



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

**PROPUESTA PARA MINIMIZAR LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO PARA
EQUIPO DE BOMBEO DE CONCRETO BSF 28Z.09 MARCA PUTZMEISTER**

David Fernando Barrientos Arteaga

Asesorado por el Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera

Guatemala, septiembre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA PARA MINIMIZAR LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO PARA
EQUIPO DE BOMBEO DE CONCRETO BSF 28Z.09 MARCA PUTZMEISTER**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

DAVID FERNANDO BARRIENTOS ARTEAGA
ASESORADO POR EL ING. CARLOS ENRIQUE CHICOL CABRERA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

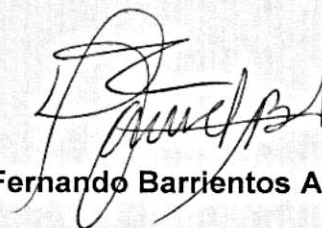
DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
EXAMINADOR	Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Coronado Noj
EXAMINADOR	Ing. Roberto Guzmán Ortiz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

PROPUESTA PARA MINIMIZAR LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO PARA EQUIPO DE BOMBEO DE CONCRETO BSF 28Z.09 MARCA PUTZMEISTER

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 14 de marzo de 2016.



David Fernando Barrientos Arteaga

Guatemala, 25 de junio de 2016

Ingeniero
Roberto Guzmán Ortiz
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Ingeniero Roberto Guzmán

Le saludo atentamente informándole que se procedió con la asesoría y revisión del trabajo de graduación titulado **PROPUESTA PARA MINIMIZAR LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO PARA EQUIPO DE BOMBEO DE CONCRETO BSF 28Z.09 MARCA PUTZMEISTER**, desarrollado por el estudiante **David Fernando Barrientos Arteaga** recomienda su aprobación

"Id y Enseñad a Todos"



Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera

Colegiado 6965

Asesor

Carlos Enrique Chicol Cabrera
Ingeniero Mecánico
Col. 6965



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.198.2016

El Coordinador del Área de Materiales de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA PARA MINIMIZAR LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO PARA EQUIPO DE BOMBEO DE CONCRETO BSF 28Z.09 MARCA PUTZMEISTER** desarrollado por el estudiante **David Fernando Barrientos Arteaga, carné 2003-13581** recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador Área de Materiales
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, julio 2016



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

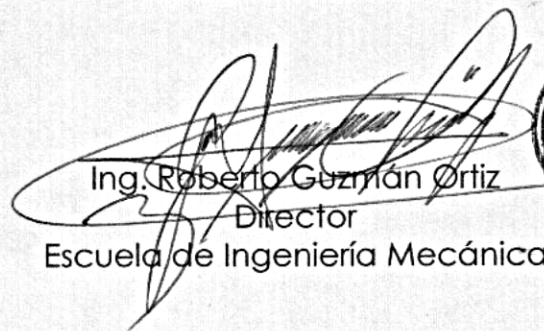
Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.256.2016

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área Complementaria del trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA PARA MINIMIZAR LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO PARA EQUIPO DE BOMBEO DE CONCRETO BSF 28Z.09 MARCA PUTZMEISTER** del estudiante **David Fernando Barrientos Arteaga**, carné No. **200313581** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



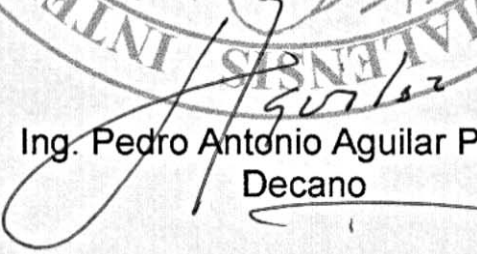
Guatemala, septiembre de 2016

/aej



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA PARA MINIMIZAR LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO PARA EQUIPO DE BOMBEO DE CONCRETO BSF 28Z.09 MARCA PUTZMEISTER**, presentado por el estudiante universitario: **David Fernando Barrientos Arteaga**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, septiembre de 2016

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme la sabiduría, instrucción y perseverancia para culminar mis estudios.
Mi esposa	Por brindarme con todo amor el apoyo en todos esos momentos difíciles y las oraciones que clamó a nuestro Dios para que pudiera lograr este objetivo.
Mis hijos	Por ser una de las motivaciones que me llevaron a concluir mis estudios.
Mis padres	Mario Augusto Barrientos Lemus y Eleticia Arteaga de Barrientos, por su incondicional apoyo en todo momento de mi vida, por sus sabios consejos, principios y valores.
Mis suegros	Por su motivación y apoyo.
Mis hermanas	Que este logro sea un ejemplo para que todos puedan alcanzar sus metas profesionales.
Mis tíos	Por su motivación y especial cariño.
Mis abuelos	Por sus sabios consejos y amor.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios

Por darme la vida y sabiduría para concluir una etapa más de mi carrera profesional confortándome con su infinito amor y misericordia, para lograr cumplir mis metas profesionales.

Mis padres

Gracias por su valioso ejemplo, inculcándome valores bajo la cobertura del amor incondicional que siempre me han demostrado. Gracias por creer en mí.

Mi esposa

El amor de mi vida y pilar fundamental de mi familia, gracias por su amor, comprensión y sacrificio.

Mis hijos

Andrea, David y Yeshua Barrientos, gracias por hacerme el papá más feliz y dichoso con su inmenso amor. Les amo y le doy gracias a Dios por haberme concedido los deseos de mi corazón.

Mis hermanas

Por todo sus buenos deseos, amor incondicional y oraciones.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVIII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. CONCEPTOS GENERALES.....	1
1.1. Definición de mantenimiento industrial.....	1
1.2. Estructura del Departamento de Mantenimiento.....	1
1.2.1. Alcance.....	3
1.2.2. Organigrama.....	3
1.2.3. Puestos.....	4
1.3. Actividad de la empresa.....	6
1.3.1. Breve historia de la empresa.....	7
1.3.2. Misión.....	8
1.3.3. Visión.....	8
1.4. El concreto.....	8
1.4.1. Tipos de concreto.....	15
1.5. El bombeo del concreto.....	18
1.6. Equipos para bombeo de concreto.....	20
1.6.1. Tipos de bombas y aplicaciones.....	22
1.6.1.1. Tipo remolcado.....	24
1.6.1.2. Tipo montado en camión.....	26

	1.6.1.2.1.	Tipo montado en camión con transferencia independiente	28
	1.6.1.2.2.	Tipo montado en camión con transferencia de potencia del motor del camión	28
	1.6.1.3.	Tipo de bomba con brazo hidráulico ..	28
	1.6.1.3.1.	Con brazo hidráulico de 24 metros.....	29
	1.6.1.3.2.	Con brazo hidráulico de 28 metros.....	30
	1.6.1.3.3.	Con brazo hidráulico de 32 metros.....	30
2.	PARTES Y COMPONENTES PRINCIPALES DE LA BOMBA BSF		
	28Z.09		31
	2.1	Introducción	31
	2.2.	Instrucciones básicas de seguridad industrial	31
	2.2.1.	Requerimientos de equipo de protección personal	33
	2.2.2.	Intervalos de mantenimiento e inspección general del equipo	34
	2.2.3.	Selección y cualificación del personal.....	35
	2.2.3.1.	Personal técnico	35
	2.2.3.2.	Soldadores	36
	2.2.3.3.	Técnico electricista	36

	2.2.3.4.	Técnico en sistemas hidráulicos.....	37		
	2.2.4.	Puesta en marcha de equipo	37		
	2.2.5.	Distancias mínimas de seguridad	38		
	2.2.6.	Fuerzas de apoyo angular	41		
	2.2.7.	Lineas de alta tensión	43		
2.3.		Descripción técnica general del equipo.....	46		
2.4.		Tubería de transporte	49		
2.5.		Control hidráulico.....	49		
2.6.		Bomba	50		
2.7.		Tubo oscilante de hormigón.....	50		
2.8.		Motor	52		
2.9.		Pluma	53		
2.10.		Mandos eléctricos	54		
2.11.		Bomba de agua para limpieza	56		
2.12.		Refrigerador del aceite hidráulico	57		
2.13.		Causas probables de averías	59		
3.		PROGRAMA DE MANTENIMIENTO ACTUAL DE LA BOMBA BSF			
	28Z.09.....		61		
3.1.		Intervalos de mantenimiento.....	61		
3.2.		Criterios para medir el rendimiento del mantenimiento	63		
3.3.		Mantenimiento correctivo.....	64		
	3.3.1.	Etapas del mantenimiento correctivo	64		
	3.3.2.	Análisis económico	65		
3.4.		Mantenimiento preventivo.....	66		
	3.4.1.	Etapas del mantenimiento preventivo	67		
		3.4.1.1.	Lubricación y limpieza	67	
			3.4.1.1.1.	Aceite hidráulico.....	68

	3.4.1.1.2.	Aceite de la caja transfer, rotor y agitador.....	69
	3.4.1.1.3.	Engrase manual.....	69
	3.4.1.1.4.	Engrase centralizado	69
	3.4.1.1.5.	Lubricantes recomendados por el fabricante.....	70
	3.4.1.2.	Revisiones preventivas	73
	3.4.1.3.	Correcciones programadas.....	74
	3.4.1.4.	Confiabilidad del equipo.....	75
	3.4.1.5.	Disponibilidad del equipo	76
	3.4.1.6.	Fiabilidad del equipo	76
	3.4.1.7.	Costos del mantenimiento	78
3.5.		Mantenimiento predictivo	79
	3.5.1.	Vibraciones.....	80
	3.5.2.	Temperatura.....	80
	3.5.3.	Fractura.....	81
	3.5.4.	Ruidos	81
	3.5.5.	Análisis de aceite.....	81
3.6.		Mantenimiento proactivo	82
3.7.		Análisis de costos para el plan de mantenimiento actual.....	82
	3.7.1.	Ventajas y desventajas del programa de mantenimiento actual	83
4.		PROPUESTA DE UN NUEVO PLAN DE MANTENIMIENTO	85
	4.1.	Historial del mantenimiento correctivo de la bomba	85
	4.2.	Historial del mantenimiento preventivo de la bomba	87
	4.3.	Frecuencia de mantenimiento para la bomba.....	88

4.4.	Mejora en el costo del mantenimiento correctivo	90
4.5.	Mejora en el costo del mantenimiento preventivo	92
4.6.	Mejora en el costo del mantenimiento predictivo	93
4.7.	Aumento de la confiabilidad del equipo.....	94
4.8.	Aumento de la disponibilidad del equipo.....	95
CONCLUSIONES		97
RECOMENDACIONES.....		99
BIBLIOGRAFÍA.....		101

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama Departamento de Mantenimiento Automotriz.....	2
2.	Organigrama estructural planta sur Mixto Listo	3
3.	Agregado fino.....	12
4.	Agregados gruesos	13
5.	Modelo montado en remolque.....	21
6.	Modelo montado en camión	21
7.	Modelo con brazo hidráulico.....	22
8.	Caja de transferencia de potencia.....	27
9.	Distancia mínima a excavaciones	39
10.	Distancia de seguridad.....	40
11.	Terreno de apoyo.....	41
12.	Líneas de alta tension	43
13.	Cono.....	44
14.	Lado izquierdo del vehículo.....	46
15.	Lado derecho del vehículo	48
16.	Tubo oscilante de hormigón S.....	51
17.	Simbología del mando del motor de la unidad de bombeo	52
18.	Simbología del mando de la pluma	53
19.	Armario de mando.....	55
20.	Bomba de agua de limpieza.....	56
21.	Refrigerador del aceite hidraulico	57
22.	Costos del mantenimiento	66
23.	Marcas y especificaciones de lubricantes recomendados	71

24.	Componentes mecánicos sujetos a correcciones	74
25.	Mantenimiento correctivo de componentes sujetos al plan de mantenimiento preventivo.....	86
26.	Historial de mantenimiento preventivo de 4 000 m ³	88
27.	Frecuencias de reconstrucción de valvulas oscilantes.....	89
28.	Frecuencias de cambio de cabezas de piston	90

TABLAS

I.	Descriptor de puestos del Departamento de Mantenimiento.....	4
II.	Tipos de cemento según Normas ASTM C-150 y ASTM C-1157.....	10
III.	Características de los agregados.....	14
IV.	Normas utilizadas para el analisis del concreto	17
V.	Distancia mínima requerida respecto a líneas eléctricas	44
VI.	Partes del lado izquierdo del vehículo.....	46
VII.	Partes del lado derecho del vehículo	48
VIII.	Partes del tubo oscilante de hormigón S.....	51
IX.	Simbología del mando del motor	52
X.	Simbología del mando de la pluma.....	54
XI.	Partes del armario de mando.....	55
XII.	Partes de la bomba de limpieza.....	57
XIII.	Partes de la unidad de refrigeración del aceite hidráulico	58
XIV.	Intervalos de mantenimiento preventivo.....	61
XV.	Historial de mantenimiento correctivo y preventivo	78
XVI.	Agrupación de diferentes bombas	89
XVII.	Costos de mantenimiento preventivo <i>versus</i> mantenimiento correctivo.....	91
XVIII.	Comparación entre costos del plan actual y el presupuesto	93
XIX.	Disponibilidad de la bomba.....	96

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
H_2CO_3	Ácido carbónico
HNO_3	Ácido nítrico
H_2SO_4	Ácido sulfúrico
CaCO_3	Carbonato de calcio
SO_2	Dióxido de azufre
CO_2	Dióxido de carbono
$^{\circ}\text{C}$	Grado Celsius
$^{\circ}\text{F}$	Grado Fahrenheit
KOH	Hidróxido de potasio
NaOH	Hidróxido de sodio
pH	Indicador de acidez
kg	Kilogramo

kJ	Kilojoule
kV	Kilovoltio
kW	Kilowatt
CH₄	Metano
m	Metro
m³/h	Metro cúbico por hora
mm	Milímetro
NO_x	Monóxido de nitrógeno
psi	<i>Pound force per square inch</i>
rpm	Revoluciones por minuto
OH&S	Salud y seguridad ocupacional
ton	Tonelada
Vs	<i>Versus</i>

GLOSARIO

Abrasión	Acción de quitar, arrancar o desprender partes de las piezas mecánicas en movimiento. Esto debido a la fricción existente.
Bastidor	Estructura que sirve de soporte a otros elemento.
Brida	Reborde circular en el extremo de los tubos metálicos, para acoplar unos a otros con tornillos.
Buje	Pieza en que se apoya y gira un eje.
Caliza	Roca sedimentaria compuesta mayormente por carbonato de calcio y materia prima para la producción de cal.
Chumacera	Pieza mecánica en la cual gira el eje de un rodo. Normalmente estas contienen los cojinetes.
Coeficiente de fricción	Es la relación entre a magnitud de la fuerza de fricción y la magnitud de la fuerza normal.
Confiabilidad	Probabilidad de que una parte de la máquina o del producto funcione adecuadamente, en un momento determinado y bajo condiciones establecidas.

Damper	Es un sistema de amortiguamiento en los equipos.
Desgaste	Partes pequeñas de material que se han desprendido, debido al uso o por el roce de dos superficies en contacto.
Disponibilidad	Porcentaje de tiempo en el cual una máquina está en condiciones de uso para desempeñar su actividad.
Émbolo	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.
Fósil	Son los restos o señales de la actividad de organismos.
Galga	Elemento que se utiliza para la verificación de las cotas con tolerancias estrechas. Esto cuando se trata de piezas en serie.
Husillo	Tornillo de hierro o madera que se usa para el movimiento de las prensas y otras máquinas.
Lechada	Es básicamente la mezcla de cemento con agua. Esto permite ser utilizado para rellenar cavidades y juntas entre materiales adyacentes.

Pluma	Están incorporadas a las bombas, conectadas a la salida de las mismas. Estas tienen movimientos semejantes a los brazos de los seres humanos, y se utilizan para colocar tubería de suministro en una posición determinada para bombear el concreto.
SAP	Sistema administrativo de planificación. Este es un programa de computadora, en el sistema operativo 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 un negocio.
Tiempo muerto	Intervalo de tiempo correspondiente a la suspensión de las operaciones. Esto debido a averías de la herramienta o maquinaria, falta de materiales y otros.
Tolerancias	Diferencias necesarias en las dimensiones para asegurar el funcionamiento adecuado de las partes de acoplamiento.
Voso	Inspección previa al mantenimiento preventivo. Este no entra en contacto directo con los equipos y sus siglas significan: ver, oír, sentir y olfatear.

RESUMEN

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 complejo. Está 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. Esto en lugar de prevenirlas.

En el primer capítulo se definen aspectos relativos a la empresa Mixto Listo, como la línea de negocios, la actividad de la empresa y su breve historia. Se tratan las normas internacionales del concreto así como la descripción general de los equipos de bombeo.

En el segundo capítulo se dan aspectos generalizados del equipo BSF 28Z.09 enfatizando en el tema de seguridad industrial y salud ocupacional del maquinista. Además de una descripción del funcionamiento de las bombas impulsadoras de concreto

En el tercer capítulo se definen los tipos y métodos de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo amarrándolos a la confiabilidad, disponibilidad y fiabilidad del equipo. Los tipos de grasas y aceites que el fabricante recomienda son tratados en este capítulo, así como un análisis de costos del plan de mantenimiento actual de 4 000 m³ de bombeo.

En el último capítulo se propone un plan de mantenimiento que mejora la utilidad y rentabilidad del equipo elevando el mantenimiento de 4 000 m³ a 12 000 m³ de bombeo. Esto mejora la disponibilidad del equipo sin descuidar la confiabilidad y fiabilidad de la bomba. El costo del mantenimiento preventivo disminuye sin aumentar el costo del mantenimiento correctivo gracias al plan de mejora del mantenimiento predictivo.

OBJETIVOS

General

Modificar el plan de mantenimiento preventivo y predictivo para minimizar los costos de mantenimiento del equipo de bombeo BSF 28Z.09.

Específicos

1. Minimizar los costos de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo del equipo de bombeo de concreto BSF 28Z.09 de la empresa Mixto Listo.
2. Mejorar los alcances de las actividades del plan actual de mantenimiento, cubriendo algunos componentes que no están contemplados en un plan de mantenimiento actual.
3. Calcular las formas de reducción de costos.
4. Maximizar el uso de los componentes y repuestos.
5. Definir el plan de mantenimiento preventivo adecuado para reducir las causas probables de fallas.
6. Mejorar la disponibilidad del equipo.

INTRODUCCIÓN

Las bombas impulsadoras de concreto son equipos especializados que utilizan sistemas mecánicos, oleo-hidráulicos y electrónicos. En la industria de la construcción se tiene la necesidad de este tipo de equipos, ya que son los únicos medios posibles que pueden llevar concreto desde los niveles por debajo de cero hasta niveles como un rasca cielos o según lo requiera el proyecto a fundir de concreto. En Guatemala las necesidades no superan los 30 niveles de altura, pero si las cantidades en metros cúbicos de concreto a fundir.

Se debe tomar en cuenta que los costos implícitos en las tareas o actividades de mantenimiento de los equipos de bombeo son altos. Por ello, en esta industria es donde se puede evidenciar que es posible mejorar los costos de mantenimiento de estos equipos.

Por la aplicación y utilización de estos equipos especializados las empresas que los tienen suelen tener altos costos de mantenimiento, esto es a que muchos de sus componentes, repuestos y operación son demasiados costosos. A ello se debe también agregar que por su criticidad en una obra de construcción civil donde se emplean las condiciones son muy adversas.

