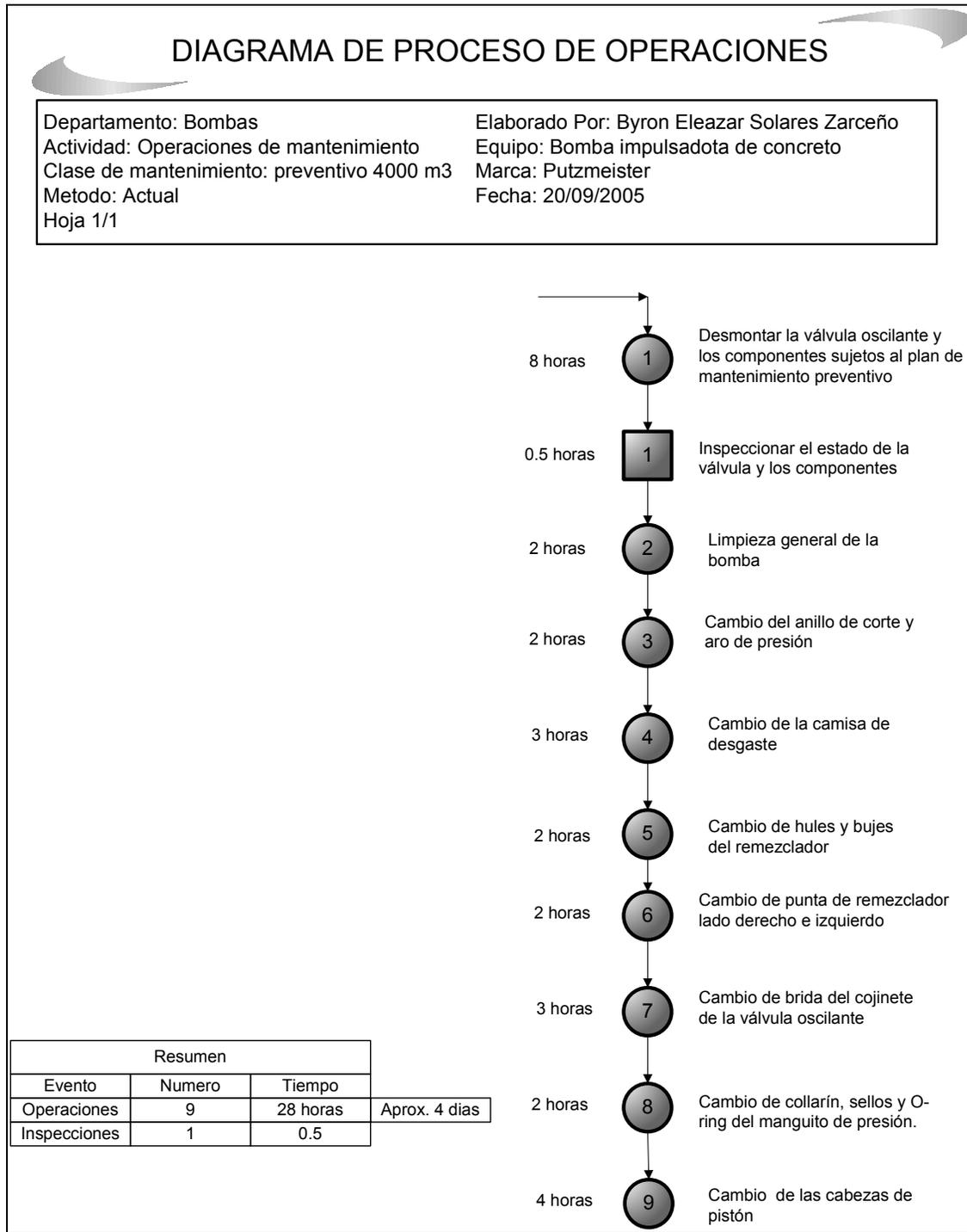
El diagrama de proceso de operaciones es una representación gráfica de la secuencia de todas las operaciones, inspecciones, demoras, transportes o traslados y almacenamientos que ocurren durante un proceso o procedimiento. Dichos diagramas serán utilizados para visualizar mejor la secuencia de operaciones o tareas y analizarlas una a una considerando los efectos de cambiar alguna tarea sobre las predecesoras y antecesoras.

Los valores de tiempo que se muestran en los diagramas de operaciones del método actual fueron estimados, debido a que algunas tareas de mantenimiento no están estandarizadas. Por lo que se buscará estandarizar las tareas para que se pueda realizar un estudio de tiempos y obtener el tiempo real necesario para realizar las actividades de mantenimiento.

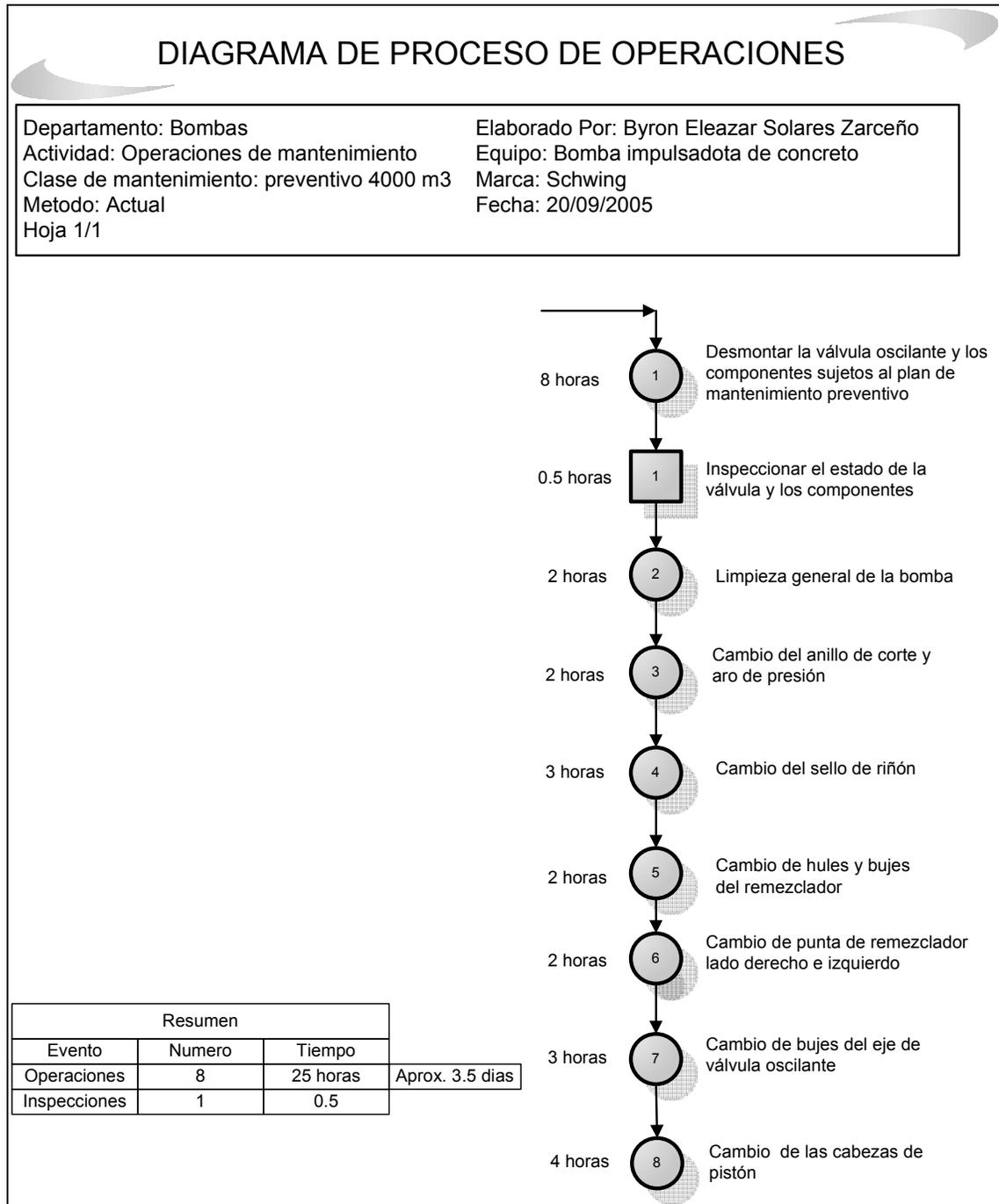
---

<sup>4</sup> Los diagramas de proceso que se muestran están resumidos por motivos de espacio. En el apéndice se muestran los diagramas con todas las operaciones necesarias para realizar el mantenimiento preventivo de 4000m<sup>3</sup>.

**Figura 15. Diagrama de proceso de operaciones de mantenimiento de bombas Putzmeister**



**Figura 16. Diagrama de proceso de operaciones de mantenimiento de bombas Schwing**



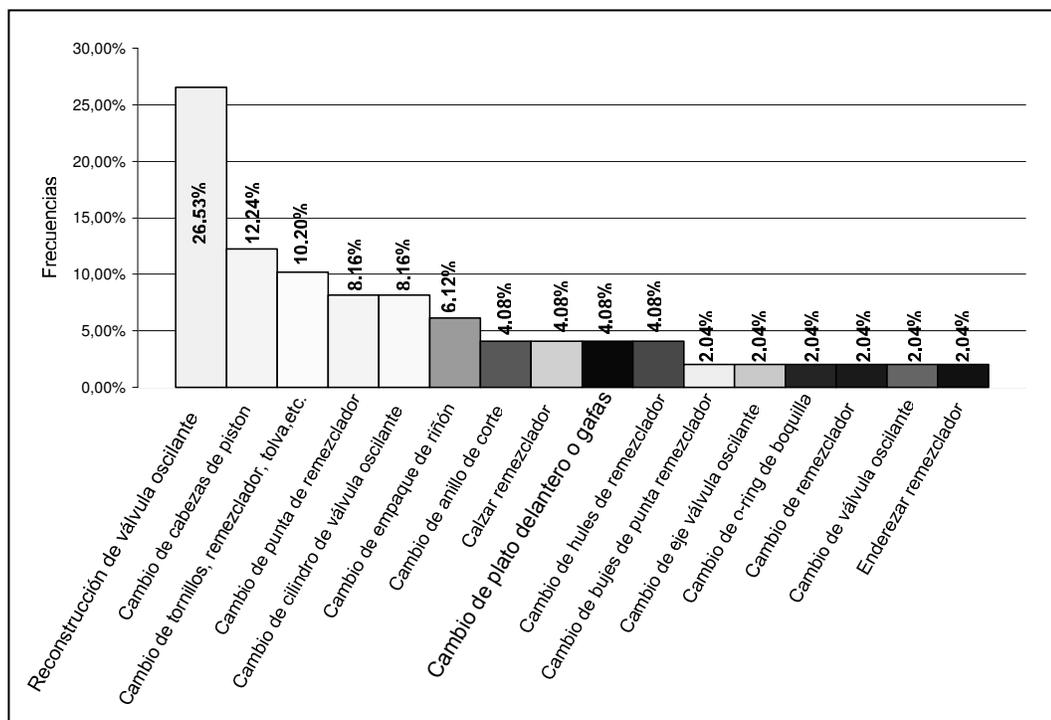
### **2.1.2 Diagrama de Pareto aplicado en los antecedentes del mantenimiento en las bombas impulsadoras de concreto**

Como se mencionó con anterioridad, los datos históricos pueden proporcionar información valiosa para darnos una idea de lo que se ha hecho en el pasado y poder evaluar el método de trabajo actual. En este caso se utilizó el historial de mantenimiento correctivo de las bombas impulsadoras de concreto, del cual se extrajeron todos los mantenimientos correctivos desde principios del año 2004 hasta la fecha, que fueron ejecutados a los componentes que están sujetos al plan de mantenimiento preventivo.

Los componentes sujetos al plan de mantenimiento preventivo de 4000m<sup>3</sup>, no debería tener reparaciones correctivas entre períodos de mantenimiento, ya que uno de los propósitos del mantenimiento preventivo es eliminar las fallas imprevistas de los ítems que se someten a un programa de mantenimiento planificado. Sin embargo, se encontró gracias al historial de mantenimiento y al gráfico de Pareto, que fueron ejecutadas órdenes de mantenimiento correctivas en ciertos componentes del plan de 4000 m<sup>3</sup>.

En la figura 17 se observa que de las 49 órdenes de trabajo de los componentes sujetos al plan de mantenimiento de preventivo de 4000m<sup>3</sup> que se obtuvieron del historial el 26.53% de las órdenes corresponden a la reconstrucción de la válvula oscilante, 12.24% a cambios de cabeza de pistón, 10.2% a cambios de tornillos de la tolva y el remezclador, un 8.16% al cambio de puntas del remezclador, otro 8.16% a cambios de cilindros de la válvula oscilante, un 4.08% al cambio del anillo de corte, un 4.08% al cambio del plato delantero o gafas, otro 4.08% al cambio de hules y bujes del remezclador y el restante que son cambio de bujes de punta de remezclador, cambio de eje de válvula oscilante, cambio de *o-ring* de boquilla, cambio de remezclador, cambio de válvula oscilante y enderezar el remezclador tienen un 2.04% cada una.

**Figura 17. Diagrama de Pareto sobre mantenimientos correctivos de componentes sujetos al plan de mantenimiento preventivo**

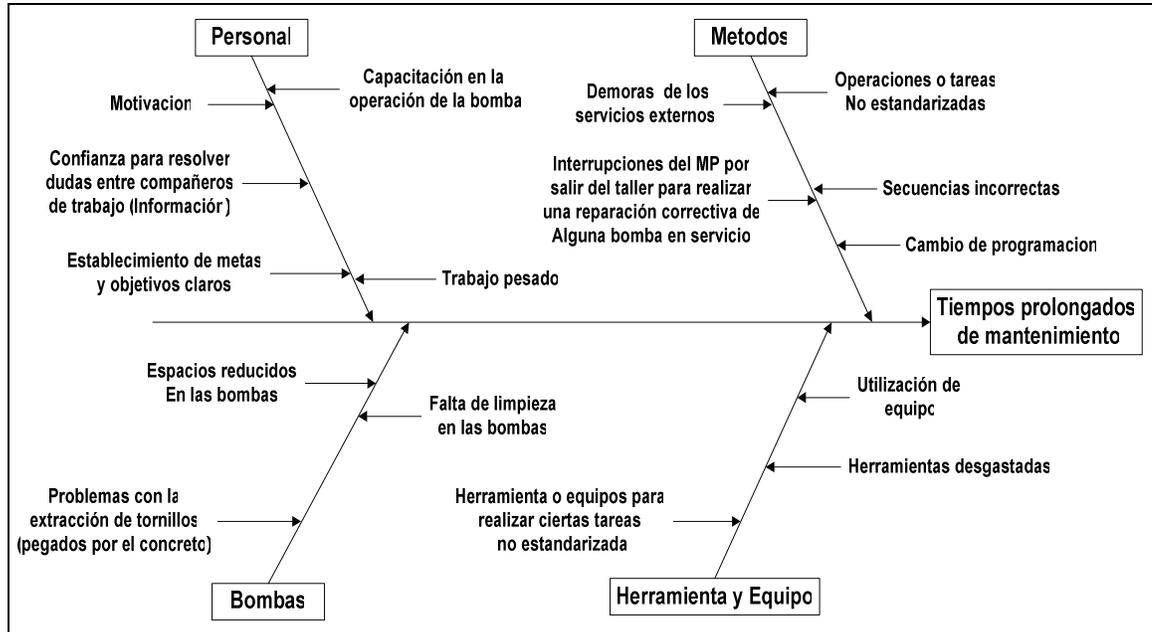


Debido a que la válvula oscilante es uno de los componentes más caros de los que se someten al plan de mantenimiento de 4000 m<sup>3</sup>, esta no se cambia en cada ciclo de mantenimiento, sino que, se reconstruye o se calza luego de una inspección visual que el mecánico junto con el supervisor de taller realizan durante la ejecución del mantenimiento de 4000 m<sup>3</sup>, y sólo se cambiará si se observa que el espesor de pared es demasiado pequeño. Pero como se muestra en el gráfico siguen siendo necesarias intervenciones correctivas en la válvula oscilante, por lo que se buscará un método para llevar un mejor control del desgaste de la válvula aprovechándola al máximo y cambiándola en el tiempo oportuno, con el objeto de mitigar los trabajos correctivos que se le realizan.

### **2.1.3 Diagrama de causa-efecto para los tiempos prolongados de mantenimiento**

El diagrama de causa-efecto que se muestra en la figura 18 representa las posibles causas de retrasos en los tiempos de mantenimiento de 4000 m<sup>3</sup>, las cuales están divididas en cuatro categorías: personal, herramienta y equipo, las condiciones de trabajo en las bombas y métodos de trabajo, cada una dividida en subcausas que fueron analizadas una por una, con el objeto de proponer soluciones viables, sobre todo en las causas que tienen mayor influencia en los tiempos prolongados de mantenimiento. Por ejemplo se determinó que al no contar con herramienta estandarizada para realizar las tareas de mantenimiento, los mecánicos tienen que improvisar herramientas para ejecutar ciertas tareas, provocando un gasto de tiempo y esfuerzo en buscar e idear la herramienta adecuada, como es el caso de la extracción del manguito de presión, aflojar los tornillos de la brida separadora de las cabezas de pistón, la extracción de los bujes del eje de la válvula oscilante, etc. Donde cada mecánico utiliza métodos distintos.

**Figura 18. Posibles causas de tiempos prolongados de mantenimiento**



## 2.2 Enfoques básicos para el análisis de las operaciones de mantenimiento preventivo de 4000 m<sup>3</sup>

Como ya se sabe los enfoques para el análisis de operaciones son diez, pero no todos estos enfoques son aplicables a cada operación o tarea, además la atención debe centrarse en las tareas donde se presentan mas problemas y tienen mayor probabilidad de producir mejoras. Por esta razón el análisis se realizará sólo en las operaciones en donde se observó que los mecánicos tenían ciertos inconvenientes para ejecutarlas. Estas operaciones son las siguientes:

### **1. Para las bombas marca Putzmeister:**

- Desmontar y montar manquito de presión
- Desmontar y montar brida del cojinete de eje válvula oscilante
- Corte de camisa de desgaste de válvula oscilante
- Montar nueva camisa de desgaste en la boquilla de la válvula oscilante

### **2. Para las bombas marca Schwing**

- Desmontar y montar el plato final de válvula oscilante
- Extraer y montar bujes para el eje de válvula oscilante de la tolva
- Extraer y montar bujes para eje de válvula oscilante del plato final.

### **3. Para ambos tipos de bomba**

- Corte de tornillos de punta de remezclador lado derecho o izquierdo.
- Anclar válvula oscilante
- Desmontar y montar la válvula oscilante en la tolva
- Centrar y montar palanca giratoria
- Desenroscar tornillos de brida separadora de cabezas de pistón
- Desmontar y montar las cabezas de pistón

#### **2.2.1 Propósito de la operación**

Una vez identificadas las operaciones críticas o que causan ciertos problemas impidiendo que el flujo de las tareas sea suave y continuo se deben responder varias preguntas, donde la más importante es “por qué”, la cual enseguida sugiere otras preguntas, entre ellas, “Cómo”, “dónde” y “cuándo”. Entonces se pueden formular las preguntas:

- “¿Por qué es necesaria esta operación?”
- “¿Cómo se realiza la operación?”
- “¿Dónde se realiza la operación?”
- “¿Cuándo se realiza la operación?”
- “¿Por qué esta operación se realiza de esta manera?”
- “¿Cómo puede mejorarse esta operación?”
- “¿Quién puede realizar mejor esta operación?”
- “¿Por qué se especifico este tipo de herramienta?”
- Entre otras

Por ejemplo para lo que es la operación de montaje de una nueva camisa de desgaste en la boquilla de la válvula oscilante de las bombas marca Putzmeister se respondieron a las preguntas de la siguiente forma: Esta operación es necesaria para colocar la camisa de desgaste nueva en la boquilla de la válvula oscilante para que la proteja contra el desgaste que se produce a causa del movimiento alternativo que se lleva a cabo durante el cambio de un cilindro de suministro a otro. El montaje de la camisa se hace a presión utilizando un trozo de madera y un martillo, debido a que la camisa de desgaste debe quedar bien ajustada en la boquilla las tolerancias entre estos dos componentes son demasiado pequeñas, ocasionando que la operación de montaje se complique un poco y se corra el riesgo de dañar la camisa de desgaste nueva. Una solución podría ser calentar uniformemente la camisa previamente al montaje para que se expanda y se pueda introducir sin tanto esfuerzo en la boquilla de la válvula oscilante de manera que cuando se enfríe de nuevo se contraiga y por lo tanto quede ajustada.

