



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

**DISEÑO, INSTALACIÓN Y PLAN DE MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE
BOMBEO PARA LA EMPRESA POZOS Y BOMBAS**

Ubaldo Emilio Ochoa López

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, noviembre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO, INSTALACIÓN Y PLAN DE MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE
BOMBEO PARA LA EMPRESA POZOS Y BOMBAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

UBALDO EMILIO OCHOA LÓPEZ

ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 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

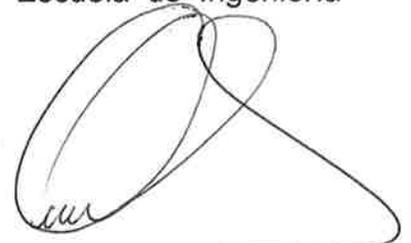
DECANO	Ing. Julio Ismael González Podszueck
EXAMINADOR	Inga. Lilian López
EXAMINADOR	Ing. Oscar Rodas
EXAMINADOR	Ing. Victor Manuel Durán
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier González López

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:

DISEÑO, INSTALACIÓN Y PLAN DE MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE BOMBEO PARA LA EMPRESA POZOS Y BOMBAS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 26 de mayo de 2015.

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and a long horizontal stroke at the bottom.

Ubaldo Emilio Ochoa López



Guatemala, 07 de abril de 2016
Ref.EPS.DOC.249.04.16.

Inga. Christa Classon de Pinto
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Classon de Pinto.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Ubaldo Emilio Ochoa López** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 8411140, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **DISEÑO, INSTALACIÓN Y PLAN DE MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE BOMBEO PARA LA EMPRESA POZOS Y BOMBAS**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"




Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
Asesor-Supervisor de EPS
Carrera de Ingeniería Mecánica

c.c. Archivo
EESZ/ra



Guatemala, 07 de abril de 2016
REF.EPS.D.150.04.16

Ing. Roberto Guzmán
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

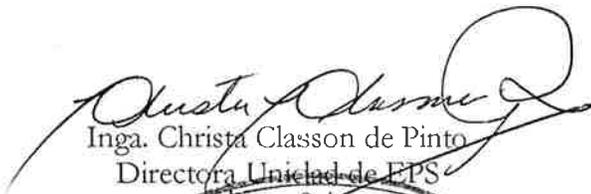
Estimado Ingeniero Guzmán:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **DISEÑO, INSTALACIÓN Y PLAN DE MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE BOMBEO PARA LA EMPRESA POZOS Y BOMBAS**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Ubaldo Emilio Ochoa López** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Christa Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS



CCdP/ra

Ref.E.I.M.306.2016

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-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO, INSTALACIÓN Y PLAN DE MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE BOMBEO PARA LA EMPRESA POZOS Y BOMBAS** del estudiante **Ubaldo Emilio Ochoa López**, carné **198411140** 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, noviembre 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: **DISEÑO, INSTALACIÓN Y PLAN DE MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE BOMBEO PARA LA EMPRESA POZOS Y BOMBAS** presentado por el estudiante universitario: **Ubaldo Emilio Ochoa López**, 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, noviembre de 2016

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser una importante influencia en mi vida y brindarme la oportunidad de disfrutar este día en que se cumple una de mis grandes metas.
- Mis padres** Por ser un ejemplo de vida como padres y profesionales, guiándome para que llegara a ser profesional y hombre de bien.
- Mi familia** Por ser un apoyo incondicional a lo largo de mi vida, brindándome un segundo hogar donde siempre he recibido todo su cariño y afecto en los momentos buenos y malos que he pasado a lo largo de la misma.
- Mis amigos y amigas** Por brindarme su amistad, la cual ha sido muy importante a lo largo de todos estos años.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por bendecir y brindarme la sabiduría necesaria para que llegara a cumplir esta meta.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por brindarme la oportunidad de formar parte de su centro de estudios y dar un paso grande en mi futuro como profesional.
Facultad de Ingeniería	Por permitirme estudiar en sus aulas y brindarme todos los conocimientos necesarios para llegar a ser un profesional.
Mi asesor	Por guiarme a lo largo de todo el Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), compartiendo sus conocimientos y experiencia.
Mis amigos de la Facultad	Por compartir conmigo esta experiencia de vida como estudiante en la Facultad de Ingeniería, disfrutando muy buenos momentos, los cuales serán inolvidables para mí.

ÍNDICE

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
GLOSARIO	V
RESUMEN	VII
OBJETIVOS	IX
INTRODUCCIÓN	XI
1. FASE DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Descripción de la empresa	1
1.1.1. Ubicación	1
1.1.2. Quiénes somos.....	2
1.1.3. Valores	2
1.1.4. Servicios	2
1.2. Marco teórico	4
1.2.1. Bombas	4
1.2.1.1. Conceptos básicos	5
1.2.1.2. Tipos y aplicaciones de bombas	6
1.2.1.3. Capacidad	11
1.2.1.4. Presión de descarga	12
1.2.1.5. Eficiencias	12
1.2.1.6. Tipos de pérdidas de las bombas	14
1.2.1.7. Pruebas y mediciones	17
1.2.1.8. Selección adecuada de una bomba.....	19
1.2.1.9. Condicionantes de operación.....	21
2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO	25

2.1.	Situación actual de la empresa	25
2.2.	Descripción y tipo de problemas	25
2.3.	Requisitos y necesidades para la solución de problemas ...	26
2.4.	Inspección y chequeo a equipos	27
	2.4.1. Procedimiento a seguir.....	28
	2.4.2. Métodos de inspección.....	29
2.5.	Instalación de equipos.....	33
	2.5.1. Selección de equipo	37
	2.5.2. Métodos y procedimientos a emplear	38
	2.5.3. Herramientas necesarias	50
	2.5.4. Verificación del funcionamiento.....	50
2.6.	Servicios de Mantenimiento	52
	2.6.1. Tipos de servicios.....	56
	2.6.2. Manejo de hojas de control	57
	2.6.3. Aplicación de los servicios	61
	2.6.4. Requerimiento de repuestos	68
	2.6.5. Pruebas de funcionamiento.....	69
3.	FASE DE DOCENCIA	75
3.1.	Plan de mantenimiento.....	75
3.2.	Alimentación al plan de mantenimiento	82
3.3.	Seguimiento al plan de mantenimiento	85
3.4.	Historiales de operación y funcionamiento	87
3.5.	Capacitación al personal	91
	3.5.1. Utilización de equipos de protección.....	109
	CONCLUSIONES.....	113
	RECOMENDACIONES	115
	BIBLIOGRAFÍA.....	117

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Bomba hidráulica	4
2.	Tipos de bombas hidráulicas	7
3.	Bombas de desplazamiento positivo o volumétrico	8
4.	Electrobombas	10
5.	Capacidades de las bombas	11
6.	Pérdidas	16
7.	Selección de bombas	21
8.	Inspección de equipos	28
9.	Mantenimiento	33
10.	Instalación de equipos	34
11.	Mantenimiento preventivo.....	53
12.	Mantenimiento correctivo.....	57
13.	Matriz de evaluación de necesidades de capacitación	95

TABLAS

I.	Procedimiento de limpieza.....	42
II.	Procedimiento de lubricación.....	45
III.	Procedimiento de desengrase	48
IV.	Orden de trabajo	53
V.	Orden de control de equipo	54
VI.	Formato de registro.....	69

VII.	Procedimiento de cumplimiento de plan de mantenimiento preventivo	80
VIII.	Ficha de datos	82
IX.	Resolución general de problemas de bombas	83
X.	Historial de mantenimientos realizados.....	88
XI.	Observaciones sobre el estado de la maquinaria o equipo	90
XII.	Instrumento de evaluación	93
XIII.	Plan de capacitación.....	95
XIV.	Evaluación de bombas centrífugas.....	100
XV.	Presupuesto de la capacitación.....	102
XVI.	Evaluación de mantenimiento preventivo.....	105
XVII.	Presupuesto de la capacitación.....	106
XVIII.	Resultados de evaluación de capacitación de mantenimiento preventivo	107
XIX.	Costo total de capacitaciones propuestas.....	109

GLOSARIO

Caudal	Es la cantidad de fluido que pasa en un punto determinado de un conducto.
Cavitación	Es un efecto de hidrodinámico en el cual un fluido en estado líquido pasa a una gran velocidad a un estado de vapor.
Engranajes	Son mecanismos que se utilizan para transmitir potencia de un componente a otro dentro de una máquina
Fricción	Es la fuerza que existe entre dos superficies en contacto y que se opone al movimiento.
Impulsor	Es un tipo de rotor que se encarga de impulsar un fluido en un conducto.
Inspección técnica	Es un tipo de mantenimiento legal preventivo.
Mantenimiento predictivo	Es el mantenimiento que nos ayuda a una detección temprana de fallos en los equipos.
Rodamientos	Es un elemento mecánico que reduce la fricción entre un eje y una pieza conectada a este.

RESUMEN

Las bombas e instalaciones de bombeo son componentes esenciales y vulnerables en casi todos los sistemas de abastecimiento de agua. El diseño, operación y mantenimiento inadecuados de estos sistemas pueden representar riesgos sanitarios graves, incluida la pérdida completa del suministro de agua. Para evaluar la seguridad, suficiencia y confiabilidad del sistema de dotación de agua, el evaluador debe considerar las bombas e instalaciones como parte integral de la inspección.

Existen diversos tipos de equipos y aplicaciones en los sistemas de abastecimiento de agua. Las bombas que se utilizan para transportar agua a través del sistema están dentro de la categoría de desplazamiento variable o centrífugas. Otras aplicaciones usan bombas de desplazamiento positivo, como en la dosificación de sustancias químicas, remoción de lodos, muestreo y compresión de aire. Al contar con un documento de respaldo, el evaluador debe ser capaz de identificar el tipo de equipo para determinar el uso adecuado. Cada categoría tiene sus propias características de operación y una serie de aplicaciones

Se debe proporcionar instrucciones de operación por escrito a todos los operadores. Los procedimientos pueden ser tan complejos como un manual de operaciones o tan sencillos como una página de instrucciones. Deben considerar aspectos tales como la operación e inspección diaria lista de verificación, procedimientos de encendido y apagado y respuesta a fallas del equipo y otras condiciones de emergencia planes de contingencia.

OBJETIVOS

General

Realizar el diseño de instalación y plan de mantenimiento de equipos de bombeo.

Específicos

1. Determinar los procedimientos básicos y las características fundamentales a considerar para el diseño de instalación de un equipo de bombeo.
2. Crear una base de datos de los equipos a los cuales se les realiza servicio, determinando los tiempos específicos en los que se les debe proporcionar un mantenimiento.
3. Realizar inspecciones técnicas y visuales para la detección de fallas que afectan frecuentemente a los equipos para contar con el inventario de repuestos adecuados.
4. Capacitar al personal específicamente en los productos a los que la empresa les proporciona servicio.

INTRODUCCIÓN

Este proyecto tiene como objetivo principal estudiar, conocer, analizar y primordialmente inspeccionar, todo aquel tipo de equipo que forme parte del sistema en los que se especializa la empresa Pozos y Bombas, ya que por medio de la debida evaluación se identificarán las piezas desgastadas, o dañadas, que estén propiciando un mal funcionamiento de los equipos y por ende una deficiencia en el sistema de bombeo. Para lo cual es necesario contar con material didáctico, entre este los manuales de fabricantes, operario, registros, historiales de servicios, planes de instalación y el conocimiento del personal capacitado.