Debido a estas necesidades donde las empresas o los encargados de mantenimiento tienen estos equipos se inicia el proceso de propuesta de mejoramiento en los costos de mantenimiento. Teniendo un historial de los costos se pueden visualizar e identificar en donde se puede aplicar la ingeniería mecánica para maximizar la vida útil de los equipos, incrementar su disponibilidad y mejorar considerablemente los costos de mantenimiento.

1. CONCEPTOS GENERALES

1.1. Definición del mantenimiento industrial

Se define como el efecto de mantener, sustentar, proveer, conservar y sostener una serie de actividades encaminadas en forma lógica y ordenada. Esto en la aplicación de conocimientos y habilidades técnicas a través de la utilización de recursos adecuados como: herramientas, manuales y otros.

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 estos se encuentren disponibles o bien presten el servicio para el cual fueron diseñados.

1.2. Estructura del Departamento de Mantenimiento

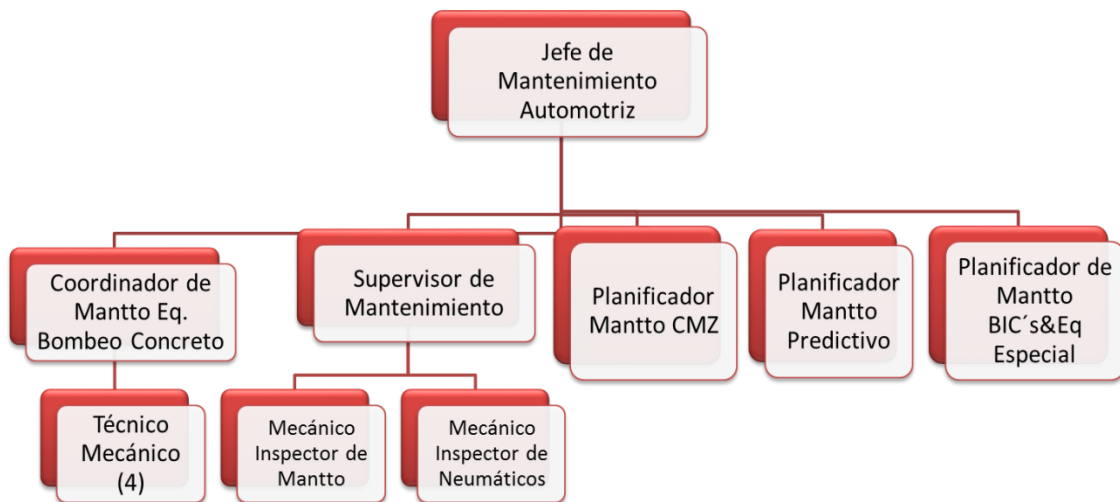
El Departamento de Mantenimiento Automotriz de Mixto Listo está compuesto por más de 30 vehículos de bombeo de concreto y 15 equipos de especializados. El encargado del mantenimiento de estas unidades es el Departamento de Mantenimiento Automotriz. Las unidades que prestan el servicio de bombeo son las siguientes:

- Bombeo:
 - 24 equipos *city pump*

- 4 bombas estacionarias
- 8 bombas plumas, es esta categoría entra la bomba BSF 28Z.09
- Especializados:
 - 6 camiones dosificadores
 - 4 equipos de pavimentación
 - 2 texturizadoras
 - 3 autocargables

El Departamento de Mantenimiento Automotriz se organiza de la siguiente manera:

Figura 1. **Organigrama Departamento de Mantenimiento Automotriz**



Fuente: Cementos Progreso. *Manual de inducción*. p. 17.

1.2.1. Alcance

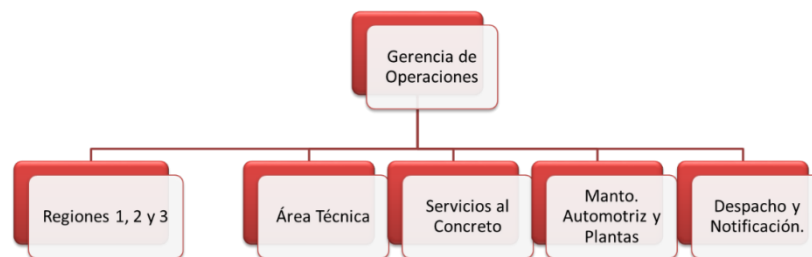
Toda empresa, que tenga un eficaz programa de mantenimiento industrial, podrá alcanzar una ventaja competitiva mediante los beneficios siguientes:

- Minimización de los costos de producción por paradas no planificadas del equipo debido a daños y reparaciones.
- Maximización del uso del capital invertido en las instalaciones y equipos para incrementar su vida útil.
- Minimizar los costos de operación y servicio de mantenimiento con el fin de incrementar el beneficio de la actividad industrial.
- Garantizar la seguridad industrial, en cuanto a la operación segura del equipo.

1.2.2. Organigrama

La estructura organizacional de la planta sur, Mixto Listo, se encuentra dentro de la estructura de la Unidad de Concreto, del grupo de empresas de Cementos Progreso.

Figura 2. Organigrama estructural planta sur Mixto Listo



Fuente: Cementos Progreso. *Manual de inducción*. p. 15.

La unidad de concreto tiene a su cargo las plantas concreteras, las plantas de bolsas de predosificadas, entre otros departamentos. Esto a nivel nacional y centroamericano, dirigida por el gerente de la unidad.

La producción de concreto esta regionalizada, para estar más cerca de los proyectos y clientes. Esto dividiendo los recursos por áreas de acción y logrando coordinar mejor las actividades y cumplir eficientemente con los clientes.

1.2.3. Puestos

En la tabla I se muestra el descriptor de algunos puestos organizacionales correspondientes al Departamento de Mantenimiento Automotriz.

Tabla I. **Descriptor de puestos del Departamento de Mantenimiento**

Jefe de mantenimiento automotriz
<p>Funciones principales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lograr el cumplimiento de los procedimientos operativos y de OH&S. • Optimizar y agilizar los procesos de mantenimiento de equipos. • Incrementar la rentabilidad del negocio. • Garantizar un mejor desempeño en las labores diarias de los colaboradores. • Asegurar el cumplimiento de la disponibilidad de los equipos para la operación de concreto. • Asegurar el uso correcto de los recursos asignados a mantenimiento. • Garantizar la puesta de los equipos en los sitios requeridos, de forma segura. • Asegurar la seguridad y salud ocupacional de los trabajadores.
Coordinador de mantenimiento de equipo de bombeo de concreto

Continuación de la tabla I.

<p>Funciones principales:</p> <ul style="list-style-type: none">• Inspeccionar según la metodología voso todos los equipos de planta.• Ejecutar el mantenimiento preventivo y correctivo de equipos de planta y bombeo.• Ejecutar calibraciones de balanzas y dosificadores de aditivo.• Asignar y supervisar las tareas de los técnicos de mantenimiento.• Verificar rutas de traslado y accesos a proyectos y ejecutar el traslado de equipo de planta y sus componentes.• Soporte y asesoría vía telefónica.• Maquinaria y equipo para la elaboración y producción de concreto.
<p style="text-align: center;">Supervisor de mantenimiento</p>
<p>Funciones principales:</p> <ul style="list-style-type: none">• Supervisar los mantenimientos preventivos y correctivos del área.• Desarrollar el plan de mantenimiento predictivo mensual del equipo automotriz de acuerdo al tipo de equipo.• Generar reportes de eficiencia y operación mensualmente.• Administrar la ejecución de órdenes de trabajo a través del sistema SAP según el cronograma de mantenimiento.
<p style="text-align: center;">Planificador de mantenimiento de camiones de mezclado</p>
<p>Funciones principales:</p> <ul style="list-style-type: none">• Programar las tareas de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo de los camiones mezcladores, equipos de bombeo, especiales y de planta.• Realizar la gestión de servicios de proveedores, solicitados por la jefatura y supervisión de mantenimiento.• Ejecutar diariamente las órdenes de trabajo y reservas de repuestos, de acuerdo a las requisiciones del técnico.• Generar reportes financieros y disponibilidades de los diferentes equipos.
<p style="text-align: center;">Mecánico automotriz</p>
<p>Funciones principales:</p> <ul style="list-style-type: none">• Revisar diariamente el equipo de bombeo.• Realizar inspecciones de equipo.• Controlar la existencia de repuestos en bodega.• Realizar reparaciones en el sistema de GPS.• Realizar mantenimiento correctivo al equipo de bombeo y equipo especial.

Fuente: elaboración propia.

1.3. Actividad de la empresa

Mixto Listo es una empresa privada, perteneciente a la Unidad de Concreto del grupo Cementos Progreso. Está dedicada a la fabricación, distribución y colocación de concreto premezclado y otros servicios para la industria de la construcción. Para proveer dicho servicio la empresa utiliza camiones mezcladores, bombas impulsadoras de concreto, plantas eléctricas y otros equipos.

Mixto Listo produce concreto premezclado para la construcción, y el aseguramiento de la calidad del mismo se basa en las leyes de probabilidad. Este realiza pruebas internas, para garantizar que el concreto producido cumpla con las normas internacionales de calidad.

Proporciona valor agregado a los clientes, accionistas, colaboradores y demás partes interesadas. Esto a través de un compromiso con la mejora continua de los procesos, productos, servicios y el cumplimiento de la legislación y otros acuerdos suscritos por la planta.

Dentro de la política de Mixto Listo se comprende lo siguiente:

- Proveer un ambiente de trabajo seguro y saludable dentro de las instalaciones, identificando, controlando y reduciendo los riesgos significativos, buscando eliminarlos con el fin de prevenir los incidentes y enfermedades ocupacionales.
- Realizar actividades compatibles con el medio ambiente utilizando de forma racional los recursos naturales, previniendo la contaminación

ambiental, eliminando, reduciendo o controlando los impactos significativos al aire, suelo y agua.

- Satisfacer los requerimientos de los clientes asegurando la calidad de los productos, optimizando los procesos y gestionando el mantenimiento.

1.3.1. Breve historia de la empresa

Mixto Listo inició sus operaciones en noviembre de 1954, con una primera planta de producción de concreto ubicada en la finca La Pedrera zona 6, planta norte. En 1963 la flota de transporte del concreto se duplicó y su presencia empezó a notarse. En ese mismo año se compra equipo de bombeo adecuado para fundir a mayor altura.

En 1965 se instala la tercera planta de producción de concreto premezclado en escuintla. En 1994 se construyeron dos silos de concreto, para almacenar entre 7 000 y 10 000 sacos de cemento para las plantas norte y sur.

Debido a la demanda creciente en el sector de la construcción se ubican estratégicamente 16 plantas la gran mayoría dentro del área metropolitana. Mixto Listo cuenta con más de 60 años al servicio de los guatemaltecos en el área de la construcción.

A nivel nacional Mixto Listo cuenta con más de 300 colaboradores, más de 130 vehículos, alrededor de 35 equipos de bombeo de alta tecnología. Suministra las mejores soluciones en fundición, a un precio justo y rentable, cumpliendo las especificaciones, excediendo las expectativas del cliente e innovando constantemente.

1.3.2. Misión

La empresa Mixto Listo está enfocada en proveer productos que no solo satisfagan las expectativas de sus clientes, sino que también cumplan con los más altos estándares de calidad a nivel mundial. Es por eso que su misión se compone de esas características.

Suministrar las mejores soluciones en fundición a un precio justo y rentable, cumpliendo las especificaciones, excediendo las expectativas del cliente e innovando constantemente.

1.3.3. Visión

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

Es con base en su misión, visión y a la amplia experiencia que esta posee que la posiciona en el mercado como la mejor opción en productos y servicios de construcción a nivel nacional.

1.4. El concreto

También llamado hormigón es un material compuesto empleado en la construcción. Está formado esencialmente por un aglomerante al que se le añade partículas o fragmentos de un agregado, agua y aditivos específicos.

El aglomerante es en la mayoría de las ocasiones cemento mezclado con una proporción adecuada de agua para que se produzca una reacción de hidratación. Las partículas de agregados, dependiendo fundamentalmente de

su diámetro medio, son los áridos que se clasifican en grava, gravilla y arena. La sola mezcla de cemento con arena y agua sin la participación de un agregado se denomina mortero.

Estas reacciones que se utilizan para la fabricación del concreto son hidráulicas. Una vez que el agua y el cemento se mezclan para formar la pasta cementante se inicia una serie de reacciones químicas que en forma global se designa como hidratación del cemento.

Estas reacciones se manifiestan inicialmente por la reagudización gradual de la mezcla, que culmina con su fraguado y continúan para dar lugar al endurecimiento y adquisición de resistencia mecánica en el producto. Bajo la denominación genérica de cementos hidráulicos existen diversas clases de cemento con diferentes composiciones y propiedades. Los cementos hidráulicos están compuestos por Clinker Portland, otros minerales y aditivos.

- Los cementos Portland ordinarios (CPO): consisten predominantemente de Clinker Portland y yeso. Además pueden contener una pequeña cantidad de componentes o adiciones minerales <5 %.
- Los cementos portland mezclados o adicionados: consisten de cemento portland y una cantidad mayor al 5 % de componentes o adiciones minerales.

Para la clasificación del cemento se utilizan las Normas ASTM C-150 y ASTM C-1157 las cuales se representan en la siguiente tabla.

Tabla II. Tipos de cemento según Normas ASTM C-150 y ASTM C-1157

Según ASTM C-150	Según ASTM C-1157	Descripción
<p>Tipo I: normal. Tipo IA: normal con aire incluido.</p>	<p>Tipo GU: uso general en la construcción.</p>	<p>Es un cemento para uso general, apropiado para todos los usos donde las propiedades especiales de otros cementos no sean necesarias. Su uso incluye pavimentos, pisos, edificios. En concreto armado, puentes, tubería y otros.</p>
<p>Tipo II: moderada resistencia a los sulfatos. Tipo IIA: moderada resistencia a los sulfatos con aire incluido.</p>	<p>Tipo MS: cementos de moderada resistencia a los sulfatos.</p>	<p>Se usa donde es necesario tomar precauciones contra el ataque por sulfatos, como estructuras normales o en miembros expuestos a suelos o agua subterránea, donde la concentración de sulfatos es más allá de la normal pero no severa.</p>
<p>Tipo III: alta resistencia inicial (alta resistencia temprana). Tipo IIIA: alta resistencia inicial con aire incluido.</p>	<p>Tipo HE: cemento de alta resistencia inicial.</p>	<p>Ofrece altas resistencias a edades tempranas, normalmente una semana o menos. Este cemento es química y físicamente similar al cemento tipo I a excepción de que sus partículas se muelen más finamente. Es usado cuando se necesita remover las formaletas o desencofrar lo más temprano posible, o bien, cuando la estructura será puesta en servicio rápidamente.</p>

Continuación de la tabla II.

<p>Tipo IV: bajo calor de hidratación.</p>	<p>Tipo LH: cemento de bajo calor de hidratación. Tipo MH: cemento de moderado calor de hidratación.</p>	<p>Se usa donde se debe minimizar la tasa y la cantidad de calor generado por la hidratación. Esto se da principalmente en obras de fundición masiva (obras que requieran más de 50 m³). Este cemento desarrolla resistencia en una tasa más lenta que los otros cementos.</p>
<p>Tipo V: alta resistencia a los sulfatos.</p>	<p>Tipo HS: cemento de alta resistencia a sulfatos.</p>	<p>Se utiliza en concretos utilizados en lugares donde el suelo y el agua subterránea tienen alta concentración de sulfatos. Su desarrollo de resistencia es más lento que el cemento tipo I. El uso de baja relación agua-cemento y baja permeabilidad son fundamentales para el buen desempeño de cualquier estructura expuesta a los sulfatos.</p>

Fuente: Cementos Progreso. *Curso capacitación unidad I*. p. 157.

El cemento CFB es producido por cementos progreso. Este es de alta resistencia inicial con adición de puzolana natural, para fabricantes de bloques de concreto, tubos y otros elementos prefabricados de concretos. También para edificaciones donde con resistencias mecánicas altas o cuando se requiera el aumento de la resistencia a edades tempranas, que de acuerdo a la Norma ASTM C-1157 corresponde a un cemento tipo HE.

Se determinó, que de acuerdo a la clasificación de los tipos de cemento, no es condicionante para la temperatura final de concreto. Este es más bien de las condiciones con que llega al destino final, tales como la temperatura.

El cemento es trasladado de la planta productora a las distintas plantas por pipas o silos presurizados. Luego se trasiega al silo horizontal de forma neumática, conservando la temperatura que trae de su producción. Esta es resultado de una calcinación, por lo que su temperatura al momento de estar almacenado y listo para su uso está dentro de un rango de 32 °C a 36 °C.

Los agregados se dividen en 2 tipos, los gruesos y los finos. Los finos, generalmente consisten en arena de piedra triturada, con la mayoría de sus partículas menores a 5 mm (0,2 plg).

Figura 3. **Agregado fino**



Fuente: KOSMATKA, Hayley. *Diseño y control de mezclas de concreto*. p. 103.

Los agregados gruesos consisten en gravas de piedras trituradas con partículas predominantes mayores a 5 mm y generalmente entre 9,5 y 37,5 mm.

Figura 4. **Agregados gruesos**



Fuente: KOSMATKA, Hayley. *Diseño y control de mezclas de concreto*. p. 103.

Algunos agregados utilizados, en la planta de Mixto Listo, son:

- Arena
- Piedra de 3/8 plg
- Piedra de 1 plg
- Piedra de 1 ½ plg

Para la producción de concreto premezclado, del diseño de la mezcla, depende la cantidad de sus agregados. Por lo que se hace importante llevar un análisis de los mismos para determinar sus características. En la tabla III se describen las características que deben cumplir los agregados.

Tabla III. **Características de los agregados**

Características	Importancia	Reporte
Resistencia a la abrasión y degradación	Índice de calidad del agregado: resistencia al desgaste de pisos y pavimentos.	Porcentaje máximo de pérdida de masa. Profundidad de desgaste y tiempo.
Resistencia a congelación deshielo	Descascaramiento superficial, aspereza, pérdida de sección y estética.	Número máximo de ciclos o periodo de inmunidad a congelación, factor de durabilidad.
Resistencia a desintegración por sulfatos	Sanidad contra la intemperie.	Pérdida de masa, partículas que muestran fallas.
Forma y textura superficial de las partículas	Trabajabilidad del concreto fresco.	Porcentaje máximo de partículas planas y alargadas.
Granulometría	Trabajabilidad del concreto fresco y economía.	Porcentajes mínimos y máximos que pasan por los tamices estándar.
Degradación del agregado fino	Índice de la calidad del agregado: resistencia a la degradación durante el mezclado.	Cambio de granulometría.
Contenido de vacíos no compactados del agregado fino	Trabajabilidad del concreto fresco.	Contenido de vacíos no compactado del agregado fino y gravedad específica.
Masa volumétrica (masa unitaria)	Cálculo del diseño de la mezcla, clasificación.	Peso compactado y suelto.
Masa específica relativa	Cálculo del diseño de la mezcla.	

Continuación de la tabla III.

Absorción y humedad superficial	Control de la calidad del concreto (relación agua-cemento).	
Resistencia a compresión y a flexión	Aceptación del agregado fino que no haya pasado en los otros ensayos.	La resistencia que exceda 95 % de la resistencia lograda con arena purificada.
Constituyentes del agregado	Determinar la cantidad de material deletéreo y orgánico.	Porcentaje máximo permitido de los constituyentes individuales.
Resistencia a la reactividad con los álcalis y cambio de volumen	Sanidad contra cambios de volumen.	Cambio máximo longitudinal, constituyentes, cantidad de sílice y alcalinidad.

Fuente: KOSMATKA, Hayley. *Diseño y control de mezclas de concreto*. p. 105.