### **2.2.2 Secuencia de las operaciones de mantenimiento preventivo**

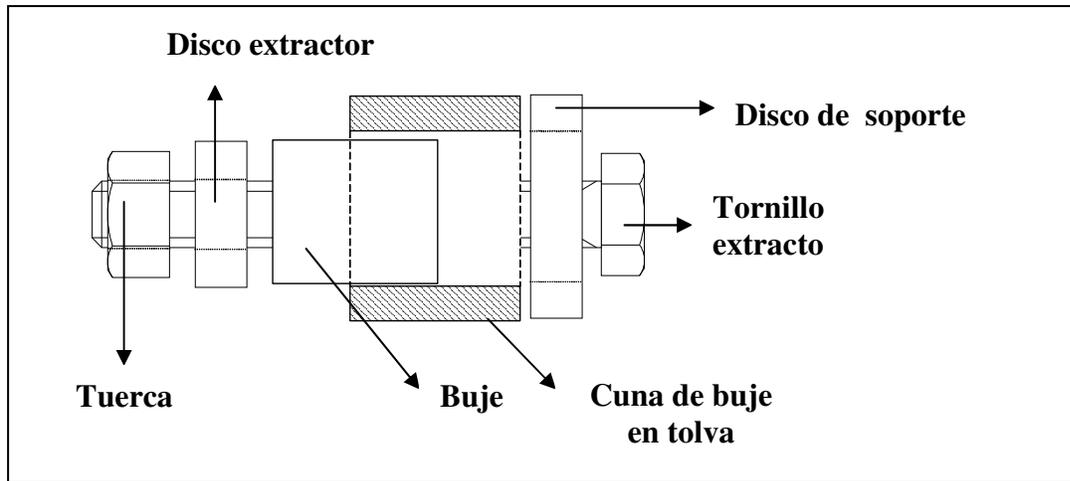
Con frecuencia se obtienen ahorros al reorganizar las operaciones, pero deben estudiarse los posibles efectos negativos en las operaciones subsecuentes. Por ejemplo para el cambio de las cabezas de pistón es necesario encender el motor y accionar la bomba impulsadora de concreto para mover las cabezas de pistón a la llamada caja de agua, que es por donde se extraen. En el caso de que primero se desmontaran todos los componentes de la tolva para efectuar el mantenimiento preventivo de 4000 m<sup>3</sup> y luego se descubriera que hacen falta ciertos repuestos en bodega y llegarán hasta el otro día y debido a que con la válvula oscilante desmontada no se puede hacer funcionar la bomba para cambiar las cabezas de pistón por lo que hay que esperar a que lleguen y se monten las partes nuevas. Es aquí donde la secuencia de las operaciones toma importancia, ya que si se verifica primero que en bodega están todos los componentes necesarios para realizar el mantenimiento preventivo en lo que es el área de la tolva, para que en caso de que falte alguno se comience primero con el cambio de las cabezas de pistón reduciendo con esto el tiempo muerto.

### **2.2.3 Herramienta y equipo**

De la misma manera que las operaciones o tareas están sujetas a un desarrollo continuo, deben considerarse herramientas nuevas, más eficientes. Con frecuencia pueden lograrse ahorros alterando la geometría de las herramientas, las herramientas para el trabajo de mantenimiento deben diseñarse para que los componentes se puedan colocar y desmontar con rapidez, además una revisión cuidadosa de muchos trabajos, con frecuencia a revelado posibilidades de utilizar una mayor parte de la capacidad del equipo con que se dispone.

Por ejemplo en la operación de extracción y montaje de los bujes para el eje de válvula oscilante de la tolva en las bombas Schwing, la cual es necesaria para realizar el cambio de los bujes desgastados por bujes nuevos que permitan que la válvula oscilante gire para cambiar de un cilindro de suministro a otro, sin que se produzca un juego considerable entre el eje de la válvula oscilante y los bujes, sacrificando los bujes por ser de un material mas blando, porque son de bronce y se desgasta en lugar de que lo haga el eje de la válvula oscilante y a su vez sirva como cojinete. Para la extracción se corta en dos partes utilizando oxiacetileno, la cual en el proceso eleva la temperatura del buje hasta su temperatura de fusión provocando que se derrita y por lo tanto se corte para extraerlo en dos piezas. Esta operación provoca que en la cuna del buje en la tolva se acumule rebaba teniendo que esmerilar para poder colocar el buje nuevo. Para el montaje se utiliza un extractor de tornillo, ver figura 19, tuerca y discos del diámetro del buje que introduce el buje en la cuna de la tolva por la fuerza que la tuerca realiza sobre el disco de extracción, que a su vez empuja al buje. Como ya se mencionó el extractor debido a su diseño solo se utiliza para el montaje del buje, por lo que no es en si un extractor. Además, se observó que la rosca del tornillo se barre, debido a las fuerzas que experimenta la rosca del tornillo, provocando que la tuerca se atasque y el montaje del buje sea un verdadero dolor de cabeza, esto se debe a que tanto la tuerca como el tornillo son de rosca métrica de paso basto y no soportan los esfuerzos a los que se les somete. Una solución es cambiar la rosca y el tornillo por unos de rosca Acme, que son el tipo de tornillos de potencia como los que se utilizan en las prensas, además diseñar un extractor que se pueda utilizar tanto para el montaje como para el desmontaje de los bujes.

**Figura 19. Extractor para bujes de eje de válvula oscilante**



### **2.3 Evaluación del plan de mantenimiento preventivo de 4000m<sup>3</sup>**

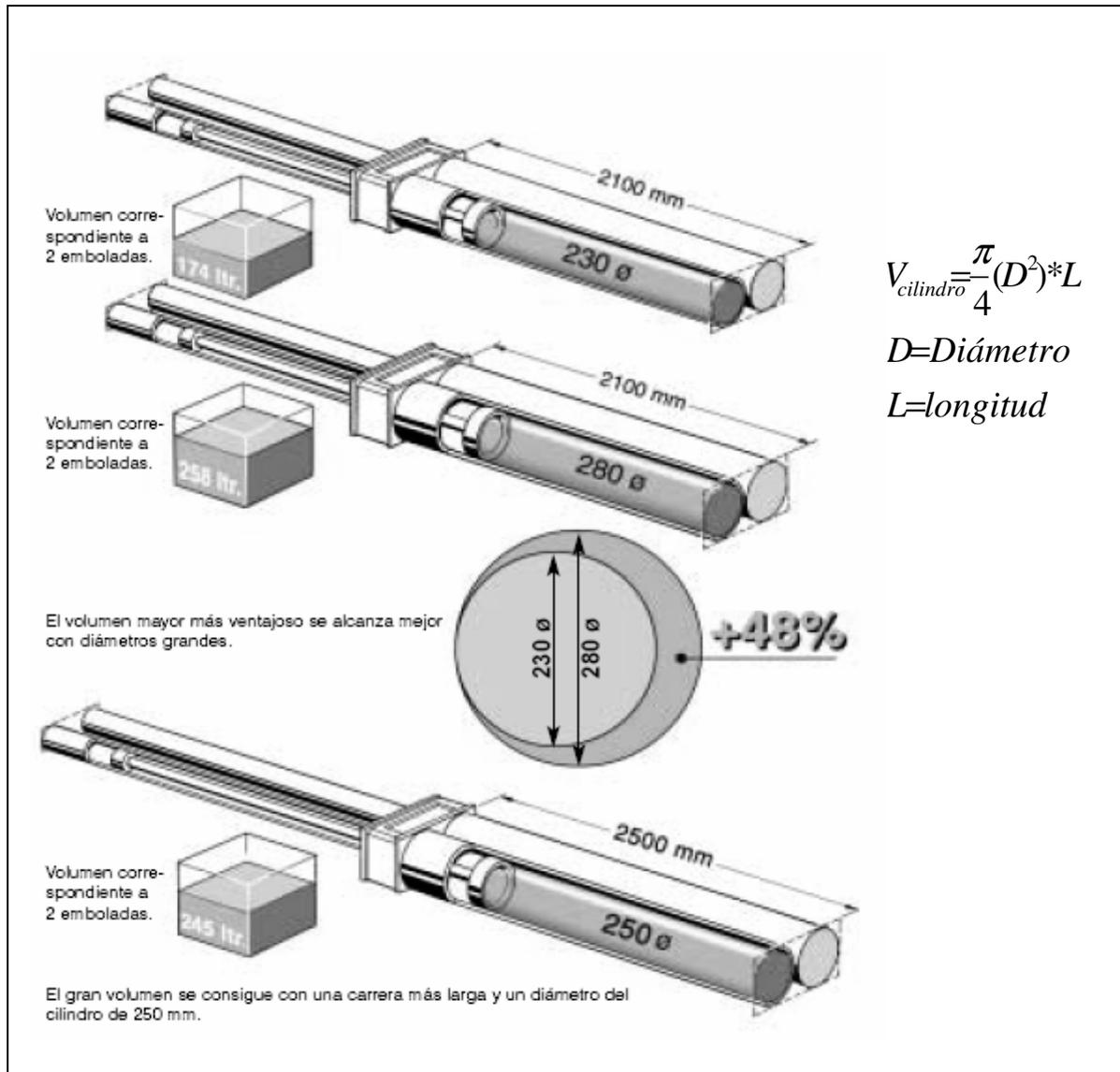
La evaluación del plan de mantenimiento preventivo de 4000m<sup>3</sup> permitirá determinar posibles mejoras que se puedan implementar para que el plan sea más eficiente y de esta manera reducir costos y mejorar la confiabilidad de las bombas.

### **2.3.1 Análisis de las frecuencias de mantenimiento preventivo**

Como ya se ha mencionado la frecuencia del plan de mantenimiento es a cada 4000 m<sup>3</sup> de concreto bombeado, pero puede variar, ya que el comportamiento del desgaste en los componentes depende de la velocidad, diámetro de tubería, composición del concreto, dureza del agregado en el concreto, etc. Además este criterio se utiliza para todas las bombas, a pesar de que se cuentan con bombas de diferentes capacidades, debido a que los cilindros de suministro varían en su diámetro o longitud, aumentando o disminuyendo el volumen de concreto bombeado por cada embolada o volumen de concreto bombeado por un cilindro de suministro, ocasionando una reducción o aumentando de las frecuencias de conmutación o ciclos de bombeo y por lo tanto del desgaste de los componentes.

Por ejemplo una bomba con un cilindro de suministro de 230mm de diámetro y 2100mm de longitud puede bombear 0.174m<sup>3</sup> por cada 2 emboladas o ciclo de bombeo, ver figura 20, por otro lado se tiene una bomba con un cilindro de suministro de 280mm de diámetro y 2100mm de longitud que puede bombear 0.258m<sup>3</sup> de concreto por cada 2 emboladas, ver figura 20, esto quiere decir que bombea un 48% mas concreto en un ciclo de bombeo. Por ejemplo para bombear los 4000m<sup>3</sup>, la bomba con un cilindro de suministro de 230mm de diámetro realiza 22,988 ciclos de bombeo aproximadamente, mientras que la bomba con el cilindro de suministro de 280mm de diámetro realiza 15,503 ciclos de bombeo aproximadamente, por lo que se puede asegurar que después de bombear los 4000m<sup>3</sup>, los componentes de las bombas de mayor capacidad se encontrarán en mejor estado comparado con las de menor capacidad, por lo tanto, es necesario establecer un plan de mantenimiento para las bombas con diferentes capacidades de bombeo.

Figura 20. Capacidad de bombeo para diferentes tipos de bombas



Fuente. Pagina web de Putzmeister. [www.Putzmeister.com](http://www.Putzmeister.com)

### **2.3.2 Programación del personal de mantenimiento**

Uno de los eslabones clave para tener éxito en los procedimientos de mantenimiento es que tanto el operario como el mecánico conozcan perfectamente el equipo al que le da mantenimiento, pues se ha dado el caso de que un mecánico pierda tiempo y energía en solucionar un problema que surge durante la reparación de una bomba determinada, que talvez, ya ha sido solucionado en el pasado por otro mecánico, pero como todos los mecánicos están sujetos a darle mantenimiento a cualquiera de las 32 bombas con que se cuentan en la actualidad se hace un poco difícil para el mecánico reconocer bien cada bomba. Por lo tanto una estrategia de mantenimiento para mantener operativas las bombas impulsadoras de concreto podría ser programar a los operarios implicados para que operen la misma bomba y a los mecánicos para que mantengan el mismo grupo de bombas y así los operarios y mecánicos sean responsables del rendimiento de cada bomba y estén continuamente en contacto entre ellos.

### **2.3.3 Análisis de costos para el mantenimiento preventivo actual**

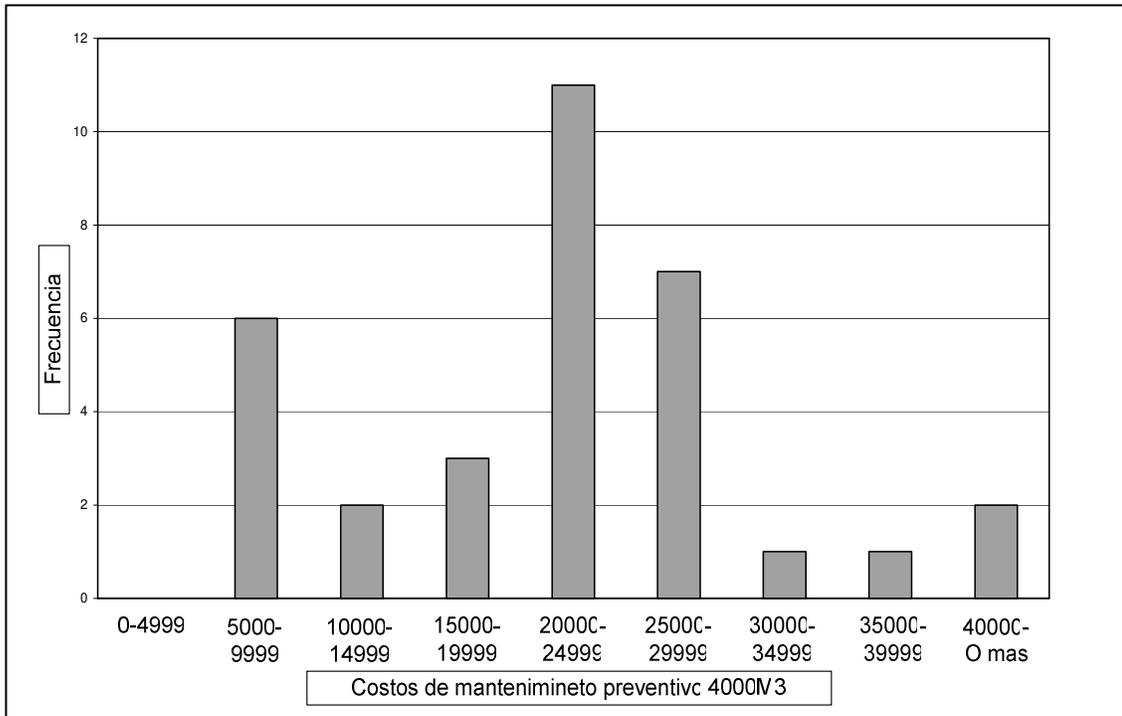
Los costos de mantenimiento pueden revelar problemas ocultos con respecto a la planificación del programa de mantenimiento preventivo, ya que durante la planificación se determina el costo basándose en el precio de los repuestos y suministros, la mano de obra, el tiempo improductivo, etc. Por lo que al tener un costo aceptable de mantenimiento preventivo como base para compararlo con el costo real, se pueden encontrar las causas que originan la variación de dichos costos.

#### **2.3.3.1 Histograma basado en los antecedentes históricos de mantenimiento en bombas impulsadoras de concreto.**

El histograma se hizo en base al historial de costos de mantenimiento preventivo de 4000 m<sup>3</sup>, debido a que se experimentaron variaciones en los costos del mantenimiento y dichas variaciones se visualizaron mejor con el histograma, ver figura 21.

Para analizar la situación se compararon dos órdenes de mantenimiento de 4000 M<sup>3</sup> con costos distintos, una con un costo elevado y otra con un costo reducido y se encontró que la orden que tenía el costo más elevado se añadieron componentes o piezas que no estaban en el plan de mantenimiento de 4000 m<sup>3</sup>, los cuales fueron añadidos luego de que se determinó a través de una inspección que era necesario el cambio de dichos componentes. Algo similar se encontró en las órdenes con costos reducidos, solo que en este caso, luego de la inspección se determinó que los componentes tenían un estado satisfactorio y se podían reutilizar, provocando una reducción en los costos.

**Figura 21. Histograma de costos de mantenimiento preventivo de 4000 M<sup>3</sup>.**



#### **2.4 Ventajas y desventajas del programa de mantenimiento preventivo actual**

Determinando las ventajas y desventajas del programa de mantenimiento preventivo actual es posible mejorarlo aprovechando las ventajas y eliminando las desventajas.

### **2.4.1 Ventajas**

Las principales ventajas del programa actual de mantenimiento preventivo son las siguientes:

- Empleo del Sistema SAP para administrar el mantenimiento preventivo de las bombas impulsadoras de concreto.
- Buen control en lo que se refiere a las frecuencias en que se debe realizar el mantenimiento preventivo en las bombas.
- Mecánicos calificados para realizar las tareas de mantenimiento preventivo en las bombas.
- Condiciones de trabajo adecuadas para realizar las actividades de mantenimiento en las bombas.
- Stock de repuesto óptimo en bodega.

### **2.4.1 Desventajas**

Las principales desventajas del programa actual de mantenimiento preventivo son las siguientes:

- Falta de herramienta estandarizada para realizar algunas tareas de mantenimiento preventivo.
- Poca estandarización en las tareas de mantenimiento preventivo.
- Falta de programas de capacitación para los mecánicos, en áreas como la electricidad e hidráulica para comprender aun mejor el funcionamiento de las bombas impulsadoras de concreto.

### **3. MEJORAS PARA EL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

#### **3.1 Propuesta para las frecuencias de mantenimiento preventivo de 4000 m<sup>3</sup>**

La evaluación que se realizó en el capítulo anterior sobre el plan de mantenimiento preventivo de 4000m<sup>3</sup>, dejó claro que es necesario tomar en cuenta la capacidad de bombeo para establecer un plan de mantenimiento preventivo de los componentes de desgaste, debido a que las bombas de menor capacidad comparadas con las de mayor capacidad, necesitan más conmutaciones o ciclos de bombeo para bombear un volumen determinado de concreto, por lo que sus componentes tienden a sufrir mayor desgaste. Es por esta razón que a continuación se propone la alternativa de establecer un plan de mantenimiento preventivo basado en los ciclos de bombeo.

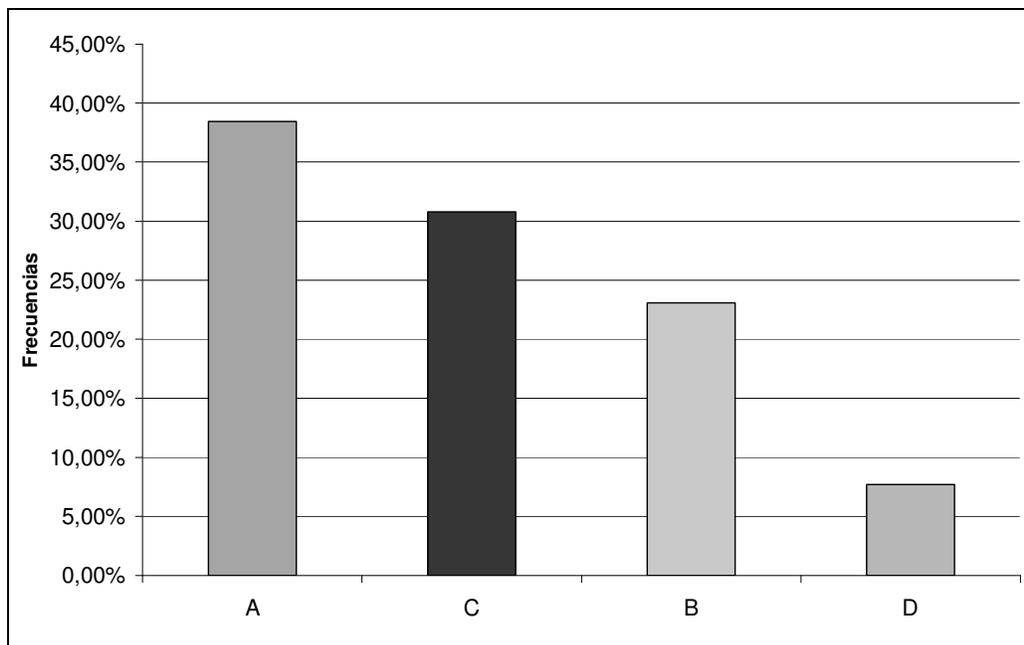
##### **3.1.1 Frecuencia de mantenimiento individuales para el equipo**

Utilizando el historial de mantenimiento, el diagrama de Pareto del capítulo dos y la tabla IV, donde se muestra los grupos de bombas con la misma capacidad de bombeo, se hizo un diagrama de Pareto de las órdenes de mantenimiento correctivo más frecuentes que son: la reconstrucción de la válvula oscilante y el cambio de cabezas de pistón en los diferentes grupos de bombas, los cuales se muestran la figura 22 y figura 23 respectivamente.