Debido al tipo de proyecto y las actividades que en él se desarrollarán será pertinente tomar en cuenta otros parámetros como los de instalación, el área donde esta se realice, el buen o mal funcionamiento de los equipos, las reparaciones y mantenimientos correspondientes.

Por último, será de suma importancia la evaluación de cada uno de los equipos y así poder garantizar el buen funcionamiento que se requiere en estos, adjuntando a ello la capacitación o preparación más relevante hacia los operarios para obtener de esta forma los resultados esperados en el transcurso del tiempo de funcionamiento del equipo.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la empresa

Bombas y Pozos es una empresa guatemalteca, profesional y especializada en sistemas de bombeo, que maneja sus servicios con: prontitud, honradez, capacidad y sobre todo ética con sus clientes, la organización enfoca sus esfuerzos en satisfacer las necesidades hidráulicas de los sectores siguientes:

- Agroindustria
- Municipalidades
- Generadoras de Energía
- Constructoras
- Industria
- Edificios
- Condominios
- Turicentros

1.1.1. Ubicación

La empresa está ubicada en la 2da avenida 13-07 sector B1 San Cristóbal zona 8 de Mixco, Guatemala

1.1.2. Quienes somos

La empresa cuenta con la experiencia de profesionales capacitados en supervisión, cálculo, diseño, mantenimiento y perforación de pozos en toda la República de Guatemala.

- Misión

Ser la empresa líder en el manejo del agua a nivel centroamericano, con el mejor talento humano, calidad en nuestros productos y la excelencia en el servicio

- Visión

Dar soluciones eficientes e innovadoras respecto al manejo del agua en todas sus aplicaciones

1.1.3. Valores

Responsabilidad, respeto, servicio, superación, excelencia

1.1.4. Servicios

Entre los servicios que la empresa presta podemos mencionar:

- Programas de Mantenimiento Preventivo Personalizados en función de los Equipos de Bombeo y Pozos de cada cliente.

- Mantenimiento y reconstrucción de equipos de bombeo como: sistemas con bombas tipo: turbina, sumergibles, centrífugas, de engranes, entre otros.
- Venta e Instalación de Bombas centrífugas, sumergibles y otras según su aplicación.
- Limpieza y desinfección de cisternas y reservorios de agua.
- Extracción e instalación de equipos de bombeo para pozos sumergibles y tipo turbina vertical con motores de combustión interna o motores verticales).
- Desarrollo secundario para pozos areneros.
- Limpieza de pozos mecánica con: cepillo para limpieza de rejillas, pistón para el reacomodo del filtro de grava, cubeta para la extracción de arena, lodos y agua.
- Reencamisado de pozos antiguos para alargar la doble vida útil del mismo.
- Diseño y construcción de sistemas hidráulicos para proyectos nuevos y antiguos desde el bombeo hasta la aplicación final.
- Modificaciones y adaptaciones a equipos de bombeo y sistemas hidráulicos.
- Asesorías profesionales en la gestión del manejo del agua desde los equipos de bombeo e instalaciones hidráulicas hasta la aplicación final.
- Perforación de pozos nuevos desde 6" hasta 14" de Ademe y Profundización tipo telescopio.
- Re perforación y habilitación de pozos obstruidos.
- Limpiezas químicas de pozos con ferrobacteria, incrustaciones, etc.).

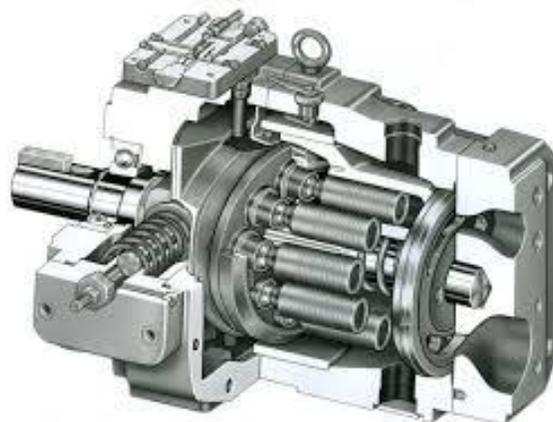
1.2. Marco teórico

Las definiciones más importantes se detallan en los siguientes subtítulos.

1.2.1. Bombas

Una bomba hidráulica es una máquina motora que transforma la energía generalmente mecánica con la que es accionada en energía del fluido. El fluido incompresible puede ser líquido o una mezcla de líquidos y sólidos como puede ser el hormigón antes de fraguar o la pasta de papel. Al incrementar la energía del fluido, se aumenta su presión, su velocidad o su altura, todas ellas relacionadas según el principio de Bernoulli. En general se utilizan para incrementar la presión de un líquido añadiendo energía al sistema hidráulico, para mover el fluido de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud.

Figura 1. **Bomba hidráulica**



Fuente: Arqhys. <http://www.arqhys.com/fotos/fotos-de-bombas-hidraulicas.html>.

Consulta: octubre de 2015.

Existe una ambigüedad en la utilización del término bomba, ya que generalmente es utilizado para referirse a las máquinas de fluido que transfieren energía, o bombean fluidos incompresibles, y por lo tanto no alteran la densidad de su fluido de trabajo, a diferencia de otras máquinas como lo son los compresores, cuyo campo de aplicación es la neumática y no la hidráulica. Pero también es común encontrar el término para referirse a máquinas que bombean otro tipo de fluidos, así como lo son las bombas: de vacío o de aire.

1.2.1.1. Conceptos básicos

Cuando se pretende desarrollar una clasificación de los diferentes tipos de bombas hidráulicas se debe tener claridad en algunos términos para así poder evaluar los méritos de un tipo de estas, sobre otro. Dichos términos son:

- Amplitud de presión: se constituyen en los límites máximos de presión con los cuales una bomba puede funcionar adecuadamente. Las unidades son libras sobre pulgada cuadrada.
- Volumen: la cantidad de fluido que una bomba es capaz de entregar a la presión de operación. Las unidades son galones sobre minutos.
- Amplitud de la velocidad: se constituyen en los límites máximo y mínimo en los cuales las condiciones a la entrada y soporte de la carga permitirán a la bomba funcionar satisfactoriamente. Las unidades son revoluciones por minuto.
- Eficiencia mecánica: se puede determinar mediante la relación entre el caballaje teórico a la entrada, necesario para un volumen específico en una presión específica y el caballaje real a la entrada necesario para el volumen específico a la presión específica.

- Eficiencia volumétrica: se puede determinar mediante la relación entre el volumen teórico de salida a 0 libras sobre pulgada cuadrada y el volumen real a cualquier presión asignada.
- Eficiencia total: se puede determinar mediante el producto entre la eficiencia mecánica y la eficiencia volumétrica.

1.2.1.2. Tipos y aplicaciones de bombas

Según el principio de funcionamiento la principal clasificación de las bombas según el funcionamiento en que se base:

Las bombas de desplazamiento variable se usan para grandes volúmenes donde se requiere una tasa de caudal constante para transportar agua a través de los sistemas de tratamiento y distribución. La tasa de descarga de esas bombas varía de acuerdo con la carga a medida que aumenta la elevación o carga, disminuye la producción de la bomba. Estas bombas no son autocebantes; por ello, dependen de la carga de succión positiva, la fuente está por arriba de la bomba, o de un sello hermético en la entrada de la bomba si el nivel del agua que se va a bombear está por debajo del impulsor de la bomba. El tipo de bomba de desplazamiento variable más común es la centrífuga.

Figura 2. Tipos de bombas hidráulicas



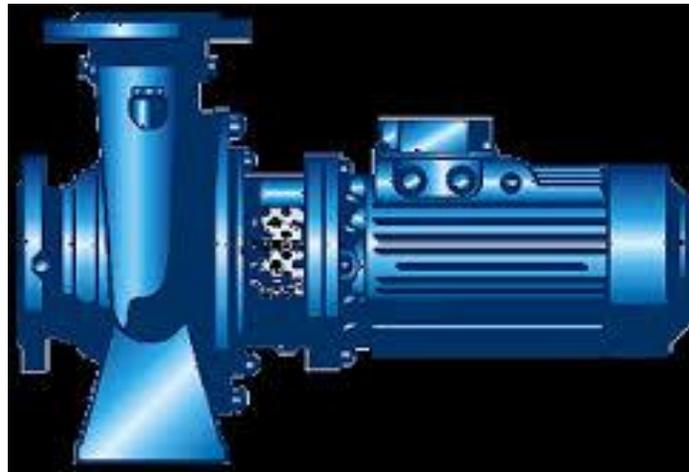
Fuente: Arqhys. <http://www.arqhys.com/fotos/fotos-de-bombas-hidraulicas.html>.

Consulta: octubre de 2015.

- Bombas de desplazamiento positivo o volumétricas, en las que el principio de funcionamiento está basado en la hidrostática, de modo que el aumento de presión se realiza por el empuje de las paredes de las cámaras que varían su volumen, en cada ciclo el órgano propulsor genera de manera positiva un volumen dado o cilindrada, por lo que también se denominan bombas volumétricas. En caso de variar el volumen máximo de la cilindrada se habla de volumen variable. Si ese volumen no se puede variar, entonces se dice que la equipo es de volumen fijo. A su vez, estos equipos pueden subdividirse en:
 - Bombas de desplazamiento positiva o también llamada de émbolo alternativo, en las que existe uno o varios compartimentos fijos, pero de volumen variable, por la acción de una membrana. En estas máquinas, el movimiento del fluido es discontinuo y los procesos de carga y descarga se realizan por válvulas que abren y cierran alternativamente. Algunos

ejemplos de este son: la de alternativa de pistón, rotativa de pistones o la de pistones de accionamiento axial.

Figura 3. **Bombas de desplazamiento positivo o volumétrico**



Fuente: <http://rua.ua.es>. Consulta: octubre de 2015.

- Bombas volumétricas rotativas o rotoestáticas, en las que una masa fluida es confinada en uno o varios compartimentos que se desplazan desde la zona de entrada de baja presión hasta la zona de salida de alta presión de la máquina. Algunos ejemplos de este tipo de máquinas son: la de paletas, la de lóbulos, la de engranajes, la de tornillo o la peristáltica.
- Bombas rotodinámicas, en las que el principio de funcionamiento está basado en el intercambio de cantidad de movimiento entre la máquina y el fluido, aplicando la hidrodinámica. En este tipo de bombas hay uno o varios rodets con álabes que giran generando un campo de presiones en el fluido. En este tipo de máquinas el flujo del fluido es continuo. Estas turbomáquinas hidráulicas generadoras pueden subdividirse en:

- Radiales o centrífugas, cuando el movimiento del fluido sigue una trayectoria perpendicular al eje del rodete impulsor.