1.4.1. Tipos de concreto

Existen otros tipos de concreto que no utilizan cemento como aglomerante entre ellos el hormigón asfáltico que utiliza betún. El concreto convencional normalmente usado para pavimentos, edificios y otras estructuras, tiene masa volumétrica que varía de 2 200 hasta 2 400 kg/m³.

Existe una gran cantidad de concretos especiales para atender las variadas necesidades. Estos van de concretos aislantes ligeros con masa volumétrica de 240 kg/m³; hasta los concretos pesados con masas volumétricas de 6 000 kg/cm³ usados como contrapesos o blindaje contra radiación.

Los concretos producidos, en la planta de Mixto Listo, se clasifican por su resistencia y su uso:

- Concreto convencional: es de uso general en la construcción. Es para elementos con bajos, moderados y altos requerimientos estructurales de resistencia mecánica, con resistencias entre 3 000 a 4 000 psi.
- Concreto estructural: concreto de uso general para la construcción de elementos con altos requisitos estructurales y de resistencia mecánica como edificios, puentes, embajadas, escuelas y hospitales que no estarán expuestos a ataques químicos o ambientales severos. Este es utilizado para elementos con resistencias entre 4 000 a 5 000 psi.
- Concreto para pavimentos: concreto que fue diseñado para la construcción de pavimentos durables, para tráfico vehicular liviano o pesado, con molde fijo utilizado en pavimentos con resistencias entre 3 000 a 5 000 psi.
- Concreto premezclado: es un mortero elaborado por vía húmeda para recubrimientos y nivelaciones. Está elaborado solo de cemento, agua, arena y aditivos, con resistencias entre 3 000 a 5 000 psi.
- Relleno fluido: es un mortero de fácil colocación con densidad controlada.

La clasificación de los concretos no tiene una correlación con la temperatura del concreto fresco. Esto se puede resaltar que todos estos concretos producidos por algunas plantas de Mixto Listo, caen dentro de la categoría de concretos convencionales. Esto de acuerdo a la clasificación volumétrica ya, que su peso oscila entre 2 305 kg/m³ a 2 353 kg/m³.

En la tabla IV se muestran algunos aspectos muestreados en el análisis del concreto en las Normas Internacionales ASTM y las Normas Nacionales Coguanor.

Tabla IV. **Normas utilizadas para el análisis del concreto**

ASTM	Coguanor	Resultado
ASTM C-172 práctica para el muestreo del concreto recién mezclado.	NTG-41057 práctica para el muestreo de concreto recién mezclado.	Procedimiento para realizar ensayos en concreto fresco en producción o en transporte.
ASTM C143 método de ensayo. Determinación del asentamiento del concreto de cemento hidráulico.	NTG-41052 método de ensayo. Determinación del asentamiento del concreto hidráulico	La determinación del asentamiento del concreto hidráulico, tanto en laboratorio como en campo.
ASTM C-1064 método de ensayo. Determinación de la temperatura del concreto de cemento hidráulico recién mezclado.	NTG-41053 método de ensayo. Medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado.	La determinación de la temperatura de mezclas de concreto hidráulico recién mezclado.
ASTM C-138 método de ensayo. Determinación de la densidad aparente (masa unitaria), rendimiento (volumen de concreto producido) y contenido de aire (gravimétrico) del concreto recién mezclado.	NTG-4101H5 método de ensayo. Determinación de la densidad aparente (masa unitaria), rendimiento (volumen de concreto producido) y contenido de aire (gravimétrico) del concreto recién mezclado.	La determinación de la densidad aparente (masa por unidad de volumen) de concreto recién mezclado y proporciona fórmulas para calcular el rendimiento de concreto, el contenido de cemento y el contenido de aire del concreto.
ASTM C-231 método de ensayo. Determinación del contenido de aire del concreto recién mezclado por el método de presión.	NTG-41017H7 método de ensayo. Determinación de aire del concreto hidráulico recién mezclado por el método de presión.	La determinación del contenido de aire en el concreto hidráulico recién mezclado, mediante la observación del cambio de volumen del concreto producido por un cambio.

Continuación de la tabla IV.

ASTM-C31 práctica para la elaboración y curado de especímenes de ensayo en la obra.	NTG-41061 práctica para la elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en la obra.	Procedimiento para preparar y curar especímenes cilíndricos y de vigas de muestras representativas de concreto fresco para un proyecto de construcción.
ASTM C-403 método de ensayo de prueba durante tiempo de ajuste de mezclas de concreto por resistencia de penetración.		Para determinar el tiempo de fraguado del concreto, midiéndose la resistencia a la penetración producida en intervalos de tiempo regulares sobre el mortero de la mezcla de concreto.
ASTM C-39 método de ensayo. Determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto.	NTG-41017H1 método de ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.	Para determinar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto tales como cilindros moldeados y núcleos perforados. Se encuentra limitado al concreto que tiene una masa unitaria.

Fuente: elaboración propia.

1.5. El bombeo de concreto

Una bomba para concreto es una máquina utilizada para bombear y colocar concreto a diferentes distancias y alturas, a través de tuberías de diferentes diámetros. En el mercado hay una cantidad de bombas de concreto que usan una variedad de sistemas de válvulas. Se usa el tipo de válvula de

bola de asiento, válvula S, válvula *Rock valve* (válvula oscilante), válvula *Squeeze Crete* y otras para bombear concreto y piedras menudas a través de tuberías de distribución de diámetro pequeño. Los fabricantes de estas distintas válvulas proporcionan una composición para la mezcla recomendada.

El hormigón o concreto se define como una mezcla de arena, pedrín, cemento y agua. El asentamiento indica la relación de agua, con respecto al cemento y generalmente, se le considera una medida de la fluidez del concreto fresco.

La bomba de línea impulsa una mezcla de concreto con piedras menudas de 3/8" a través de una tubería y manguera que tiene un diámetro de 2, 2 1/2 o 3 pulgadas. El tamaño de cualquier agregado grueso y la proporción de la mezcla dictarán el diámetro de la tubería o de la manguera necesaria. La ACPA recomienda que el diámetro de la tubería de distribución sea por lo menos tres o cuatro veces mayor que el tamaño del agregado más grande contenido en la mezcla.

Las bombas de concreto se pueden clasificar de acuerdo a su aplicación en la siguiente manera:

- Remolcado
- Montado en camión
- Montado en camión con transferencia de potencia independiente
- Montado en camión con transferencia de potencia de motor del camión
- Brazo hidráulico o pluma

1.6. Equipos para bombeo de concreto

Las bombas impulsadoras de concreto que se emplean actualmente, 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 mezclas más densas que están dentro de las especificaciones y los rangos establecidos por cada fabricante. La operación normal es controlada por el panel de control localizado en la unidad.

Mixto Listo posee actualmente bombas de dos marcas diferentes la Putzmeister y la Schwing, aunque sus diseños son similares tienen algunas variantes. Los grupos en que se clasifican estas bombas, para ambas marcas, son: el modelo montado en remolque, provisto de un motor diésel y la unidad bombeadora montados sobre un remolque transportable.

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 del camión el que se utiliza para suministrar energía mecánica a la bomba, Este modelo a su vez se divide en otras dos tipos de bomba:

- Las bombas montadas en camión
- Las plumas

Figura 5. **Modelo montado en remolque**



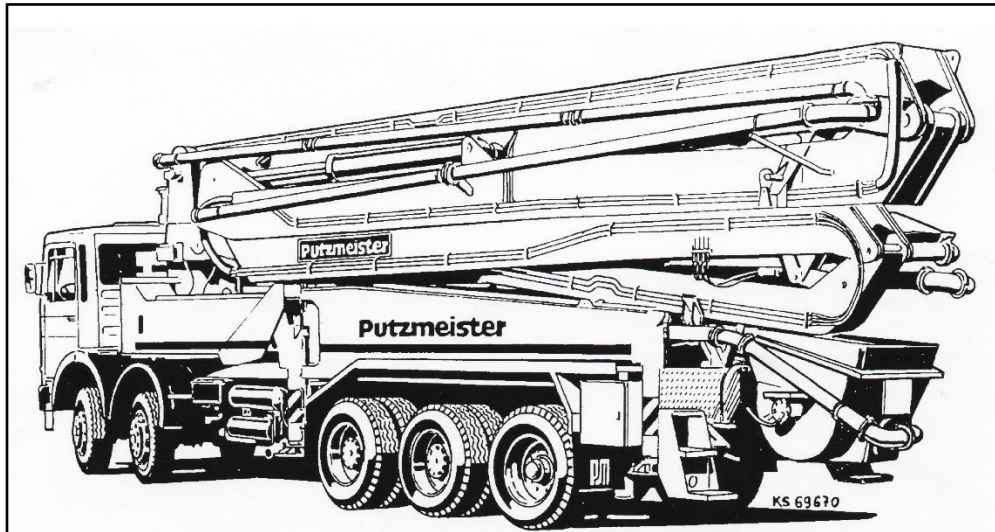
Fuente: *Schwing América Inc.* www.schwing.com. Consulta: 10 de marzo de 2016.

Figura 6. **Modelo montado en camión**



Fuente: *Putzmeister holding GmbH.* www.putzmeister.com. Consulta: 10 de marzo de 2016.

Figura 7. **Modelo con brazo hidráulico**



Fuente: Putzmeister. *Manual Técnico y operativo*. p. 2-1.

1.6.1. Tipos de bombas y aplicaciones

Las bombas de concreto son el equipo más efectivo para el manejo de concreto premezclado, en la obras de ingeniería. Estos permiten un colado más rápido y uniforme resolviendo problemas de acceso, alcance, espacio y manejo de grandes volúmenes en tiempos cortos.

Con las bombas de concreto se disminuyen los riesgos que afectan la calidad del concreto por manejo y transporte dentro de la obra. El concreto se surte al punto de aplicación de una manera más rápida y constante, lo cual se traduce en un colado más homogéneo y de mejor calidad. Son ideales para surtir concreto en lugares de difícil acceso a causa de la altura, la distancia o bien, por obstrucciones en el trayecto.

Las bombas pueden mover con facilidad el concreto, sobre obstrucciones, que sería imposible vencer por camiones revolvedores o difíciles de acceder incluso para personal con una carretilla o acarreado botes.

Por otra parte, con las bombas de concreto se disminuyen los márgenes de desperdicio. Esto representa un menor costo en la ejecución de la obra. Se obtiene una reducción en el tiempo de colado, lo que se transforma en una disminución en el costo de la mano de obra, reduciendo los costos por mano de obra.

Se pueden citar algunos productores de bombas de concreto como:

- Cipsa: es una empresa mexicana, especializada en equipo para concreto que ofrece bombas de concreto bajo la marca Mayco/Multiquip. Estas bombas están orientadas fundamentalmente al bombeo en edificios o zonas difícil acceso, donde una bomba tipo pluma tendría dificultades para maniobrar.
- Putzmeister: es una empresa alemana, productor y fabricante de la bomba BSF 28Z.09.
- Schwing: es una empresa estadounidense, su principal producción son bombas de concreto, camiones, plumas entre otros.

Entre otras marcas se pueden mencionar otras a nivel mundial:

- Sany
- Somero
- Whiteman

- Pumpstar
- Daewood
- Jun Jin
- Reed

Existe una gran variedad de bombas de concreto. Algunas son impulsadas por el motor de la unidad del camión, otras motor a gasolina, motor diésel y motor eléctrico.

1.6.1.1. Tipo remolcado

Las bombas de concreto tipo remolcadas cuentan con un motor de entre 79 y 197 hp. Este da la versatilidad de bombear mezclas ásperas y lanzar concreto. Existen algunas que tienen un sistema hidráulico de circuito abierto, que da mayor control para ciclos de estado sólido, y válvula S para servicio pesado.

Entre las principales aplicaciones de la bomba se puede encontrar:

- Bombeo de concreto
- Concreto lanzado
- Lechadas a presión
- Concreto prevaciado
- Estabilización de taludes
- Piscinas
- Lozas
- Conformación de rocas
- Rellenos

Dentro de sus características estándares:

- Motor diésel
- Bomba de pistones de flujo variable
- Bomba de engrane
- Válvula S para servicio pesado
- Cilindros de concreto cromados para larga vida
- Mangueras hidráulicas comunes
- Chasis de alta duración
- Solo 4 grupos de mangueras hidráulicas
- Gato de estabilización ajustable
- Filtro de combustible con separador de agua

Las bombas con el sistema hidráulico de circuito abierto y bomba de pistones de caudal variable. Estos contienen un motor diésel más potente, realizando una operación más silenciosa y más eficiente.

Dentro de sus características estándares:

- Válvula S para servicio pesado.
- Un PLC de regulador programable REED, para efectuar ciclos rápidos y suaves. Esto elimina la generación de calentamiento en el hidráulico y el paro de los ciclos por relevadores de los sistemas convencionales del pasado.
- Control de volumen variable y RPM en la caja de control remoto.
- Cilindros de concreto con cromo de alta resistencia para brindar una mayor vida útil.
- Caja de herramientas integrada.
- Nuevo diseño del bastidor de alta resistencia.

- Cambio de fuerza ajustable.

Las bombas, con el sistema hidráulico de circuito cerrado, realizan un control de ciclos de estado sólido, con doble eje y cilindros de doble cambio. Estas bombas de alto rendimiento superan cualquier trabajo aún bajo las condiciones más extremas.

Dentro de sus características estándares:

- Sistema hidráulico de circuito cerrado.
- Motor diésel más potente, operación más silenciosa, y más eficiente.
- Un PLC regulador programable REED, para efectuar ciclos rápidos y suaves. Esto elimina la generación de calentamiento en el hidráulico y el paro de los ciclos por relevadores de los sistemas convencionales del pasado.
- Control de volumen variable y RPM en la caja de control remoto
- Cilindros de concreto con cromo de alta resistencia para brindar una mayor vida útil.
- Cilindros de doble cambio.

1.6.1.2. Tipo montado en camión

Es una pieza esencial de construcción para la edad media. Los sitios se obstaculizan con los materiales y la maquinaria, haciendo el proceso de verter el concreto más difícil. El bombeo es la manera preferida de entregar concreto, debido a la facilidad con la cual puede ser realizado. El vehículo se puede estacionar cerca de la obra o fuera de ella, y usando su brazo de tubería extendida, bombea el concreto hacia el área deseada.

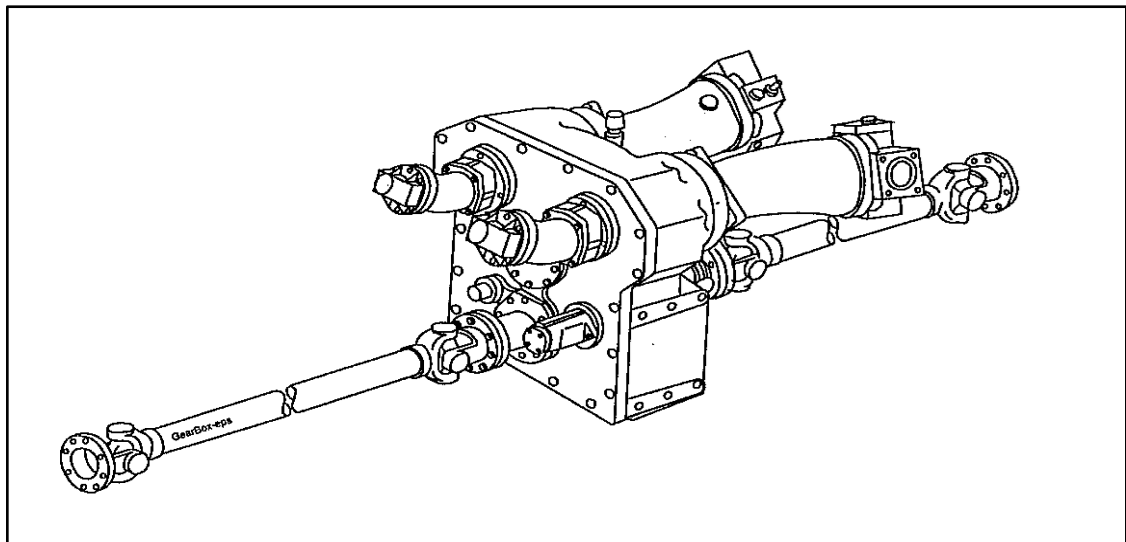
El camión de bomba de concreto es un vehículo que puede tener las mismas características de las remolcadas. Este va montada sobre el chasis de un camión de la capacidad adecuada.

Existen de dos tipos:

- Con motor independiente.
- Con el motor del camión a través de una toma fuerza y caja reductora transfer ver figura 8.

Este tipo de bomba es más práctica para entrar y salir de obras, con accesos difíciles, ocupa menos espacio. Además consume menos combustible y no tiene problemas con la suspensión. Actualmente en Mixto Listo se poseen 16 camiones bomba.

Figura 8. **Caja de transferencia de potencia**



Fuente: ALVARADO, Robles. *Bombas para concreto Mixto Listo*. p. 3.

1.6.1.2.1. Tipo montado en camión con transferencia independiente

Este tipo de bomba es igual en características a la bomba montada en camión, con la diferencia que el motor de esta bomba es independiente del motor diésel del camión. Una de las ventajas de este tipo de bomba es la que si el motor del camión se avería, en la obra la bomba de concreto, puede seguir operando.

1.6.1.2.2. Tipo montado en camión con transferencia de potencia del motor del camión

Este tipo de bomba adquiere su potencia del motor del automotor a través de una caja transfer. Este igual en características al tipo de bomba montada en camión con transferencia independiente. Una de las mayores desventajas de este tipo de bomba es que si el motor del automotor se avería la bomba no se puede utilizar hasta que el motor esté reparado.

1.6.1.3. Tipo de bomba con brazo hidráulico

La bomba de concreto con brazo hidráulico, en un vehículo que utiliza un motor diésel, que incluye un brazo muy largo para ayudar a alcanzar áreas elevadas. Estos camiones se utilizan en una gran variedad de trabajos, desde las losas y edificios de altura media, a los proyectos comerciales e industriales de gran capacidad.

Cada camión bomba varía de tamaño con longitudes de brazo que se extienden de 17 a 61 m. Los brazos están disponibles en tres o cuatro modelos

de sección, con una altura de despliegue de solamente 4.9 m, o más largos modelos capaces de extenderse más de 61 m.

Estos camiones pueden ser vehículos de un solo eje con alta maniobrabilidad. Son apropiados para las diferentes áreas, que proporcionan un gran valor de costo de funcionamiento, o pueden ser disposiciones con múltiples ejes más grandes. Estos usados para proyectos de mayor escala por su poderosa capacidad de bombeo y largo alcance.

1.6.1.3.1. Con brazo hidráulico de 24 metros

Una de las ventajas de esta pluma es que no se pierde tiempo en el armado y colocación de la tubería, al hacer movimientos cerca no hay que estar desarmando armando tubería, es práctica en un tercer o cuarto nivel. El límite de alcance de esta pluma es de 24 m sobre el eje vertical y 22 m en su eje horizontal. La capacidad de bombeo es de 110 m³/h, es capaz de bombear cualquier tipo de concreto con una agregado máximo de 1 ½ en su granulometría.

Una de las desventajas de las camiones bomba con brazo hidráulico es que no se puede trabajar donde hay líneas de alta tensión y el camión no puede extender sus patas de estabilización en calles muy cerradas.

En Mixto Listo se cuenta con el modelo BSF 24Z del fabricante putzmeister. Esta bomba posee un motor diésel que le da la potencia al motor hidráulico.

1.6.1.3.2. Con brazo hidráulico de 28 metros

Esta bomba es similar en características a la bomba BSF 24Z. La diferencia entre cada una es el alcance máximo que posee el brazo hidráulico. Esta bomba tiene un alcance máximo sobre la vertical de 28 m y sobre la horizontal de 26 m.