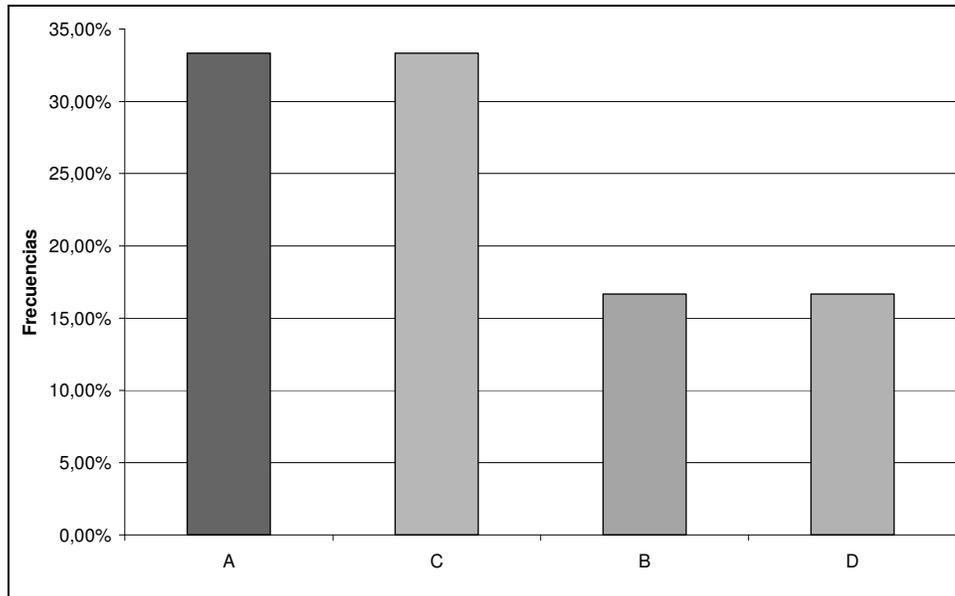
**Tabla IV. Agrupación de bombas basándose en la capacidad de bombeo**

<b>Grupo</b>	<b>Equipo</b>	<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Longitud (mm)</b>	<b>Capacidad (M<sup>3</sup>/ciclo)</b>
<b>A</b>	BIC-28,33,34,35,36,37,38	180	1000	0,0508
<b>B</b>	BIC- 30,31	180	1400	0,0712
<b>C</b>	BIC-03,05,19,21,20,39	200	1400	0,0879
<b>D</b>	BIC- 01, 02	230	2000	0,1662

**Figura 22. Diagrama de Pareto de segundo orden sobre frecuencias de reconstrucción de válvula oscilante en los grupos de bombas**



**Figura 23. Diagrama de Pareto de segundo orden sobre frecuencias de cambio de cabezas de pistón en los grupos de bombas**



En las figuras 22 y 23 se puede observar que el grupo de menor capacidad es el que tiene las mayores intervenciones en las órdenes de mantenimiento correctivas más frecuentes y que las bombas de mayor capacidad tienen muy pocas intervenciones correctivas. Sin embargo el grupo C que son bombas de mayor capacidad que las del grupo B tienen más intervenciones correctivas. Es por esta razón que se realizó una evaluación de los componentes individuales sujetos al mantenimiento preventivo para determinar el ciclo de bombeo óptimo, tal como se muestra a continuación.

Para establecer el número de ciclos de bombeo que una bomba puede realizar sin que sus componentes sufran un desgaste excesivo, se tomaron las bombas de menor capacidad, ya que son las que realizan la mayor cantidad de ciclos por metro cúbico bombeado, como referencia y se analizó el estado de los componentes que fueron cambiados durante el mantenimiento preventivo de 4000m<sup>3</sup>.

Las bombas seleccionadas fueron una Schwing modelo WP1000X y una Putzmeister modelo TK-70H, ambas con cilindros de suministro de 180mm de diámetro y 1000mm de longitud. Hay que aclarar que ambas bombas llevaban un poco más de 4000m<sup>3</sup> de concreto bombeado al momento que se les realizó el mantenimiento preventivo, pero para efectos de cálculo se utilizaran los 4000M<sup>3</sup>, tomando en consideración el volumen real bombeado para realizar los ajustes necesarios durante la inspección de los componentes. Las tablas V y VI, muestran los resultados que se obtuvieron después de inspeccionar los componentes de las dos bombas seleccionadas, donde el termino “bueno” significa que el componente se encuentra en excelentes condiciones y no es necesario su cambio, “regular” significa que el componentes muestran indicios de desgaste y deterioro, por lo que es el momento adecuado para su cambio, “malo” significa que el componentes esta muy deteriorado y ya ha pasado algún tiempo desde que terminó su vida de servicio.

**Tabla V. Estado de los componentes sujetos al plan de mantenimiento preventivo de 4000m<sup>3</sup>.**

**EQUIPO: BIC-37 BOMBA IMPULSADORA DE CONCRETO SCHWING**  
**TIPO DE MANTENIMIENTO: MP 4000m<sup>3</sup> BOMBAS DE CONCRETO**  
**CILINDROS DE SUMINISTRO: 180mmø X 1000mmL**

No.	Componente	Estado			Observaciones
		Bueno	Regular	Malo	
1	Anillo de corte		✓		Desgastado
2	Cabezas de piston		✓		Desgastado
3	Anillo de presior		✓		Desgaste
4	Bujes de remezclador		✓		Desgaste
5	Hules de remezclador		✓		Exceso de sabieta
6	Puntas de remezclador		✓		Desgaste y sabieta
7	Bujes de eje valvula oscilante		✓		Desgastado
8	Aspas de remezclador		✓		Calzar
9	Valvula oscilane		✓		Se debe calzar

**Tabla VI. Estado de los componentes sujetos al plan de mantenimiento preventivo de 4000m<sup>3</sup>.**

**EQUIPO: BIC-34 BOMBA IMPULSADORA DE CONCRETO PUTZMEISTER**  
**TIPO DE MANTENIMIENTO: MP 4000m<sup>3</sup> BOMBAS DE CONCRETO**  
**CILINDROS DE SUMINISTRO 180mmø X 1000mmL**

No.	Componente	Estado			Observaciones
		Bueno	Regular	Malo	
1	Anillo de corte		✓		Desgastado
2	Cabezas de piston		✓		Desgastado
3	Anillo de presion		✓		Desgaste
4	Bujes de remezclador		✓		Desgaste
5	Hules de remezclador		✓		Exceso de sabieta
6	Puntas de remezclador		✓		Desgaste y sabieta
7	Camisa de desgaste		✓		Desgastado
8	Aspas de remezclador		✓		Calzar
9	Valvula oscilane		✓		Se debe calzar
9	Cojinete para válvula oscilante		✓		Se debe calzar

En las tablas V y VI se puede observar que el estado de los componentes en las bombas seleccionadas, luego de 4000m<sup>3</sup> de concreto bombeado, es “regular”, por lo que el plan de 4000m<sup>3</sup> es el adecuado para las bombas con esta capacidad. Ahora bien para establecer el plan de mantenimiento preventivo para las bombas de mayor capacidad, se tomó como referencia el número de ciclos que necesitan realizar las bombas con un cilindro de suministro de 180mm de diámetro y 1000mm de longitud, que es el de menor capacidad, para bombear los 4000m<sup>3</sup> de concreto. Para esto se utilizaron las siguientes ecuaciones.

$$\#Ciclos = \frac{Volumen\ total}{Volumen\ por\ ciclo} = \frac{Volumen\ total}{2\left(\frac{\pi}{4}D^2L\right)}$$

Donde,  $D =$  diámetro y  $L =$  longitud, en metros

$$Volumen\ total = 4000M^3$$

Sustituyendo valores en la ecuación se tiene lo siguiente:

$$\#Ciclos = \frac{4000M^3}{2\left(\frac{\pi}{4}(0.180^2)(1)\right)} = 78,600\ Ciclos$$

El número de ciclos que una bomba puede realizar sin que sus componentes sufran un desgaste excesivo es de 78,600 ciclos, este valor será el que se utilizará como referencia para establecer el plan para las bombas de mayor capacidad, utilizando la siguiente ecuación.

$$\text{Volumen total} = \# \text{Ciclos} * \text{Volumen por Ciclo}$$

Donde, *Volumen total = Volumen correspondiente al plan de mantenimiento preventivo.*

$$\# \text{Ciclos} = 78,600 \text{ Ciclos}$$

$$\text{Volumen por ciclo} = \text{Capacidad de la bomba por ciclo}$$

En la tabla VII se muestra el plan individual de mantenimiento preventivo para distintos grupos de bombas impulsadoras de concreto, basado en el número de ciclos y en la capacidad de bombeo por ciclo. Como se puede observar para las bombas de menor capacidad, que son las que se utilizaron para determinar el número de ciclos óptimo, se seguirá empleando el criterio de 4000m<sup>3</sup>, mientras que para las de mayor capacidad se tienen planes de 5600m<sup>3</sup>, 6900m<sup>3</sup> y 13000m<sup>3</sup>.

**Tabla VII. Plan de mantenimiento individual**

<b>Equipo</b>	<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Longitud (mm)</b>	<b>Capacidad (M<sup>3</sup>/ciclo)</b>	<b># Ciclos</b>	<b>Nuevo Plan de MP Volumen Total (M<sup>3</sup>)</b>
BIC-28,33,34,35,36,37,38	180	1000	0,0508	78600	4000
BIC- 30,31	180	1400	0,0712	78600	5600
BIC-03,05,19 21,20,39	200	1400	0,0879	78600	6900
BIC- 01, 02	230	2000	0,1662	78600	13000

### 3.1.2 Rutinas de inspección

Como se mencionó en el capítulo anterior en el que se analizaron las intervenciones correctivas que se realizaron en los componentes sujetos al plan de mantenimiento preventivo, es necesario introducir un método para llevar un mejor control del desgaste de la válvula oscilante, debido a que este componente es el que tienen una mayor frecuencia de intervenciones correctivas.

Actualmente se cuenta con un equipo ultrasónico para medir el espesor de pared, el cual se utiliza para medir el espesor de pared en los tubos por donde se impulsa el concreto, este equipo puede ser utilizado junto con las hojas de inspección que se muestran en las Figura 24 y 25 para medir el espesor de pared en los puntos críticos <sup>5</sup> de la válvula oscilante, para compararlos con valores permisibles establecidos por el fabricante, y con el tiempo recopilar un historial útil que ayude a determinar una relación entre los metros cúbico bombeados o ciclos de bombeo, con el desgaste de la válvula oscilante y así, determinar el momento óptimo para cambiarla.

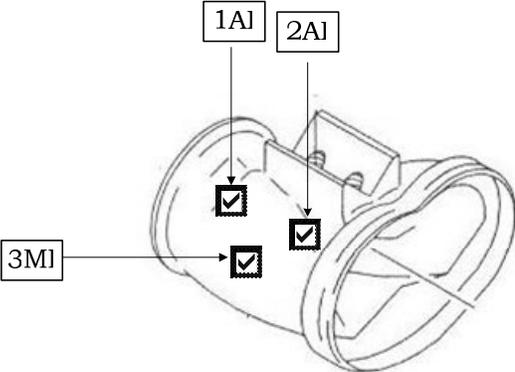
---

<sup>5</sup> Para establecer los puntos críticos se tomo en cuenta la zona de absorción del par de giro (árbol de rotación-tubo oscilante), la cual es una parte de la válvula oscilante que soporta las cargas mas grandes, además, se consideraron las curvas, ya que en estas zonas existen fuerzas que se generan por el cambio de dirección o magnitud del fluido.

**Figura 24. Hoja de inspección para válvula oscilante “Schwing”**

HOJA DE INSPECCIÓN  
GROSOR DE PARED PARA VÁLVULA OSCILANTE

# Bomba \_\_\_\_\_ Mecánico \_\_\_\_\_  
 Fecha \_\_\_\_\_ Volumen de concreto bombeado \_\_\_\_\_



**1AI:** Posición 1 arriba lado Izquierdo  
**2AI:** Posición 2 Arriba lado Izquierdc  
**3MI:** Posición 3 Medio lado Izquierdo  
**3MD:** Posición 3 Medio lado Derecho  
**1AD:** Posición 1 Arriba lado Derecho  
**2AD:** Posición 2 Arriba lado Derecho  
**2BI:** Posición 2 Bajo lado Derech  
**1BD:** Posición 1 Bajo lado Izquierdo  
**2BI:** Posición 2 Bajo lado Izquierdo  
**1BD:** Posición 1 Bajo lado Derech

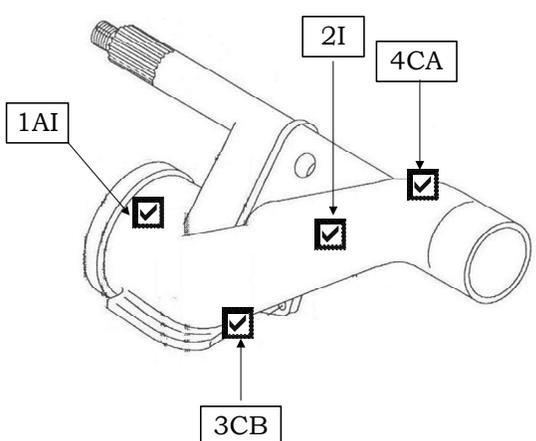
LADO IZQUIERDC	
POSICIÓN	MEDICIÓN
1AI	
2AI	
3MI	
1BI	
2BI	

LADO DERECHO	
POSICIÓN	MEDICIÓN
1AD	
2AD	
3MD	
1BD	
2BD	

**Figura 25. Hoja de inspección de válvula oscilante “Putzmeister”**

**HOJA DE INSPECCIÓN  
GROSOR DE PARED PARA VÁLVULA OSCILANTE**

# Bomba: \_\_\_\_\_ Mecánico: \_\_\_\_\_  
 Fecha: \_\_\_\_\_ Volumen de concreto bombeado: \_\_\_\_\_



<b>1AI:</b> Posicion 1 arriba lado Izquierdo
<b>1AD:</b> Posicion 1 Arriba lado Derecho
<b>1BI:</b> Posicion 1 Bajo lado Izquierdo
<b>1BD:</b> Posicion 1 Bajo lado Derecho
<b>2I:</b> Posición 2 lado Izquierdo
<b>2D:</b> Posición 2 lado Derecho
<b>3CB:</b> Posición 3 Codo Bajo
<b>4CA:</b> Posición 4 Codo Alto

LADO IZQUIERDO	
POSICIÓN	MEDICIÓN
1AI	_____
1BI	_____
2I	_____

LADO DERECHO	
POSICIÓN	MEDICIÓN
1AD	_____
1BD	_____
2D	_____

CODO	
POSICIÓN	MEDICIÓN
3CB	_____
4CA	_____

La Tabla VIII muestra el grosor de pared basado en la máxima presión de régimen posible con que opera la bomba. Téngase en cuenta que el esfuerzo dinámico durante el bombeo somete a la válvula oscilante a cargas irregulares. Para estas cargas, que dependen de cada caso, no puede efectuarse un cálculo general del grosor de pared mínimo, de forma que la válvula oscilante puede reventar incluso si la presión de régimen es teóricamente admisible. Asimismo, téngase en cuenta que la presencia de un tapón puede hacer que la presión aumente hasta el valor máximo y que, por lo tanto, el grosor de pared posiblemente sea insuficiente. Es necesario cambiar la válvula oscilante en el momento en que el grosor de pared alcanza el valor mínimo establecido, por lo general es posible seguir bombeando con una presión de régimen mas baja.

**Tabla VIII. Grosor de pared permisible**

Máxima presión de régimen posible	Valor de referencia para el grosor de la pared
Hasta 130 bar	Aproximadamente 3mm
Mas de 130 bar	Aproximadamente 5mm

**Fuente. Manual de servicio de Putzmeister**

## **3.2 Mejora en las tareas de mantenimiento preventivo de componentes mecánicos**

Las mejoras en las tareas de mantenimiento preventivo de los componentes mecánicos se propusieron en base al análisis de operaciones, donde se determinó que era necesario mejorar o estandarizar las herramientas de trabajo, los tiempos de trabajo, las necesidades de personal y la secuencia con que se realizan las tareas de mantenimiento, con el objeto de aumentar la eficiencia del mantenimiento preventivo.

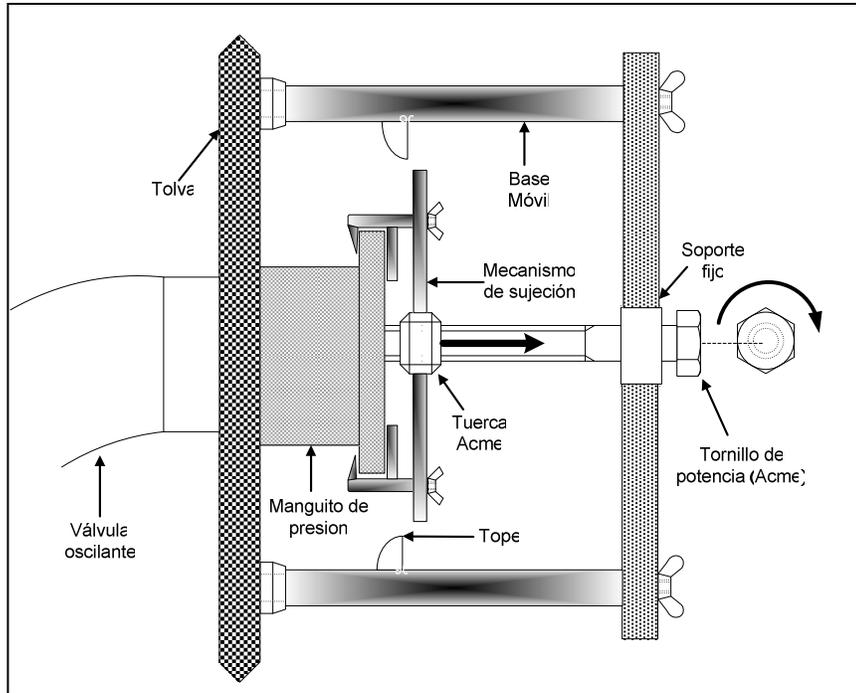
### **3.2.1 Herramientas estandarizadas**

En el análisis de operaciones se detectaron algunas tareas con ciertos inconvenientes, debido a que para ellas no se disponen de herramientas estandarizadas que faciliten el trabajo. Las herramientas no solo ayudan a reducir los tiempos de trabajo, sino que, también ayudan a reducir la fatiga del mecánico durante la ejecución de las tareas de mantenimiento, es por tal motivo, que se hizo un esfuerzo por diseñar algunas herramientas que cumplieran con este propósito.

En las bombas marca Putzmeister se observaron ciertas dificultades al momento de desmontar y montar el manguito de presión, ya que no se cuenta con un extractor que se pueda utilizar en todas las bombas.

En la figura 26 se muestra la propuesta para un extractor con el que se pueda montar y desmontar el manguito de presión de una manera mucho más fácil y rápida.