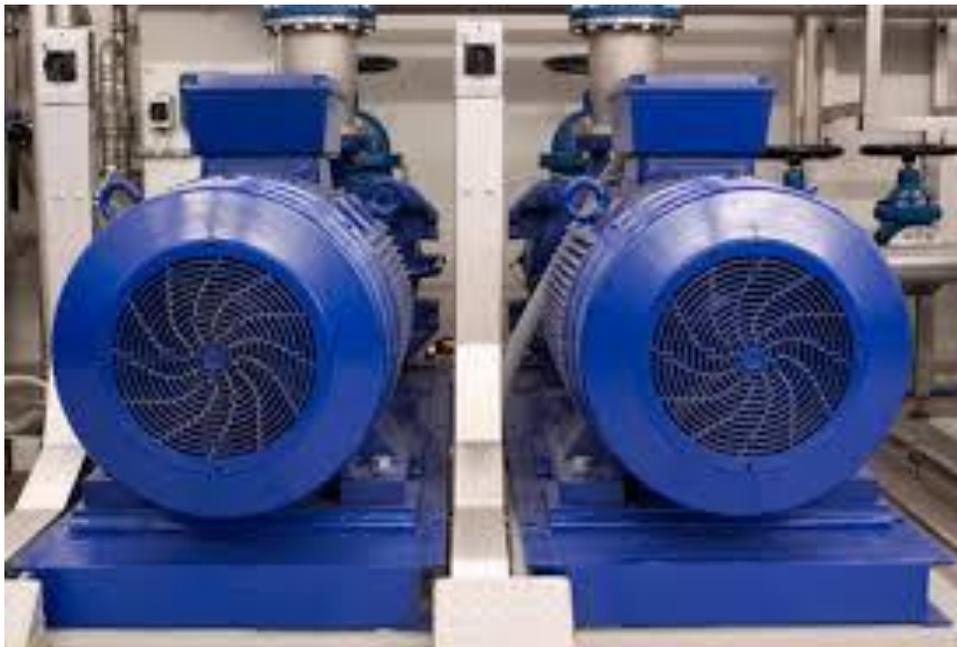
Estas tienen un impulsor giratorio montado en un eje conectado a la fuente de energía, este aumenta la velocidad del agua y la descarga a una tubería diseñada para disminuir el caudal de agua y convertir la velocidad en presión. Estos equipos poseen un sólo impulsor y se les denomina de una sola etapa, mientras que las que tienen dos o más impulsores se llaman bombas de múltiples etapas. Estas últimas pueden bombear a mayores alturas de descarga, pero no aumentan el caudal.

Aplicaciones en un sistema de bombeo de agua: existen diversos tipos de equipos con múltiples aplicaciones en los sistemas de agua. A continuación se enumeran las aplicaciones más comunes:

- bombas para pozo turbina vertical y sumergible
 - bombas para agua cruda
 - bombas para agua de retrolavado
 - bombas para sistema de cloro gaseoso y reforzadoras de vacío
 - bombas para agua tratada de alta descarga
 - bombas reforzadoras para el sistema de distribución
- Axiales, cuando el fluido pasa por los canales de los álabes siguiendo una trayectoria contenida en un cilindro.
 - Diagonales o helicocentrífugas cuando la trayectoria del fluido se realiza en otra dirección entre las anteriores, es decir, en un cono coaxial con el eje del rodete.

- Según el tipo de accionamiento:
 - Electrobombas. Genéricamente, son aquellas accionadas por un motor eléctrico, para distinguirlas de las motobombas, habitualmente accionadas por motores de combustión interna.
 - Bombas neumáticas que son bombas de desplazamiento positivo en las que la energía de entrada es neumática, normalmente a partir de aire comprimido.
 - Bombas de accionamiento hidráulico, como la bomba de ariete o la noria.
 - Bombas manuales. Un tipo de bomba manual es la bomba de balancín.

Figura 4. **Electrobombas**



Fuente: eletrobombasmanogil.com. Consulta: octubre de 2015.

1.2.1.3. Capacidad

Determinar la capacidad de la bomba, es estimar la cantidad de caudal necesario, estipulando con anterioridad el propósito del equipo, ya sea doméstico, industrial comercial, público y contra incendio.

Figura 5. Capacidades de las bombas



Fuente: Evans. <http://bombas-vars.com.mx>. Consulta: octubre de 2015.

También es importante conocer el consumo promedio diario y el máximo probable de agua de una red.

Para definir el consumo de agua, los métodos principales, comúnmente utilizados son: método de dotaciones, método del número total de piezas servidas y el método de Hunter.

1.2.1.4. Presión de descarga

Es la presión promedio en la salida de la bomba durante la operación. La presión se produce por la velocidad rotacional de los álabes del rodete. La velocidad es constante. El equipo producirá una cierta presión de descarga correspondiendo a las condiciones particulares del sistema por ejemplo, viscosidad del fluido, tamaño de tubería, diferencia de elevación. Si cambiando algo en el sistema el caudal decrece por ejemplo cerrando una válvula de descarga, habrá un incremento en la presión en la descarga, debido a que no hay una reducción correspondiente en la velocidad del rodete. La bomba produce una energía de velocidad excesiva debido a que opera a velocidad constante, el exceso de energía de velocidad se transforma en energía de presión y la presión sube.

1.2.1.5. Eficiencias

Las máquinas que transforman la energía no son 100 % eficientes, de aquí nace el término eficiencia, ya que para una máquina la potencia de entrada no es la misma que la potencia de salida.

- Eficiencia hidráulica

Esta tiene en cuenta las pérdidas de altura total, H_{int} y H_u , donde H_{int} son las pérdidas de altura total hidráulicas y $H_u = H_{total} - H_{int}$, luego la eficiencia hidráulica está dada por la siguiente ecuación:

$$h_h = H_u / H_{total}$$

- Eficiencia volumétrica

Esta tiene en cuenta las pérdidas volumétricas y se expresa como:

$$h_v = Q / (Q + q_e + q_i)$$

Donde Q es el caudal útil impulsado por la bomba y (Q+q_e+q_i) es el caudal teórico o caudal bombeado por el rodete

- Eficiencia interna

Tiene en cuenta todas las pérdidas internas, o sea, las hidráulicas y las volumétricas, y engloba las eficiencias hidráulicas y volumétricas:

$$h_i = P_u / P_i$$

Donde P_u es la potencia útil, la cual será en impulsar el caudal útil a la altura útil

$$P_u = \rho * Q * H_u$$

P_i es la potencia interna, o sea, la potencia suministrada al fluido menos las pérdidas mecánicas P_m

$$P_i = P_a - P_m$$

Después de realizar algunos cálculos algebraicos tenemos que la ecuación para la eficiencia interna es la siguiente:

$$h_i = h_h * h_v$$

Eficiencia total

Esta tiene en cuenta todas las pérdidas en la bomba, y su valor es:

$$h_t = P_u/P_a$$

Donde P_u es la potencia útil y P_a es la potencia de accionamiento.

$$h_t = h_b * h_v * h_m$$

De esta forma hemos llegado al final de nuestro recorrido para identificar la eficiencia respectiva para cada uno de los casos.

1.2.1.6. Tipos de pérdidas de las bombas

Al considerar el término eficiencia se debe tomar en cuenta lo anterior, sabemos que si la energía que entra no es igual a la que sale es porque en alguna parte hubo una pérdida energética. Estas pueden ser:

- Pérdidas de potencia hidráulicas

Estas disminuyen la energía útil que la bomba comunica al fluido y consiguientemente, la altura útil. Se producen por el rozamiento del fluido con las paredes de la bomba o de las partículas del fluido entre sí. Además se generan pérdidas hidráulicas por cambios de dirección y por toda forma difícil al flujo. Esta se expresa de la siguiente forma:

$$P_h = g * Q * H_{int}$$

Donde H_{int} son las pérdidas de altura total hidráulica.

- Pérdidas de potencia volumétricas

Se denominan también pérdidas intersticiales y son pérdidas de caudal que se dividen en dos clases:

- Pérdidas exteriores (q_e)
- Pérdidas interiores (q_i)

Las primeras constituyen una salpicadura de fluido al exterior, que se escapa por el juego entre la carcasa y el eje de la bomba que la atraviesa.

Las interiores son las más importantes y reducen considerablemente el rendimiento volumétrico. Estas pérdidas se explican de la siguiente forma: a la salida del rodete de una bomba hay más presión que a la entrada, luego parte del fluido, en vez de seguir a la caja espiral, retrocederá por el conducto que forma el juego del rodete con la carcasa, a la entrada de este, para volver a ser impulsado. Este caudal, también llamado caudal de cortocircuito o de reticulación, absorbe energía del rodete.

Figura 6. **Pérdidas**



Fuente: <http://conadecus.cl>. Consulta: octubre de 2015.

- **Pérdidas de potencia mecánicas**

Estas se originan principalmente por las siguientes causas:

- Rozamiento del prensaestopas con el eje de la máquina
- Accionamiento de auxiliares bomba de engranajes para lubricación, cuenta revoluciones.
- Rozamiento de la pared exterior del rodete con la masa fluida que lo rodea.

Después de conocer la forma de pérdidas energéticas que se producen en las bombas podemos entrar a conocer los tipos de eficiencia para cada tipo de pérdidas.

1.2.1.7. Pruebas y mediciones

Para que las bombas funcionen de forma adecuada y segura es necesario realizar mediciones y pruebas, tanto en dispositivos eléctricos como mecánicos. Todas las mediciones deben ser realizadas durante operación normal y solo por personal técnico capacitado que debe seguir los procedimientos internos de seguridad y las condiciones y prácticas descritas a continuación para prevenir accidentes.

Condiciones

- Evaluar que el entorno sea seguro antes de tomar cualquier medición
- No trabajar solo en áreas peligrosas o confinadas
- Usar equipo de protección individual adecuado según las recomendaciones locales de salud y seguridad.
- Asegurar que el equipo a utilizar durante el diagnóstico este clasificado para el medio ambiente de medición y que sea adecuado.
- Conocer y saber utilizar el equipo antes de realizar cualquier medición.

Prácticas

- Asegurarse de que la corriente de la red eléctrica sea la adecuada según la información detallada en la ficha de características del equipo a evaluar.
- Medir en el punto de tensión eléctrica más bajo. Por ejemplo, midiendo la tensión en un panel de interruptores, identificar el interruptor de menor voltaje posible, para realizar la medición.
- Mantener la mirada en el área de medición y mantener las manos libres si las circunstancias lo permiten.

- Para una sola fase, conectar neutro primero y fase segundo. Después de tomar lectura, desconectar fase
- primero y neutro segundo.
- En las pruebas de tensión, utilizar el método de tres puntos de prueba.
 - Realizar una prueba en un circuito similar y conocido.
 - Realizar la medición en circuito a medir.
 - Volver a realizar una prueba en el primer circuito.

Este proceso verifica que el instrumento de prueba está funcionando correctamente.

- Al realizar mediciones en alta tensión de tres fases, usar sondas de prueba con una mínima cantidad de la punta de metal expuesta de 0,12 pulgadas o 4 milímetros, esto reduce el riesgo de un arco eléctrico accidental entre las puntas de prueba.
- Reducir la posibilidad de cortocircuito con las manos, haciendo la medición con una sola mano de ser posible. Al hacer las mediciones no tocar ninguna estructura conectada a tierra al mismo tiempo.