Es capaz de bombear cualquier tipo de concreto con un agregado máximo de 1 ½ en su granulometría a razón de 110 m³/h.

En Mixto Listo se encuentra el modelo BSF 28Z.09 de la marca alemana Putzmeister.

1.6.1.3.3. Con brazo hidráulico de 32 metros

El uso de una pluma de 32 metros o más requiere de más experiencia, más cuidado y estar más atento. Esto debido a la magnitud de tamaño, mayor radio de giro, longitud y peso hace falta tener más cuidado al manejar al área de trabajo. Este vehículo necesita una mayor distancia de frenado.

Una bomba de concreto de 32 m pesa cerca de las 80 000 libras. Los camiones con eje delantero doble y triple tienen una mayor acción de arado de manera que tiene que conducir lentamente.

En Mixto Listo se cuenta con la bomba Putzmeister BSF 32Z. Tiene una capacidad de bombeo de 110 m³/h con un alcance máximo de 32 m sobre la vertical y 30 m sobre la horizontal.

2. PARTES Y COMPONENTES PRINCIPALES DE LA BOMBA BSF 28Z.09

2.1. Introducción

El manual del fabricante es muy explícito al citar las recomendaciones de seguridad industrial al utilizar la máquina o el equipo. También hace énfasis en la protección medio ambiental y los cuidados que este necesita a la hora de operar la maquinaria. Junto a las instrucciones de servicio y la normativa vigente en materia de prevención de accidentes, es preceptivo respetar asimismo, las reglas de la técnica reconocidas para garantizar un trabajo seguro y correcto.

2.2. Instrucciones básicas de seguridad industrial

El fabricante recomienda utilizar la máquina o equipo exclusivamente en perfecto estado técnico y para los fines previstos, teniendo en cuenta los peligros que comporta y respetando las instrucciones de seguridad y de servicio. Las averías o problemas que presente el equipo y puedan poner al personal en peligro, deben de ser reparados inmediatamente.

Poner atención en los siguientes puntos:

- No se haya desmontado, inutilizado o modificado ningún dispositivo de seguridad como paros de emergencia, rejilla que cubre la tolva de la bomba entre otros.

- Los dispositivos de seguridad desmontados para realizar trabajos de mantenimiento vuelvan a montarse inmediatamente después de concluir dichos trabajos.

Antes de poner en marcha la máquina se comprobarán sus condiciones de seguridad. Si se constatan defectos, aunque sea solo por indicios, es preciso repararlos inmediatamente. En caso necesario se informará a la autoridad inmediata si se presentan defectos que pongan en peligro la seguridad funcional.

Es recomendado utilizar tuberías de transporte, mangueras terminales, acoplamientos, y otros del fabricante de la bomba, que estén en perfecto estado técnico y sean aptos para transportar el material previsto. Las tuberías de transporte de hormigón sufren desgaste, que varía en función de la presión y composición del hormigón, del material de la tubería y otros.

Mixto Listo debe capacitar a nuevos usuarios del equipo y a su personal de servicio en el manejo de la máquina, del mismo modo que el fabricante capacita a su personal. La máquina no debe utilizarse para transportar mercancías, excepto para el traslado de los accesorios de la máquina, como tuberías, mangueras y otros. En ningún caso debe superarse la carga máxima o peso máximo autorizado.

Las bombas están diseñadas exclusivamente para el transporte de hormigón con una densidad aparente máxima de 2 400 kg/m³. Su uso está limitado al bombeo a pie de obra. La presión de trabajo no debe superar los 85 bar de presión.

2.2.1. Requerimientos de equipo de protección personal

Para paliar los peligros de lesiones o de muerte para las personas. Es imprescindible llevar, en cualquier caso, en toda el área en que opera la máquina, el siguiente equipo de protección personal:

- Casco: protege la cabeza. Por ejemplo, frente a la posible caída del hormigón o de componentes de la tubería en caso de explosión de la misma.
- Calzado de seguridad: protege los pies ante la caída de objetos o la presencia de clavos en posición vertical.
- Orejeras de protección: protegen del ruido imperante junto a la máquina.
- Guantes protectores: cubren las manos de sustancias agresivas o químicas, de la acción mecánica (golpes) y de posibles cortes.
- Gafas: protegen los ojos de posibles lesiones producidas por salpicaduras de hormigón y otras partículas.
- Mascarilla con respirador: protegen de partículas de materiales para la construcción que pueden penetrar a través de las vías respiratorias, por ejemplo aditivos del hormigón.

Además, de las instrucciones de servicio, deberá cumplirse y hacerse cumplir la normativa legal vigente con carácter general y demás reglamentaciones preceptivas en materia de prevención de accidentes y de protección del medio ambiente.

2.2.2. Intervalos de mantenimiento e inspección general del equipo

Un técnico entrenado deberá inspeccionar las condiciones de seguridad de la máquina, la pluma distribuidora y la tubería de transporte como mínimo una vez al año. Si antes de acabar el año se cumplen 500 horas de servicio o se han bombeado 20 000 m³, la inspección deberá realizarse al alcanzar el primero de estos intervalos. Este intervalo se determina con base en el horómetro de la máquina. Dicho horómetro cuenta las horas de bombeo. El horómetro debe mantenerse siempre en buen estado de funcionamiento. Los repuestos deberán satisfacer los requisitos técnicos especificados por el fabricante. Esto está siempre garantizado en los reclamos originales.

Cambiar las mangueras hidráulicas en los plazos indicados o que consideren razonables, incluso si no se observan defectos que puedan afectar la seguridad. No conviene utilizar las mangueras durante más de 6 años, incluido un periodo de almacenamiento de 2 años máximo.

Las mangueras y tubos flexibles sufren un desgaste natural incluso si se almacenan correctamente y se someten a los esfuerzos admisibles. Esto limita su duración en almacén y su vida útil.

Es recomendable cumplir los plazos preceptivos o señalados en las instrucciones de servicio con respecto a las revisiones e inspecciones periódicas. La maquinaria no revisada o reparada debidamente no garantizan la seguridad funcional y laboral.

2.2.3. Selección y cualificación del personal

Todo trabajo de reparación o instalación de la máquina deberá encomendarse exclusivamente a personas dignas de confianza. El manejo y mantenimiento sin supervisión de la máquina solamente puede encomendarse a personas (personal de mantenimiento, maquinistas, operadores) que cumplan con los siguientes requisitos:

- Haber cumplido la mayoría de edad.
- Estar física y psíquicamente capacitadas (prueba G25 <<actividades de conducción, mando y control>>).
- Gozar de buen estado de salud (haber reposado y no estar bajo los efectos del alcohol, drogas, y medicamentos).
- Haber sido instruidos en el manejo y la conservación de la máquina.
- Haber acreditado su aptitud ante la empresa.
- Previsiblemente puedan cumplir de modo fiable las tareas que se les encomienden.

Se utilizará exclusivamente personal instruido o formado. Esto fijando claramente las competencias en materia de manejo, preparación, mantenimiento y conservación.

2.2.3.1. Personal técnico

El manejo, el mantenimiento y la reparación de la máquina deben encomendarse exclusivamente a personas instruidas y autorizadas por Mixto Listo. La empresa fija claramente las competencias del personal.

Los trabajos en el sistema hidráulico y eléctrico deben encomendarse únicamente a personas que puedan acreditar las correspondientes aptitudes ante putzmeister. Los trabajos en los bastidores, sistemas de frenos y dirección solamente podrán ser realizados por personal técnico instruido para ello; al igual que la fijación de los acoplamientos en las mangueras.

2.2.3.2. Soldadores

Todo trabajo de soldadura a realizar en la pluma, el apoyo o en otros elementos relevantes en materia de seguridad, solamente podrá ser realizado por personas designadas por putzmeister con el título de soldador autorizado. Estos trabajos serán examinados por un perito experto.

Las tensiones ajenas que pueden darse durante procesos de soldadura eléctrica pueden destruir componentes electrónicos de telemando inalámbrico y por cable. Por este motivo seguir las siguientes instrucciones:

- Desconectar el cable del telemando del panel de mando.
- Desconectar la totalidad de cables que entran en el receptor del telemando inalámbrico. Proteger las cajas de enchufe con tapas.
- Desconectar los cables de los polos positivos y negativos de la batería del vehículo.

2.2.3.3. Técnico electricista

El fabricante del equipo recomienda que los trabajos eléctricos de la máquina, ya sean instalación o reparación de algún componente o equipo, sea realizado por un técnico experto instruido bajo la dirección de putzmeister. Únicamente un técnico eléctrico está autorizado a instalar, conectar, cerrar y

abrir los armarios de distribución eléctrica de la pluma. El hacer caso omiso a esta advertencia podría causar serios daños al equipo y poner en vulnerabilidad la seguridad ocupacional.

2.2.3.4. Técnico en sistemas hidráulicos

La fábrica de putzmeister autoriza a realizar trabajos de mantenimiento o instalación al personal técnico calificado en materia hidráulica. Como se ha mencionado anteriormente podría causar serios daños al equipo o máquina que una persona no calificada haga algún tipo de reparación. Asimismo, los dispositivos ajustables (válvula limitadora de presión, potenciómetro, limitador de volumen de aceite, cilindro hidráulico, y otros) deben ser manipulados por profesionales calificados.

2.2.4. Puesta en marcha del equipo

Antes de poner en marcha el equipo deberán ser comprobadas todas las condiciones de seguridad. Operar la máquina solamente si todos los dispositivos de protección y de seguridad. Esto como por ejemplo, dispositivos de protección desconectables, dispositivos de desconexión de emergencia, aislamiento acústico y dispositivos de aspiración, se han instalado y funcionan correctamente.

El maquinista deberá prestar atención a lo siguiente:

- La máquina opere siempre en perfecto estado.
- No se desmonte, inutilice o modifique ningún dispositivo de seguridad (desconexión de emergencia, rejilla que cubre la tolva de la bomba y otros).

- Los dispositivos de seguridad desmontados, para realizar trabajos de mantenimiento, vuelvan a montarse inmediatamente después de concluir dichos trabajos.

La máquina debe estar libre de defectos visibles (grietas, daños, uniones roscadas sueltas o aflojadas, falta de chavetas de fijación, elementos portantes oxidados, escapes y otros). Cada gota de aceite que se pierde contamina los acuíferos. Comprobar la estanquidad y el cierre hermético de los depósitos de aceite y agua.

Los preparativos de la máquina incluyen también la carga de materiales combustibles. Los aceites, carburantes y otras materias consumibles pueden ser nocivos para la salud. Esto al manipular materias consumibles tóxicas, causticas o de algún modo nocivas para la salud, lleve puesto siempre su equipo de protección personal y respete las indicaciones de Mixto Listo.

2.2.5. Distancias mínimas de seguridad

Antes de comenzar a trabajar es necesario inspeccionar el entorno de trabajo a pie de obra. El entorno de trabajo incluye, por ejemplo, los obstáculos en la zona de trabajo y de tránsito, la resistencia del terreno y las oportunas medidas de protección de la obra frente al tráfico público.

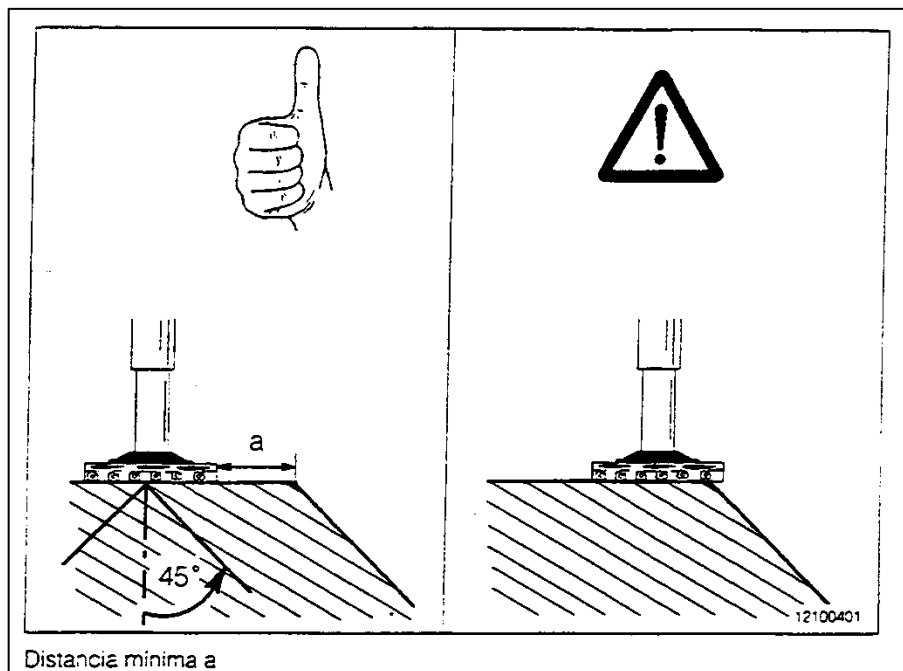
Los inspectores de obras de Mixto Listo se encargan generalmente de determinar y acondicionar debidamente el lugar de emplazamiento de la máquina. Sin embargo, el responsable de la seguridad del emplazamiento es el maquinista u operario. Debe comprobar el emplazamiento previsto y rechazar el estacionamiento si existen dudas respecto de su seguridad.

La fuerza de apoyo de la máquina se reparte en el suelo en forma de cono de 45°. Este cono imaginario (ver figura 9) no debe sobresalir de los límites de la excavación.

La distancia mínima <<a>> (ver figura 9) de las máquinas de:

- Hasta 12 ton de peso máximo autorizado es de 1 m.
- Más de 12 ton de peso máximo autorizado es de 2 m.

Figura 9. **Distancia mínima a excavaciones**



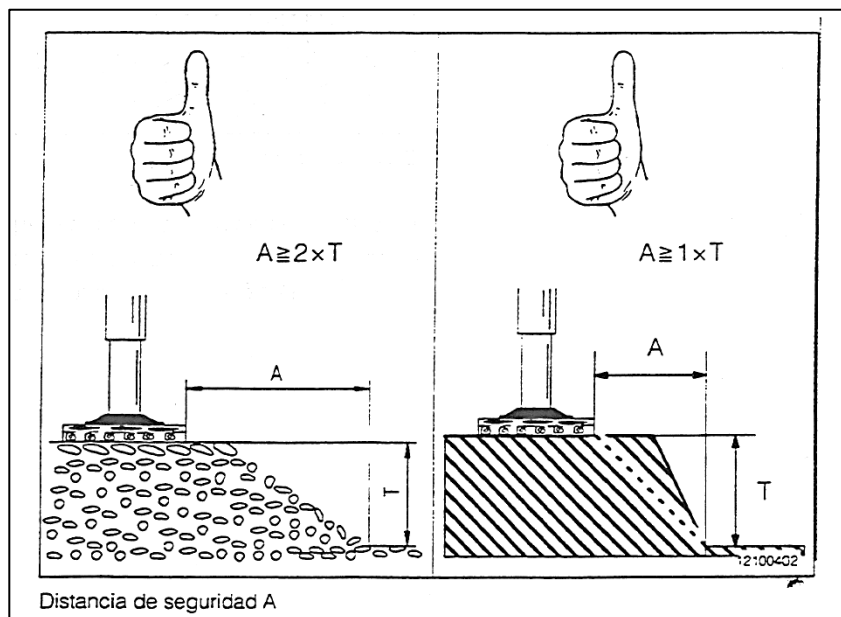
Fuente: Putzmeister. *Manual Técnico y operativo*. p. 2-34.

Mantener a una distancia de seguridad suficiente respecto de excavaciones, taludes, tuberías superficiales, líneas eléctricas aéreas y obstáculos diversos.

Como se mencionó, la fuerza que cada apoyo transmite al terreno se reparte en el suelo cónicamente bajo un ángulo de 45°. La distancia de seguridad a mantener esta en función de la clase del suelo. En la República Federal Alemana, esta distancia se describe en la Norma DIN 4124 (excavaciones de obras y zanjas).

Sobre terreno inestable o excavado, la distancia de seguridad debe ser el doble de la profundidad de la fosa. Sobre suelo natural y firme, la distancia de seguridad debe ser igual a la profundidad de la fosa.

Figura 10. **Distancia de seguridad**



Fuente: Putzmeister. *Manual Técnico y operativo*. p. 2-36.

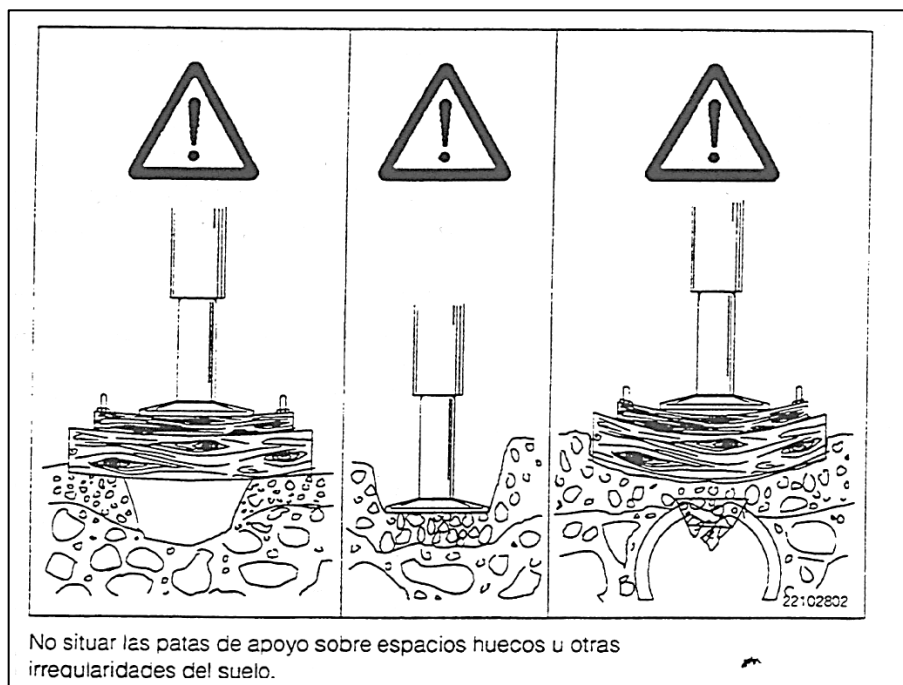
El suelo debe ser plano. En su caso deberá acondicionarse una superficie plana. Los tabloncillos no deben colocarse sobre espacios huecos. El maquinista

deberá tener especial cuidado debajo del asfalto, de palcas de hormigón y otros. Puede estar socavado.

Los pies oscilantes descargan los cilindros hidráulicos del apoyo, puesto que compensan las pequeñas irregularidades del terreno. No están concebidos para estacionar la máquina en zonas con desnivel. El plato de apoyo puede deslizarse de la base y provocar la caída de la máquina. Esto también puede ocurrir, si la base penetra oblicuamente en el suelo durante el funcionamiento.

El terreno siempre debe acondicionarse con arreglo a lo descrito, independientemente del tipo de plato de apoyo. Controlar continuamente la estabilidad de la máquina durante su operación.

Figura 11. Terreno de apoyo



Fuente. Putzmeister. *Manual Técnico y operativo*. p. 2-40.

2.2.6. Fuerzas de apoyo angular

Comprobar siempre la resistencia del terreno. El inspector de obra especificará la presión sobre el suelo autorizada. En cada apoyo de la máquina se indica la fuerza de apoyo angular máxima que puede darse.

$$\text{Presión máxima en suelo permitida} = \frac{\text{fuerza apoyo angular max. maquina}}{\text{superficie plato de apoyo}}$$

Si es necesario utilizar bases de soporte para aumentar la superficie de apoyo. Las bases deben estar en perfecto estado y libres de hielo, aceite, grasa y otros. Los tablones deben colocarse debajo de los platos de apoyo de forma que la carga se reparta, uniformemente entre las diferentes maderas y se evite todo deslizamiento lateral.