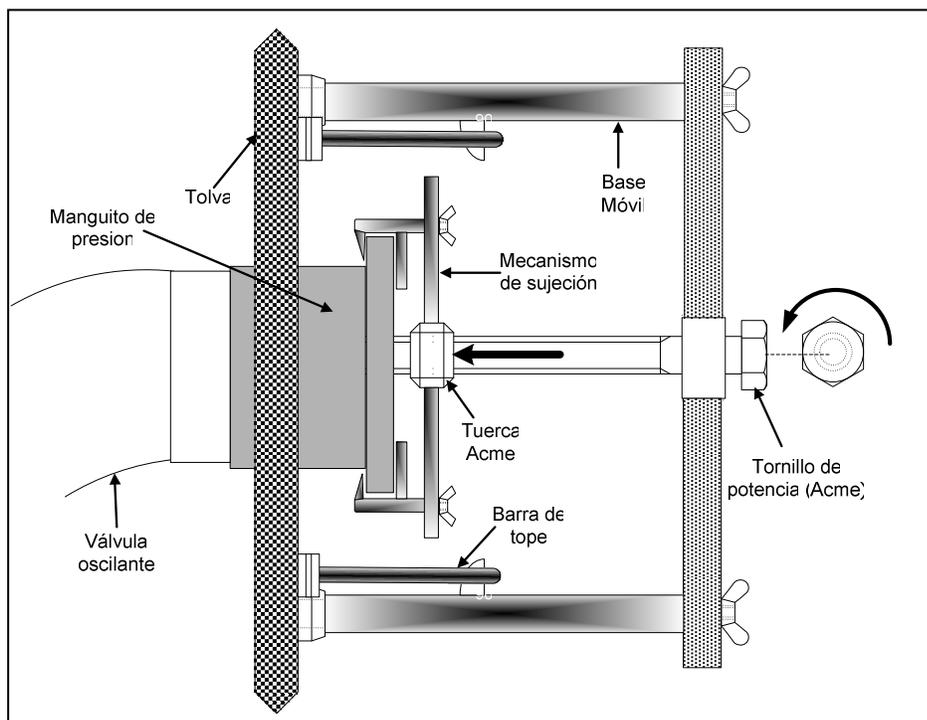
**Figura 26. Extractor de manguito de presión (desmontaje)**



El extractor cuenta con un husillo y una tuerca de potencia de rosca acme, que transmiten la fuerza necesaria para la extracción y el montaje del manguito de presión, que se extrae utilizando un mecanismo de sujeción que se adapte a bombas con manguitos de presión de diámetros distintos. Además, cuenta con un soporte fijo que cumple con dos funciones: 1) que el tornillo de potencia gire libremente 2) impedir que el tornillo tenga un desplazamiento axial. Para la extracción del manguito de presión las fuerzas quedaran equilibradas por medio de la base, para que lo único que se mueva sea la tuerca, el mecanismo de sujeción y por lo tanto, el manguito de presión.

Para el montaje del manguito de presión será necesario equilibrar las fuerzas introduciendo una variante, la cual es la barra de tope, ver Figura 27, que se anclará a la tolva y servirá como traba en el momento que el tope del extractor se ajuste con dicha barra y de esta forma impida el desplazamiento axial del tornillo y lo único que se mueva sea el mecanismo de sujeción para que se pueda montar el manguito de presión.

**Figura 27. Extractor de manguito de presión (Montaje)**

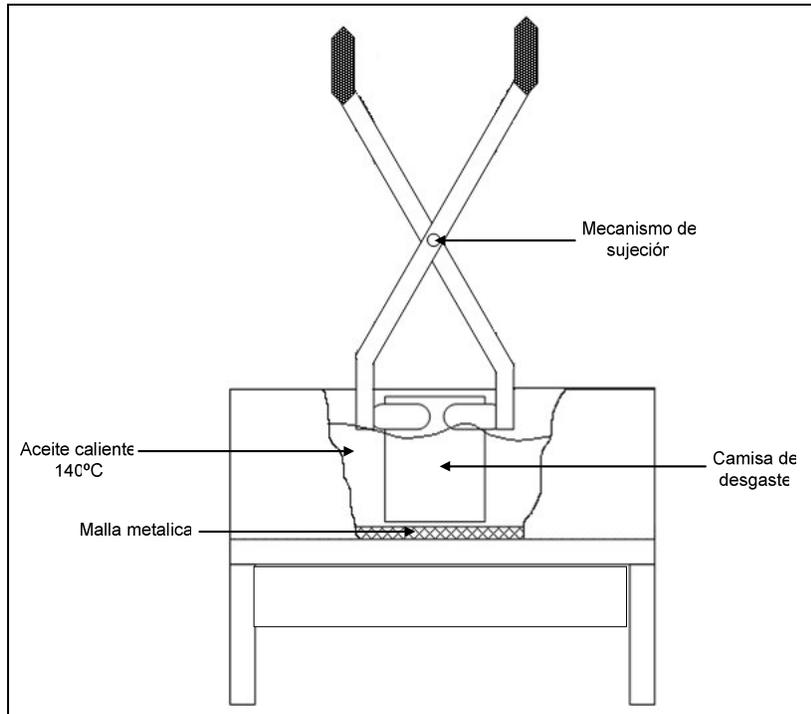


Otra operación en la que se observaron ciertas dificultades fue en la del montaje de la nueva camisa de desgaste en la boquilla de la válvula oscilante.

Debido a que la camisa de desgaste debe quedar bien ajustada en la boquilla, las tolerancias entre estos dos componentes son demasiado pequeñas, ocasionando que la operación de montaje se complique un poco y se corra el riesgo de dañar la camisa de desgaste nueva. Una solución podría ser calentar uniformemente la camisa previamente al montaje para que se expanda y se pueda introducir sin tanto esfuerzo en la boquilla de la válvula oscilante de manera que cuando se enfríe de nuevo se contraiga y por lo tanto quede ajustada. La forma más factible de calentarla puede ser el de inmersión de la camisa de desgaste en un recipiente que contenga aceite caliente, para esto se debe utilizar aceite limpio, suspendiendo la camisa en el aceite o colocándolo en una malla metálica para evitar el calentamiento no uniforme, ya que la camisa de desgaste está cromada.

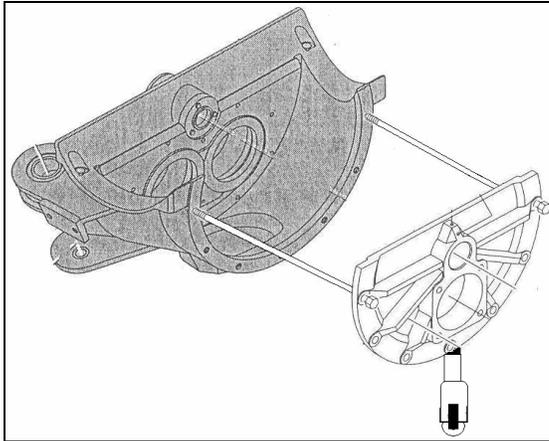
La temperatura a la cual se debe calentar la camisa de desgaste no debe sobrepasar los 140 °C. Al calentar y colocar la nueva camisa de desgaste existe peligro de quemaduras, es por esto que se recomienda utilizar un equipo de protección personal como guantes resistentes al calor y una herramienta de sujeción como la que se muestra en la figura 28.

**Figura 28. Inmersión de la camisa de desgaste en aceite caliente**



Durante la operación de desmontar y montar el plato final de válvula oscilante en las bombas marca Schwing, los mecánicos realizan mucho esfuerzo físico para bajar y subir el plato final, ya que lo hacen manualmente y hay que mencionar que el plato final es muy pesado. Se podría utilizar el polipasto para realizar esta operación, pero una solución más práctica podría ser utilizar tornillos suficientemente largos y resistente, que le sirvan de corredera al plato final, además de un soporte con rodillo que se pueda mover con el plato final para reducir los esfuerzos en los tornillos y evitar que fallen por rotura, tal como se muestran en la figura 29. De este modo no se tendrá que bajar el plato final de la tolva, sino que, simplemente se correrá durante la operación de mantenimiento preventivo.

**Figura 29. Cómo desmontar el plato final de válvula oscilante**



**Fuente. Manual de usuario de las bombas marca Schwing**

### **3.2.2 Tareas estandarizadas**

Las tareas de mantenimiento preventivo pueden hacerse más eficientes si se estandariza la secuencia y los procedimientos para realizarlas, de tal forma que se puedan identificar puntos específicos para implementar mejoras continuamente. En el apartado 1.7 se muestran las operaciones que se imprimen en las órdenes de trabajo que se entregan a los mecánicos que ejecutan las tareas de mantenimiento preventivo, en las cuales se puede observar que las operaciones no están ordenadas. El diagrama de operaciones del apéndice muestra todas las tareas necesarias para realizar el mantenimiento preventivo de los componentes mecánicos. La orden de trabajo puede tener una secuencia de operaciones resumida tal como se muestra a continuación:

- Desmontar la válvula oscilante y los componentes sujetos al plan de mantenimiento preventivo.
- Inspeccionar el estado de la válvula oscilante y los componentes mecánicos.
- Limpieza general de la bomba.
- Cambiar anillos de corte y anillos de presión.
- Cambio de la camisa de desgaste.
- Cambio de hules y bujes del remezclador.
- Cambio de punta de remezclador del lado derecho e izquierdo.
- Cambio de brida del buje para el eje de la válvula oscilante.
- Cambio de collarines, o-ring y sellos del manguito de presión.
- Cambio de las cabezas de pistón.

### **3.2.3 Necesidades de personal <sup>6</sup>**

Una de las causas principales de pérdida de tiempo en trabajos de mantenimiento se debe no solo a la falta de personal, sino que, también al exceso de personal que se asigne para realizar ciertas tareas de mantenimiento. Por ejemplo se ha demostrado que con frecuencia se proporciona un grupo de tres o cuatro personas cuando dos o tres trabajadores serian realmente todo lo que se necesita. Actualmente el mantenimiento preventivo lo realizan dos personas: un mecánico y el operador de la bomba, el cual ayuda con ciertas tareas durante el tiempo en que la bomba permanece en el taller. La experiencia ha demostrado que dos personas son suficientes para el mantenimiento preventivo de 4000m<sup>3</sup>, siempre y cuando se utilice adecuadamente el equipo y herramienta con que cuenta el taller, como puede ser el polipasto, el gato hidráulico, la herramienta neumática, etc.

---

<sup>6</sup> En los diagramas de proceso que se muestran en el apéndice se ha incluido la necesidad de personal para cada tarea de mantenimiento preventivo.

### 3.2.4 Tiempo estándar para realizar las tareas

Para la determinación del tiempo estándar de las tareas de mantenimiento preventivo se utilizó la técnica de la medición de tiempos y métodos (MTM-2), que dan valores de tiempo para los movimientos fundamentales. Para esto cada tarea fue dividida en los movimientos básicos que eran necesarios realizar para concluir dicha tarea.

Los datos MTM-2 están adaptados al operario y son independientes del lugar de trabajo o del equipo utilizado. En general, el sistema MTM-2 debe hallar aplicación en asignaciones de trabajo en que:

- La parte de esfuerzo del ciclo de trabajo es de más de un minuto de duración.
- El ciclo no es altamente repetitivo.
- La parte manual del ciclo de trabajo no implica un gran número de movimientos manuales complejos o simultáneos.

En el MTM-2 se consideran 11 clases de acciones, que se denominan “categorías”. Estas once categorías y sus símbolos son:

- **Get** obtener (G): es una combinación de los movimientos alcanzar, asir y soltar, y existen tres casos; el caso GA, que implica el simple contacto; el caso GB, que implica el simple cierre de los dedos o la mano; el caso GC, que implica cualquier otro asir.

- **Put** poner (P): comprende mover un objeto a cierto destino con la mano o los dedos, y existen tres casos; el caso PA, que comprende movimientos continuos y suaves; el caso PB, que implica un patrón de movimientos con alguna irregularidad; el caso PC, implica la corrección obvia de movimientos.
- **Get weighth** tomar peso (GW); El peso se considera en el MTM-2, y la adición de valor de tiempo es de 1TMU por Kilogramo (en el **apartado 1.2.3** se muestra que 1TMU equivale a 0.00001 horas).
- **Put weighth** poner peso (PW): Las adiciones de tiempo para esta movimiento es de 1 TMU por 5 kilogramos de peso, hasta un máximo de 20 kilogramos.
- **Regrap** volver a asir (R): para esta categoría se ha asignado un tiempo de 6 TMU. Los autores del MTM-2 observan que para que un elemento reasir tenga efecto, la mano debe retener el control.
- **Apply pressure** Aplicar presión (A): Se ha asignado un tiempo de 14 TMU.
- **Eye action** acción acular (E): se aplica cuando es necesario que el ojo se mueva para ver los diversos aspectos de la operación que abarca más de una sección específica del área de trabajo. El valor estimado de E es de 7 TMU.
- **Foot action** acción de pie (F): se refiere cuando se debe mover el pie pero no se desplaza el tronco. Se le asigna 9 TMU.
- **Step** Paso (S): El objeto del movimiento es desplazar el tronco se le asigna un tiempo de 18 TMU.
- **Bend & arise** doblar y subir (B): se presenta cuando el cuerpo cambia su posición vertical. Movimientos típicos de B son sentarse, ponerse de pie y arrodillarse. Se le asigna un valor de 61 TMU, pero se el operario se apoya sobre ambas rodillas, el movimiento se debe clasificar como 2B, o sea, 122 TMU.

- **Crack** acción de manivela: ocurre cuando las manos o los dedos se utilizan para mover un objeto en una trayectoria circular de mas de  $\frac{1}{2}$  revolución. Un tiempo de 15 TMU se asigna a cada vuelta o revolución completa.

En la tabla IX se muestra el análisis MTM-2 para la primera tarea de mantenimiento preventivo, que consiste en quitar la boquilla de salida de tolva. Por cuestiones de espacio no se describe el análisis MTM-2 para todas las demás operaciones que se muestran en el diagrama de operaciones del apéndice, pero si se muestra el tiempo que se calculó para dichas operaciones.

Hay que aclarar que para el estudio de tiempos se supuso que toda la herramienta y equipo necesario para ejecutar las tareas de mantenimiento estaban cerca y disponibles para el mecánico. Además se agregaron las tolerancias o márgenes al tener en cuenta las numerosas interrupciones, retrasos y disminución del ritmo de trabajo producido por la fatiga inherente en todo trabajo.

**Tabla IX. Análisis MTM-2**

ANÁLISIS MTM-2							
Operación: Quitar la boquilla de salida de tolva y la brida							
Equipo: Bomba impulsadora de concreto							
Marca: Putzmeister							
Descripción para MI	Frec.	Movimineto	TMU	TMU	Movimineto	Frec.	Descripción para MI
				27 4	GC18 GW	1	Alcanzar pistola de impacto de 4 Kg
Alcanzar pistola de impacto de 4 Kg (2Kg efectivo, ambas manos)	1 1	GB12 GW	14 2	15 0.8	PA18 PW	1 1	Mover pistola de impacto de 4 Kg a la mano izquierda
Agacharse a la boquilla de salida de tolva	1	B	61	61	<b>B</b>	1	Agacharse a la boquilla de salida de tolva
Poner pistola de impacto de 4Kg en el tornillo (4 tornillos)	4 4 4 4	PC2 PW E A	21 0.4 7 14	21 0.4 7 14	PC2 PW E A	4 4 4 4	Agacharse a la boquilla de salida de tolva
Usar pistola de impacto para desenroscar tornillos (4 tornillos) aprox. 15 seg.	4		417	417		4	Usar pistola de impacto para desenroscar tornillos (4 tornillos) aprox. 15 seg.
Sacar pistola de impacto del tornillo (4 tornillos)	4 4	PC2 E	21 7	21 7	<b>PC2</b> <b>E</b>	4 4	Sacar pistola de impacto del tornillo (4 tornillos)
Ponerse de pie	1	B	61	61	<b>B</b>	1	Ponerse de pie
Soltar pistola de impacto de 4Kg.	1	GB12	14	19 0.8	<b>PB18</b> <b>PW</b>	1 1	Mover pistola hacia la mesa de trabajo
				27 4	GC18 GW	1 1	Soltar pistola de impacto (4Kg)
Agacharse a la boquilla de salida de tolva	1	B	61	61	<b>B</b>	1	Agacharse a la boquilla de salida de tolva
Alcanzar boquilla de salida de tolva (aprox. 20 Kg) (peso efectivo para ambas manos 10 Kg)	1 1	GC18 GW	27 10	27 10	<b>GC18</b> <b>GW</b>	1 1	Alcanzar boquilla de salida de tolva (aprox. 20 Kg) (peso efectivo para ambas manos 10 Kg)
Sacar boquilla de salida de tolva (aprox. 20 Kg)(peso efectivo para ambas manos de 10 Kg.	1 1 1	PC18 PW A	36 2 14	36 2 14	PC18 PW A	1 1 1	Agacharse a la boquilla de salida de tolva
Soltar boquilla de salida de tolva de 20 Kg.	1 1	GB18 GW	18 10	18 10	GB18 GW	1 1	Soltar boquilla de salida de tolva de 20 Kg.
Ponerse de pie	1	B	61	61	<b>B</b>	1	Ponerse de pie
Total			2437 TMU aprox. 2 min.				

### **3.3 Personal para el mantenimiento preventivo**

El éxito o el fracaso del programa de mantenimiento preventivo de las bombas impulsadoras de concreto depende de las personas que realizan las tareas de mantenimiento, por lo que hay que poner énfasis en la capacitación constante de su personal.

#### **3.3.1 Capacitación**

Antes de enviar al equipo de mantenimiento de bombas a un programa de capacitación, se debe realizar un análisis de necesidades para identificar las fortalezas y necesidades de la cuadrilla de mantenimiento. Por ejemplo, debido a que las bombas operan tanto hidráulica como eléctricamente es necesario que se les de una capacitación adicional en dichas áreas, con el objeto de que puedan resolver en menor tiempo los problemas que se presentan en cualquiera de las áreas mencionadas. Los diagramas hidráulicos y eléctricos presentes en el manual de servicio de cada bomba, son de suma importancia para identificar las posibles causas de una falla en la bomba, pero muchas veces leer o interpretar dichos diagramas resulta un tanto difícil, ocasionando una pérdida de tiempo y recursos, por lo que un programa de capacitación sobre como interpretar los diagramas sería una opción para agilizar la resolución de los problemas inesperados que se presentan durante el mantenimiento de bombas. Elaborando una matriz de competencias laborales como la que se muestra en la tabla X donde se establezca el nivel de preparación de los mecánicos, con el objeto de proponer el tipo de capacitación adecuado en cualquiera de las áreas de desempeño.

**Tabla X. Matriz de competencias laborales**

Área de desempeño Nivel de preparación	1	2	3	<p><b>Nivel A:</b> Se requiere haber cumplido un curso de capacitación por parte del fabricante o cualquier otra entidad sobre la función de cada componente de la bomba, así como de la identificación de fallas de todo tipo.</p> <p><b>Nivel B:</b> Se requiere haber cumplido cursos de capacitación en áreas específicas como eléctrica, electrónica básica e hidráulica básica, así como de la interpretación de sus respectivos diagramas, para que comprenda mejor el funcionamiento de la bomba.</p> <p><b>Nivel C:</b> Se requiere haber tenido estudios de mecánica o experiencia en el área que faciliten el aprendizaje del mantenimiento de las bombas impulsadoras de concreto.</p>
	Mantenimiento de componentes mecánicos	Mantenimiento de componentes hidráulicos	Mantenimiento de componentes eléctricos	
Nivel de preparación A	1A	2A	3A	
Nivel de preparación B	1B	2B	3B	
Nivel de preparación C	1C	2C	3C	

El INTECAP como institución líder en la formación profesional de los trabajadores y del recurso humano por incorporarse al mundo laboral, diseña y desarrolla acciones de capacitación que son de impacto y fomentan la productividad, para una contribución significativa al desarrollo de la empresa.

Los Servicios del INTECAP son:

- Capacitación
- Asistencia técnica
- Información y documentación técnica

En toda actividad productiva, cualquier empresa puede obtener los servicios de capacitación y/o asistencia técnica del INTECAP atendiendo los requisitos siguientes:

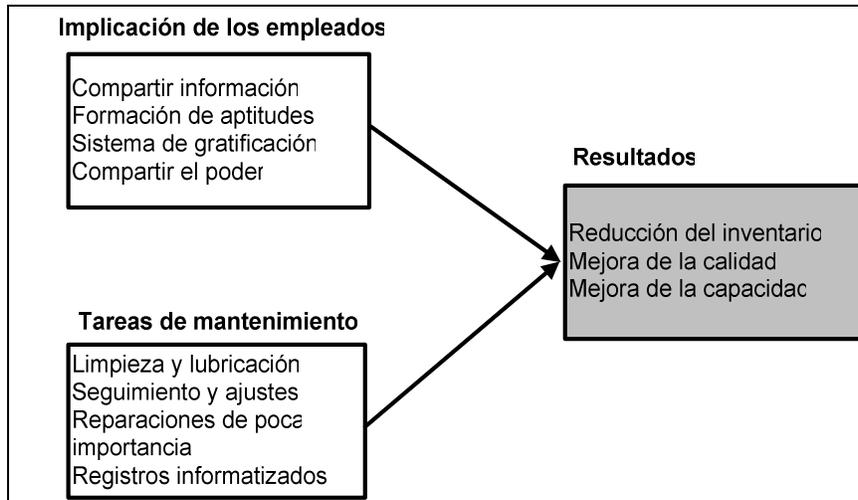
- Identificar la necesidad real del servicio en un área específica de la organización o empresa.