Los parámetros eléctricos a medir son:

- Tensión eléctrica
- Corriente eléctrica
- Factor de potencia
- Potencia real o activa
- Potencia reactiva

En estos casos, resulta indispensable la utilización del equipo de medición adecuado voltímetro, amperímetro, vatímetro, multímetro, entre otros. Se

deberá hacer una descripción de los equipos a emplear antes de describir cómo se realiza la medición.

Para simplificar el proceso de medición, se recomienda utilizar un analizador de redes eléctricas que, además de permitir la medición de parámetros por fases, integra dichas mediciones para obtener directamente los valores trifásicos, almacena en memoria información para obtener tendencias y, en la mayoría de los casos, mide otros parámetros eléctricos que son importantes para evaluar la calidad de la energía utilizada en el equipo, como la distorsión armónica, entre otros.

1.2.1.8. Selección adecuada de una bomba

Para realizar eficientemente un proceso de selección y cotización de una bomba es necesario indicar en las especificaciones técnicas los siguientes elementos:

- **Marca:** la marca de la bomba es un aspecto muy importante de seleccionar ya que rige la calidad del equipo y la disposición de repuestos en el mercado.
- **Modelo:** será esencial para la adquisición de repuestos o el reemplazo de la bomba. Cuando se reemplaza la bomba es posible que el motor se encuentre en buen estado y no necesite reemplazo por lo que se requiere que la bomba que se pueda acoplar con el motor que está en buen estado.

- Diámetro de succión: algunas bombas se instalan con reductor excéntrico en el lado de succión, por lo que se debe verificar que el diámetro de succión sea compatible con el diámetro de la tubería instalada.
- Diámetro de descarga: indica el diámetro que debe tener la bomba en el lado de descarga, para que sea compatible con la tubería que se ha instalado. En algunos casos será necesaria la instalación de bridas para la conexión con la tubería de descarga.
- Capacidad: se refiere al caudal que puede entregar la bomba, indicado en metros cúbicos por minuto o en galones por minuto; este dato se hace esencial para cumplir con los requisitos de caudal de la instalación.
- Potencia: es medida en caballos de fuerza y sirve para seleccionar la capacidad del motor, ya sea eléctrico o de combustión interna, así como para estimar el consumo eléctrico o de combustible según sea el caso.
- Cabeza de bomba: la energía proporcionada por una bomba a un sistema, se expresa como la cabeza equivalente del líquido que está siendo bombeado y se conoce como la cabeza total de la bomba. Esta se mide en metros, o pies y sirve para determinar la capacidad de carga de la bomba.
- Eficiencia del motor eléctrico: el consumo eléctrico es un factor importante para la selección del motor. Se debe de verificar el consumo en amperios que tengan distintas casas comerciales para motores de la misma potencia. Un motor en apariencia barato puede usar alambre de mala calidad en sus devanados, por lo que es importante analizar cuál será el consumo en operación que tendrán los motores.

- Garantía: es la garantía que el proveedor extiende de acuerdo al tipo de servicio para el que se requiere a la bomba, también depende del valor del equipo y la calidad de sus elementos y/o componentes.

Figura 7. **Selección de bombas**



Fuente: <http://es.slidshare.net>. Consulta: noviembre de 2015.

1.2.1.9. **Condicionantes de operación**

Para seleccionar equipos de bombeo, se deben determinar condicionantes para garantizar el funcionamiento adecuado de las mismas.

- El caudal o los diversos caudales con que trabajarán estos equipos durante su vida útil. En proyectos de saneamiento, los caudales correspondientes a la vida útil de los equipos son los caudales del proyecto. Para la mayoría de las bombas el periodo de diseño es 10 años.

En proyectos de agua potable, el caudal que se utiliza para la selección de bombas es, una proporción del caudal máximo diario en función del número de horas de bombeo, así:

$$Q_b = Q_{\max} \cdot d / 24 / N$$

Donde:

Q_b = caudal de bombeo, l/s.

$Q_{\max} \cdot d$ = caudal máximo diario, l/s.

N = número de horas de bombeo.

Para la selección de bombas en proyectos de aguas residuales, se deben tener en cuenta los siguientes caudales de la red de alcantarillado: caudal máximo del proyecto, caudal promedio inicial, caudal promedio del proyecto y caudal mínimo inicial. Las bombas deben tener la capacidad de impulsar el caudal máximo de proyecto. Los caudales promedio, inicial y de proyecto son importantes para seleccionar equipos que funcionen lo más eficiente posible para los caudales medios.

Los caudales mínimos tienen importancia para dimensionar la tubería de impulsión con una velocidad que evite la deposición de sólidos.

La inadecuada selección de los equipos de bombeo por una incorrecta determinación de los caudales del proyecto, podría tener graves consecuencias para las bombas durante su operación. Si la bomba seleccionada trabaja con caudales mayores al nominal, podrá haber sobrecarga del motor y cavitación, y la bomba trabajará con bajo rendimiento. Si la bomba trabaja con caudales menores al nominal, la

bomba podrá trabajar con bajo rendimiento y, en caso de capacidad extremadamente baja, podrá presentarse calentamiento excesivo.

- Altura manométrica total: la altura manométrica total H_t es aquella contra la que trabajará la bomba durante su funcionamiento, comprende los siguientes ítems: alturas estáticas de succión e impulsión, las pérdidas por rozamiento, la altura de velocidad, pérdidas de carga locales y la diferencia de presión existente sobre el líquido en el lado de la succión y en el lado de la impulsión.
- Rendimiento y potencia absorbida. La eficiencia de una bomba se mide en base al caudal que se descarga contra una altura dada y con un rendimiento determinado. El rendimiento de la bomba viene dado por:

$$\eta = \text{potencia útil}/P_i = \gamma Q H_t / 75 P_i$$

Donde:

P_i = potencia absorbida, HP.

γ = peso específico del líquido a ser bombeado.

Q = caudal, m³/s.

H_t = altura manométrica, m.

η = rendimiento de la bomba

Para determinar la potencia absorbida por el motor, se divide la potencia absorbida por la bomba entre la eficiencia del motor:

$$m P_i P_m \eta =$$

Donde

P_m = potencia del motor

η_m = rendimiento de motor.

Los rendimientos de las bombas generalmente varían entre 60% y 85%. Las pérdidas de energía dentro de las bombas pueden clasificarse como volumétricas, mecánicas e hidráulicas. Las pérdidas volumétricas son producidas debido a la existencia de pequeñas separaciones entre la carcasa y el impulsor por donde pueden presentarse fugas. Las pérdidas mecánicas son originadas por fricciones mecánicas en las empaquetaduras y cojinetes, discos internos y esfuerzos cortantes creados por el líquido.

Las pérdidas hidráulicas consisten en pérdidas por fricción y parásitas que se producen en la circulación del agua. Aun cuando es deseable adquirir una bomba con alto rendimiento, es conveniente ponderar su valor teniendo en cuenta otros factores, como por ejemplo, el costo inicial, la velocidad de rotación y la durabilidad.

2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO

2.1. Situación actual de la empresa

Bombas y pozos ha tenido un incremento en su demanda en el último año (2014) del 30 %, por lo que ha sido necesario que el equipo de trabajo tenga distribuida las actividades de diferente forma y a la vez se ha contratado más personal, siendo necesario que el personal sea adecuadamente capacitado y no se cuenta con el material de guía para la realización del diseño, instalación y plan de mantenimiento de los sistemas de bombeo.

2.2. Descripción y tipo de problemas

Las bombas e instalaciones de bombeo son componentes esenciales y vulnerables en casi todos los sistemas de agua. El diseño, operación y mantenimiento inadecuados de los sistemas de bombeo pueden representar riesgos sanitarios graves, incluida la pérdida completa del suministro de agua, puede influir directamente en el consumo de energía.

El objetivo principal de las acciones es la mejora continua en la empresa y con la finalidad de hacer de una forma más eficiente las actividades se busca la consecución de los objetivos planteados.

El principal inconveniente y mayor de ellos es que no todos los técnicos poseen la capacitación en lo que corresponde al mantenimiento de los equipos a los que la empresa se dedica, esto debido a la diversidad de los mismos. Generándose mayormente en las bombas que se sumergen en los pozos y a la

vez se determinó que no hay registros de los trabajos que se realizan en los equipos lo que hace más difícil dar el seguimiento requerido y esperado por los clientes. A pesar de ello los clientes para la empresa se han incrementado permitiendo así la generación de más fuentes de empleo y a la vez esto ha hecho que el dueño de la empresa se preocupe más de los controles necesarios para los mantenimientos de los equipos y de esta forma mejorar el servicio y evitar inconvenientes y desavenencias con los preciados clientes. Debido a ello se definió la necesidad de generar, hojas de control de inventario y repuestos, hojas de control de servicio, fichas de seguimiento, plan de capacitación y lo más valioso el diseño de un manual de instrucciones de operación de bombas para pozo profundo.

2.3. Requisitos y necesidades para la solución de problema

Uno de los objetivos de un plan de mantenimiento, es presentar directamente al personal de operación y de mecánica la situación en cuanto a materiales y repuestos.

Un programa se basa en el reconocimiento del papel clave que el operador puede jugar en la práctica del mantenimiento preventivo. Es obvio que el operador es el primero en percibir signos de daños, ya sean ruidos u otra clase de anomalías en el equipo. Por este motivo el operador se encuentra en una situación que le permite tomar medidas preventivas con el objeto de evitar daños graves que de otro modo se presentarían inevitablemente. Es de importancia que los operadores adquieran buenos hábitos de operación del equipo que manejan, esto ayudará a disminuir el desgaste y el consumo de energía. Las prácticas incorrectas surgen principalmente por la falta de comprensión de los principios relativos a una operación adecuada más bien que por una actitud negligente o descuidada. En general se dice que el incremento

en la frecuencia de los mantenimientos de los equipos se debe a la falta de cuidado de parte de los operadores por dar prioridad a otras obligaciones.

Es mucho más fácil que el personal brinde toda su cooperación si tienen conocimiento de la importancia del funcionamiento del equipo y a la vez de los beneficios que se obtienen de ello.

Debido a que las bombas representan una parte vital en las operaciones de un proyecto y su adquisición constituye un proceso difícil y lento, hay que dedicar atención especial a la operación y al cuidado de las bombas. El objetivo principal es tratar de obtener el máximo de eficiencia y el mínimo de reparaciones.

2.4. Inspección y chequeo de equipos

Un sistema de bombeo no se mantiene solo. La frecuencia de mantenimiento no es la misma para todas las bombas, sino que varía con las condiciones del servicio. Una bomba que maneje líquidos limpios, no corrosivos, requiere mucho menos mantenimiento que una bomba del mismo tamaño y tipo que tenga que manejar líquidos corrosivos o arenisca.

Una inspección periódica resulta económica en comparación con los paros no programados debido a daños o fallas de las diferentes partes de la bomba. Las inspecciones de la bomba deben hacerse bimestral o anualmente, según la clase de servicio; mientras más pesado sea el servicio más frecuentemente debe ser la inspección. La inspección debe ser completa y debe incluir un chequeo cuidadoso de las tolerancias entre las partes giratorias y las estacionarias, así como el estado en que se encuentran todas las partes expuestas a roce o a daños causados por arenisca corrosión.