La fábrica provee cuatro placas de apoyo de madera encolada multicapa como accesorios. El tamaño de las placas de apoyo es de 60 x 60 cm. Debajo de las plumas distribuidoras cuyo alcance longitudinal supera los 30 m, siempre deben colocarse tablones. La máquina nunca debe de emplazarse encima de un terraplén.

Interrumpir el trabajo si el apoyo no es estable. Algunos de los factores que disminuyen la estabilidad son, por ejemplo:

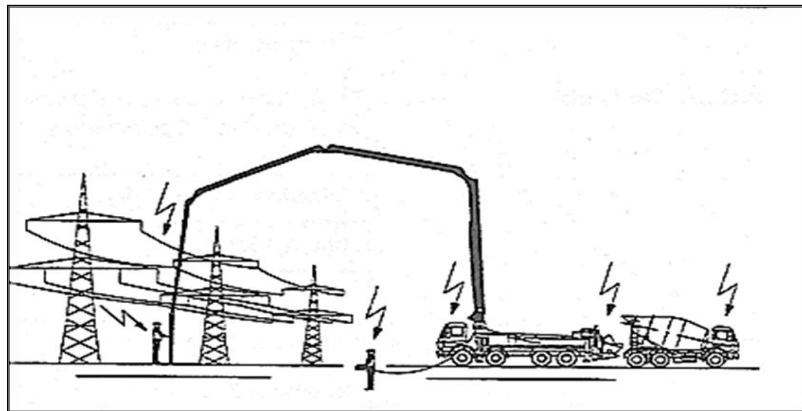
- Alteración de las condiciones del terreno, por ejemplo, a raíz de lluvias o de agua de condensación.
- Hundimiento de los apoyos de un lado.
- Fuga de aceite de la parte hidráulica de los apoyos.

La pluma distribuidora no debe levantarse hasta que la máquina no este apoyada reglamentariamente. Nivelar la máquina horizontalmente en todas direcciones. La inclinación máxima permitida es de 3°. Toda inclinación que supere este valor sobrecarga el mecanismo de giro de la pluma y compromete la estabilidad de la máquina. Si al desplazar la pluma distribuidora se despegarán del suelo uno o más apoyos, deberá ajustarse su posición.

2.2.7. Líneas de alta tensión

Hay que tener cuidado especial cerca de las líneas de alta tensión. El contacto directo con una línea bajo tensión siempre es peligroso. Basta con aproximarse a una línea de alta tensión para que pueda saltar una chispa, electrificando la máquina y su entorno.

Figura 12. Líneas de alta tensión

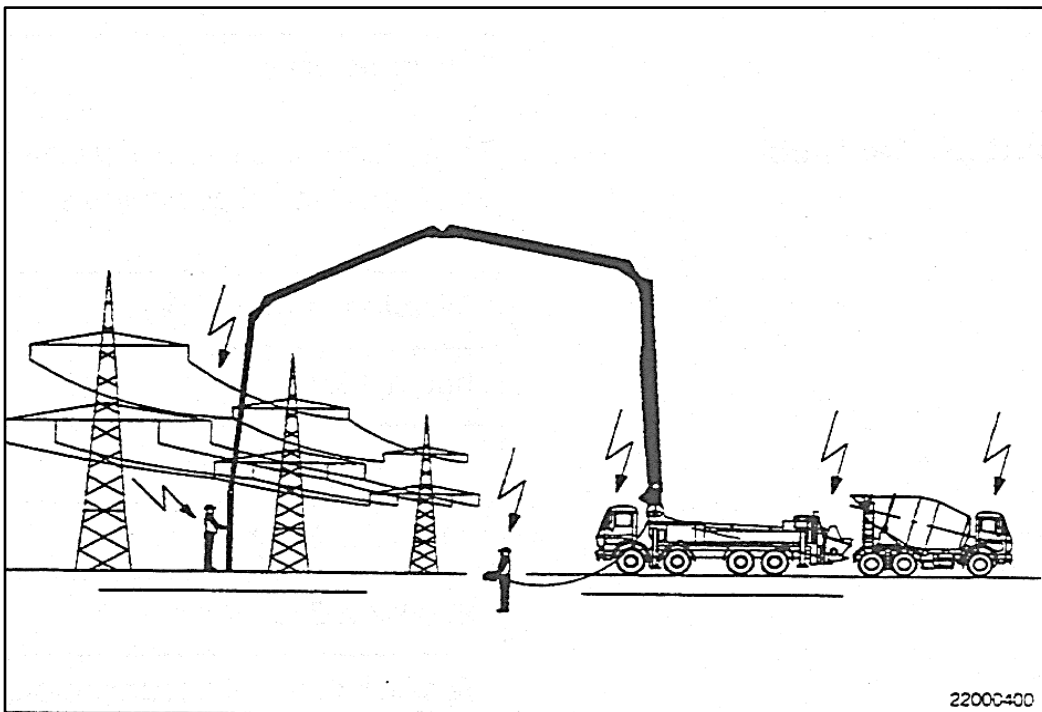


Fuente: Putzmeister. *Manual Técnico y operativo*. p. 3-15.

Cada salto de tensión comporta peligro de muerte para todas las personas que permanecen en la máquina o en sus proximidades, o están en contacto indirecto con ella (control remoto, manguera terminal y otros). En caso de

producirse un salto de tensión, debajo y alrededor del aparato se forma un llamado embudo de tensión. Este se caracteriza porque la tensión disminuye de dentro hacia fuera. Cada paso dentro de este embudo de tensión es peligroso. Al interconectar potenciales distintos (tensión de paso), a través del cuerpo fluye una corriente equivalente a la diferencia de potencial.

Figura 13. **Cono**



Fuente: Putzmeister. *Manual Técnico y operativo*. p. 5-47.

En la República Federal de Alemania, la Norma VDE 0105 fija las siguientes distancias mínimas con respecto a las líneas eléctricas aéreas. Tomar en cuenta que las estimaciones de distancias suelen ser engañosas es necesario tener extrema precaución.

Tabla V. **Distancia mínima requerida respecto a líneas eléctricas**

Tensión nominal (V)	Distancia de seguridad (m)
hasta 1 kV	1,0
1 kV a 110 kV	3,0
110 kV a 220 kV	4,0
220 kV a 380 kV	5,0

Fuente: Putzmeister. *Manual Técnico y operativo*. p. 5-47.

Al pasar por debajo de líneas eléctricas aéreas deben mantenerse las mismas distancias mínimas. Las compañías eléctricas disponen de un sistema automático de conexión. Si salta un fusible, la línea cortocircuitada vuelve a conectarse al cabo de poco tiempo. Periodos breves sin tensión pueden aparentar una seguridad inexistentes.

Tomar en cuenta, asimismo, que: el telemando inalámbrico solamente protege al maquinista si este se encuentra fuera del embudo de tensión. El cualquier otro caso existe peligro de muerte para todas las personas. Por esta razón, al realizar trabajos cerca de tendidos eléctricos aéreos, dejar que los desconecten los técnicos eléctricos.

En la proximidad de centros de emisores (emisoras de radio y otros) pueden producirse averías del telemando inalámbrico y peligrosas cargas eléctricas de la máquina. Las personas que hacen puente entre las piezas cargadas y el suelo se electrifican intensamente en caso de contacto.

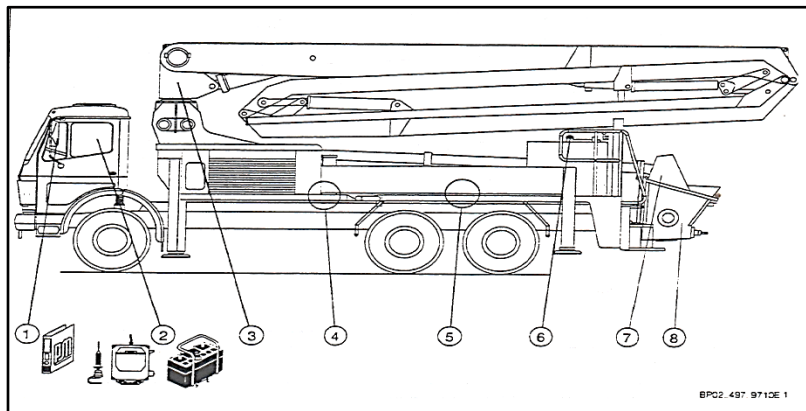
El armario de distribución, el motor y los mandos están protegidos de serie, de conformidad con la Norma DIN 40050 e IEC 144. Lo anterior con la clase de protección IP 54, es decir, están plenamente protegidos en caso de

contacto con las piezas bajo tensión o piezas interiores en movimiento. También están protegidos contra depósitos de polvo nocivos.

2.3. Descripción técnica general del equipo

A continuación se dará una descripción de los componentes y grupos de esta máquina y su funcionamiento. Tener en cuenta que también se describen los eventuales equipos complementarios.

Figura 14. Lado izquierdo del vehículo



Fuente: Putzmeister. *Manual Técnico y operativo*. p. 3-15.

Tabla VI. Partes del lado izquierdo del vehículo

Posición	Componente
1	Documentación de la máquina
2	Telemando inalámbrico y por cable
3	Placa de características de la pluma
4	Bloque de mando del apoyo izquierdo
5	Grifo de vaciado del acumulador hidráulico
6	Bomba de agua de limpieza

Continuación de la tabla VI.

7	Vibrador (en la parrilla)
8	Tubo oscilante de hormigón

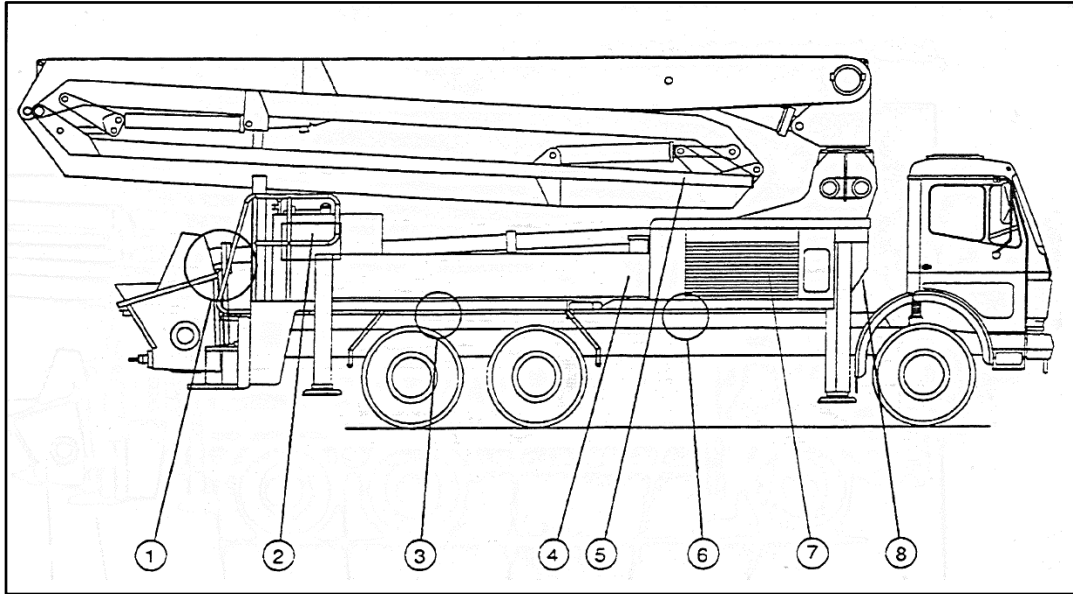
Fuente: Putzmeister. *Manual Técnico y operativo*. p. 3-15.

La medición de la emisión de ruido en autobombas de hormigón ha dado un valor de ≤ 85 dB. La medición se ha llevado a cabo de conformidad con la Circular administrativa general de protección contra ruidos en la construcción – niveles de emisión orientativos – (bombas de hormigón VwV).

La certificación del cumplimiento de los requisitos de protección EMVD de conformidad con el artículo 10, párrafo 2, de la directiva 89/336/CEE del Consejo. Esto para la unificación de los reglamentos de la compatibilidad electromagnética de los miembros, transpuesta en Alemania mediante la ley de compatibilidad de aparatos del 9 de noviembre de 1992 (EMVG, 5.2).

- Oficina componente: Mercedes Benz AG EMV – *Prüfzentrum Heerstr. 100 71332 Waiblingen*.
- Autorizada por: *Bundesamt für Post und Telekommunikation* (Oficina Federal de Correos y Telecomunicaciones).
- Número de registro DAR: BPT-ZE-021/95-00.
- Entidad certificada: Putzmeister AG.

Figura 15. Lado derecho del vehículo



Fuente Putzmeister. *Manual Técnico y operativo*. p. 3-17.

Tabla VII. Partes del lado derecho del vehículo

Posición	Componente
1	Palanca de la bomba de agua Palanca del agitador
2	Armario de mando
3	Regulador de rendimiento (en el bloque hidráulico) Cuerpo del distribuidor interruptores magnéticos (en el bloque hidráulico)
4	Refrigerador del aceite hidráulico)
5	Manguera terminal (en el extremo de la pluma)
6	Bloque de mando del apoyo derecho
7	Bloque de mando de la pluma (en la caja)
8	Placa de características de la máquina

Fuente: Putzmeister. *Manual Técnico y operativo*. p. 3-17.

2.4. Tubería de transporte

La tubería de transporte y el tubo vertical se componen de tramos rectos y codos normalizados. Estos son por tanto fáciles de intercambiar. Los acoplamientos estándar de Putzmeister sirven de articulaciones giratorias y uniones de tubos.

La articulación del codo del extremo de la pluma sirve de freno de caída y reduce el desgaste de la manguera terminal. Gracias a su tejido de cordón de acero, este soporta una presión de trabajo de hasta 85 bar. Nunca desconectar una tubería presurizada.

2.5. Control hidráulico

Todos los movimientos de la pluma se ejecutan por fuerza hidráulica. En todos los cilindros de la pluma se han instalado directamente dos válvulas de seguridad. Esto para evitar toda sobrecarga y posible reventón de la tubería hidráulica.

La alimentación de aceite hidráulico esta sincronizada de forma que pueden moverse varios cilindros al mismo tiempo. El control del sistema hidráulico puede operarse en la propia bomba de hormigón o a través de un telemando portátil.

Para ello, la corredera de distribución puede operarse de forma:

- Eléctrica
- Electroneumática
- Electrohidráulica

El depósito del aceite está integrado en la torreta de la pluma. El aire comprimido y la corriente eléctrica de mando proceden del vehículo.

2.6. Bomba

Un motor diésel montado sobre un camión o remolque acciona una bomba hidráulica principal. Dicha bomba hidráulica de desplazamiento variable se emplea para activar los dos cilindros hidráulicos, que accionan a su vez, los dos pistones que se encuentran de los cilindros de suministro de material. Existe una válvula oscilante, llamada así debido a su acción de oscilación para cambiar de un cilindro de suministro a otro. Está diseñada para que el sistema cambie automáticamente de un cilindro de material a otro. Este 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.

2.7. Tubo oscilante de hormigón

Las bombas PM se accionan hidráulicamente a través de bombas de aceite y motores diésel. Los émbolos de transporte no se desplazan están acoplados hidráulicamente mediante cilindros de accionamiento. Estos operan en contrafase.

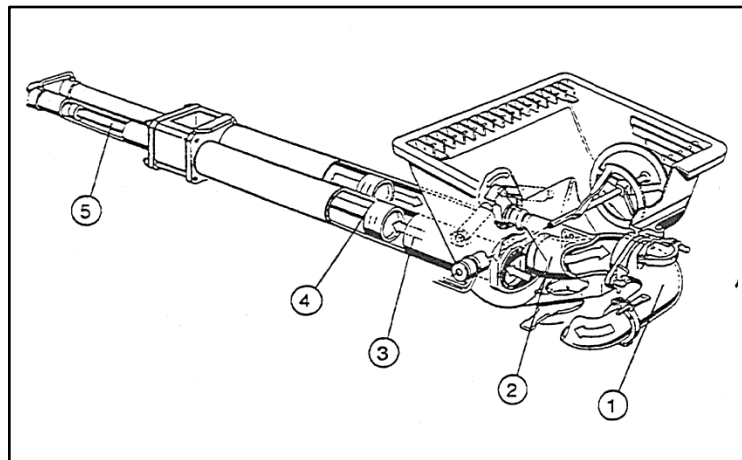
El émbolo de transporte que retorna aspira el fluido. Al mismo tiempo, el émbolo de transporte que avanza empuja el fluido aspirado a través del tubo o manguito de presión al interior de la tubería de transporte.

Al término de la carrera, la bomba invierte de marcha. El tubo oscilante de hormigón o concreto se sitúa delante del cilindro de transporte lleno y los émbolos de transporte invierten la marcha.

Inversión del movimiento de los émbolos de transporte a mitad de carrera (ver figura 13). El tubo oscilante de hormigón no se desplaza. El fluido es reaspirado desde la tubería de transporte a la tolva.

Inversión del movimiento de los émbolos de transporte a mitad de carrera. El tubo oscilante de hormigón se desplaza. El fluido sigue siendo transportado sin interrupción. El cambio ayuda a prevenir la formación de tapones.

Figura 16. **Tubo oscilante de hormigón S**



Fuente: Putzmeister. *Manual Técnico y operativo*. p. 3-44.

Tabla VIII. **Partes del tubo oscilante de hormigón S**

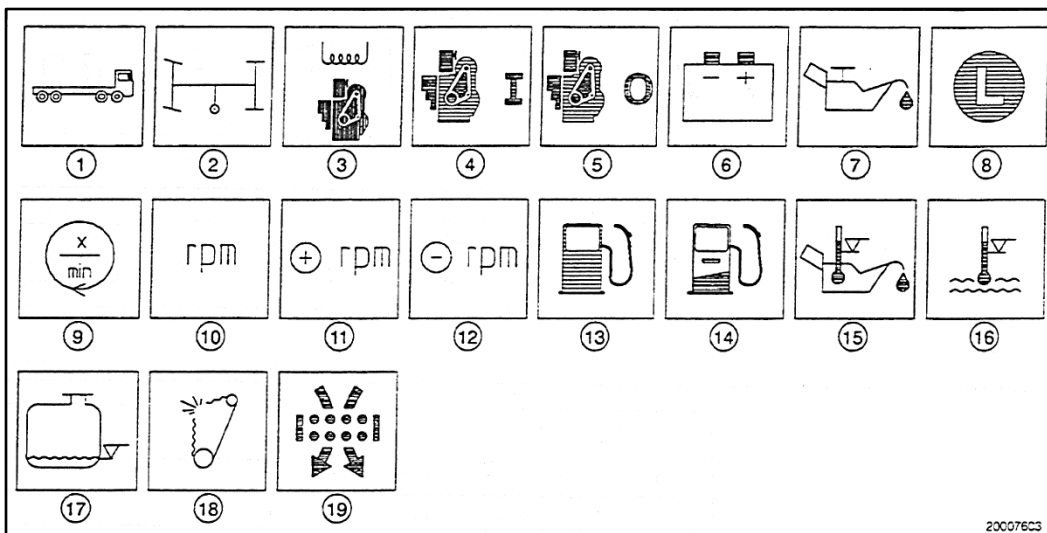
Pos.	Componente
1	Manguito de presión
2	Tubo oscilante de hormigón
3	Cilindro de transporte
4	Émbolo de transporte
5	Cilindro de accionamiento

Fuente: Putzmeister. *Manual Técnico y operativo*. p. 3-44.