- Gestionar, por cualquier medio, ante el departamento de servicios directos al cliente, delegaciones departamentales o centros de capacitación, el servicio en el área específica identificada
- De parte del INTECAP, un representante visitará o se comunicará con la empresa y determinará la factibilidad de atender la solicitud planteada
- El servicio debe obedecer a un plan integral de la empresa, es decir, debe darse como resultado de una detección de necesidades real, enfocarse a puestos de trabajo, actividades o funciones bien definidas y dejar la posibilidad de poderse medir en el corto plazo
- De ser factible la prestación del servicio, representantes del INTECAP y empresa, acordarán el desarrollo del servicio en un plan donde aparecen los compromisos de las partes.
- Se programa el evento, se asigna a un proveedor de servicios técnicos, experto, instructor, consultor o técnico y se monitorea de manera conjunta INTECAP – empresa, el desarrollo del evento.

### **3.3.2 Organización de personal**

La interdependencia entre el operario, la máquina y el mecánico, es la clave del éxito en lo que se refiere al mantenimiento y a la confiabilidad. Como muestra la figura 30, lo que hace a una empresa exitosa no son sólo sus procedimientos de mantenimiento, sino también la implicación de sus empleados.

**Figura 30. Empleados involucrados y procedimientos adecuados de una buena estrategia de mantenimiento.**



**Fuente. Jay Heizer, Barry Render. Dirección de la producción, decisiones tácticas. 6ª Edición. Prentice Hall**

### **3.4 integración del mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo**

Un plan de mantenimiento no se puede limitar a uno correctivo, preventivo o predictivo, ya que las ventajas y desventajas, así como los costos varían en función del componente de la máquina al que se le aplica el mantenimiento, por ejemplo un componente que sea fácil de reemplazar y que no presente riesgo para el operario o los demás componentes de la máquina al momento de que falle, se le puede aplicar el mantenimiento correctivo, pero si el componente es muy difícil de cambiar y al momento de que ocurra la falla el operario tenga algún riesgo de salir herido, es mejor que se le aplique mantenimiento preventivo o predictivo, para que su reparación pueda ser planificada y afecte lo menos posible la producción del bien o servicio.

### **3.4.1 Comparación entre mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo**

La falta de disponibilidad de los equipos es la resultante de dos fenómenos: falta de confiabilidad y mantenimiento insuficiente. La falta de confiabilidad explica la frecuencia elevada de averías e incidencias. El mantenimiento defectuoso se traduce en plazos largos de reparaciones y de puesta a punto.

Una bomba impulsadora de concreto es un sistema complicado, compuesto de elementos mecánicos, hidráulicos, eléctricos y electrónicos. Las posibilidades de averías o incidencias son por ello múltiples. Esta diversidad de tipos de averías o incidencias hace, en ciertos casos, difícil su diagnóstico. Por ello, en algunos componentes, los servicios de mantenimiento esperan a que se produzcan las averías para luego proceder a repararlas, en lugar de preverlas y prevenirlas.

Siendo la distribución de concreto premezclado la razón de ser de la empresa, las bombas impulsadoras de concreto se tratan de utilizar en el mayor grado posible. Resulta por lo tanto difícil encontrar tiempo para su mantenimiento. Simplemente suele esperarse que la próxima avería acontezca lo más tarde posible. A fin de aminorar sus efectos, se aprovechan los períodos de buen funcionamiento. Es por esto que algunas bombas, reciben mantenimiento insuficiente y se limpian en pocas ocasiones, de modo que se encuentran sucias, cubiertas de polvo, de grasa, de salpicaduras de aceite, etc. Esta falta de limpieza produce efectos nefastos sobre la fiabilidad de las máquinas. Los residuos o el polvo amontonado, la sabieta, el agua o las demás impurezas originan bloqueos o averías de funcionamiento.

Lo correcto es implementar mantenimientos preventivos y predictivos. El mantenimiento preventivo consiste en efectuar sistemáticamente intervenciones, esencialmente para cambiar elementos y dejar otra vez en buen estado las máquinas. Las intervenciones tienen lugar tras un período determinado de funcionamiento, medido en unidades de tiempo, que pueden ser horas, días, semanas, en kilómetros recorridos, o como es el caso de las bombas en metros cúbicos de concreto bombeados. La periodicidad de las intervenciones viene generalmente determinadas por un análisis estadístico de las averías anteriores o bien por los estándares de durabilidad informados por los proveedores.

En tanto, el mantenimiento predictivo intenta igualmente prevenir las averías, pero apunta a lograrlo de una manera más económica y segura. Este sistema de mantenimiento se basa en el seguimiento regular del equipo durante su funcionamiento, a fin de identificar sus degradaciones y predecir las necesidades de intervención en él. Como se dijo, éste sistema se orienta a ser económico, al eliminar los reemplazamientos que no necesarios o prematuros de componentes, propios del mantenimiento preventivo, además de ser más seguro, al predecir casos de averías anormales que el sistema preventivo puede dejar pasar.

### **3.4.2 Política de mantenimiento menos cara**

Para establecer la política de mantenimiento menos cara se deben considerar todos los costos, tanto directos como indirectos, implicados en las distintas estrategias de mantenimiento, para que la gerencia pueda decidir si utilizará el mantenimiento correctivo, preventivo o predictivo, en una máquina o componente determinado.

El mantenimiento correctivo tiene un costo nulo en función del tiempo hasta que la unidad falla y hay que repararla normalmente de urgencia. Este tipo de intervenciones sucede en forma sorpresiva, sin posibilidades de programación, generalmente acompañada de lucros cesantes y daños que normalmente representan costos de gran magnitud. Muchos costos se ignoran por no estar directamente relacionados con una avería inmediata. Por ejemplo, no se suele considerar el costo por el tiempo muerto, que además puede tener un efecto devastador sobre la moral, los empleados pueden empezar a creer que no es importante alcanzar el estándar de rendimiento, ni tampoco el mantenimiento del equipo. También el tiempo muerto afecta negativamente a las horas de entrega, y daña las relaciones con los clientes y las ventas futuras.

El mantenimiento preventivo tiene costos escalonados con saltos de poca envergadura debido a intervenciones periódicas planificadas y con algún escalón más importante en los mantenimientos mayores derivados fundamentalmente del reemplazo de partes de elevado costo, como podrían ser los cilindros de suministro o la válvula oscilante. Esta estrategia no está exenta de alguna reparación provocada por imprevistos en alguna bomba que se adelanta con su falla a la intervención preventiva. Sin embargo, esta estrategia resulta, habitualmente, más conveniente que esperar la falla, porque disminuye la ocurrencia de fallas imprevistas.

Por ejemplo los costos estimados para el mantenimiento preventivo solo incluyen los repuestos y la mano de obra utilizada y ascienden a un monto de Q. 20,000.00 por intervención preventiva, mientras que los costos estimados para el mantenimiento correctivo, además de incluir los repuestos y la mano de obra, la cual varía en función del componente averiado, también debe incluirse los costos indirectos como la pérdida de producción.

Si el precio promedio por metro cúbico de concertó bombeado es de Q600.00 y se estima que se bombean 35 m<sup>3</sup> por hora, según el manual de usuario de la Putzmeister, si ocurre una falla durante el servicio se tienen pérdidas de Q. 21,000.00 por hora, hasta que el problema sea solucionado, además de las multas por retrasos en las obras que son aproximadamente de Q. 1, 500.00 por hora de retraso cuando se trabaja con contrato, también deben incluirse los costos relacionados con la pérdida de ventas futuras debido a una mala imagen de la empresa y los costos de mano de obra debido al tiempo muerto. El historial de costos revela que en promedio el monto por cada intervención correctiva asciende a Q. 54,000.00. En la tabla XI se puede observar una comparación de los costos estimados entre el mantenimiento preventivo y el correctivo, para un periodo de un año, aclarando que el número de intervenciones correctivas al año fueron estimadas para el caso de que no existiera el mantenimiento preventivo.

**Tabla XI. Costos de mantenimiento preventivo Vrs. mantenimiento correctivo**

Tipo de mantenimiento	Costo por mantenimiento	Numero de intervenciones al año	Costo total al año
Preventivo	Q. 20,000.00	2	<b>Q.40,000.00</b>
Correctivo	Q. 54,000.00	6	<b>Q. 324,000.00</b>

**Fuente. Historial de costos de mantenimiento**

Debido a que las intervenciones correctivas pueden ser mucho mayores, que las intervenciones preventivas, ya que el mantenimiento correctivo no se planifica y hay que parar la producción cada vez que falla un componente distinto, el costo de solo aplicar mantenimiento correctivo es mucho mayor que aplicar mantenimiento preventivo.

El mantenimiento predictivo tiene costos escalonados determinados por las intervenciones y monitoreos. Cuando estos son de tipo continuo aportan una componente de tendencia en el tiempo. La presencia de intervenciones correctivas resulta nula o reducida a una mínima expresión. Aunque el monitoreo tiene en algunas ocasiones un costo inicial un tanto elevado, éste pospone o aún suprime algunas intervenciones preventivas y elimina la mayoría de las reparaciones de elevado costo. La presencia de intervenciones sugeridas por el monitoreo produce costos más reducidos, practicados en oportunidad y no con el anticipo propio de los preventivos.



## **4. IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO PROPUESTO**

El método propuesto para mejorar el programa de mantenimiento preventivo de las bombas impulsadoras de concreto, incluyen cambios en las frecuencias con que se realizan las rutinas de mantenimiento preventivo, con el fin de adaptar las frecuencias a la capacidad de cada bomba tal como se muestra en la tabla VII. Mejoras en las tareas de mantenimiento mediante la estandarización de los tiempo, las tareas y la herramienta utilizada, la introducción de hojas de inspección que ayuden a llevar un mejor control del desgaste de la válvula oscilante, ver figuras 24 y 25, y la capacitación constante para el personal de mantenimiento.

### **4.1 Designados a utilizar las propuestas de mejora del programa de mantenimiento preventivo**

Previo a la implementación de las mejoras del programa de mantenimiento preventivo se debe de identificar a las personas involucradas y de que forma serán influenciadas con los cambios planificados, para anticiparse a los posibles problemas y tomar medidas de contingencias.

#### **4.1.1 Personal encargado de realizar las tareas de mantenimiento preventivo**

Para mejorar las tareas de mantenimiento preventivo se requiere que el personal encargado de realizar las tareas utilice herramientas estandarizadas que le ayuden a reducir tiempo y esfuerzo para desmontar y montar los componentes, para esto se requiere que se le de un entrenamiento previo de cómo utilizar dicha herramienta y permitirle aportar sugerencias.

La resistencia a la estandarización de tiempos y tareas puede que sea mayor debido a que con esto se llevara un mejor control de los trabajos de mantenimiento preventivo y el personal se tendrá que adaptar al estándar de tiempo y la secuencia de operaciones que se muestran en el diagrama de operaciones del apéndice. Esta resistencia se puede minimizar introduciendo algún tipo de incentivo, como pueden ser bonos mensuales debido a la reducción de los tiempos de mantenimiento preventivo y aumento de la confiabilidad del equipo.

La introducción de una hoja de inspección de la válvula oscilante, requerirá la introducción de una nueva tarea en las rutinas de mantenimiento preventivo, ya que esta debe ser llenada por el mecánico cada vez que se realiza una intervención preventiva.

#### **4.1.2 Personal administrativo**

Una vez implementado el cambio en las frecuencias de mantenimiento preventivo, el personal administrativo ya no podrá planificar o programar las bombas solo basándose en que el mantenimiento preventivo se realiza cada 4000m<sup>3</sup> de concreto bombeado, sino que tendrá que programarlas considerando el plan propuesto que se muestra en la tabla VII para cada grupo de bombas, el cual depende de la capacidad de bombeo.

#### **4.2 Presentación de la mejora para el programa de mantenimiento preventivo**

Una vez aprobado la implementación de las mejoras en el programa de mantenimiento preventivo se debe crear un modelo o procedimiento tanto por escrito como en forma oral, para introducir las mejoras, a las personas que serán responsables directamente de realizar el trabajo, aun si la empresa no requiere un informe escrito, es una buena práctica hacerlo para tener un registro que ayude en aplicaciones futuras.

##### **4.2.1 Presentación de la mejora al personal administrativo**

La presentación que se le haga al personal administrativo que incluye al área de planificación principalmente, debe enfocarse en la propuesta de las frecuencias del mantenimiento preventivo, ya que serán ellos los encargados de incorporar las nuevas frecuencias al plan de mantenimiento en el sistema SAP.

Por lo que para que la implementación del método propuesto tenga éxito es necesario detallar los criterios y datos que se utilizaron como base en la sección 3.1 y 2.3 y que sirvieron para tomar la decisión de implementar el nuevo plan de mantenimiento, así como los beneficios de incorporar dicho plan, de tal forma que todos comprendan en que consiste el nuevo método.

#### **4.2.2 Presentación de la mejora al personal técnico**

El personal técnico que incluye a los mecánicos y operadores de las bombas, también deben de estar enterados en que consisten las mejoras de trabajo, antes de que se implementen, ya que de lo contrario la resistencia al cambio puede ser mayor.

No es extraño que los trabajadores se resistan al cambio de algún método existente de trabajo. Aunque muchos quieren ser innovadores y de pensamientos progresistas, la mayor parte de las personas se sienten bastante cómodas con sus trabajos o centros de trabajo actuales, aunque no sea el más cómodo y agradable. El temor al cambio y el impacto que pueda tener en su trabajo, salario y seguridad sobrepasan otras preocupaciones. Debe notificarse a los trabajadores con suficiente anticipación sobre cualquier cambio que les pueda afectar.

La resistencia al cambio es directamente proporcional a la magnitud del mismo y al tiempo disponible para implementarlo. Por lo tanto, los cambios deben realizarse por pasos y deben explicarse las razones para el cambio con bastante detalle, a fin de que todos comprendan, ya que se dice que las personas se resisten cuando no comprenden algo. Por ejemplo en lugar de solo introducir una nueva herramienta como el extractor del manguito de presión, expliqué cómo esta herramienta facilitará la extracción y el montaje del manguito de presión reduciendo tanto el tiempo como el esfuerzo necesario para realizar dicha operación.

### **4.3 Encargados de la implementación de la mejora en el programa de mantenimiento preventivo**

Todos los empleados deben comprender el porque de la introducción de las mejoras en el programa de mantenimiento preventivo en la empresa y estar convencidos de su necesidad. Es por esta razón que la alta gerencia debe formular su compromiso, debe dejar claro su intención de seguir con la implementación de las mejoras hasta su finalización.

#### **4.3.1 Jefe de departamento de bombas**

Para que las mejoras sean implementadas con éxito, es necesario que el jefe de departamento de bombas muestre entusiasmo y apoye las propuestas, ya que de lo contrario puede tener un efecto devastador sobre la moral de los empleados, los cuales pueden llegar a creer que implementar las mejoras no sea tan importante después de todo.

### **4.3.2 Supervisor de departamento**

No debe suponerse que la instalación se realizará de manera automática de acuerdo con la propuesta. Una persona de mantenimiento, un mecánico o un operador puede hacer pequeños cambios o modificaciones sin considerar las consecuencias. Esto quizá signifique que el método propuesto no logre los resultados esperados.

El supervisor de taller debe participar en los trabajos de mejora establecidos, para asegurar que todos los detalles se realizan de acuerdo con lo establecido en el capítulo tres. Debe verificar que: el centro de trabajo que se establece está equipado con la maquinaria propuesta; se proporcionan las condiciones de trabajo planeadas; la herramienta cumple con las recomendaciones, y que el progreso del trabajo es satisfactorio.

### **4.3.3 Personal administrativo**

El personal administrativo tendrá a su cargo la incorporación del nuevo plan de mantenimiento preventivo al sistema SAP. Para esto se deberá cambiar la información referente a las frecuencias de mantenimiento que se almacena en la base de datos, para que la notificación de mantenimiento ya no sea cada 4000m<sup>3</sup>, para todas las bombas por igual, sino que, se introduzca la propuesta del plan de mantenimiento basado en la capacidad de cada bomba como se muestra en la sección 3.1.1.

Para que la estandarización de las tareas de mantenimiento preventivo se implemente con éxito, es necesario que se modifiquen también las órdenes de trabajo, ya que actualmente las tareas en las órdenes de trabajo están desordenadas y tienen poca información referente a la tarea, lo cual le resta importancia a dichas órdenes. Utilizando los diagramas de operaciones, donde se describen todas las operaciones que se deben realizar durante el mantenimiento preventivo de los componentes mecánicos que se muestran en el apéndice, el personal de planificación podrá ingresar al sistema una orden de trabajo que sirva como guía a los mecánicos.

#### **4.4 Tiempo necesario para implementar la mejora en el programa de mantenimiento preventivo**

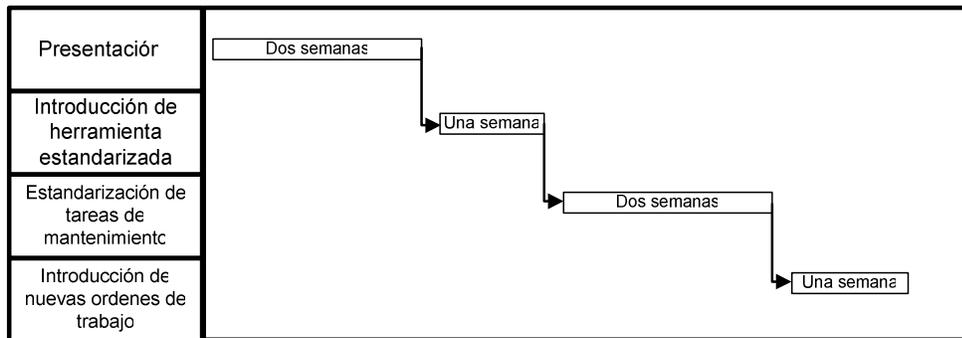
Se debe establecer un programa con el tiempo estimado para implementar las mejoras que deberá ser respetado y por ningún motivo incumplir el programa, pues esta es la causa principal por la cual algunas empresas terminan abandonado el implementación, antes de ver los frutos tangibles y todo el esfuerzo de muchas personas se pierde.

##### **4.4.1 Tiempo para implementar la mejora en tareas de mantenimiento preventivo**

Como se mencionó anteriormente, la resistencia al cambio es directamente proporcional a la magnitud del mismo y al tiempo disponible para implantarlo. Por lo tanto, los cambios deben realizarse por pasos. Una técnica útil para planificar y controlar la implementación de la mejora es el diagrama de Gantt, el cual muestra el tiempo de terminación planeado para las distintas actividades como barras graficadas contra el tiempo en un eje horizontal.

Una gráfica de Gantt exige que quien planea el proyecto desarrolle un plan anticipado y proporcione una revisión rápida del avance del proyecto en cualquier momento. En la figura 30 se puede observar un diagrama de Gantt sencillo, que muestra la duración de cada actividad que se tiene prevista, pero hay que aclarar que si cualquiera de las actividades toma más tiempo, la actividad sucesora no podrá comenzar hasta que la otra actividad termine.

**Figura 31. Diagrama de Gantt.**



#### **4.4.2 Tiempo para implementar la mejora de frecuencias de mantenimiento.**

Previo a la implementación de las mejoras de las frecuencias de mantenimiento preventivo de los componentes mecánicos, se debe dedicar un tiempo a realizar mejoras en los métodos actuales de limpieza y lubricación, ya que por ser el desgaste o deterioro la causa principal de fallas en los componentes mecánicos, para que el nuevo plan tenga éxito es necesario inspeccionar y corregir cualquier error en los sistemas de lubricación y limpieza. Por ejemplo se ha observado que en algunas bombas la lubricación es deficiente debido a que los puntos de lubricación se encuentran en zonas incómodas para el operador.