Figura 8. Inspección de equipos



Fuente: taller empresa Pozos y Bombas.

2.4.1. Procedimiento a seguir

Debido a que una bomba es un dispositivo contenedor de presión con piezas rotativas pueden ser peligrosas. Estos equipos han sido diseñados para brindar un funcionamiento seguro y confiable, siempre y cuando se le use correctamente y el mantenimiento se realice conforme a las instrucciones establecidas. No debe operarse a velocidades, presiones de trabajo, presiones de descarga o temperaturas inadecuadas o mayores a las establecidas en las características del equipo, ni utilizar líquidos diferentes a los establecidos en el acuerdo de pedido. Los operadores y personal de mantenimiento deben realizar

esto y seguir las medidas de seguridad, el incumplimiento de las instrucciones de este manual, puede causar daños irreparables.

2.4.2. Métodos de inspección

Antes de realizar la inspección de una instalación de bombeo, se deben revisar los siguientes datos disponibles:

- Registros de operación proporcionados por el proveedor
- Especificaciones usadas para la construcción, operación y mantenimiento.

Si la información no estuviese disponible, esta se debe recolectar durante la inspección. Una vez en el campo, durante la entrevista inicial con el operador, el inspector debe elaborar una lista de las bombas del sistema para asegurar que sean evaluadas durante la inspección.

El supervisor debe revisar los reglamentos y normas concernientes a bombas e instalaciones de bombeo, a la vez se deberá verificar lo siguiente:

- ¿Cuántos equipos hay incluidas las reservas, de qué tipo y dónde están? Cada aplicación debe tener por lo menos una unidad alterna de bombeo, excepto en el caso de pozos donde otro sistema completo proporciona la reserva apropiada. Es importante identificar el equipo para la adecuada aplicación. Por ejemplo, las centrífugas de desplazamiento variable no se deben usar para dosificar sustancias líquidas cuando se requiere una dosificación precisa respecto a un desplazamiento variable. El operador y una revisión de los diagramas de la planta pueden proporcionar esa información.

- La capacidad real de la estación de bombeo es adecuada para satisfacer la demanda: los equipos deben tener amplia capacidad para satisfacer las demandas máximas. La capacidad de reserva necesaria puede variar de un estado a otro; sin embargo, una regla general para la aplicación de bombas múltiples y velocidad constante para el abastecimiento de agua es: si la más grande no funciona, las otras disponibles deben satisfacer la demanda promedio diaria en un tiempo máximo de bombeo combinado de 18 horas. La información se puede obtener de los registros de operación del sistema de bombeo.

- Cuándo y cómo se determina la capacidad de la bomba: el operador debe conocer los resultados de cualquier prueba realizada, también, cuándo fue la última prueba y si se empleó el método correcto. Esto es muy importante cuando se utilizan medidores del tiempo de bombeo para estimar la producción de agua. Por ejemplo, hace 10 años podía haber operado un promedio de 8 horas al día, ahora, opera un promedio de 12 horas diarias. La pregunta es: ¿el incremento del tiempo de operación se debe al aumento del caudal, a un cambio en la estrategia de operación o se ha reducido la capacidad de producción por un incremento en la carga de operación o desgaste mecánico? Esto sólo se puede verificar con un caudalímetro en servicio, manómetros y registros adecuados de operación. Cuando se revisan los registros de operación y prueba, el operador debe determinar si las que son similares tienen la misma producción.

- ¿Cuál es la condición del equipo?
 - Todas las unidades funcionan: Todas las bombas deben funcionar. Si sólo una de las dos bombas para agua cruda funciona,

representa un grave riesgo para la salud. El inspector debe averiguar cómo operan las bombas. Pregunte con qué frecuencia se prueban las unidades de reserva. Si no ocasionan ninguna interrupción en la operación, el inspector debe pedir que se opere cada unidad, una a la vez, para poder hacer las observaciones. Cuando esté en operación, el inspector debe observar cualquier ruido, vibración, calor u olor excesivo y fugas de agua o lubricante. El inspector también debe buscar signos de humedad y polvo alrededor de los orificios de ventilación del motor.

- Ruido, vibración, calor y olor excesivos: mientras está en funcionamiento, el motor debe tener un sonido suave y no debe calentarse excesivamente. El ruido, vibración y calor excesivos indican problemas graves, como falla en los rodamientos, falta de alineación del eje, cavitación, desgaste del impulsor o avería del motor. El calor, el olor de la quema de la empaquetadura representan problemas que incluyen fallas en las bobinas del motor, energía deficiente o excesiva, conexiones flojas y deficiencias en el sistema de control del motor. Todos los aspectos enumerados indican que es necesario un mantenimiento inmediato.
- Fugas de agua: si bien la caja de empaquetadura requiere un goteo constante a través del casquillo, este no debe: ser excesivo, generar humedad alrededor del motor, crear condiciones inseguras alrededor de la caseta, ni facilitar el ingreso de contaminantes al agua cuando se paraliza la bomba, y se puedan crear vacíos en la caja de empaquetadura.

- Polvo y suciedad: el operador debe buscar huellas de polvo alrededor de las aspas de ventilación del motor y en las entradas de aire. El polvo inhibe el flujo de aire necesario para enfriar las bobinas del motor.
- Fuga de lubricante: las bombas y motores no se deben lubricar en exceso, ya que pueden producir fallas en los rodamientos y calentar el motor. Los signos de lubricación excesiva e inapropiada son la grasa que sale de los sellos de los rodamientos y la acumulación de grasa o aceite alrededor de la bomba o motor.
- Se usan los tipos correctos de lubricante: se deben usar lubricantes aprobados siempre que exista contacto con el suministro de agua por ejemplo, en la caja de empaquetadura, rodamiento de los ejes del pozo, válvulas de retención. No es necesario usar lubricantes aprobados en componentes que no tienen contacto directo con el agua rodamientos del motor, ejes y rodamientos externos de la bomba. Todos los lubricantes usados deben cumplir con las recomendaciones del fabricante del equipo.
- La frecuencia y cantidad de lubricación son adecuadas: el inspector debe observar el nivel y apariencia del aceite en los depósitos de lubricante de la bomba y del motor para determinar si la lubricación es adecuada. Si el aceite presenta una apariencia lechosa significa que está contaminado con humedad. En el caso de bombas para pozos, el tipo y cantidad de lubricación son sumamente importantes. Algunos sistemas de bombeo con turbinas verticales se diseñan con ejes de rodamiento lubricados con aceite. Si el tubo de sellado se avería alrededor de uno de esos rodamientos, se producirá la entrada de aceite al agua. El inspector debe averiguar la cantidad de aceite que el operador agrega regularmente y

compararla con la cantidad utilizada cuando el equipo estaba nuevo. Un aumento significativo de aceite es un signo claro de que el sello está roto. Para rodamientos lubricados, una señal de que no siguen los procedimientos de lubricación adecuados es pintura intacta sobre las copas o dispositivos de grasa y los tapones de salida. Un plan de mantenimiento preventivo debe incluir un programa de lubricación.

Figura 9. **Mantenimiento**



Fuente: empresa Pozos y Bombas.

2.5. Instalación de equipos

Las siguientes reglas, evidentemente fundamentales, ayudarán a obtener el servicio más seguro, el mantenimiento más económico, y la mayor vida posible para las bombas hidráulicas. El mantenimiento adecuado no comienza con la reparación o la reposición de las piezas dañadas, sino con una buena selección e instalación, es decir, evitando que haya que reponer o reparar,

adicionalmente es importante que los sistemas de bombeo se equipen con los siguientes dispositivos:

Figura 10. **Instalación de equipos**



Fuente: taller empresa Pozos y Bombas.

- **Válvulas de retención:** cada bomba debe tener una válvula de retención en los sistemas de bomba centrifuga. Durante la inspección, mientras observa la operación de cada unidad de bombeo, se debe prestar atención al comportamiento de esta valvula durante el encendido, y apagado de las unidades. No se debe abrir ni cerrar bruscamente, si esto sucede, se puede producir un golpe de ariete o carga de presión en el sistema de distribución, lo cual podría ocasionar rupturas en la tubería matriz o en la de servicio.

Cuando la bomba no está en operación, el eje de propulsión no debe girar hacia atrás. La rotación hacia atrás indica que la válvula de retención no funciona y, en algunos casos, podría hacer que el impulsor se desconecte del eje de propulsión

- Válvulas de aislamiento: cada bomba debe tener una junta mecánica en la tubería de descarga. En sistemas donde el nivel de captación de agua está por encima del impulsor de la bomba aplicación de succión inundada o carga de succión, también se requiere una válvula de aislamiento en la entrada de cada bomba. Las uniones universales facilitan la remoción de la bomba para su mantenimiento. La existencia de una válvula no implica necesariamente que esté en operación. El supervisor debe preguntar con qué frecuencia se utilizan las válvulas y debe solicitar al operador que abra y cierre una o más válvulas.
- Manómetros
Cada bomba debe tener un manómetro en la descarga para medir las condiciones reales de la carga durante la operación. El manómetro y caudalímetro son importantes para determinar la capacidad de la bomba y detectar cambios en las condiciones de operación. Las bombas reforzadoras del sistema de distribución se deben equipar no sólo con manómetros en la descarga, sino también con caudalímetros compuestos ubicados en la entrada de esta. Los caudalímetros compuestos miden las presiones positivas y negativas. La presión en la entrada de las bombas reforzadoras de distribución no debe estar por debajo de las 20 libras por pulgada cuadrada, ya que las presiones más bajas pueden causar problemas de contracorriente en el sistema de distribución aguas arriba de la bomba reforzadora.

- **Caudalímetro**
El supervisor debe observar si la bomba tiene un caudalímetro y si funciona adecuadamente. Además de proporcionar la cantidad exacta de agua bombeada, el medidor puede ayudar al operador a detectar cambios en el sistema y tomar medidas correctivas antes de que se produzca un problema grave. Los caudalímetros se deben equipar con totalizadores para registrar la cantidad total de agua bombeada durante un período dado.
- **Tubería de descarga**
Los sistemas de bombeo, especialmente las bombas para pozo y agua cruda, se deben equipar con uniones universales y tuberías para permitir la descarga libre y no a la tubería de suministro de agua. Esto facilita la limpieza de la fuente de agua más próxima así como la prueba de la bomba.
- **Válvula de alivio al vacío o a presión**
Los sistemas de bombeo de pozos se deben equipar con una válvula de pie (bombas sumergibles) o unidades de alivio de aire o vacío (bombas con turbina vertical) para prevenir la entrada de aire al sistema de distribución cuando se activan y para evitar el vacío y posible colapso de la tubería cuando se desactivan. El supervisor debe verificar que la válvula de alivio se abra adecuadamente después de apagar la bomba y se cierre apropiadamente luego de encender la bomba. La tubería de descarga en la válvula de alivio debe estar girada hacia abajo, tener una rejilla y terminar con un adecuado espacio sobre el piso.

Existen conexiones cruzadas

Las conexiones cruzadas en los sistemas de bombeo se pueden encontrar en:

- Sistemas de agua con rodamientos lubricados
- Sistemas de bombeo con lubricación en el sello de agua
- Tuberías de descarga al vacío y a presión
- Tuberías de cebado para bombas de aspiración.