2.8. Motor

El motor de accionamiento de la unidad es un motor Cummins ISM 350 diésel. La bomba esta equipa con una unidad de transferencia de potencia independiente. A continuación se describirán las partes primarias de los componentes de la unidad de potencia, así como alarmas y advertencias que el maquinista debe de saber.

Figura 17. **Simbología del mando del motor de la unidad de bombeo**



Fuente: Putzmeister. *Manual Técnico y operativo*. p. 3-18.

Tabla IX. **Simbología de mando del motor**

Pos.	Denominación
1	Vehículo en general
2	Toma de fuerza
3	Resistor indicador de incandescencia
4	Encender motor diésel
5	Apagar el motor diésel

Continuación de la tabla IX.

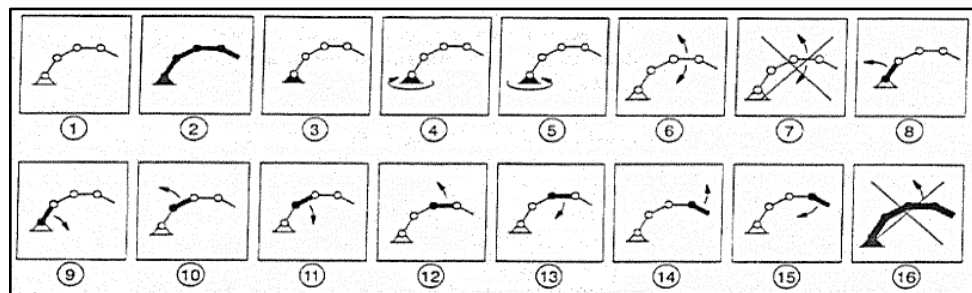
6	Control de carga
7	Presión del aceite del motor
8	Silencioso
9	Número de revoluciones en general
10	Número de revoluciones del motor
11	Aumentar el número de revoluciones del motor
12	Reducir el número de revoluciones del motor
13	Control de nivel del deposito
14	ECO (consumo de combustible reducido)
15	Temperatura del aceite del motor
16	Temperatura del agua de refrigeración
17	Nivel del agua de refrigeración
18	Avería del motor (rotura de la correa trapezoidal)
19	Filtro de aire

Fuente: Putzmeister. *Manual Técnico y operativo*. p. 3-19.

2.9. Pluma

Es el brazo mecánico que ayuda a elevar el hormigón o concreto a través de la tubería de transporte, a una altura determinada. En el caso de la bomba BSF 28Z.09 la altura máxima de elevación es de 28 m. A continuación se describe la simbología de mandos utilizada para la operación de la pluma.

Figura 18. **Simbología del mando de la pluma**



Fuente: Putzmeister. *Manual Técnico y operativo*. p. 3-10.

Tabla X. **Simbología del mando de la pluma**

Pos.	Denominación
1	Pluma en general
2	Activar funcionamiento de la pluma
3	Mecanismos de giro activado
4	Girar pluma a la derecha
5	Girar pluma a la izquierda
6	Mover la pluma
7	No mover la pluma
8	Brazo 1 arriba
9	Brazo 1 abajo
10	Brazo 2 arriba
11	Brazo 2 abajo
12	Brazo 3 arriba
13	Brazo 3 abajo
14	Brazo 4 arriba
15	Brazo 4 abajo
16	Desconectar la función <<subir brazo>>

Fuente: Putzmeister. *Manual Técnico y operativo*. p. 3-10.

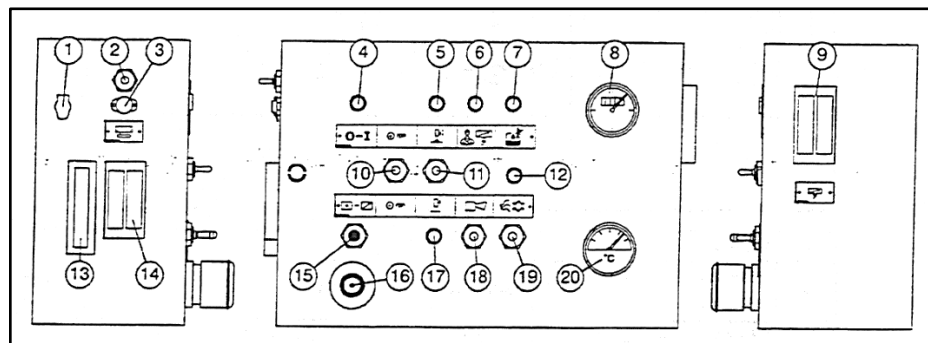
2.10. Mandos eléctricos

Dependiendo de los accesorios de la máquina, los dispositivos de mando eléctricos pueden incluir los componentes siguientes:

- Armario de mando
- Equipo OSS
- Caja de mando
- Engrase central
- Telemando por cable
- Telemando inalámbrico
- Cuerpo del distribuidor para interruptores inductivos / magnéticos

En el armario de mando, el maquinista puede controlar las funciones de la bomba y comprobar algunos estados de la máquina con base en las luces de aviso. Dependiendo de los componentes de la máquina, en la versión básica pueden faltar algunos de los elementos de control y de mando representados. Si falta un elemento de control o de mando, el agujero debe taparse con un tapón obturador.

Figura 19. **Armario de mando**



Fuente: Putzmeister. *Manual Técnico y operativo*. p. 3-7.

Tabla XI. **Partes del armario de mando**

Pos.	Elemento de mando / control	Significado / función
1	Enchufe de vehículo	Conexión, por ejemplo, del foco omnidireccional
2	Selector	Conexión-desconexión del vibrador
3	Casquillo	Conexión del vibrador
4	Luz de aviso verde	Máquina lista
5	Luz de aviso verde	Encendida: la bomba funciona correctamente. Parpadea: la bomba no se pone en marcha
6	Luz de aviso roja	Desconexión de emergencia activada
7	Luz de aviso roja	Sobrecalentamiento del aceite hidráulico
8	Pulsador	Aumentar / reducir el número de revoluciones del motor
9	Pulsador / selector	Conexión / desconexión de la bomba

Continuación de la tabla XI.

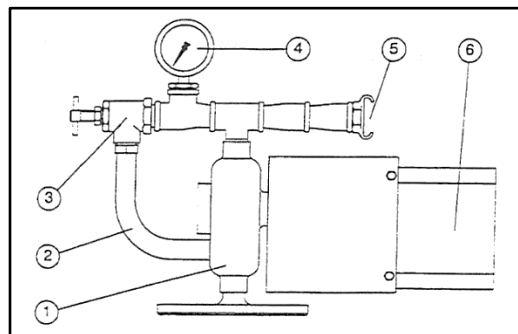
10	Luz de aviso verde	Refrigerador del aceite hidráulico en marcha
11	Clavija	Conexión del arnés de cables de la pluma
12	Clavija	Conexión de arnés de cables de la bomba
13	Selector bloqueado localmente	Mando directo -0- telemando
14	Pulsador	Desconexión de emergencia
15	Luz de aviso verde	Conexión de retroceso
16	Pulsador	Bocina + desactivar desconexión de emergencia
17	Selector	Conexión / desconexión del refrigerador del aceite hidráulico
18	Termómetro	Indicación de temperatura del aceite hidráulico

Fuente: Putzmeister. *Manual Técnico y operativo*. p. 3-7.

2.11. Bomba de agua para limpieza

El equipo de bombeo cuenta con una unidad de limpieza. Esta es una bomba de agua, la cual es capaz de generar una presión hidráulica de 20 bar y un caudal máximo de 50 litros por minuto. Esta bomba es operada hidráulicamente (ver figura).

Figura 20. **Bomba de agua de limpieza**



Fuente: Putzmeister. *Manual Técnico y operativo*. p. 3-12.

Tabla XII. **Partes de la bomba de limpieza**

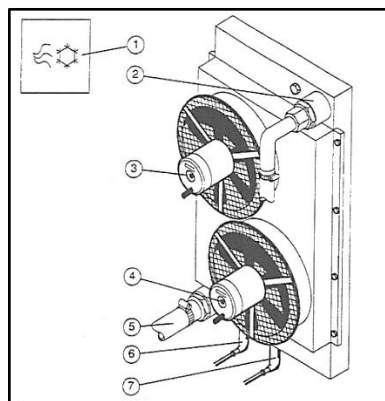
Pos.	Denominación
1	Bomba de agua de limpieza
2	Circulación de agua
3	Válvula limitadora de presión
4	Manómetro de presión de agua
5	Conexión de la manguera de agua
6	Motor hidráulico

Fuente: Putzmeister. *Manual Técnico y operativo*. p. 3-12.

2.12. Refrigerador del aceite hidráulico

La máquina cuenta con un refrigerador de aceite hidráulico con 2 ventiladores. Una parte del aceite hidráulico de la máquina pasa por el refrigerador antes de volver al depósito. Cuando el aceite hidráulico ha alcanzado una temperatura de 55 °C, se conecta uno de los ventiladores. Cuando el aceite hidráulico ha alcanzado una temperatura de 70 °C, se conecta el segundo ventilador.

Figura 21. **Refrigerador del aceite hidráulico**



Fuente: Putzmeister. *Manual Técnico y operativo*. p. 4-10.

Tabla XIII. **Partes de la unidad de refrigeración del aceite hidráulico**

Pos.	Denominación
1	Símbolo del refrigerador de aceite hidráulico en el armario de mando
2	Retorno de aceite hidráulico
3	Ventilador 70 °C
4	Ventilador 55 °C
5	Avance del aceite hidráulico
6	Termostato de 70 °C
7	Termostato de 55 °C

Fuente: Putzmeister. *Manual Técnico y operativo*. p. 4-10.

Cuando el aceite hidráulico ha alcanzado una temperatura de 55-70 °C, funciona solamente el ventilador inferior. Si la temperatura del aceite hidráulico alcanza 70 °C, se conecta también el ventilador superior. Si se desea el aceite hidráulico antes de que alcance 55 °C, mediante el selector del armario de mando pueden conectarse al mismo tiempo ambos ventiladores independientes de la temperatura del aceite. La luz de aviso verde del armario de mando se enciende al alcanzarse una temperatura de 55 °C o si se han conectado los ventiladores.

En las pausas de bombeo, o al terminar de bombear, dejar funcionar el motor del vehículo hasta que se desconecten automáticamente los motores de los ventiladores. El agua de la caja de lavado contribuye también a enfriar el aceite hidráulico. El aceite hidráulico calienta los vástagos de los émbolos de los cilindros de accionamiento. El agua de la caja de lavado baña y refrigera los cilindros de cada carrera. De esta forma vuelve a enfriarse el aceite hidráulico. Por este motivo conviene cambiar a menudo el agua de la caja de lavado.

2.13. Causas probables de averías

Incluso si se han tenido en cuenta todas las instrucciones, para bombear correctamente, pueden producirse averías. A continuación se describen las averías más frecuentes y la forma de subsanarlas.

- Taponamiento de la tubería de transporte

Los siguientes errores pueden producir tapones:

- Tubería de transporte insuficientemente humedecida
- Tubo oscilante de hormigón con fugas
- Restos de hormigón en el tubo oscilante y los tubos de transporte
- Composición inadecuada del hormigón
- Hormigón desmezclado
- Hormigón solidificado

Si se producen tapones, bombear el hormigón inmediatamente de vuelta a la tolva del agitador y remézclelo. Una vez que el cambio automático de los cilindros de transporte y del tubo oscilante vuelve a funcionar correctamente, se puede cambiar a transporte directo. Iniciar el bombeo nuevamente.

- Sobrecalentamiento

El funcionamiento permanente a pleno rendimiento puede dar lugar al sobre el calentamiento del aceite hidráulico. Todas las bombas incorporan desconexión termoeléctrica. Si la temperatura del aceite supera 90 °C, la bomba se desconecta automáticamente. Para evitarlo es necesario de la siguiente manera:

- Comprobar si el refrigerador hidráulico funciona correctamente. Si no es así, puede conectarse mediante el selector del armario de mando.
- Reducir el rendimiento.
- Cargar inmediatamente agua fresca en la caja de agua en el momento en que la temperatura del aceite supere 80 °C.
- Si la temperatura sigue subiendo, cambiar continuamente el agua.
- Buscar la causa del sobrecalentamiento del aceite y subsanarla.
- En caso de que sea necesaria una refrigeración suplementaria, dirigir el chorro de agua sobre los cilindros de accionamiento y los vástagos de los pistones de los cilindros de accionamiento.

No rociar nunca el depósito de aceite con agua. Se pueden ocasionar daños a la bomba hidráulica. En ningún caso se debe emplear agua de mar o agua salobre para la limpieza. La capa de cromo de los vástagos del embolo y de los cilindros quedaría destruida.

En algunas obras, el alcance longitudinal de la pluma puede ser insuficiente. En estos casos es posible empalmar una segunda tubería de transporte al extremo de la pluma o, si la máquina lo permite al tubo de salida lateral. Evitar toda transmisión de fuerzas desde la tubería de transporte fija a la pluma o viceversa. La tubería de transporte fija no debe sobrecargar la pluma. Esto hace peligrar la estabilidad de la máquina.

El enfriamiento del aceite hidráulico de los cilindros de la pluma puede hacer descender la pluma durante el bombeo y tensar la manguera de transporte. A raíz de ello puede transmitirse fuerzas o romperse la manguera de transporte. Mantener la manguera de transporte bajo observación continua.

3. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO ACTUAL DE LA BOMBA BSF 28Z.09

3.1. Intervalo de mantenimiento

En la tabla siguiente figuran los intervalos correspondientes a los distintos trabajos de mantenimiento de revisión. Esto es con base en el programa de mantenimiento programado por la fábrica.

Tabla XIV. Intervalos de mantenimiento preventivo

Grupo	Actividad	Horas de servicio						otros
		diario	50	100	250	500	1 000	
En general	Lubricar estructura adosada al vehículo	x						semanal
	Control visual y funcional de todos los dispositivos de seguridad	x						
	Comprobar el apriete de las uniones roscadas							en caso
	Comprobación por un experto					x		anual
	Control visual del cableado eléctrico	x						
Parte hidráulica	Comprobar nivel de aceite hidráulico	x						
	Evacuar agua condensada	x						

Continuación de la tabla XIII.

	Limpiar sumidero de aceite					x		
	Comprobar estanqueidad del cilindro hidráulico							mensual
Filtros de aceite	Controlar la indicación de suciedad del filtro	x						
	Cambiar cartucho filtrante de la pluma							en caso
	cambiar cartucho filtrante de aspiración							en caso
Depósito de agua	Controlar nivel de agua	x						
Reductora	Cambio de aceite de la caja transfer					x		
	Cambio de aceite del engranaje del agitador					x		
	cambio de aceite del engranaje del mecanismo de giro						x	anual
	Agua de condensación del engranaje del mecanismo de giro				x			
Torreta de la pluma	Comprobar los tornillos de la corona giratoria				x			
Tubo oscilante de hormigón	Control del desgaste	x						
	Comprobar y ajustar la junta de estanqueidad	x						

Continuación de la tabla XIII.

	Comprobar el par de apriete de los tornillos						x	
Tubería de transporte	Seguros de los acoplamientos	x						
	controlar el grosor de la pared	x						
Émbolo de transporte	Controlar tornillos y el seguro de alambre				x			
	Controlar el desgaste de los émbolos de transporte							semanal
Compresor	Controlar nivel de aceite	x						
	Cambio de aceite					x		
	Limpiar filtro de admisión de aire					x		
	Comprobar uniones roscadas					x		
Arboles articulados	Lubricar		x					

Fuente: Putzmeister. *Manual Técnico y operativo*. p. 7-3.

3.2. Criterios para medir el rendimiento del mantenimiento

Para medir el rendimiento de mantenimiento de las bombas impulsadoras de concreto se utiliza el índice de disponibilidad del equipo. Este es 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.

$$\text{Bombas disponibles} = \text{bombas totales} - \text{bombas en mantenimiento}$$

$$\% \text{ disponibilidad} = \frac{\# \text{ Bombas disponibles}}{\text{Bombas totales}} * 100$$

$$\% \text{ utilización} = \frac{\# \text{ Bombas programadas}}{\text{Bombas disponibles}} * 100$$

3.3. Mantenimiento correctivo

Este es el tipo de mantenimiento, en el cual 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 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.

3.3.1. Etapas del mantenimiento correctivo

Como se mencionó el mantenimiento preventivo es aquel el cual no puede ser anticipado y se espera hasta que el equipo falle para intervenir. Una vez que esto sucede es necesario tomar en cuenta las siguientes etapas:

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

3.3.2. Análisis económico

Hoy en día, los directivos de operaciones buscan un equilibrio entre los costos de los mantenimientos correctivos y los preventivos. 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 del mantenimiento preventivo. En este punto, la curva de costos totales comenzará ascender (ver figura 19). Más allá, de este punto óptimo, es mejor que la empresa espere a que se produzca una avería y que la repare cuando ocurra.

Las curvas de costos como la representada en la figura 22 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. 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 22 puede representar mejor los costos de mantenimiento. En la figura 22, los costos totales son mínimos cuando el sistema no falla

Cuando 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.

Figura 22. **Costos del mantenimiento**



Fuente: SOLARES, Byron. *Programa de mantenimiento preventivo*. p. 6.

3.4. **Mantenimiento preventivo**

Es el que se realiza mediante una programación previa planificada de actividades con el fin de evitar, en lo posible, la mayor cantidad de daños imprevistos. Además de 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. Esta es directamente proporcional a la calidad de la información con que se cuenta para llevarla a cabo.

3.4.1. Etapas del mantenimiento preventivo

Para que un programa de mantenimiento preventivo tenga éxito, es necesario considerar algunas etapas en el momento de su planificación. Es por eso que Mixto Listo emplea un programa de mantenimiento preventivo con base en las recomendaciones del fabricante.

3.4.1.1. Lubricación y limpieza

Se refiere a 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. Estos deberán estar sometidos periódicamente a algún agente lubricante como aceite, grasa, y otros. Para que así se reduzca el coeficiente de fricción.

Actualmente se contrata el servicio de mantenimiento preventivo a terceros. Esto para el mantenimiento de las unidades de bombeo con el fin de disminuir los costos del mismo.

Las revisiones preventivas son una labor sistemática en la cual se fundamenta el éxito del mantenimiento preventivo. Esta 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.

La limpieza del equipo corre por cuenta del maquinista. Este debe controlar que su unidad esté libre de concreto u hormigón.

3.4.1.1.1. Aceite hidráulico

Es necesario conocer información relativa a los trabajos de mantenimiento necesarios para garantizar un funcionamiento seguro y efectivo de la máquina. Esto como ejemplo tipo de aceite hidráulico de la máquina que recomienda el fabricante.

La parte hidráulica de la bomba BSF 28Z.09 puede usar cualquiera de los siguientes aceites:

- Aceite hidráulico mineral HLP 68
- Aceite hidráulico biodegradable basado en un éster sintético HLP-E 68
- Aceite hidráulico difícilmente inflamable HFC 68

En la ficha de la máquina viene indicado el aceite de la primera carga, es decir, el tipo de aceite con que la fábrica envía los equipos nuevos.

No deben utilizarse aceites hidráulicos o lubricantes con aditivos, como por ejemplo molibdeno. Estos aditivos pueden corroer los cojinetes. No mezclar en ningún caso aceites hidráulicos de distintas características, es decir, no mezclar aceites hidráulicos biodegradables con hidrocarburos entre otros.

Para reponer el aceite o cambiarlo conviene utilizar exclusivamente un aceite hidráulico conforme con los requisitos señalados en la recomendación de lubricantes.