Otra causa es que el operador olvida llevar el engrasador, o simplemente no engrasa las piezas en los tiempos recomendados porque esta muy ocupado operando la bomba. Una solución sería instalar un engrasador automático programado para que engrase a intervalos de tiempo preestablecidos, pero una solución mas económica sería, instalar un sistema de lubricación central con distribución progresivo, que consiste de un engrasador manual acoplado a la bomba y conectado de tal manera que abastezca rápidamente los puntos de engrase más importantes de la bomba, ver figura 31.

**Figura 32. Lubricación central en tolva**



**Fuente. Pagina web de Putzmeister. [www.Putzmeister.com](http://www.Putzmeister.com)**

Una vez corregidos todos aquellos inconvenientes, la implementación del plan de frecuencias de mantenimiento preventivo basado en los ciclos de bombeo se realizará poco a poco, debido a que en la implementación de un nuevo método, siempre surgen ciertos inconvenientes, es necesario probar el método para un número reducido de bombas e ir corrigiendo todos aquellos pequeños inconvenientes que aparezcan hasta que el plan este listo para ser implementado a toda la flotilla de bombas.



## **5. SEGUIMIENTO DEL MÉTODO PROPUESTO**

La implementación de una mejora en el área de trabajo nunca debe considerarse completa. El seguimiento se realiza principalmente para estar seguro de que se sigue conforme a lo propuesto, que los estándares establecidos se están cumpliendo y que las mejoras cuentan con el apoyo de los trabajadores, el personal de supervisión y la dirección de la empresa. El seguimiento resulta generalmente en beneficios adicionales provenientes de nuevas ideas y nuevos enfoques, que estimulan eventualmente el deseo de emprender otra vez un programa de ingeniería de métodos en un diseño o proceso existente.

### **5.1 Criterios para la evaluación de la mejora propuesta**

Para asegurarse que se está cumpliendo con lo planificado es necesario tener criterios que permitan evaluar el desempeño del trabajo luego de que se han implementado las mejoras en el programa de mantenimiento preventivo, para ayudar a establecer dichos criterios se pueden utilizar índices de mantenimiento, tal como se muestra a continuación.

#### **5.1.1 Informes de mantenimiento**

Para facilitar la evaluación de las actividades del mantenimiento, permitir tomar decisiones y establecer metas, deben ser creados informes concisos y específicos formados por tablas de índices, algunos de los cuales deben ir acompañados de sus respectivos gráficos, proyectados para un fácil análisis, adecuado a cada nivel de gestión.

La primera etapa recomendada para el desarrollo de los informes de mantenimiento, los cuales se elaboraran a partir de los índices de mantenimiento que se presentaran mas adelante, debe ser la de gestión de equipos, en este caso Bombas de concreto, o sea, el acompañamiento del desempeño de cada uno y su participación en la actividad de la empresa.

#### **5.1.1.1 Utilización de índices para evaluar la mejora del programa de mantenimiento preventivo**

Para poder comparar y evaluar los beneficios esperados con la implementación de un nuevo método de trabajo para las operaciones de mantenimiento preventivo, se requiere de la utilización de índices de mantenimiento, que se muestran a continuación, los cuales nos permiten identificar variaciones en los programas de mantenimiento y tomar las acciones correctivas necesarias.

##### **5.1.1.1.1 Índice de disponibilidad del equipo**

Uno de los índices que tienen gran importancia para la gestión del mantenimiento es el índice de disponibilidad del equipo, pues a través de éste, puede ser hecho un análisis selectivo de los equipos, cuyo comportamiento operacional está por debajo de los estándares aceptables. La disponibilidad del equipo se define como la relación entre la diferencia del número de horas del período considerado u horas calendario de trabajo con el número de horas de intervenciones por el personal de mantenimiento, o sea, tiempo en el que la bomba permanece en el taller, para cada bomba observada y el número de horas del periodo considerado.

$$DISP = \frac{\sum (Hr.Cal. - Hr.T)}{Hr.Cal.}$$

Donde *Hr.Cal.* = Horas calendario  
*Hr.T* = Horas en el taller

Actualmente se utiliza un índice de disponibilidad basado en el porcentaje de bombas disponibles diariamente, tal como se describió en la sección 1.6.2, pero se recomienda utilizar también el índice de disponibilidad basado en el número de horas de trabajo y el número de horas que cada bomba permanece en el taller durante un intervalo de tiempo preestablecido, la cuales pueden ser semanas, meses, año, ya que como se mencionó anteriormente este último proporciona información de la disponibilidad de cada bomba, identificando las bombas con mayores problemas.

Para su análisis, se recomienda poner en tablas mensurables, la disponibilidad de las bombas seleccionadas y establecer un limite mínimo aceptable de sus valores, a partir del cual, serán hechas las selecciones para el análisis, tal como se muestra en la tabla XII.

**Tabla XII. Disponibilidad de Bombas <sup>7</sup>**

<b>Disponibilidad de Bombas</b>								
<b>Departamento bombas</b>				<b>Periodo: 01/01/2007 a</b>				
<b>31/06/2008</b>								
<b>Equipo</b>	<b>Promedio anterior</b>	<b>Ene.</b>	<b>Feb.</b>	<b>Mar.</b>	<b>Abr.</b>	<b>May.</b>	<b>Jun.</b>	<b>Promedio actual</b>
BIC-001	97	100	100	92	100	83	100	96
BIC-002	91	100	88	100	79	100	100	95
BIC-003	93	33	100	49	100	80	100	77
BIC-005	97	100	100	53	100	95	70	86
BIC-009	89	100	71	100	100	38	100	85
BIC-014	95	100	100	100	100	100	100	100
BIC-016	91	62	100	100	100	100	100	94
BIC-017	90	75	100	100	100	100	45	87
BIC-019	90	100	100	100	100	100	100	100
BIC-020	84	100	78	56	100	100	100	89
BIC-021	90	90	45	100	100	100	100	89
BIC-028	96	69	100	100	100	90	100	93

En la misma tabla, pueden ser presentados los valores promedios de disponibilidad del “período anterior”, que pueden ser seis meses anteriores al actual o más, y el “período actual”, para permitir el acompañamiento de los equipos en periodos más amplio.

Además del índice de disponibilidad de equipo, existen otros índices, que pueden auxiliar en la evaluación de los criterios de intervención y el proceso de gestión de mantenimiento.

<sup>7</sup> Hay que aclarar que los valores presentados en la tabla de disponibilidad del equipo no son reales, son solo para efectos de explicación.

### 5.1.1.1.2 Índice de tiempo medio entre mantenimientos preventivos

El tiempo medio entre mantenimientos preventivos se define como la relación entre el producto del número de bombas por sus tiempos de operación, con relación al número total de intervenciones preventivas, en el periodo observado.

$$TEMP = \frac{No.U * Hr.Op.}{\sum NTMP} \quad \text{Donde } No.U = \text{Numero de unidades}$$
$$Hr.Op. = \text{Horas de operacion}$$
$$NTMP = \text{Numero de intervenciones preventivas}$$

### 5.1.1.1.3 Índice de tiempo medio para intervenciones preventivas

El tiempo medio para intervenciones preventivas se define como la relación entre el tiempo total de intervenciones preventivas en un conjunto de bombas, y el número total de intervenciones preventivas en dichas unidades, en el periodo observado.

$$TPMP = \frac{\sum Hr.MP}{NTMP} \quad \text{Donde } Hr.MP = \text{Horas de mantenimiento preventivo}$$
$$NTMP = \text{Numero de intervenciones preventivas}$$

## **5.2 Control de la mejora propuesta**

El control de las mejoras propuestas se refiere a vigilar el desempeño y emprender acciones correctivas ante ciertas variaciones que surjan. Para esto se debe asignar a los responsables de controlar el programa de mantenimiento, establecer estándares y utilizar herramientas de control como los son los gráficos de control.

### **5.2.1 Responsables del control de la mejora propuesta**

Los responsables de controlar el método propuesto son las mismas personas que se encargan de dirigir las actividades de mantenimiento. El jefe de taller de bombas sería el encargado de realizar los cálculos de los índices de mantenimiento con información proporcionada por el área de planificación, sobre tiempos de mantenimiento y de operación de las bombas, y de este modo poder indicarle al supervisor del taller de bombas si se está cumpliendo con lo planificado, o si el comportamiento operacional está por debajo de los estándares aceptables, como lo son los estándares de tiempo que se muestran en el diagrama de operaciones del apéndice o los estándares de costos que tienen un monto de Q.20,000 por intervención preventiva, así como los estándares que se deben fijar para los índices de mantenimiento descritos anteriormente. El supervisor sería el encargado de dirigir a los mecánicos y operarios para que se tomen las acciones correctivas en caso de que el jefe de taller les informe que existe una variación el programa de mantenimiento de alguna de las bombas.

### **5.2.1 Verificación en el sitio de trabajo**

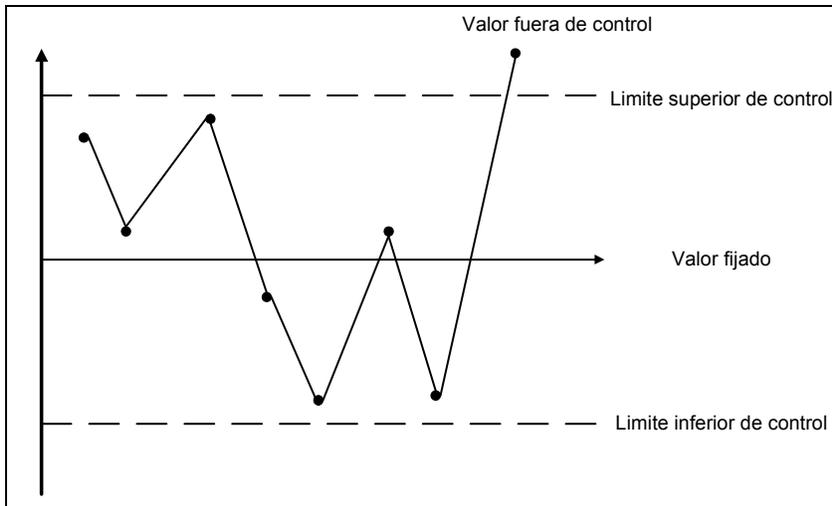
La verificación en el sitio de trabajo se refiere a que se deben efectuar periódicamente inspecciones en el área de trabajo o área de mantenimiento de bombas por parte del supervisor y jefe de taller para verificar que los mecánicos y operarios están cumpliendo paso a paso los métodos de trabajo establecidos y de esta manera evitar desviaciones, para garantizar que el método propuesto se cumpla correctamente.

### **5.2.3 Gráficos para el control de la mejora propuesta**

Los gráficos de control son representaciones gráficas de los datos en el tiempo, que muestran los límites superiores e inferiores del proceso que queremos controlar, que en este caso resulta ser el mantenimiento preventivo de los componentes mecánicas de las bombas impulsadoras de concreto. Los gráficos de control se elaboran de manera que los nuevos datos sean rápidamente comparables con los anteriores. Tomamos muestras de los rendimientos del proceso utilizando los índices de mantenimiento descritos en la sección 5.1.1, se coloca la media de esta muestra en un gráfico que contenga los límites aceptables.

La figura 32 nos muestra la información importante que proporcionan los gráficos de control. Cuando la medida de la muestra se sitúa entre los límites establecidos y no presentan tendencia alguna, se dice que el proceso está controlado. En caso contrario, se dice que el proceso esta descontrolado o desajustado.

**Figura 33. Gráfico de control**



Fuente. Control estadístico de la calidad. GRANT, EUGENE

### 5.3 Establecimiento de objetivos

Una tendencia moderna de administración de las empresas es la “gestión por objetivos”. Esto aplica en forma muy especial al personal de las empresas y con frecuencia se establecen estímulos y premios, basados en el cumplimiento de los objetivos.

Este tema será posiblemente desarrollado en mayor detalle en la materia relaciones industriales, sin embargo podemos plantearnos: cuáles podrían ser, en forma genérica, los objetivos de un sector de mantenimiento industrial? Para esto pensemos en lo que se desea y lo que no se desea de la función de mantener los equipos.

**Lo que es indeseable, con tolerancia CERO:**

- Violaciones a la seguridad, la salud y el cuidado del medio ambiente.

**Tabla XIII. Objetivos de mantenimiento**

<b>ALGUNOS INDESEABLES</b>	<b>LO QUE ES DESEABLE</b>
Paradas de planta no programadas	Paradas de planta programadas
Perdida de capacidad de producción	Plena capacidad de producción
Improvisaciones	Tareas estandarizadas
Precipitaciones	Tareas previamente programadas
Repetición de los trabajos	Personal capacitado y entrenado. Los trabajos se hacen bien la primera vez.
Ejecución incompleta de los trabajos	Trabajos completos sobre lo planificado.
Indisciplina	Cada uno hace lo que debe hacer.
Incremento injustificado de los costos	Ejecución según presupuestos
Incomunicaciones	Los involucrados están bien informados
Trabajos provisorios o precarios	Ejecución sobre procedimientos técnicos

Fuente. Pagina web. [www.Mantenimientoindustrialtema1\\_temas1a4.com](http://www.Mantenimientoindustrialtema1_temas1a4.com)

## 5.4 Beneficios percibidos

Para justificar la implementación de mejoras del programa de mantenimiento preventivo hay que mostrar los beneficios que se obtendrán, por lo que a continuación se muestran los beneficios que se pueden obtener.

### 5.4.1 Costos de mantenimiento preventivo

La propuesta para la frecuencia de mantenimiento preventivo de los componentes mecánicos, tiene como principal objetivo reducir los costos de mantenimiento preventivo. En la tabla XIV y XV se puede observar el ahorro en los costos de mantenimiento en un período de un año al aplicar el nuevo plan de mantenimiento preventivo a cuatro bombas de diferente capacidad. Utilizando el historial de bombas se determinó que en promedio cada bomba suministra 6480M<sup>3</sup> de concreto al año, y se determinó un costo de Q 20,000.00 por mantenimiento preventivo.

**Tabla XIV. Comparación entre costos del plan actual y el propuesto**

Equipo	Cantidad de equipo	Plan Actual (M <sup>3</sup> )	No. de Intervenciones Preventivas	Costo de plan actual Q/año*bomba	Nuevo Plan (M <sup>3</sup> )	No. de Intervenciones Preventivas	Costo del Nuevo plan Q/año*bomba
BIC- 28,33,34, 35,36,37,38	7	4000	1.62	Q.32,400	4000	1.62	Q.32,400
BIC- 30,31	2	4000	1.62	Q.32,400	5600	1.16	Q.23,200
BIC- 03,05,19, 21,20,39	6	4000	1.62	Q.32,400	6900	0.94	Q.18,800
BIC- 01,02	2	4000	1.62	Q.32,400	13000	0.50	Q.10,000

Donde:

$$\text{No. de intervenciones preventivas} = \frac{6480M^3}{\text{Plan de mantenimiento}}$$

$$\text{Costo del plan} \left( \frac{Q}{\text{año}} \right) = \text{No. de intervenciones preventivas} * Q20,000.00$$

Por ejemplo para la bomba BIC-20, que esta en el tercer grupo de bombas de la tabla XIV se tiene que el plan actual es de  $4000m^3$ , pero se sugiere un plan de  $6900m^3$ , por lo que el número de intervenciones preventivas para cada plan es de:

$$\text{No. intervenciones preventivas plan actual} = \frac{6480m^3}{4000m^3} = 1.62$$

$$\text{No. intervenciones preventivas nuevo plan} = \frac{6480m^3}{6900m^3} = 0.94$$

Al multiplicar esta cantidad por el costo de mantenimiento preventivo, el cual es de Q. 20,000.00 por bomba se encuentra el costo de cada plan de mantenimiento por año por bomba.

**Tabla XV. Ahorro en costos de mantenimiento preventivo**

Equipo	Costo de plan actual Q/año por bomba	Costo del Nuevo plan Q/año por bomba	Ahorro en Q/año por bomba	# de bombas	Ahorro total por grupo de bombas Q/año
BIC- 28,33,34, 35,36,37,38	Q.32,400	Q.32,400	0	7	0
BIC- 30,31	Q.32,400	Q.23,200	Q.9,200	2	Q.18,400
BIC- 03,05,19, 21,20,39	Q.32,400	Q.18,800	Q.13,600	6	Q.81,600
BIC- 01,02	Q.32,400	Q.10,000	Q.22,400	2	Q.44,800
				<b>Total</b>	<b>Q.144,800/año</b>

Donde:

$$\text{Ahorro} = \text{Costo plan actual} - \text{Costo del nuevo plan}$$

$$\text{Ahorro total por grupo de bombas} = \text{Ahorro por bomba} * \# \text{ de bombas}$$

Como se puede observar en promedio se ahorra una cantidad de Q.144,800.00 anuales cuando el costo por mantenimiento preventivo es de Q.20,000.00.

#### **5.4.2 Aumento de la confiabilidad del equipo**

Los costos de operación se pueden reducir aumentando la confiabilidad del equipo, ya que una buena confiabilidad del equipo implica que la probabilidad que una bomba falle en servicio será casi nula, por lo que se reducirán los costos relacionados con retrasos en los tiempos de entrega, mal servicio a los clientes, tiempos muertos, intereses por retrasos, mantenimientos correctivos, etc.

Las mejoras propuestas en las tareas de mantenimiento preventivo de los componentes mecánicos, pretenden aumentar la confiabilidad en las bombas, ya que al utilizar herramientas y tareas estandarizadas, el mecánico podrá realizar un mejor trabajo en un menor tiempo, de tal manera que se tenga tiempo suficiente para realizar una inspección minuciosa de la bomba antes de que salga del taller.



## CONCLUSIONES

1. Un equipo confiable y con buen mantenimiento proporciona un alto grado de disponibilidad y mejora la calidad y el cumplimiento de los horarios de servicio planificados. Un programa de mantenimiento preventivo busca mantener el equipo productivo en óptimas condiciones durante el mayor tiempo posible, es decir, busca aumentar la disponibilidad y confiabilidad del equipo con un costo mínimo. Por lo que queda claro que para aumentar la disponibilidad y confiabilidad del equipo, manteniendo los costos o incluso reducirlos, es necesario mejorar continuamente la eficiencia con que se realizan todas las actividades relacionadas con el programa de mantenimiento preventivo.
  
2. Tras una evaluación sistemática del programa de mantenimiento preventivo, resulta fácil identificar las causas y no sólo los síntomas que inmovilizan con mayor frecuencia a la máquina. Dicha evaluación puede realizarse valiéndose de herramientas que resultan particularmente útiles en el esfuerzo por mejorar el programa de mantenimiento preventivo. Algunas de estas herramientas son: diagrama de Pareto, diagramas de operaciones, histogramas, diagrama de causa efecto, hojas de control, etc.

3. El análisis de la operación ha ido adquiriendo cada vez más importancia a medida que se intensifica la competencia global, y se elevan al mismo tiempo los costos de mano de obra, repuestos y materiales. Dicho análisis es un procedimiento que nunca puede considerarse completo. La experiencia ha demostrado que el procedimiento del análisis sistemático es igualmente efectivo en industrias grandes y pequeñas, en talleres de mantenimiento, en industrias de servicio y en la producción en masa, por lo tanto, se puede decir que el análisis de la operación es aplicable a todas las actividades industriales.
4. La estandarización de las tareas y herramientas de mantenimiento preventivo, mejora la productividad, porque se le informa al colaborador la mejor manera de desempeñar las tareas y este va adquiriendo mayor especialización conforme realiza su trabajo, además elimina el tiempo perdido en improvisaciones de herramienta que muchas veces ni siquiera se llegan a utilizar.
5. Para aumentar los índices de confiabilidad y disponibilidad de las bombas impulsadoras de concreto, es necesario tener un enfoque global, es decir involucrar a todas las personas que tienen un contacto directo o indirecto con las bombas.