En todos estos casos, si se usa agua tratada como fuente para estos sistemas, se puede producir una contracorriente. Por ello, se deben proteger adecuadamente con un intervalo de aire o dispositivo aprobado de prevención de contracorrientes.

2.5.1. Selección de equipo

La selección del equipo debe realizarse considerando las siguientes características:

- Indicar al proveedor de bombas la naturaleza exacta del líquido a manejar.
- Especificar los gastos o caudales máximos y mínimos que pueden llegar a necesitarse, y la capacidad normal de trabajo.
- Dar información semejante relativa a la presión de descarga o planos, y datos para calcularla.
- Proporcionar al proveedor un plano detallado del sistema de succión existente o deseado.

- El proveedor necesita saber si el servicio es continuo o intermitente.
- Indicar de que tipo o tipos de energía se dispone para el accionamiento.
- Especificar las limitaciones del espacio disponible.
- Asegurarse de que se consiguen las partes de repuesto.

2.5.2. Métodos y procedimientos a emplear

La forma y proceder al realizar las actividades es importante para evitar futuros daños en la puesta a funcionamiento del equipo por lo que se consideran las siguientes características:

- Instalación
 - Las bases de las bombas deben ser rígidas
 - Debe cimentarse la placa de asiento de la bomba
 - Comprobar el alineamiento entre la bomba y su sistema de accionamiento.
 - Las tuberías no deben ejercer esfuerzos sobre la bomba
 - Usar tuberías de diámetro amplio, especialmente en la succión
 - Colocar válvulas de purga en los puntos elevados de la bomba y de las tuberías.

- Instalar conexiones para altas temperaturas según el uso
- Disponer de un abastecimiento adecuado de agua fría
- Instalar medidores de flujo y manómetros adecuados
- Operación
 - No debe mermarse nunca la succión de la bomba para disminuir el gasto o caudal.
 - La bomba no debe trabajar en seco
 - No debe trabajarse una bomba con caudales excesivamente pequeños.
 - Efectuar observaciones frecuentes
 - No debe pretenderse impedir totalmente el goteo de las cajas de empaque, debe existir goteo controlado.
 - No debe usarse agua demasiado fría en los rodamientos enfriados por agua.
 - No debe utilizarse demasiado lubricante en los rodamientos
 - Inspeccionar el sistema según su uso

- Mantenimiento y reparación
 - Tener mucho cuidado en el desmontaje para la realización de la reparación o reconstrucción.
 - Es necesario un cuidado especial al examinar y reacondicionar los ajustes.
 - Limpiar completamente los conductos de agua de la carcasa y repintarlos.
 - Al iniciar una revisión total deben tenerse disponibles juntas nuevas.
 - Estudiar la erosión, corrosión y los efectos de cavitación en los impulsores.
 - Verificar la concentricidad de los nuevos anillos de desgaste antes de montarlos en los impulsores.
 - Revisar todas las partes montadas en el rotor.
 - Llevar un registro completo de las inspecciones y reparaciones.

Según el diagnóstico de estado de los equipos se determinó que no llegan a cumplir el tiempo de vida útil de diseño de las piezas, determinado por el fabricante, por lo que se propone implementar el programa de mantenimiento preventivo, para cerrar la brecha actual de tiempo de vida útil de las piezas.

La prolongación y cumplimiento de la vida útil de los equipos se logra implementando acciones preventivas que permitan mantener las condiciones de operación adecuadas con exactitud y precisión. El mantenimiento preventivo que se diseñó para los equipos se fundamenta en tres actividades principales: limpieza, lubricación y desengrase.

- Limpieza de los equipos: en las áreas de difícil acceso para labores de limpieza, ocasiona que se acumule, polvo, sarro y bagasillo.

Los trabajos de limpieza de los equipos están relacionados con la demanda de uso de estos.

Una limpieza eficaz del equipo dependerá de las condiciones físicas y del mantenimiento correctivo y preventivo que haya recibido el equipo y la maquinaria.

Para la programación de limpieza, generalmente se utiliza como herramientas una brocha y como insumos *wipe* y aire comprimido.

Tabla I. **Procedimiento de limpieza**

<p>1. OBJETO</p> <p>Describir los pasos a seguir para efectuar una limpieza eficaz en los</p>			
<p>2. SIGLAS Y DEFINICIONES N/A</p> <ul style="list-style-type: none">• Limpieza: es la acción de remover cualquier fuente de suciedad.			
<p>3. ASPECTOS BREVES DE SALUD OCUPACIONAL</p> <ul style="list-style-type: none">• Peligros asociados a la tarea<ul style="list-style-type: none">- Ergonómico- Físico- Eléctrico• Equipo de protección personal (EPP)<p>Debe usar en todo momento:</p><ul style="list-style-type: none">- Casco- Lentes- Tapones auditivos- Calzado industrial			
<p>4. CONDICIONES GENERALES</p> <p>Mecánico: es el responsable de efectuar la limpieza con las frecuencias establecidas en el plan de mantenimiento preventivo.</p> <p>Encargado: es el responsable de entregar el plan de mantenimiento preventivo a cada mecánico.</p>			
<p>5. DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA</p> <p>5.1 Equipo y máquinas herramientas:</p>			
<table border="1"><tr><td>Elaborado por: Ejercicio Profesional Supervisado</td><td>Revisado por: jefe mantenimiento</td><td>Aprobado por: gerente industrial</td></tr></table>	Elaborado por: Ejercicio Profesional Supervisado	Revisado por: jefe mantenimiento	Aprobado por: gerente industrial
Elaborado por: Ejercicio Profesional Supervisado	Revisado por: jefe mantenimiento	Aprobado por: gerente industrial	

Continuación de la tabla I.

5.2 Actividades:

Para efectuar el desengrase eficazmente hay que tomar en cuenta los siguientes pasos:

- a) Analizar el plan de mantenimiento preventivo del equipo
- b) Verificar las actividades de limpieza que se encuentran en el plan.
- c) Identificar los componentes a los que está asignada la limpieza.
- d) Verificar la frecuencia con la que hay que limpiar los componentes.
- e) Para limpiar es necesario utilizar *wipe*, aire comprimido y brocha.
- f) Reportar en la hoja de vida cualquier fuente de contaminación frecuente que pueda afectar la operación de la máquina.

5.3 Riesgos asociados a la tarea:

- Ergonómicos: La creación de solicitudes de trabajo por ser un trabajo administrativo hay que tener en cuenta de mantener una postura correcta.
- Físicos: Sí no se bloquea y etiqueta la máquina se está expuesto a atrapamiento de piezas móviles.
- Eléctrico: Sí existe un mal contacto en el equipo se puede sufrir choque eléctrico.

6. ÚLTIMOS CAMBIOS REALIZADOS N/A

7. DOCUMENTOS RELACIONADOS

- a) Plan de mantenimiento preventivo.
- b) Hoja de vida del equipo

8. ANEXOS N/A

Elaborado por: Ejercicio Profesional Supervisado	Revisado por: jefe mantenimiento	Aprobado por: gerente industrial
---	--	--

Fuente: elaboración propia.

- Lubricación: es un tema fundamental en el mantenimiento preventivo, debido a que permite proteger las piezas metálicas que están en contacto directo, al momento en que el equipo está en uso, lo que aumenta la vida útil de las piezas.

Para mantener un equipo con la lubricación necesaria, es recomendable como primer paso, localizar el manual del fabricante donde especifica los puntos de lubricación, el tipo de lubricante y la frecuencia con la que se debe hacer, como información adjunta en el manual se encuentran procedimientos de limpieza de las boquillas de lubricación.

En el caso de los equipos no se localizó ningún manual de los equipos seleccionados debido a su antigüedad y las administraciones anteriores, que no se preocuparon por mantenerlos en buen estado.

Para la programación de la lubricación, generalmente se utiliza como herramienta una aceitera y como insumo aceite y grasa.

Tabla II. **Procedimiento de lubricación**

<p>1. OBJETO</p> <p>Describir los pasos para realizar efectivamente la lubricación en los equipo</p> <p>2. SIGLAS Y DEFINICIONES N/A</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lubricación: es la acción de emplear un lubricante en piezas mecánicas para reducir el rozamiento entre las mimas. <p>3. ASPECTOS BREVES DE SALUD OCUPACIONAL</p> <p>Peligros asociados a la tarea</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ergonómico - Físico - Eléctrico <p>• Equipo de protección personal (EPP) Debe usar en todo momento:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Casco - Lentes - Tapones auditivos - Calzado industrial <p>4. CONDICIONES GENERALES</p> <p>Mecánico: es el responsable de efectuar las rutas de lubricación con las frecuencias establecidas en el plan de mantenimiento preventivo. Encargado: es el responsable de entregar el plan de mantenimiento preventivo a cada mecánico.</p> <p>5. DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE LUBRICACIÓN</p> <p>5.1 Equipo y máquinas herramientas:</p> <table border="1"> <tr> <td> <p>Elaborado por: Ejercicio Profesional Supervisado</p> </td> <td> <p>Revisado por: jefe mantenimiento</p> </td> <td> <p>Aprobado por: gerente fábrica</p> </td> </tr> </table>			<p>Elaborado por: Ejercicio Profesional Supervisado</p>	<p>Revisado por: jefe mantenimiento</p>	<p>Aprobado por: gerente fábrica</p>
<p>Elaborado por: Ejercicio Profesional Supervisado</p>	<p>Revisado por: jefe mantenimiento</p>	<p>Aprobado por: gerente fábrica</p>			

Continuación de la tabla II.

5.2 Actividades:

Para efectuar la lubricación eficazmente hay que tener en cuenta los siguientes pasos:

- a) Analizar el plan de mantenimiento preventivo de la máquina
- b) Verificar las actividades de lubricación que se encuentran en el plan.
- c) Identificar los puntos de lubricación de la máquina descritos en el plan.
- d) Verificar la frecuencia con la que hay que aplicar lubricación.
- e) Verificar el tipo de lubricante a utilizar.
- f) Registrar en la hoja de vida del equipo la cantidad de lubricante utilizado.

5.3 Riesgos asociados a la tarea:

- Ergonómicos: La creación de solicitudes de trabajo por ser un trabajo administrativo hay que tener en cuenta de mantener una postura correcta.
- Físicos: Sí no se bloquea y etiqueta la máquina se está expuesto a atrapamiento de piezas móviles.
- Eléctrico: Sí existe algún mal contacto en el equipo se puede sufrir de electrocución.

1. ÚLTIMOS CAMBIOS REALIZADOS N/A

2. DOCUMENTOS RELACIONADOS

- a) Plan de mantenimiento preventivo.
- b) Hoja de vida de tornos.
- c) Hoja de vida de fresas.
- d) Hoja de vida de taladros.
- e) Hoja de vida de cepillos.

3. ANEXOS N/A

Elaborado por: Ejercicio Profesional Supervisado	Revisado por: jefe mantenimiento	Elaborado por: gerente fábrica
---	--	--

Fuente: elaboración propia.