Al mezclar aceites hidráulicos de distintas clases de viscosidad, la viscosidad resultante depende de la proporción de la mezcla. Al mezclar aceites hidráulicos de distintas marcas pueden producirse mermas de la calidad. Al

cambiar el aceite, aproximadamente el 2 % del aceite hidráulico antiguo permanece en los conductos y cilindros.

3.4.1.1.2. Aceite de la caja transfer, rotor y agitador

La caja transfer y el engranaje del agitar contienen un aceite de engranajes de la clase API GL4, viscosidad SAE 90. Para reponer o cambiar el aceite se utiliza exclusivamente un aceite de engranajes de calidad conforme con dicha especificación poniendo atención a las especificaciones del fabricante del lubricante.

3.4.1.1.3. Engrase manual

Para el engrase manual utilizar una grasa multiuso a base de jabón de litio. Identificación conforme a DIN 51 502: K2K-30, NGLI-Clase 2.

Para la manguera de bombeo de las bombas de rotación. Utilizar grasa de obturación de silicona 704, tipo 28 de la empresa Fuchs.

3.4.1.1.4. Engrase centralizado

Llenar el engrase centralizado con una grasa multiuso a base de jabón de litio. Identificación conforme a las Normas DIN 51 502: K1K-30, NLGI-Clase 1.

Si se desea aplicar grasa para bajas temperaturas en el engrase centralizado en condiciones de frío extremo, se recomienda las grasas siguientes según el fabricante Putzmeister:

- ESSO UNIREX LOTEMP
- COMAR 2 (Iveco)

3.4.1.1.5. Lubricantes recomendados por el fabricante













La fábrica de putzmeister ha llenado el motor y la caja de cambios del vehículo. El mantenimiento solamente debe realizarse siguiendo las indicaciones ya mencionadas. En las figuras siguientes se ha recopilado una serie de lubricantes adecuados según el fabricante.

Si la máquina ha sido llenada de fábrica con aceite hidráulico difícilmente inflamable (aceite HFC con arreglo al 6to informe de Luxemburgo). Así como utilizar exclusivamente aceite hidráulico Putzmeister, referencia número 239879002, o Renolin Hydrotherm 46 NF 3 cuando se tenga que reponer o cambiar el aceite hidráulico.












Al cambiar el aceite, la proporción residual de aceite mineral no debe superar el 2 %. Esto significa que es preciso realizar una operación de lavado con una carga completa del aceite nuevo. Además, por razones de tolerancia de las juntas es preciso realizar un cambio de aceite a más tardar 6 meses después de la puesta en marcha de la máquina.

Asimismo hay que tener en cuenta que al cabo de 50 horas de servicio es preciso cambiar todos los filtros, pues el nuevo líquido puede hacer que se suelten eventuales depósitos que quedarán retenidos en el filtro.

Figura 23. Marcas y especificaciones de lubricantes recomendados

Aceite hidráulico					
Designación según DIN 51502	HLP			HLP-E	HFC
Norma de especificación	DIN 51 524 parte 2				6º Informe de Luxemburgo
Característica	mineral			sintético, a base de éster	difícilmente inflamable
Categoría de viscosidad según DIN 51519	ISO VG 46 Estándar	ISO VG 32 Invierno	ISO VG 100 Trópicos	ISO VG 46 Estándar	ISO VG 46 Estándar
	Nº de referencia 000171007	-	-	Nº de referencia 239693000	Nº de referencia 239879002
	Aral Vitam GF 46	Aral Vitam GF 32	Aral Vitam GF 100		
	AVIA FLUID RSL 46	AVIA FLUID RSL 32	AVIA FLUID RSL 100		
	BECHEM STARIOL Nr. 46	BECHEM STARIOL Nr. 32	BECHEM STARIOL Nr. 100	BECHEM HYDROSTAR HEP 46	
	BP Energol HLP-HM 46	BP Energol HLP-HM 32	BP Energol HLP-HM 100		
	Astron HLP 46	Astron HLP 32	Astron HLP 100		
	ELFOLNA 46 ELFOLNA DS 46	ELFOLNA 32 ELFOLNA DS 32	ELFOLNA 100 ELFOLNA DS 100		
	NUTO H 46	NUTO H 32	NUTO H 100		
	RENOLIN B 15 VG 46 MR 15 VG 46	RENOLIN B 10 VG 32 MR 10 VG 32	RENOLIN B 30 VG 100 MR 30 VG 100		RENOLIN Hydrotherm 46 NF 3
	Mobil DTE 25	Mobil DTE 24	Mobil DTE 27		
	Shell Tellus Aceite 46 Shell Hydrol HV 46	Shell Tellus Aceite 32 Shell Hydrol HV 46	Shell Tellus Aceite 100		
	Wiolan HS 46 Wiolan HX 46	Wiolan HS 32 Wiolan HX 32	Wiolan HS 100 Wiolan HX 100		

Continuación de la figura 23.

	Aceite de motores	Aceite de engranajes		Engrase (manual)	Engrase centralizado
Designación según DIN 51502	HD	HYP		K2K-20	K1K-20
Norma de especificación	API CD/SF	API GL4		DIN 51 825	DIN 51 825
Característica	mineral			mineral, jabón de litio	
Clase de viscosidad, Clase NLGI	SAE 15W-40 DIN 51511	SAE 90 DIN 51512 Estándar	SAE 80 DIN 51512 Invierno	Clase NLGI 2 DIN 51818	Clase NLGI 1 DIN 51818
	Nº de referencia 000173005	Nº de referencia 000101006	—	Nº de referencia 360000009	Nº de referencia 360001008
	Aral Multi Aceite de motores Turboral SAE 15W-40	Aceite de engranajes Aral HYP SAE 85W-90	Aceite de engranajes Aral HYP SAE 80W	Aral Aralub HL 2 Aral Grasa multiuso	—
	AVIA MULTI HDC 15W-40	AVIA GEAR OIL MZ 90 AVIA SYNTOGEAR FE 80W-90	AVIA GEAR OIL MZ 80 AVIA SYNTOGEAR FE 80W-90	AVIALITH 2	AVIALITH 1 EP
	BP Vanellus Multigrado	BP Energear EP 90	BP Energear EP 80W	BP Energear LS 2 BP Grasa multiuso L2	BP Energear LS-EP 1
	DEA Cronos Super DX SAE 15W-40	Deagear EP-A SAE 85W-90	Deagear EP-A SAE 80W	Glissando 20	Paragon EP 1
	ELF PERFORMANCE XC 15W-40	TRANSELF EP SAE 80W-90	TRANSELF EP SAE80W	ELF MULTI 2	ELF ROLEXA 1
	ESSOLUBE MHX 15W-40	ESSO GEAR OIL GP-D 85W-90	ESSO GEAR OIL GP D 80W	BEACON 2	BEACON EP 1
	TITAN UNIC 1040 MC TITAN UNIVERSAL HD 1540	RENOGEAR SUPER 80W-90 RENOGEAR HYPOID 85W-90	RENOGEAR HYPOID 80W RENEP SUPER 80W	RENOLIT FWA 160 RENOLIT LZR 2	RENOLIT FWA 120
	Mobil Delvac Super 1300	Mobilube GX 85W-90A	Mobilube GX 80W-A	Mobilux 2	—
	Shell Rimula TX	Shell Spirax EP 90	Shell Spirax MA 80 W	Shell Retinax A	Shell Alvania EP grasa 1
	Wintershall Multi-Rekord	Wiolin Hypoid-Aceite de engranajes 85W-90	Wiolin Hypoid-Aceite de engranajes 80W-85W	Wiolub LFK 2	Wiolub LFK 1

Fuente: Putzmeister. *Manual Técnico y operativo*. p. 8-5.

3.4.1.2. Revisiones preventivas

Los siguientes controles visuales generales deben realizarse no solo antes de cualquier trabajo de mantenimiento, sino también antes de cada utilización de la máquina.

- Comprobar los niveles de los líquidos consumibles
- Comprobar si están montados y funcionan todos los dispositivos

Si se observa algún daño, en la parte eléctrica, hacerlo reparar inmediatamente por un técnico electricista.

- Comprobar si los empalmes eléctricos están fijos y libres de corrosión
- Comprobar si las líneas eléctricas están intactas
- Comprobar los aislamientos de los cables eléctricos

El reconocimiento y la reparación a tiempo de los daños, de la parte hidráulica. Esto para que puedan evitar las paradas largas y reducir los costos de reparaciones.

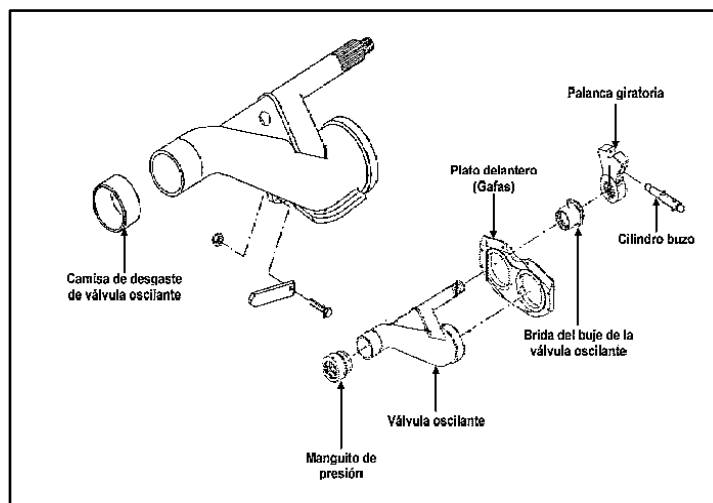
- Comprobar si los indicadores de los vacuómetros de los filtros de aspiración continúan dentro de la zona verde. Si los indicadores se encuentran dentro de la zona roja se deben cambiar los filtros de aspiración.
- Comprobar los indicadores de suciedad de los filtros de la pluma. Si el botón rojo permanece oprimido, el filtro está en buenas condiciones. Si el botón rojo salta se debe cambiar el filtro afectado.
- Comprobar si el refrigerador de aceite presenta suciedad y depósitos.
- Comprobar si hay fugas en las mangueras hidráulicas.

3.4.1.3. Correcciones programadas

Para la bomba de concreto Putzmeister BSF 28Z.09 las tareas de correcciones programadas por el fabricante, está dado a los 4 000 m³ de concreto bombeado. Esto debido al contacto directo que tienen con el mismo. Este plan de mantenimiento es controlado por medio del sistema de computación SAP, el cual se encarga de notificar el momento de realizar el mantenimiento preventivo.

Las rutinas de inspección se efectúan en la planta, allí se arrancan los motores y se accionan las bombas para comprobar que funcionan correctamente. Las rutinas efectuadas en las obras de construcción, donde el mecánico llena una lista de chequeo junto al maquinista para determinar el estado de la bomba y se corrigen los problemas que se presenten siempre y cuando no sean complicados o requieran de un especialista.

Figura 24. Componentes mecánicos sujetos a correcciones



Fuente: SOLARES, Byron. *Programa de mantenimiento preventivo*. p. 38.

Las siguientes tareas se deben considerar a ejecutar por personal técnico calificado. El mantenimiento preventivo está recomendado explícitamente por la fábrica Putzmeister, a los 4 000 m³ de bombeo de hormigón.

- Dar vuelta al plato delantero o gafas
- Cambio de anillo de corte
- Cambio de cabezas de pistón
- Cambio de empaque delantero / trasero
- Cambio de hules y bujes del remezclador
- Cambio de punta de remezclador lado derecho
- Cambio de punta de remezclador lado izquierdo
- Cambio de buje delantero de válvula
- Cambio de O' ring de eje de remezclador
- Cambio de O' ring de conector de salida
- Limpieza de válvula de pie de la bomba de agua
- Limpieza exterior
- Calibración, alivio y sobrecarga del sistema hidráulico

3.4.1.4. Confiabilidad del equipo

Los costos de reparación se pueden reducir aumentando la confiabilidad del equipo. Una buena confiabilidad implica que la probabilidad que una bomba falle en servicio será casi nula. Por ello se reducirán los costos relacionados con retrasos en los tiempos de entrega, mal servicio a los clientes, tiempos muertos, intereses por atrasos, mantenimientos correctivos y otros.

Las mejoras en las tareas de mantenimiento preventivo de los componentes mecánicos, eléctricos, hidráulicos y electrónicos, pretenden aumentar la confiabilidad en las bombas.

3.4.1.5. Disponibilidad del equipo

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

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

La disponibilidad de un ítem representa el porcentaje del tiempo en que quedó a disponibilidad del órgano de operación para desempeñar su actividad. Actualmente se utiliza un índice de disponibilidad basado en el porcentaje de bombas disponibles diariamente, 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. Esto porque como se mencionó anteriormente este último proporciona información de la disponibilidad de cada bomba, identificando las bombas con mayores problemas.

3.4.1.6. Fiabilidad del equipo

Esta muestra una parte de la máquina o componente para que funcione adecuadamente en un momento determinado y bajo unas condiciones establecidas. Los sistemas se componen de elementos individuales relacionados entre sí, cada uno de los cuales desempeña una función determinada. Si, por algún 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_1 = fiabilidad del componente 1

F_2 = fiabilidad del componente 2

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.

La unidad básica de medida de fiabilidad es el índice de fallos del producto (FR; pos 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 matemáticamente es la inversa de FR(N).

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

3.4.1.7. Costos del mantenimiento

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 almacenados 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 la base de datos del sistema de cómputo que Mixto Listo utiliza SAP, estos están divididos en historial de mantenimientos correctivos e historial de mantenimiento preventivos.

En la tabla se muestra el historial de mantenimiento tanto preventivo como correctivo de la bomba hormigonera BSF 28Z.09 identificada en sistema como BIC-021. En ella 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 del mantenimiento.

Tabla XV. **Historial de mantenimiento correctivo y preventivo**

Equipo	Fecha	Tipo	Texto	Costo
BIC-021	10.01.2005	Correctivo	Cambio de cabeza de pistón	Q2 868,05
BIC-021	17.01.2005	Correctivo	Revisión del sistema de frenos	Q251,62

Continuación de la tabla XV.

BIC-021	09.02.2005	Correctivo	Cambio de soporte de tapadera de tolva	Q1 947,39
BIC-021	24.02.2005	Correctivo	Reconstrucción de válvula oscilante	Q6 071,43
BIC-021	28.02.2005	Correctivo	Corrección de fugas hidráulicas	Q1 514,13
BIC-021	13.05.2005	Correctivo	Cambio de O'ring	Q82,85
BIC-021	24.06.2005	Correctivo	Cambio de <i>fitting</i> de manguera hidráulica	Q87,08
BIC-021	15.07.2005	Correctivo	Pintura de tolva	Q249,87
BIC-021	30.06.2005	Preventivo	Mantenimiento de 2000 hrs. Hidráulico bombas pluma	Q6 637,02
BIC-021	20.09.2005	Preventivo	Cambio de cuerpo de válvulas manuales	Q57 146,52
BIC-021	02.09.2005	Preventivo	Cambio de cojinetes	Q1 169,88
BIC-021	31.01.2005	Preventivo	Cambio de mangueras hidráulicas	Q3 898,80
BIC-021	11.02.2005	Preventivo	MP 4 000 m ³ bombas concreto	Q20,051,68
BIC-021	23.09.2005	Preventivo	MP 4 000 m ³ bombas concreto	Q20 053,29
BIC-021	06.01.2005	Preventivo	Nivelación de aceite	Q1 077,93
BIC-021	19.09.2005	Preventivo	Revestimiento de válvula oscilante	Q102,63
			Total	Q123 210,17

Fuente: elaboración propia.

3.5. Mantenimiento predictivo

Es el 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 la misma, para encontrar posibles fallas en el equipo y así 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. Esto a fin de conocer la magnitud de cuerpos extraños suspendidos en el aceite y así determinar su origen. Este puede 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. Estos son 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 y otros. La finalidad del mantenimiento predictivo es tener conocimiento del momento exacto o aproximado del fallo del equipo.

3.5.1. Vibraciones

Se realizan con aparatos que miden la amplitud de onda en un eje específico o bien en algún elemento de máquina. Esto a fin de determinar la comparación entre los límites normalizados de vibración, los cuales mostrados por el fabricante en pruebas ideales de instalación del equipo.

3.5.2. Temperatura

Se utilizan equipos de termografía como pirómetros, termómetros láser o de contacto, en altas temperaturas. Esto a fin de conocer la magnitud de la fricción existente en un mecanismo existente.

3.5.3. Fractura

A través de radiografías o químicos especiales que revelen el punto exacto de microfracturas, o bien fracturas expuestas de un elemento de máquina específico.

3.5.4. Ruidos

Utilización de estetoscopios especiales, para maquinaria que revelen posibles elementos, sometidos a fricción o vibraciones extremas.

3.5.5. Análisis de aceite

Es una de las mejores herramientas para la elaboración de planes de mantenimiento predictivo. Esto 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.

Para la lubricación y el sistema hidráulico es preceptivo utilizar una categoría de pureza 18/14 según ISO 4406. La categoría de pureza de la primera carga viene indicada en el acta de mención que consta en la ficha de la máquina.

Los aceites y las grasas no deben almacenarse al aire libre. En caso de cambios climáticos puede penetrar agua a través de la boquilla. Los recipientes se deben guardar en posición horizontal, sobre tablones, con la boquilla hacia arriba.

3.6. Mantenimiento proactivo

Su aplicación se inició a principios de 1990. Este 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 de 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.

3.7. Análisis de costos para el plan de mantenimiento actual

Los costos de mantenimiento pueden revelar problemas ocultos con respecto a la planificación del programa de mantenimiento preventivo. Esto debido a que durante la planificación se determina el costo basándose en el precio de los repuestos y suministros, la mano de obra, el tiempo improductivo y otros. 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.

3.7.1. Ventajas y desventajas del programa de mantenimiento actual

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

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 las frecuencias en que se debe realizar el mantenimiento preventivo de las bombas.
- Mecánicos calificados para realizar las tareas de mantenimiento preventivo de las bombas.
- Condiciones de trabajo adecuadas para realizar las actividades de mantenimiento en las bombas.
- Buen *stock* de repuestos en bodega de repuestos.

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 aún mejor el funcionamiento de las bombas impulsadoras de concreto.