## RECOMENDACIONES

1. Se debe tener una comunicación continua con el fabricante de bombas, para que este suministre información importante sobre mejores métodos y herramientas para el mantenimiento de bombas y además, plantearle los inconvenientes que se tiene al momento de ejecutar las tareas de mantenimiento, para que este proceda a diseñar herramientas apropiadas.
2. Utilizar constantemente el historial de bombas para generar informes y poder evaluar el rendimiento individual de las bombas y tomar decisiones sobre el mantenimiento de las mismas.
3. Mantener un plan de capacitación y evaluación de todas las personas relacionadas con el mantenimiento de bombas, para aumentar la eficiencia de las tareas y la confiabilidad de los equipos.
4. La alta Dirección debe tener una participación activa en la implementación y seguimiento de un programa de mantenimiento, para que se obtengan los resultados esperados.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Avallone Eugene y Baumister III Theodore. **Manual del ingeniero Mecánico**. 9ª ed. Tomo I y II. México: Editorial McGraw-Hill Interamerica, S.A., 1995.
2. Benjamín W. Niebel. **Ingeniería industria. métodos, tiempos y movimientos**. 9ª ed. Editorial Alfaomega.
3. Jay Heizer y Barry Render. **Dirección de la producción, decisiones tácticas**. 6ª ed.: Editorial Prentice Hall.
4. Juárez Reyes, Héctor Alexander. El Análisis de aceite, implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite hidráulico para un equipo de bombeo de concreto. Tesis Ing. Mec. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2000.
5. Newbrough E.T. **Administración de mantenimiento industrial**. Ed. Diana, México 1974.
6. Putzmeister, América. **Manual de servicio**. Estados Unidos de America, 1999.
7. Schwing, América Inc. **Manual de servicio**.
8. Serrano Gálvez, Paulo David. Utilización del sistema SAP (sistema de administrativo de planificación) para un programa de mantenimiento preventivo en una fabrica productora de jabón sintético. Tesis Ing. Ind. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2002.

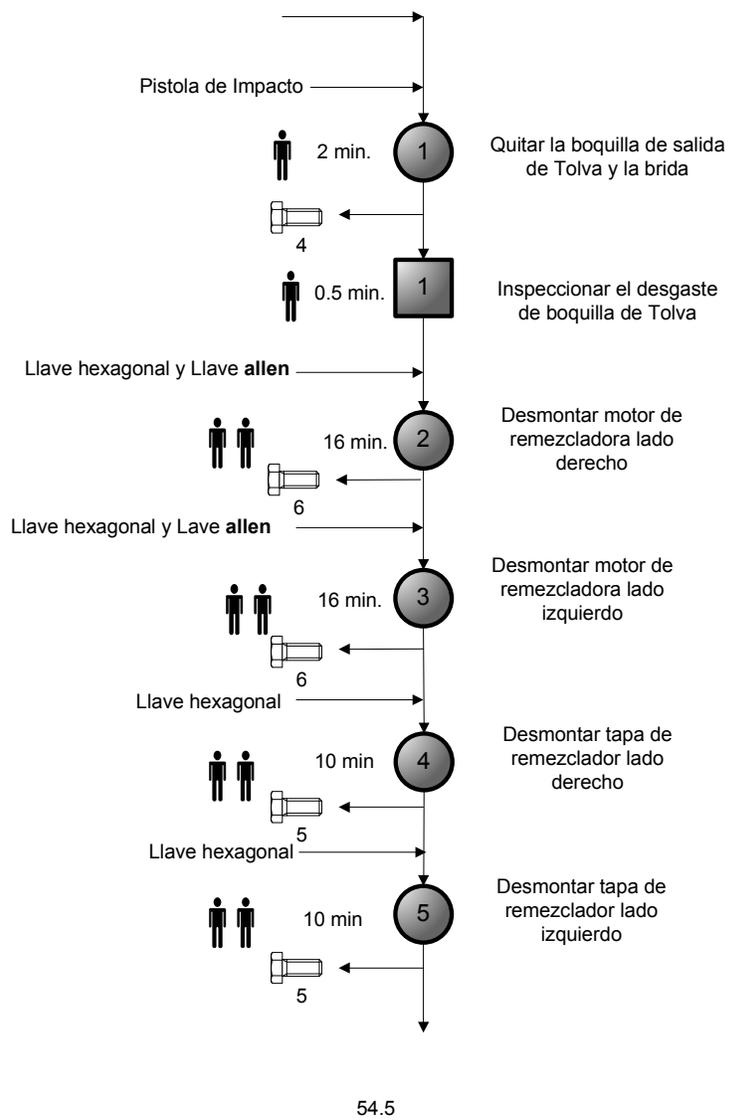
## **Referencia electrónica**

9. <http://www.Putzmeister.com>, diciembre del 2005
10. <http://www.Schwing.com>, diciembre del 2005

## **APÉNDICE**

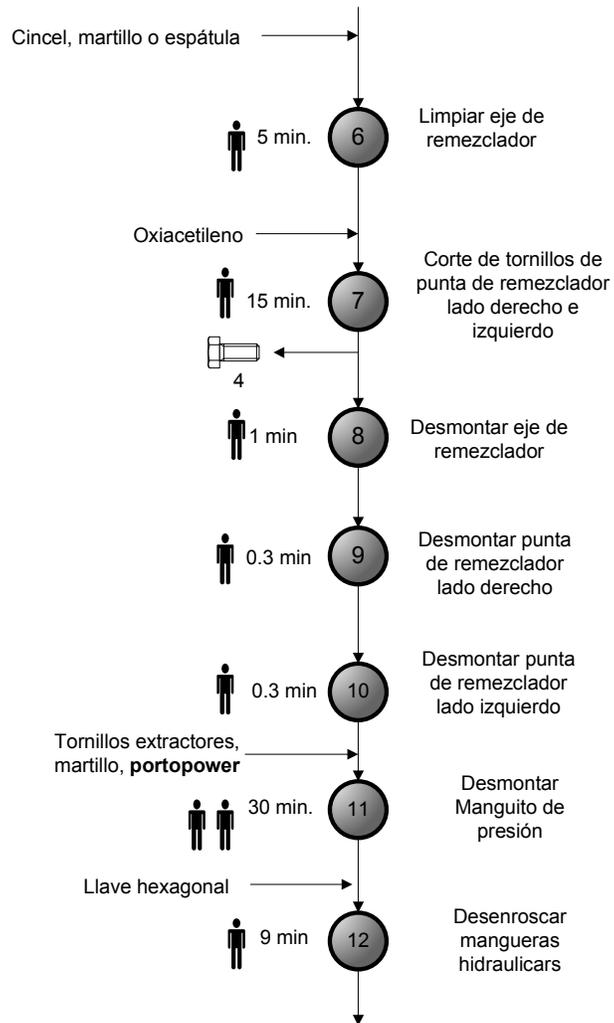
**Figura 34. Diagrama de operación de mantenimiento preventivo**

Departamento: Bombas	Elaborado Por: Byron Eleazar Solares Zarceño
Actividad: operaciones de mantenimiento	Equipo: Bomba impulsadota de concreto
Clase de mantenimiento: preventivo 4000 M3	Marca: Putzmeister
Metodo: Actual	Fecha: 20/09/2005
Hoja 01/10	



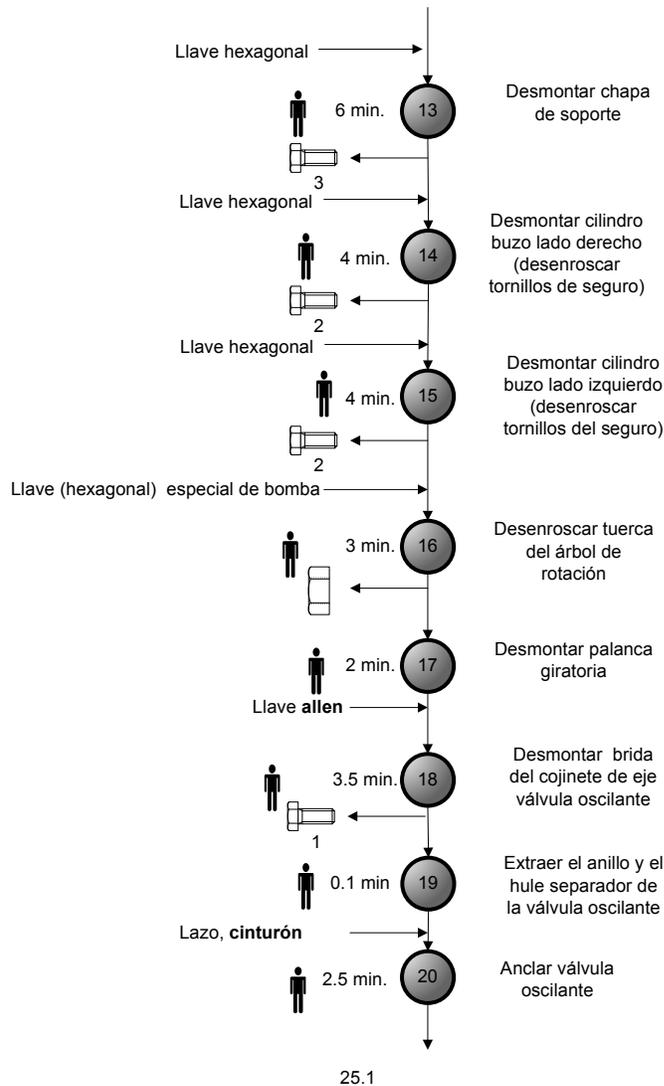
## Continuación. Diagrama de operación de mantenimiento preventivo

Departamento: Bombas	Elaborado Por: Byron Eleazar Solares Zarceño
Actividad: operaciones de mantenimiento	Equipo: Bomba impulsadota de concreto
Clase de mantenimiento: preventivo 4000 M3	Marca: Putzmeister
Metodo: Actual	Fecha: 20/09/2005
Hoja 02/10	



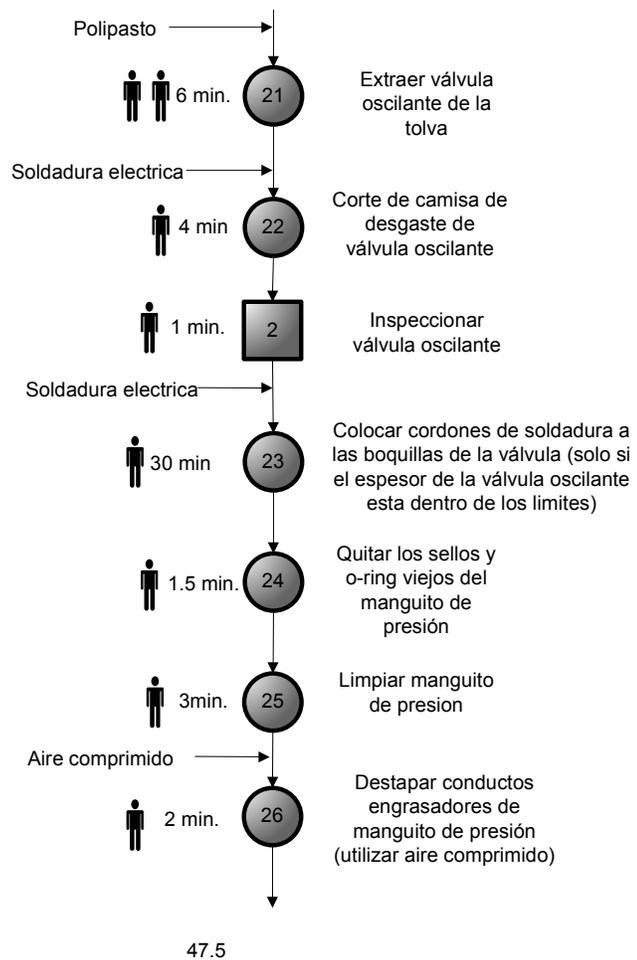
## Continuación. Diagrama de operación de mantenimiento preventivo

Departamento: Bombas	Elaborado Por: Byron Eleazar Solares Zarceño
Actividad: operaciones de mantenimiento	Equipo: Bomba impulsadota de concreto
Clase de mantenimiento: preventivo 4000 M3	Marca: Putzmeister
Metodo: Actual	Fecha: 20/09/2005
Hoja 03/10	



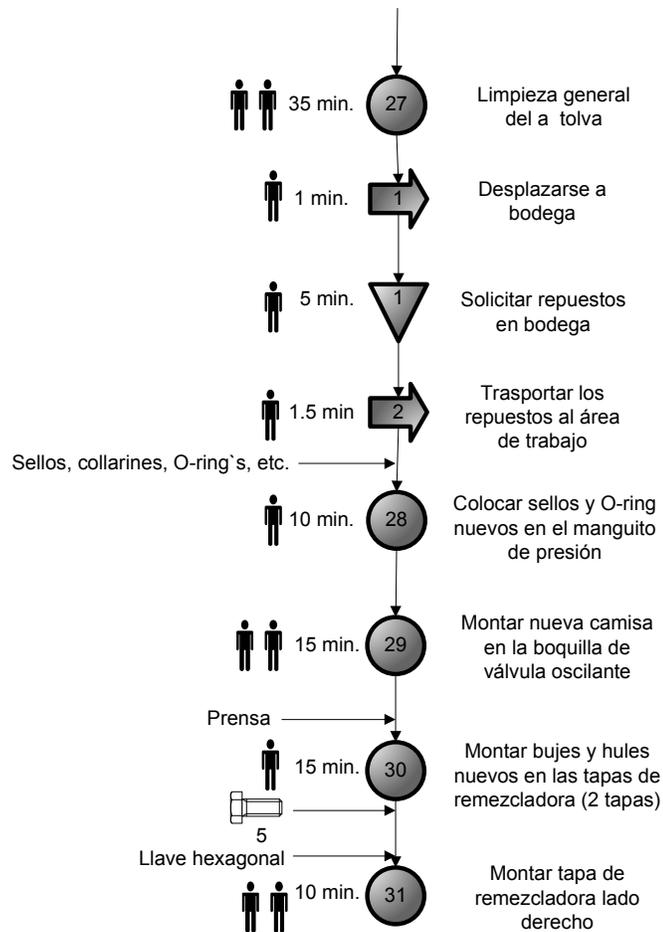
## Continuación. Diagrama de operación de mantenimiento preventivo

Departamento: Bombas	Elaborado Por: Byron Eleazar Solares Zarceño
Actividad: operaciones de mantenimiento	Equipo: Bomba impulsadota de concreto
Clase de mantenimiento: preventivo 4000 M3	Marca: Putzmeister
Metodo: Actual	Fecha: 20/09/2005
Hoja 04/10	



## Continuación. Diagrama de operación de mantenimiento preventivo

Departamento: Bombas	Elaborado Por: Byron Eleazar Solares Zarceño
Actividad: operaciones de mantenimiento	Equipo: Bomba impulsadota de concreto
Clase de mantenimiento: preventivo 4000 M3	Marca: Putzmeister
Metodo: Actual	Fecha: 20/09/2005
Hoja 05/10	