- Desengrase: es parte importante para que la lubricación sea lo más eficiente posible y cumpla con los requerimientos establecidos. Parte del desengrase es quitar la grasa que se queda en las puntas, de tal forma que al momento de inyectar nueva grasa, no se vaya la grasa antigua con partículas extrañas a los rodamientos o mecanismos internos, que puedan perjudicar la vida útil del mismo.

Para la programación de desengrase, generalmente se utiliza como herramientas una piseta y como insumo querosina.

Tabla III. **Procedimiento de desengrase**

<p>1. OBJETO</p> <p>Describir los pasos para llevar a cabo un desengrase eficaz de los equipos</p>		
<p>2. SIGLAS Y DEFINICIONES N/A</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desengrase: es la acción de remover cualquier exceso de lubricante o remover lubricante que perdió sus propiedades o se contaminó. • Piseta: herramienta utiliza para aplicar querosina. • Querosina: sustancia química que en la limpieza mecánica se utiliza como disolvente. 		
<p>3. ASPECTOS BREVES DE SALUD OCUPACIONAL</p> <ul style="list-style-type: none"> • Peligros asociados a la tarea <ul style="list-style-type: none"> - Ergonómico - Físico - Eléctrico • Equipo de protección personal (EPP) Debe usar en todo momento: <ul style="list-style-type: none"> - Casco - Lentes - Tapones auditivos - Calzado industrial 		
<p>4. CONDICIONES GENERALES</p> <p>Mecánico: es el responsable de efectuar las rutas de desengrase con las frecuencias establecidas en el plan de mantenimiento preventivo. Encargado M-H: es el responsable de entregar el plan de mantenimiento preventivo a cada mecánico.</p>		
<p>5. DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE DESENGRASE</p> <p>5.1 Equipo y máquinas herramientas:</p>		
<p>Elaborado por: Ejercicio Profesional Supervisado</p>	<p>Revisado por: jefe mantenimiento</p>	<p>Elaborado por: gerente fábrica</p>

Continuación de la tabla III.

a) Fresas

5.2 Actividades:

Para efectuar el desengrase eficazmente hay que tomar en cuenta los siguientes pasos:

- a) Analizar el plan de mantenimiento preventivo de la máquina
- b) Verificar las actividades de desengrase que se encuentran en el plan.
- c) Identificar los componentes a los que está asignado el desengrase.
- d) Verificar la frecuencia con la que hay que desengrasar los componentes.
- e) Utilizar piseta con querosina para desengrasar.
- f) Reportar en la hoja de vida cualquier identificación de fuga de lubricante.

5.3 Riesgos asociados a la tarea:

- Ergonómicos: la creación de solicitudes de trabajo por ser un trabajo administrativo hay que tener en cuenta de mantener una postura correcta.
- Físicos: sí no se bloquea y etiqueta la máquina se está expuesto a atrapamiento de piezas móviles.
- Eléctrico: Sí existe algún mal contacto en el equipo se puede sufrir de electrocución.

6. ÚLTIMOS CAMBIOS REALIZADOS N/A

7. DOCUMENTOS RELACIONADOS

- a) Plan de mantenimiento preventivo.
- b) Hoja de vida de tornos.
- c) Hoja de vida de fresas.
- d) Hoja de vida de taladros.
- e) Hoja de vida de cepillos.

8. ANEXOS N/A

Elaborado por: Ejercicio Profesional Supervisado	Revisado por: jefe mantenimiento	Elaborado por: gerente fábrica
---	--	--

Fuente: elaboración propia.

2.5.3. Herramientas necesarias

Las herramientas a utilizar dependen de las cualidades de cada uno de los equipos a ser atendidos, pero las principales herramientas a considerar son las siguientes:

- Lentes de seguridad
- Guantes de cuero
- Llaves y conectores
- Cadenas o cuerdas de elevamiento
- Calentador de inducción para rodamientos
- Punzón de latón
- Llave de tuercas
- Llaves Allen
- Torquímetro con dados
- Micrómetro
- Productos de limpieza
- Galga de espesor
- Extractor de rodamientos
- Grúa o montacargas
- Perno de izado depende del tamaño de la bomba

2.5.4. Verificación del funcionamiento

Para el arranque es necesario considerar las siguientes condiciones:

- Todos los equipos, dispositivos y controles de seguridad personal deben estar instalados y funcionar correctamente.

- Para impedir que falle el arranque de la bomba debido a la presencia de suciedad en la tubería, asegúrese de limpiar y lavar el sistema de manera adecuada. La tubería de descarga debe tener desfogue para la limpieza.
- Los motores de velocidad variable deben alcanzar la velocidad nominal lo más rápido posible.
- Los motores de velocidad variable no deben ajustarse o comprobarse patrón de velocidad configuraciones de viaje de sobre velocidad mientras esté acoplado a la bomba en el primer inicio. Si las configuraciones no se verificaron, desacople la unidad y diríjase a las instrucciones del fabricante del motor para obtener asistencia.
- Si la temperatura de bombeo es mayor de 200° F, es necesario precalentar la bomba antes de hacerla funcionar. Deje circular una pequeña cantidad del caudal de bombeo a través de la bomba hasta que la temperatura de la carcasa esté a 100° F de la temperatura de bombeo.
- En el caso de bombas autocebantes al arrancar la bomba, controle de inmediato los medidores de presión. Si la presión de descarga no se consigue rápidamente, detenga el motor, vuelva a cebar e intente arrancar de nuevo la bomba.
- Nunca ponga en marcha la bomba hasta que se haya cebado correctamente. Compruebe que el impulsor de la bomba esté sumergido. Debe estar llena de líquido con la cabeza de inmersión especificada sobre el impulsor. No inicie en seco, pues se puede dañar la misma y los componentes de sellado.

Flujos de salida: para sellar el eje rotatorio se usan embalaje o sellos mecánicos. Generalmente, un líquido claro, como el agua se usa para lubricar y enfriar los elementos de sellado. La presión del líquido lubricante debe ser 10 - 15 libras por pulgada cuadrada superior a la presión dentro del codo para evitar el bombeo del ingreso de elementos de sellado. El líquido lubricante debe estar limpio y libre de suciedad. Daños al eje, destrucción del embalado y daño a la cara del sello mecánico resultarán en lubricante contaminado.

La caja de empaquetadura puede estar en el lado de la succión o de la descarga del impulsor, dependiendo de la dirección del flujo a través del codo ordenado por el cliente. Si la presión dentro del codo es desconocida, debe medirse con un medidor de presión cuando la bomba está operando.

La caja de empaquetadura viene provista de dos agujeros NPT o rosca estadounidense cónica para tubos, para bombear el líquido lubricante. El líquido lubricante se bombea a uno de ellos. Algunos usuarios simplemente conectan el otro agujero. Para refrigeración adicional de los elementos de sellado, se puede instalar un tubo de salida con una válvula para permitir que fluya más líquido a través de la caja de empaquetadura. Los sellos mecánicos dobles no tienen pérdidas y suelen necesitar un flujo de lubricante a través de la caja de empaquetadura para refrigeración. El flujo de lubricante debe regularse con la válvula en el tubo de salida y no con el acelerador de flujo en el tubo de suministro.

2.6. Servicios de mantenimiento

El mantenimiento programado se puede dividir en dos partes:

- Mantenimiento preventivo

- Mantenimiento predictivo

Tabla IV. Orden de trabajo

ORDEN DE TRABAJO																						
Número de orden de trabajo	Departamento Solicitante																					
Fecha	Persona Solicitante																					
Zona	Encargado																					
Equipo																						
Observaciones:																						
MANO DE OBRA																						
ACTIVIDAD				Tiempos [h]		Completado																
				Estimados	Reales																	
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;"></td> <td style="width: 15%; text-align: center;">Fecha</td> <td style="width: 15%; text-align: center;">Firma</td> <td style="width: 35%;"></td> </tr> <tr> <td>Terminación del trabajo</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;"></td> <td style="border-bottom: 1px solid black;"></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Revisión del trabajo</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;"></td> <td></td> <td>Status de orden</td> </tr> <tr> <td>Aprobación del trabajo</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;"></td> <td></td> <td style="text-align: right;">ABIERTA</td> </tr> </table>								Fecha	Firma		Terminación del trabajo				Revisión del trabajo			Status de orden	Aprobación del trabajo			ABIERTA
	Fecha	Firma																				
Terminación del trabajo																						
Revisión del trabajo			Status de orden																			
Aprobación del trabajo			ABIERTA																			

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. Orden de control de equipos

						Fecha de emisión:
Planta:						Consencutivo/año:
Equipo:						Identificación:
Ubicación:				Actividad:		
Periodicidad:				Sector:		
Recomendaciones de seguridad						
Componente:		Servicio				
Peridicidad:						
Material						
Maq/Her						
Reprog. Sem[] Mens[]						
OCURRENCIAS						
Efecto		Efecto		Efecto		Efecto
Causa		Causa		Causa		Causa
Acción		Acción		Acción		Acción
Complemento		Complemento		Complemento		Complemento
Posición Comp.		Posición Comp.		Posición Comp.		Posición Comp.
Semana base:			Semana Reprogramación:			Lim. Reprog.
OBSERVACIONES						
Evaluación del servicio por:				Fecha de evaluación:		
Plenamente atendido:	Provisionalmente atendido:	Reservicio:	No atendido:	En el Plazo:	Fuera del plazo:	
Ejecutante	Supervisor		Inicio de mantenimiento	Termina mantenimiento		

Fuente: elaboración propia.

Ambos sistemas están basados en revisiones periódicas programadas a los equipos pero se diferencian fundamentalmente en los medios que se utilizan para las revisiones y en las frecuencias de éstas. Mientras el mantenimiento preventivo elabora una orden de trabajo para que una bomba se saque de servicio, se desacople, se desarme, se examinen rodamientos, el eje, el impulsor, los anillos de desgaste, la carcaza, el acople, como una revisión anual; el mantenimiento predictivo genera una orden bimestral ordenando observar la bomba en operaciones normales, comprobar la temperatura de los rodamientos, tanto en la bomba como en el motor, hacer un análisis de

vibraciones en cada apoyo de los elementos en rotación de este análisis se obtiene el estado de los rodamientos, el alineamiento del eje, el posible desbalanceo del impulsor debido a desgastes internos, posibles torceduras en el eje de la bomba, observar el desempeño de la bomba con respecto a la curva de rendimiento y caballaje, y observar si existen posibles fugas, para ello se saca la bomba de servicio media hora, se drena y se hace la medición con un equipo ultrasonido, pudiéndose reanudar la operación inmediatamente.

Del análisis de las revisiones efectuadas se toma la decisión, si es el caso, de programar una reparación del equipo, la cual incluiría el posible cambio de las partes que el análisis haya mostrado como defectuosas. En el mantenimiento preventivo es frecuente que en la misma revisión se tome la decisión de cambiar estos elementos y no sea necesario programar una posterior reparación. Los dos métodos tienen sus ventajas y desventajas.

Figura 11. **Mantenimiento preventivo**



Fuente: taller empresa Pozos y Bombas.