4. PROPUESTA DE UN NUEVO PLAN DE MANTENIMIENTO

4.1. Historial del mantenimiento correctivo de la bomba

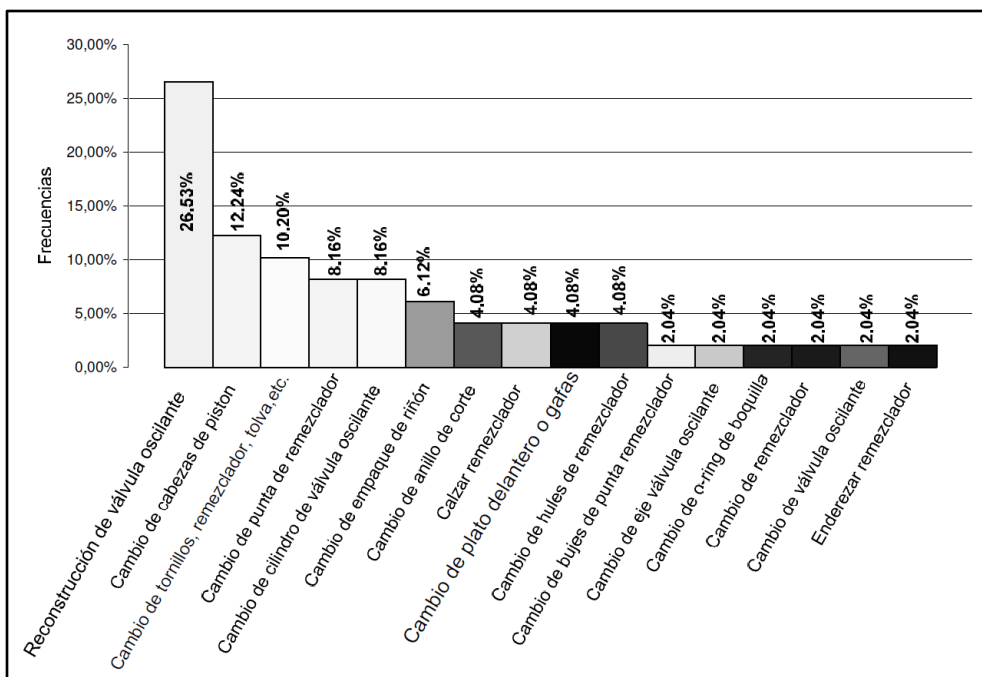
Siendo la distribución de concreto premezclado el negocio principal de Mixto Listo, las bombas impulsadoras de concreto se tratan de utilizar en el mayor grado posible. Resulta, por lo tanto, difícil encontrar tiempo para su mantenimiento. Simplemente suele esperarse que la próxima avería acontezca lo más tarde posible. A fin de aminorar sus efectos se aprovechan los periodos de buen funcionamiento. Es por esto que algunas bombas, reciben mantenimiento preventivo insuficiente y se limpian en pocas ocasiones, de modo que se encuentran sucias, cubiertas de polvo, grasa y salpicaduras de aceite.

Los componentes sujetos al plan de mantenimiento preventivo de 4 000m³, no debería tener reparaciones correctivas entre periodos 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 4 000 m³.

En las órdenes de trabajo de los componentes sujetos al plan de mantenimiento de preventivo de 4 000 m³ se obtuvo del historial el 26,53 % de las órdenes corresponden a la reconstrucción de la válvula oscilante. El 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. Además 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 25. **Mantenimiento correctivo de componentes sujetos al plan de mantenimiento preventivo**



Fuente: SOLARES, Byron. *Programa de mantenimiento preventivo*. p. 49.

Debido a que la válvula oscilante es uno de los componentes más caros de los que se someten al plan de mantenimiento de 4 000 m³, esta no se cambia en cada ciclo de mantenimiento. Al contrario, 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 4 000 m³, Este solo se cambiará si se observa que el espesor de pared es demasiado pequeño. Como se muestra en el gráfico siguen siendo necesarias intervenciones correctivas en la válvula oscilante. Por ello se buscará un método para llevar un mejor control del desgaste de la válvula aprovechándola al máximo y cambiándola en el tiempo oportuno. El objeto es mitigar los trabajos correctivos que se le realizan.

4.2. Historial del mantenimiento preventivo de la bomba

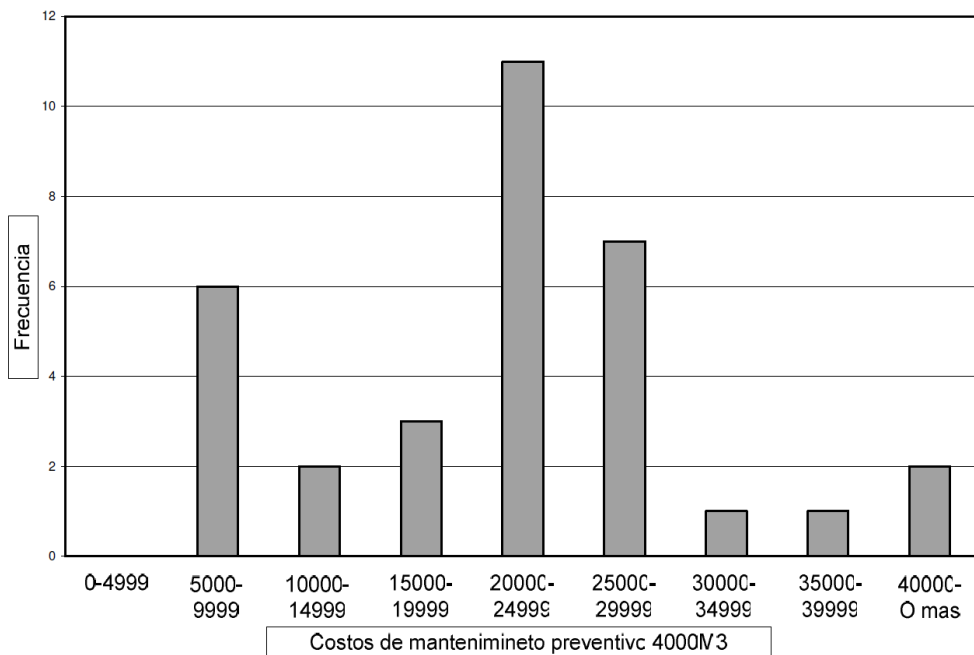
El mantenimiento preventivo consiste en efectuar sistemáticamente intervenciones, esencialmente para cambiar elementos y dejar otra vez en buen estado las máquinas. Las intervenciones tienen lugar tras un período determinado de funcionamiento, medido en unidades de tiempo, que pueden ser horas, días, 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.

El histograma se hizo con base en el historial de costos de mantenimiento preventivo de 4 000 m³. Esto debido a que se experimentaron variaciones en los costos del mantenimiento y dichas variaciones se visualizaron mejor con el histograma.

Para analizar la situación se compararon órdenes de mantenimiento de 4 000 m³ con costos distintos, unas con costo elevado y otras con costo reducido. Por ello se encontró que las órdenes que tenían el costo más elevado se añadieron componentes o piezas que no estaban en el plan de mantenimiento de 4 000 m³. Estas fueron añadidas 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. Pero 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 26. **Historial de mantenimiento preventivo de 4 000 m³**



Fuente: SOLARES, Byron. *Programa de mantenimiento preventivo*. p. 61.

4.3. Frecuencia de mantenimiento para la bomba

En la evaluación que se realizó, sobre el plan de mantenimiento preventivo de 4 000 m³, es necesario tomar en cuenta la capacidad de bombeo para establecer un plan de mantenimiento preventivo de los componentes de desgaste. Esto debido a que las bombas de menor capacidad comparadas con

las de mayor capacidad necesitan más conmutaciones o ciclos de bombeo. Lo anterior para determinar un volumen determinado de concreto, por lo que sus componentes tienden a sufrir mayor desgaste.

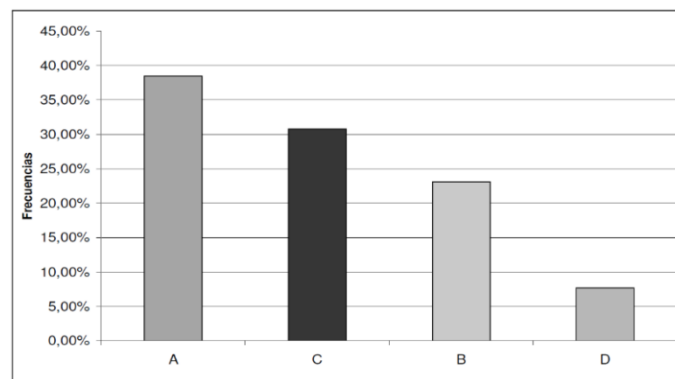
Utilizando el historial de mantenimiento se muestra los grupos de bombas con la misma capacidad de bombeo. Por ello se hizo un diagrama de Pareto de las órdenes de mantenimiento correctivo más frecuentes.

Tabla XVI. **Agrupación de diferentes bombas**

Grupo	Equipo	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Capacidad (m ³ /ciclo)
A	BIC-28,33,34,35,36,37,38	180	1 000	0,0508
B	BIC-30,31	180	1 400	0,0712
C	BIC-03,05,19,21,20,39	200	1 400	0,0879
D	BIC-01,02	230	2 000	0,1662

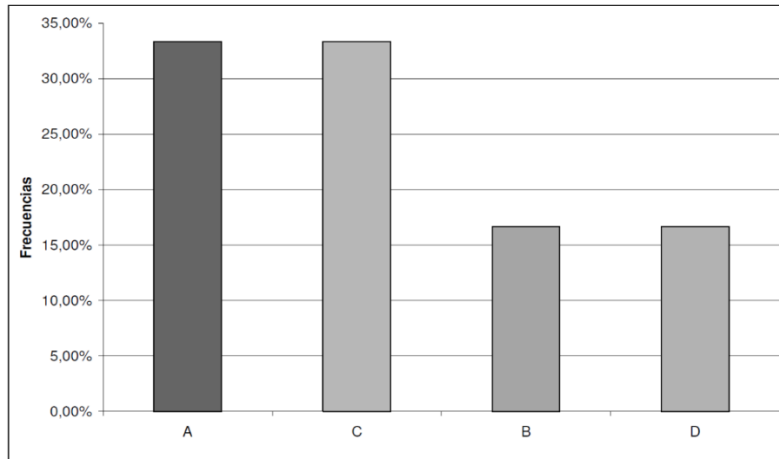
Fuente: SOLARES, Byron. *Programa de mantenimiento preventivo*. p. 64.

Figura 27. **Frecuencias de reconstrucción de válvulas oscilantes**



Fuente: SOLARES, Byron. *Programa de mantenimiento preventivo*. p. 64.

Figura 28. **Frecuencias de cambio de cabezas de pistón**



Fuente: SOLARES, Byron. *Programa de mantenimiento preventivo*. p. 65.

En las figuras 25 y 26 se puede observar que el grupo de menor capacidad es el que tienen las mayores intervenciones en las órdenes de mantenimiento correctivas más frecuentes y las bombas de mayor capacidad tienen muy pocas intervenciones correctivas. Sin embargo, el grupo C es de mayor capacidad que las del grupo B, tienen una mayor intervención correctiva.

4.4. Mejora en el costo del mantenimiento correctivo

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 ventas futuras.

Si el precio promedio por metro cúbico de concreto bombeado es de Q1 350,00 y se estima que se bombean aproximadamente 55 m³/hora. Esto según el manual de usuario de la bomba putzmeister BSF 28Z.09 y el historial de ventas, si ocurre una falla durante la aplicación del concreto se podrían tener pérdidas de hasta Q 74 250,00 por hora, hasta que el problema sea solucionado. Además de las multas por retrasos en la obras que es de aproximadamente de Q1 500,00 por hora de retraso cuando se trabaja con contrato.

El historial de costo revela que en promedio el monto por cada intervención correctiva asciende a Q 54 000,00. En la tabla siguiente se puede observar una comparación de los costos estimados entre el mantenimiento preventivo y el correctivo, para un periodo de un año. Se aclara que el número de intervenciones correctivas al año fueron estimadas para el caso de que no existiera el mantenimiento preventivo.

Tabla XVII. **Costos de mantenimiento preventivo versus mantenimiento correctivo**

Tipo de mantenimiento	Costo por mantenimiento	Número de intervenciones al año	Costo anual
Preventivo	Q 20 000,00	2	Q 40 000,00
Correctivo	Q 54 000,00	6	Q 324 000,00

Fuente: elaboración propia.

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

4.5. Mejora en el costo del mantenimiento preventivo

La propuesta para la frecuencia de mantenimiento preventivo, de los componentes mecánicos, tiene como principal objetivo reducir los costos de mantenimiento. En la siguientes tablas se puede observar del ahorro en los costos de mantenimiento en un periodo de un año, al aplicar el nuevo plan de mantenimiento preventivo a las bombas putzmeister BSF 28Z.09. Utilizando el historial de bombas se determinó que en promedio cada bomba suministra 6 500 m³ de concreto al año, y se determinó un costo de Q 20 000,00 por concepto de mantenimiento preventivo.

Donde:

$$\text{Numero de intervenciones preventivas} = \frac{6\,500\,m^3}{\text{Plan de mantenimiento}}$$

$$\text{Costo del plan (Q/año)} = \text{No. De intervenciones preventivas} * \text{Q20 000,00.}$$

Por ejemplo para la bomba BIC-21, que es la bomba putzmeister BSF 28Z.09 tiene un plan actual de 4 000 m³, pero se sugiere un plan de 12 000 m³. Por ello el número de intervenciones preventivas para cada bomba es de:

$$\text{Numero de intervenciones preventivas plan actual} = \frac{6\,500\,m^3}{4\,000\,m^3} = 1.62$$

$$\text{Numero de intervenciones preventivas nuevo plan} = \frac{6\,500\, m^3}{12\,000\, m^3} = 0.54$$

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

Tabla XVIII. **Comparación entre costos del plan actual y el presupuesto**

Equipo	Plan actual m ³	No. De inter.	Costo de plan actual	Nuevo plan m ³	No. De inter. preventivas	Costo nuevo plan
BIC-21	4 000	1,62	Q32 400,00	12 000	0,54	Q17 496,00

Fuente: elaboración propia.

El costo de ahorro anual es de Q 81 600,00 cuando se asigna un presupuesto de Q 20 000,00 de mantenimiento preventivo por bomba.

4.6. Mejora en el costo del mantenimiento predictivo

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

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. Esto 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 Q20 000,00 por intervención preventiva. Mientras que los costos estimados para el mantenimiento correctivo. Además de incluir los repuestos y la mano de obra de, la cual varía en función del componente averiado, también debe incluirse los costos indirectos como la pérdida de producción.

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, este pospone o aun 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.

4.7. Aumento de la confiabilidad del equipo

Con el cambio del mantenimiento preventivo del equipo de 4 000 m³ a 12 000 m³ de bombeo, la confiabilidad del equipo se verá afectada. Las mejoras propuestas en las tareas de mantenimiento preventivo de los componentes mecánicos, pretenden aumentar la confiabilidad en la bomba. Esto porque 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.

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 ello se reducirán los costos relacionados con retrasos en los tiempos de entrega, mal servicio a los clientes, tiempos muertos, intereses por retrasos, mantenimientos correctivos y otros.

4.8. Aumento de la 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 este, puede ser hecho un análisis selectivo de los equipos, cuyo comportamiento operacional está por debajo de los estándares aceptables.

Actualmente se utiliza un índice de disponibilidad basado en el porcentaje de bombas disponibles diariamente. También 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. Este puede ser semanas, meses, años, 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 la bomba putzmeister y establecer un límite mínimo aceptable de sus valores. Esto a partir de la cual, serán hechas las selecciones para el análisis.

Tabla XIX. **Disponibilidad de la bomba**

Disponibilidad de bombas								
Departamento de mantenimiento automotriz							Periodo: 01-01-09 al 31-06-10	
Equipo	Promedio anterior	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	Promedio actual
BIC-021	97	100	100	92	100	83	100	96
BIC-021	91	100	88	100	79	100	100	95
BIC-021	93	33	100	49	100	80	100	77
BIC-021	97	100	100	53	100	95	70	86
BIC-021	89	100	71	100	100	38	100	85
BIC-021	95	100	100	100	100	100	100	100
BIC-021	91	62	100	100	100	100	100	94
BIC-021	90	75	100	100	100	100	45	87
BIC-021	90	100	100	100	100	100	100	100
BIC-021	84	100	78	56	100	100	100	89
BIC-021	90	90	45	100	100	100	100	89
BIC-021	96	69	100	100	100	90	1000	93

Fuente: SOLARES, Byron. *Programa de mantenimiento preventivo*. p. 108.

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

CONCLUSIONES

1. Cambiar el plan de mantenimiento preventivo de 4 000 m³ a 12 000 m³ bombeados permite un ahorro significativo en repuestos, ya que reduce el número de intervenciones por equipo. El nuevo plan aumenta la disponibilidad sin verse afectada la confiabilidad y fiabilidad del equipo.
2. Para dar alcance al plan de mantenimiento es necesario quitar situaciones que perjudican la eficacia del plan de mantenimiento como evitar paradas no programadas, improvisaciones, trabajos incompletos, no ejecutar las órdenes de mantenimiento completas entre otros. 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.
3. Disminuyendo al año el número de intervenciones de mantenimiento preventivo se tiene un ahorro de casi el 50 % del costo total del mantenimiento, sin afectar la confiabilidad del equipo. Es necesario hacer una inspección visual y de un ojo experto de los repuestos que se van a cambiar, ya que en ocasiones anteriores se desechaban repuestos en buen estado por seguir el plan de mantenimiento del fabricante.
4. Con una evaluación sistemática del programa de mantenimiento correctivo y preventivo resulta fácil identificar las causas y no solo los síntomas que inmovilizan con mayor frecuencia la máquina y elevan los

costos del mantenimiento utilizando repuestos y componentes de más, sin aprovechar el uso máximos de los mismos. La evaluación puede realizarse valiéndose de herramientas que resultan particularmente útiles en el esfuerzo por mejorar el programa de mantenimiento preventivo. Algunas de estas herramientas pueden ser: diagrama de Pareto, diagrama de operaciones, histogramas, diagrama de causa–efecto, hojas de control entre otros.

5. Un correcto plan de mantenimiento es aquel que se ejecuta a cabalidad y a tiempo. Es necesario capacitar al personal para que cada uno pueda ejecutar correctamente y a tiempo el plan de mantenimiento actual, ya que con este se puede lograr cumplir la meta de reducción de costos y elevar el mantenimiento preventivo de 4 000 m³ a 12 000 m³. 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.
6. Un equipo confiable y con un buen funcionamiento 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.

RECOMENDACIONES

1. 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, por eso es recomendable el análisis de la operación para mejorar los costos.
2. 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. Este va adquiriendo mayor especialización conforme realiza su trabajo, además elimina el tiempo perdido. Es necesario un plan de capacitación y evaluación de todas las personas relacionadas al mantenimiento de los equipos, con el fin de aumentar la eficiencia de las tareas y la confiabilidad de los equipos.
3. Es importante involucrar a la alta gerencia en una participación activa en la implementación y seguimiento de un programa de mantenimiento, más adecuado y enfocado a la reducción de costos continuos.
4. Mantener una comunicación constante con el fabricante del equipo para que este mantenga los equipos actualizados, suministre información importante sobre los métodos y herramientas para el mantenimiento de

los mismos. Se puede usar un historial de la bomba para generar informes y evaluar el rendimiento y así tomar decisiones más asertivas.

5. El mejor mantenimiento preventivo que se pueda ejecutar en un equipo es el que recomienda el fabricante, pero este en muchas ocasiones no está diseñado bajo las condiciones locales donde se vende el equipo. Es necesario velar por que el equipo cumpla con las nuevas condiciones de mantenimiento preventivo propuestos tomando en cuenta las condiciones de locales de trabajo. Es decir que los mecánicos y electricistas estén capacitados de la manera correcta, que estos sean conscientes al realizar las tareas de mantenimiento cambiando los repuestos que realmente ameritan un cambio entre otras actividades.

6. Para aumentar los índices de disponibilidad y confiabilidad de las bombas impulsadoras de concreto, es necesario tener un enfoque global, es decir involucrar a todas las personas que tienen contacto directo e indirecto con las bombas.

BIBLIOGRAFÍA

1. AVALLONE, EVAN; BAUMISTER, JHON. *Manual del ingeniero Mecánico*. 9a ed. Tomo I y II. México: McGraw-Hill Interamericana, S.A., 1995. 368 p.
2. HEIZER, JAY; RENDER, BARRY. *Dirección de la producción, decisiones tácticas*. 6a ed. Estados Unidos: Prentice Hall, 2004. 435 p.
3. JUÁREZ, HORACIO. *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 de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2000. 258 p.
4. PUTZMEISTER. *Technical Manual*. Alemania: Putzmeister Pump, 2005. 985 p.
5. SOLARES, BYRON. *Mejora del programa de mantenimiento preventivo en las bombas impulsadoras de concreto*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2006. 179 p.