92.5

## Continuación. Diagrama de operación de mantenimiento preventivo

Departamento: Bombas

Actividad: operaciones de mantenimiento

Clase de mantenimiento: preventivo 4000 m3

Metodo: Actual

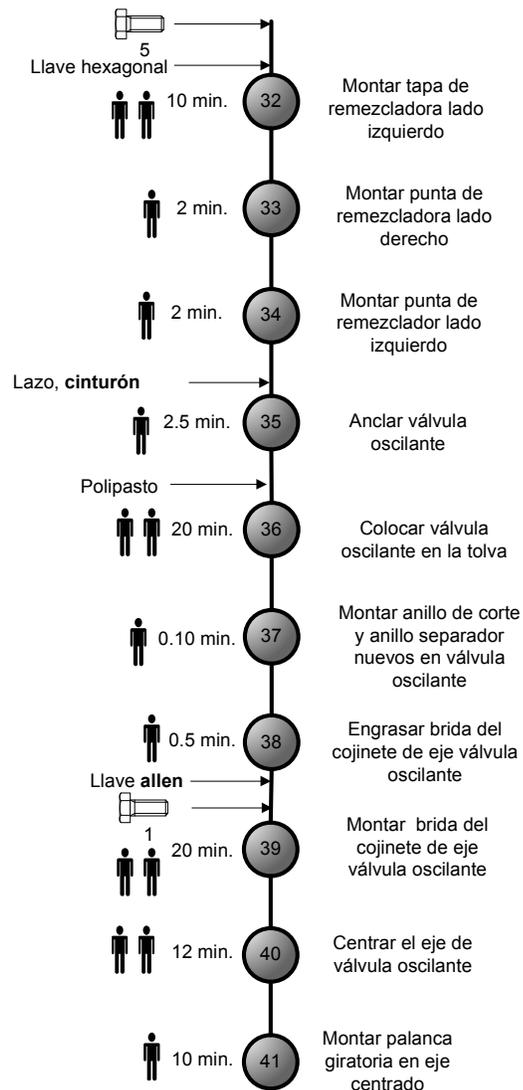
Hoja 06/10

Elaborado Por: Byron Eleazar Solares Zarceño

Equipo: Bomba impulsadota de concreto

Marca: Putzmeister

Fecha: 20/09/2005



82.1

## Continuación. Diagrama de operación de mantenimiento preventivo

Departamento: Bombas

Actividad: operaciones de mantenimiento

Clase de mantenimiento: preventivo 4000 m3

Metodo: Actual

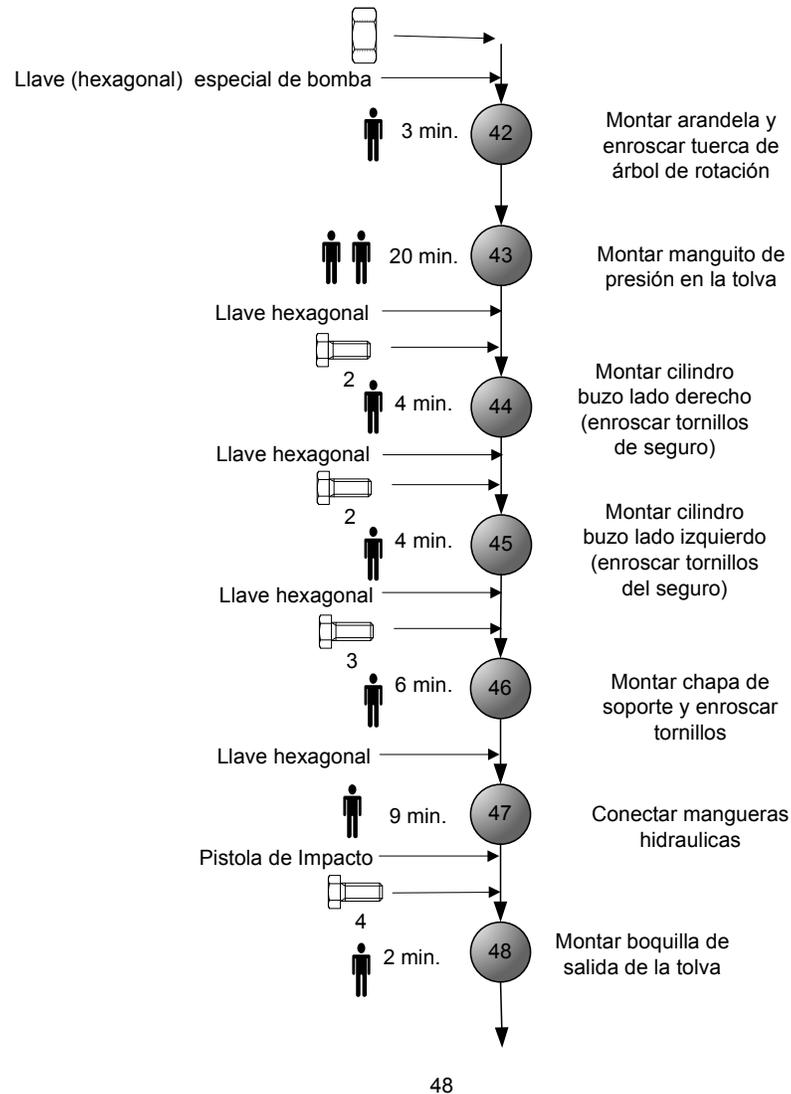
Hoja 07/10

Elaborado Por: Byron Eleazar Solares Zarceño

Equipo: Bomba impulsadota de concreto

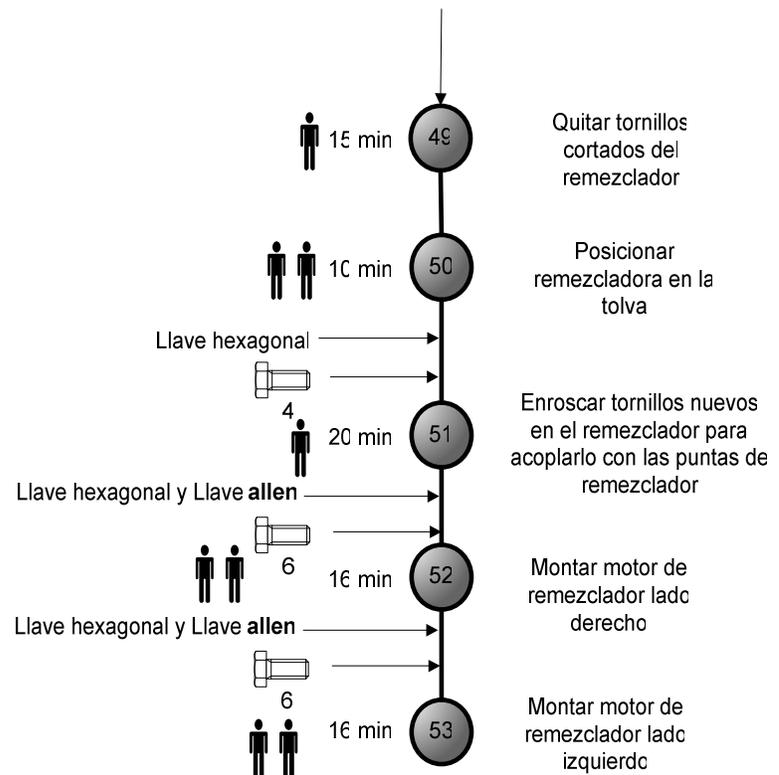
Marca: Putzmeister

Fecha: 20/09/2005



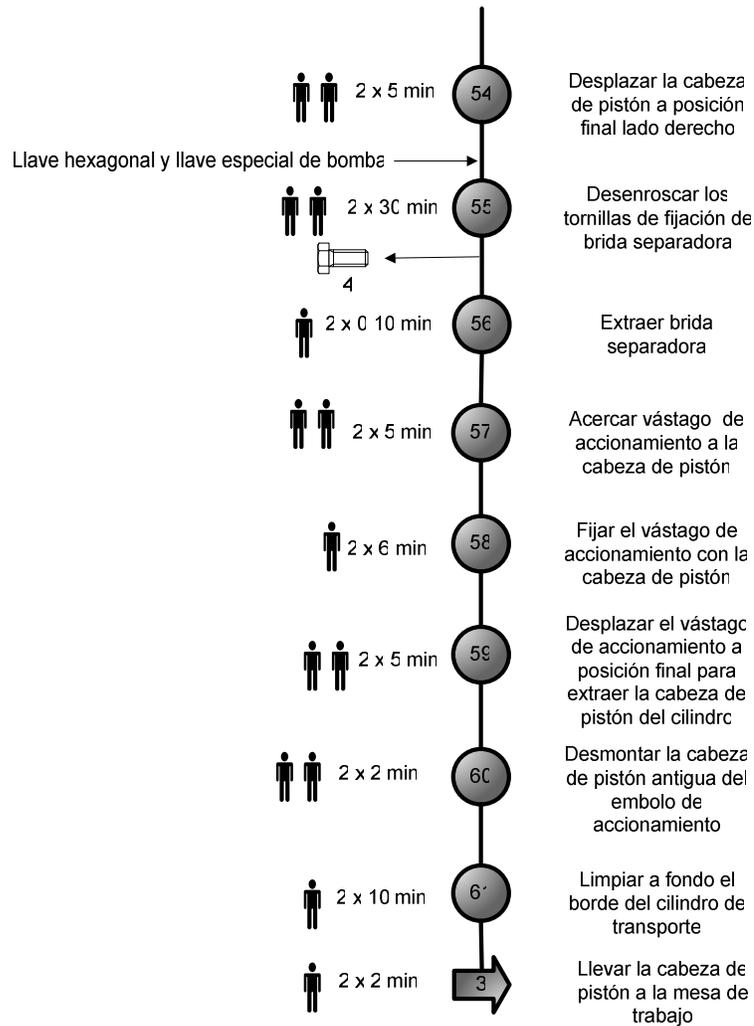
## Continuación. Diagrama de operación de mantenimiento preventivo

Departamento Bombas	Elaborado Por Byron Eleazar Solares Zarceño
Actividad operaciones de mantenimiento	Equipo Bomba impulsadota de concreto
Clase de mantenimiento preventivo 4000 m3	Marca Putzmeister
Metodo Actual	Fecha 20/09/2005
Hoja 08/10	



## Continuación. Diagrama de operación de mantenimiento preventivo

Departamento Bombas	Elaborado Por Byron Eleazar Solares Zarceño
Actividad operaciones de mantenimiento	Equipo Bomba impulsadora de concreto
Clase de mantenimiento preventivo 4000 m3	Marca Putzmeister
Método Actual	Fecha 20/09/2005
Hoja 09/10	

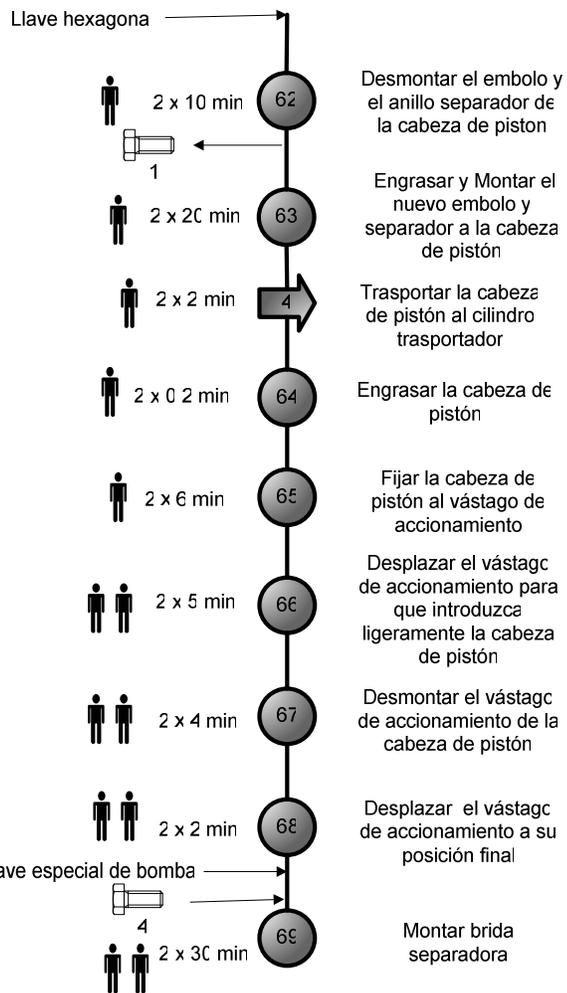


130 2

## Continuación. Diagrama de operación de mantenimiento preventivo

Departamento Bombas  
 Actividad operaciones de mantenimiento  
 Clase de mantenimiento preventivo 4000 m3  
 Método Actual  
 Hoja 1C/1C

Elaborado Por Byron Eleazar Solares Zarceñic  
 Equipo Bomba impulsadota de concreto  
 Marca Putzmeister  
 Fecha 20/09/2005



Resumen		
Evento	Numero	Tiempo
Operaciones	69	758 9 min
Inspecciones	2	1 5 min
Transporte	4	10 5 min
Almacen	1	5 min
<b>Total</b>	<b>775 9 min</b>	<b>Aprox 2 dias</b>



## **ANEXO**

**Tabla VI. Historial de mantenimiento preventivo**

Orden	Fecha ref.	Equipo	Ubic.	Texto breve	Autor	CosReal
676916	22/08/2005	BIC-003	SE-V11	MP 4000 M³ BOMBAS DE CONCRETO	RSANTAY	20.916,11
676972	22/08/2005	BIC-025	SE-V11	CAMBIO DE PERILLA CONTROL MANUAL	RSANTAY	710
676808	22/08/2005	BIC-026	SE-V11	MP. 4000 M³ BOMBAS DE CONCRETO	LVELA	22.183,57
672869	22/08/2005	BIC-030	SE-V11	FABRICACION DE BASE P/BATERIA	MANTOPSUR	89,29
677146	23/08/2005	BIC-026	SE-V11	CAMBIO DE ACEITE Y FILTRO SIST. HIDRAUL.	MANTOPSUR	1.609,34
676194	24/08/2005	BIC-014	SE-V11	CAMBIO DE HULES DE REMEZCLADOR	LVELA	2.787,60
674201	24/08/2005	BIC-035	SE-V11	RETOQUES DE PINTURA	MANTOPSUR	690,91
677513	25/08/2005	BIC-031	SE-V11	CAMBIO DE MANGUERAS HIDRAULICAS	RSANTAY	4.601,57
677737	26/08/2005	BIC-009	SE-V11	MANGUERAS HIDRAULICAS	LVELA	781,25
677713	26/08/2005	BIC-025	SE-V11	MANGUERAS HIDRAULICAS	LVELA	665,17
677711	26/08/2005	BIC-030	SE-V11	CAMBIO DE ABRAZADERAS DE ESCAPE	LVELA	71,42
672073	26/08/2005	BIC-038	SE-V11	CAMBIO DE BOMBA CENTRAL HIDRAULICA	MANTOPSUR	88.251,85
678301	29/08/2005	BIC-003	SE-V11	CAMBIO MANGUERAS HIDRAULICAS	MANTOPSUR	674,2
678298	29/08/2005	BIC-026	SE-V11	CAMBIO MANGUERAS HIDRAULICAS	MANTOPSUR	1.055,10
676302	29/08/2005	BIC-026	SE-V11	PINTAR AROS	MANTOPSUR	137,44
678178	29/08/2005	BIC-037	SE-V11	CAM. INDICADOR DE PRESION DE ACEITE HIDR	MANTOPSUR	775,48
678299	29/08/2005	BIC-038	SE-V11	CAMBIO MANGUERAS HIDRAULICAS	MANTOPSUR	2.946,56
678811	31/08/2005	BIC-025	SE-V11	CAMBIO DE LAMPARA DE TRABAJO	RSANTAY	91,2
673712	01/09/2005	BIC-031	SE-V11	ACE 250 HRS. MOTOR Y CAMBIO FILTROS	MANTOPSUR	692,77
673713	01/09/2005	BIC-033	SE-V11	ACE 250 HRS. MOTOR Y CAMBIO DE FILTROS	MANTOPSUR	962,77
678796	01/09/2005	BIC-035	SE-V11	CAMBIO DE COJINETES A BUFAS	RSANTAY	928,09
672069	02/09/2005	BIC-001	SE-V11	CAMBIO DE COJINETES	MANTOPSUR	1.169,88
678293	02/09/2005	BIC-039	SE-V11	MP 4000 M³ BOMBAS DE CONCRETO	RSANTAY	26.238,35
677710	05/09/2005	BIC-016	SE-V11	CAMBIO DE ABRAZADERAS DE ESCAPE	LVELA	99,87
679590	05/09/2005	BIC-016	SE-V11	CAMBIO DE FILTROS	NMARROQUIN	870,53
679591	05/09/2005	BIC-017	SE-V11	CAMBIO DE FILTROS	NMARROQUIN	870,53
672002	06/09/2005	BIC-015	SE-V11	MP. 4000 M³ BOMBAS DE CONCRETO	LVELA	25.933,70
672202	06/09/2005	BIC-015	SE-V11	REVISION DE SISTEMA ELECTRICO	RSANTAY	172,82
680144	06/09/2005	BIC-027	SE-V11	ACE 250 HRS. MOTOR Y CAMBIO FILTROS	MANTOPSUR	561,83
680192	06/09/2005	BIC-037	SE-V11	CAMBIO DE BATERIA	RSANTAY	619,77
680226	07/09/2005	BIC-002	SE-V11	MP 4000 M³ BOMBAS DE CONCRETO	RSANTAY	20.053,31
659473	07/09/2005	BIC-016	SE-V11	CAMBIO DE CILINDROS PRINCIPALES	MANTOPSUR	44.365,21
680450	08/09/2005	BIC-003	SE-V11	CAMBIO DE MANGUERAS HIDRAULICAS	RSANTAY	3.757,55
680451	08/09/2005	BIC-026	SE-V11	CAMBIO DE MANGUERAS HIDRAULICAS	RSANTAY	2.125,62
680453	08/09/2005	BIC-038	SE-V11	CAMBIO DE MANGUERA HIDRAULICA	RSANTAY	893,85
680432	08/09/2005	BIC-041	SE-V11	CAMBIO DE FILTRO Y ACEITE HIDRAULICO	MANTOPSUR	1.977,94
680668	09/09/2005	BIC-040	SE-V11	CAMBIO DE FILTRO Y ACEITE HIDRAULICO	MANTOPSUR	1.977,94
680839	10/09/2005	BIC-030	SE-V11	CAMBIO DE LAMPARA DE TRABAJO	MANTOPSUR	91,21
681554	13/09/2005	BIC-002	SE-V11	CAMBIO DE SWITCH DE BOMBEO	RSANTAY	1.056,16

### Continuación. Historial de mantenimiento preventivo

680562	13/09/2005	BIC-002	SE-V11	PINTURA DE TOLVA	LVELA	256,23
681578	13/09/2005	BIC-031	SE-V11	CAMBIO DE TORNILLOS A TOLVA	MANTOPSUR	31,69
681488	13/09/2005	BIC-038	SE-V11	ACE 2000 HRS. HIDRAULICO BOMBAS CONCRETO	MANTOPSUR	3.271,06
681485	13/09/2005	BIC-038	SE-V11	ACE 250 HRS. MOTOR Y CAMBIO DE FILTROS	MANTOPSUR	267,38
681680	13/09/2005	BIC-038	SE-V11	ARREGLAR SISTEMA ELECTRICO	RSANTAY	40,74
681483	13/09/2005	BIC-038	SE-V11	MP 1000 HRS. ENFRIAMIENTO BOMBAS	MANTOPSUR	67,12
681978	14/09/2005	BIC-015	SE-V11	TRABAJOS VARIOS	MANTOPSUR	0
682078	14/09/2005	BIC-016	SE-V11	CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE	RSANTAY	21,02
682443	16/09/2005	BIC-026	SE-V11	CAMBIO DE BASE Y FILTRO HIDRAULICO	RSANTAY	382,68
682617	17/09/2005	BIC-005	SE-V11	CALZADO DE REMEZCLADOR	MANTOPSUR	127,78
682859	19/09/2005	BIC-001	SE-V11	REVESTIMIENTO DE VALVULA OSCILANTE	MANTOPSUR	102,63
682862	19/09/2005	BIC-014	SE-V11	ACE 250 HRS. MOTOR Y CAMBIO FILTROS	MANTOPSUR	0
683169	20/09/2005	BIC-001	SE-V11	CAMBIO CUERPO DE VALVULAS MANUALES	LVELA	57.146,52
682864	20/09/2005	BIC-014	SE-V11	ACE 2000 HRS. HIDRAULICO BOMBAS CONCRETO	MANTOPSUR	1.511,58
683164	20/09/2005	BIC-017	SE-V11	REPARAR LUCES	LVELA	225,69
675827	20/09/2005	BIC-035	SE-V11	ACE 250 HRS. MOTOR Y CAMBIO DE FILTROS	MANTOPSUR	1.019,63
675828	20/09/2005	BIC-036	SE-V11	ACE 250 HRS. MOTOR Y CAMBIO DE FILTROS	MANTOPSUR	1.019,62
683313	21/09/2005	BIC-002	SE-V11	CAMBIO DE MANGUERAS HIDRAULICAS	LVELA	4.244,62
683442	21/09/2005	BIC-005	SE-V11	SISTEMA DE AGUA	MANTOPSUR	947,66
683314	21/09/2005	BIC-009	SE-V11	CAMBIO DE MANGUERAS HIDRAULICAS	LVELA	0
683301	21/09/2005	BIC-016	SE-V11	CHEQUEO CALENTAMIENTO DE MOTOR	MANTOPSUR	0
683479	21/09/2005	BIC-021	SE-V11	CAMBIO DE MANGUERAS HIDRAULICAS	RSANTAY	1.054,04
683312	21/09/2005	BIC-038	SE-V11	CAMBIO DE MANGUERAS HIDRAULICAS	LVELA	5.446,62
683478	21/09/2005	BIC-039	SE-V11	CAMBIO DE MANGUERAS HIDRAULICAS	RSANTAY	1.054,04
681880	22/09/2005	BIC-005	SE-V11	CAMBIO DE BOQUILLA	LVELA	6.820,76
681879	22/09/2005	BIC-005	SE-V11	MP. 4000 M³ BOMBAS DE CONCRETO	LVELA	23.022,86
683591	22/09/2005	BIC-031	SE-V11	ACE 2000 HRS. HIDRAULICO BOMBAS CONCRETO	MANTOPSUR	3.055,23
683167	23/09/2005	BIC-001	SE-V11	MP 4000 M³ BOMBAS CONCRETO	LVELA	20.053,29
683956	23/09/2005	BIC-033	SE-V11	ACE 2000 HRS. HIDRAULICO BOMBAS CONCRETO	MANTOPSUR	2.337,44
683905	23/09/2005	BIC-033	SE-V11	CAMBIO DE LAMAPARAS	LVELA	261,11
684317	26/09/2005	BIC-009	SE-V11	COLOCAR CABLE DE CONTROL REMOTO	LVELA	174,91
684520	26/09/2005	BIC-014	SE-V11	CAMBIO DE BATERIA	LVELA	605,24
682855	27/09/2005	BIC-006	SE-V11	RECONSTRUCCION VALVULA OSCILANTE	NMARROQUIN	3.125,00
660147	27/09/2005	BIC-009	SE-V11	ACE 250 HRS. MOTOR Y CAMBIO DE FILTROS	MANTOPSUR	1.019,63
675794	27/09/2005	BIC-014	SE-V11	ACE 250 HRS. MOTOR Y CAMBIO FILTROS	MANTOPSUR	1.019,63
682856	27/09/2005	BIC-026	SE-V11	RECONSTRUCCION VALVULA OSCILANTE	NMARROQUIN	3.392,86
684763	27/09/2005	BIC-033	SE-V11	CAMBIO DE PATA	LVELA	14,74

### Continuación. Historial de mantenimiento preventivo

684786	27/09/2005	BIC-038	SE-V11	CALIBRACION DE INYECTORES	MANTOPSUR	2.154,82
684946	28/09/2005	BIC-034	SE-V11	MANTO. 4000 M <sup>3</sup> BOMBAS CONCRETO	MANTOPSUR	40.019,83
681837	29/09/2005	BIC-003	SE-V11	FABRICACION DE COBERTOR P/MANDOS	MANTOPSUR	647,32
681666	29/09/2005	BIC-013	SE-V11	FABRICACION DE COBERTOR P/MANDOS	MANTOPSUR	245,54
682594	29/09/2005	BIC-016	SE-V11	SERVICIO A ENFRIADOR DE ACEITE	MANTOPSUR	223,21
685056	29/09/2005	BIC-031	SE-V11	CAMBIO DE LAMPARA DE TRABAJO	MANTOPSUR	114,28
681225	29/09/2005	BIC-040	SE-V11	CAMBIO DE BOQUILLAS	MANTOPSUR	267,86
681358	29/09/2005	BIC-041	SE-V11	CAMBIO DE BOQUILLAS	MANTOPSUR	267,86
685495	30/09/2005	BIC-028	SE-V11	CAMBIO DE LAMPARA DE TRABAJO	LVELA	91,2
685497	01/10/2005	BIC-026	SE-V11	CAMBIO DE VLAVULA OSCILANTE	RSANTAY	34.130,54
685506	01/10/2005	BIC-034	SE-V11	CAMBIO DE COJINETES A RUEDAS	MANTOPSUR	780,44
685507	01/10/2005	BIC-034	SE-V11	MP 1000 HRS. ENFRIAMIENTO BOMBAS	MANTOPSUR	115,15

Fuente. Sistema SAP

**Figura 35. Lista de chequeo**

<b>Inspección en obra</b>					
Equipo: _____		Mecánico: _____			
Fecha: _____					
		Estado			Estado
<b>No.</b>	<b>Motor y carrocería</b>		<b>No.</b>	<b>Indicadores en general</b>	
1	Protector de bomba		1	Nivel de aceite	
2	Chasis de bomba		2	Nivel de diesel	
3	Patas de bomba		3	Fugas de combustible	
4	Hoja de resorte		4	Fugas de aceite	
5	Ejes		5	Estado de fajas de ventilador	
6	Escape		6	Estado de radiador	
7	Tanque en genera		7	Compresor de aire	
8	Motor de bomba		8	Ruido anormal	
<b>9</b>	<b>Cilindros de bomba</b>		<b>No.</b>	<b>Revisar el eje y llantas</b>	
10	Tolva		1	Revisar estado y presión	
11	Parrilla		2	Ajustes de chuchos	
12	Tapa de tolva		<b>Observaciones</b>		
13	Eje de remezclador				
14	Válvula oscilante				
15	Tablero de contro				
<b>No.</b>	<b>Sistema Electrico</b>				
1	Cables sueltos o pelados				
2	Baterías y conexiones				
3	Panel de contro				

**Fuente. Taller de bombas**