2.6.1. Tipos de servicios

- Mantenimiento preventivo
 - Frecuentemente se debe programar
 - En oportunidades se necesitan equipos especiales
 - No siempre se necesita personal calificado
 - Menos costoso de implementar
 - Da menos continuidad en la operación
 - Menos confiabilidad aunque es alta

- Mantenimiento predictivo
 - Siempre que hay un daño necesita programación
 - Necesita equipos especiales y costosos
 - Necesita personal más calificado
 - Costosa su implementación
 - Da más continuidad en la operación
 - Más confiabilidad
 - Requiere menos personal
 - Los repuestos duran más

Figura 12. **Mantenimiento correctivo**



Fuente: empresa Pozos y Bombas.

2.6.2. Manejo de hojas de control

Para cumplir con las fichas es muy valiosa la aportación de los técnicos que tengan experiencia en el mantenimiento del elemento o elementos similares, sobre todo en lo referente a las necesidades de atención que puedan ser requeridas, y a sus particularidades de manipulación. Esta información puede quedar recogida en campos destinados notas o comentarios.

Se deberá añadir la información referente a los repuestos recomendados para cada elemento o equipo, que deberán facilitar los fabricantes. Para la

confección de fichas técnicas resulta también de gran ayuda la utilización de aplicaciones convenientemente estructuradas.

La fase de cumplimiento de fichas técnicas determinará si es necesario completar la información recabada en campo llevando a cabo visitas complementarias a las instalaciones.

Como complemento de las fichas técnicas se deberán confeccionar formularios o protocolos de toma de datos de funcionamiento para todos los equipos y elementos componentes cuyo mantenimiento preventivo los haga precisos.

El proceso de toma de datos para cumplimentación de fichas técnicas, así como los datos sobre condiciones de funcionamiento recabados en una instalación durante esta fase, permitirá que los técnicos que están elaborando el PMP obtengan un conocimiento muy específico sobre las condiciones de disponibilidad y sobre el estado de funcionalidad de los diferentes elementos y componentes de cada instalación concreta. Este conocimiento deberá materializarse en un informe, dirigido a la propiedad o a los usuarios del edificio, sobre las condiciones de partida en las que se encuentran las instalaciones antes de la puesta en práctica del servicio de mantenimiento que se está diseñando.

El informe previo sobre el estado de una instalación comporta la cumplimentación de dos objetivos fundamentales:

- Llevar al conocimiento de las propiedades y usuarios el estado de disponibilidad y de funcionamiento en el que se encuentran las instalaciones que van a ser objeto de mantenimiento contratado. Lo cual

posibilita plantear actuaciones de modificación o acciones correctivas a priori que hagan posible la puesta a punto de aquellos elementos, equipos o sistemas que no se encuentren en condiciones correctas.

- Establecer el punto origen, por todos los conceptos de funcionalidad, eficiencia, de la instalación que va a ser mantenida. Lo que permitirá valorar los resultados que se obtengan de las actuaciones previas de modificación que se lleven a la práctica y, posteriormente, contrastar la efectividad de las revisiones de mantenimiento que se programen inicialmente para adaptarlas si fuera necesario y controlar las desviaciones que se vayan produciendo con el transcurso del tiempo.

De los sistemas de control e estos equipos se puede indicar lo siguiente:

- Estan diseñados adecuadamente y son confiables: la mayoría de los sistemas de bombeo están equipados con sistemas automáticos para controlar los ciclos de bombeo. El operador debe evaluar el sistema de control y determinar si es apropiado para la aplicación, si funciona adecuadamente y si está equipado con un interruptor manual de invalidación. Las bombas que suministran agua al sistema de distribución se deben controlar automáticamente de acuerdo con la presión del sistema. Las bombas para agua tratada controladas sólo por relojes son un ejemplo de aplicación inapropiada del sistema de control. En ese caso, no suministrarán agua adicional si existe una demanda excepcionalmente alta por ruptura de una tubería principal o para el control de incendios. Esto podría causar baja presión o pérdida total del suministro de agua. Una pregunta que el inspector debe hacer al operador es: con qué frecuencia se reconectan automáticamente los controles del motor u opera las bombas manualmente para mantener la presión del sistema.

- Hay alarmas en caso de fallas: el sistema de control debe estar equipado con sistemas de alarma en caso de fallas. Si no se activa o se detiene por cualquier motivo que no sea el apagado normal del ciclo automático, se debe activar un sistema de alarma. También se debe considerar el tipo de alarma. Muchas estaciones de bombeo están equipadas con alarmas de luces intermitentes o bocinas ubicadas fuera del edificio que se activan en caso haya fallas en el sistema. Este tipo de sistema requiere que alguien observe y escuche la alarma para que luego llame al operador del sistema de agua. Desde luego, éste no es un sistema infalible. Un sistema más confiable consta de una alarma conectada a una línea telefónica que marca automáticamente números programados hasta que conteste quien pueda solucionar el problema.
- Hay dispositivos de seguridad en caso de fallas: se debe evaluar la secuencia de control del equipo que funciona conjuntamente con la bomba y el motor principal. Por ejemplo, el suministro eléctrico de un dosificador de sustancias químicas que se activa automáticamente con el motor de la bomba de agua debe tener un dispositivo que lo apague automáticamente en caso de que no haya suministro de agua. Esto se puede lograr al instalar un interruptor de parada de caudal bajo o de presión baja entre la bomba y la válvula de retención. Este dispositivo debe ser sensible al caudal o presión de agua para poder activar el dosificador de sustancias químicas. En muchos casos, la ausencia de ese dispositivo ha producido una excesiva dosificación.
- Están equipados con contadores de tiempo: cada bomba de los sistemas de control del motor debe tener uno de estos. Es similar a un odómetro de automóvil y registra el tiempo de funcionamiento de los motores de la bomba. El operador puede usar esta información para programar el

mantenimiento, calcular la producción de la bomba y comparar los ciclos de funcionamiento y la eficiencia de las unidades de bombeo.

- Están protegidos adecuadamente: el operador debe observar el estado general de los dispositivos de control y verificar que el equipo se mantenga en cabinas protegidas. Las cabinas de control ubicadas fuera del edificio se deben asegurar y deben tener protección contra cambios climáticos. El público no debe tener acceso a los interruptores de control, tales como interruptores de apagado o reconexión automático o manual.
- ¿Se mantienen adecuadamente?
Los sistemas de control se deben incluir en el plan de mantenimiento preventivo del sistema de bombeo. El mantenimiento de estos sistemas requiere experiencia en controles industriales. El operador debe estar capacitado en esta área o debe contar con la ayuda de un experto para solucionar cualquier falla en el sistema.

2.6.3. Aplicación de los servicios

Una vez definido el programa, conociéndose todos los elementos a mantener y sus características de utilización y funcionamiento, se han seleccionado los protocolos de mantenimiento preventivo a aplicar y se han definido las tareas y sus frecuencias.

A este nivel puede iniciarse la puesta en acción del plan, aunque aún no está completo. Para considerarlo completo, el PMP no solo debe contener los datos y criterios técnicos de mantenimiento, sino también todos los conceptos económicos y de gestión que permitan llevar a cabo un servicio eficiente y una correcta explotación de las instalaciones. Para conseguir estos objetivos, los

técnicos encargados de la confección del PMP deberán continuar su labor hasta completar la especificación de los detalles que se indican en los párrafos siguientes.

- Determinación de tiempos de intervención. Para completar el plan, los técnicos deberán definir la dedicación de tiempo necesaria para cada trabajo, de forma unitaria, así como la categoría del personal de servicio que deba cumplimentarlo. La definición de tiempos necesarios para cada tarea específica no puede ser establecida basándose en ningún criterio matemático ni preconcebido, dado que trabajos idénticos pueden requerir aplicaciones de tiempos diferentes en unas instalaciones y en otras, e incluso actuaciones idénticas sobre elementos idénticos, dentro de una misma instalación, pueden requerir tiempos diferentes.

El tiempo destinado a la puesta en práctica de cada tarea debe establecerse, en cada caso, por los técnicos que diseñan el PMP, o por el director técnico de mantenimiento, para cada elemento concreto, en función de la experiencia y capacitación del personal al que inicialmente se asigne el servicio, de la experiencia adquirida en instalaciones similares y, de forma muy especial, del conocimiento del elemento a mantener y de las dificultades o facilidades particulares que implique el acceso al elemento en cuestión, para llevar a cabo las intervenciones de mantenimiento factor de dificultad / mantenibilidad.

Una vez definidos los tiempos por tarea y por elemento, teniendo en cuenta el factor dificultad indicado anteriormente como el más determinante, se deberán optimizar los tiempos en cada gama o protocolo en función del número de elementos iguales o similares que puedan afectarse por actuaciones de forma simultánea, es decir, utilizando un

factor de minoración del tiempo total requerido factor de simultaneidad, en función de la simultaneidad de trabajos que puedan aplicarse sobre un mismo elemento o bien planificando actuaciones que impliquen la misma tarea sobre elementos iguales o similares de la misma instalación, por ejemplo, sustitución de filtros.

Como resultado de este ejercicio se obtendrán los tiempos totales necesarios para llevar a la práctica el programa de mantenimiento en toda su extensión. A partir de esta base se podrán definir los alcances de cada actuación o intervención y los trabajos que deberán realizarse en cada actuación, agrupándolas por frecuencias para configurar los programas de trabajo de cada mes, cada semana, cada día,, asignando los recursos humanos y medios técnicos necesarios para llevarlas a cabo.

- La organización de los recursos técnicos, humanos y materiales que se aplicarán a cada servicio deberá quedar reflejada en el PMP, indicando los nombres, niveles profesionales y especialidades de los técnicos que se dedicarán al desarrollo y puesta en práctica del plan, con especial especificación de los responsables directos de la gestión del mismo. También se deberán prever contar los medios materiales que se utilizarán en la prestación del servicio. La asignación y organización de estos medios está supeditada a la estructura de la empresa de mantenimiento contratada para la prestación del servicio y depende exclusivamente de ella. Por ello, no es procedente dar indicaciones en cuanto a la forma de organización de estos recursos técnicos, humanos y materiales en este documento; puesto que éste se limita a recomendar, simplemente, que la asignación y organización de medios se plantee en los términos y formas que resulten más eficientes, teniendo presente en todo momento que la

organización que se aplique deberá ser capaz de alcanzar los siguientes objetivos principales:

- Optimización de los recursos humanos destinados a los servicios de mantenimiento.
 - Adecuación de los costes de explotación.
 - Alto nivel de eficacia, basado en una correcta planificación y coordinación de los servicios.
 - Agilidad de respuesta.
 - Optimización de la eficiencia de las instalaciones mantenidas, lo que redundará en:
 - Incremento de la calidad de las prestaciones de cada instalación o sistema.
 - Perfeccionamiento de las condiciones de confort.
 - Optimización de los rendimientos y consumos energéticos.
 - Conservación de la eficiencia energética de los equipos instalados.
- Documentación complementaria
Como complemento importante para la completa caracterización del PMP será preciso, además de ser reglamentariamente obligatorio, incluir la documentación e información que se indica esquemáticamente a continuación:
 - Periodificación de informes: El PMP deberá contener información sobre los criterios de emisión de informes técnicos periódicos que se emitirán como documentación justificativa de la realización del servicio durante el transcurso del contrato. Se deberá indicar la frecuencia con la que se emitirán los informes, que deberá ser mensual, como mínimo, salvo que contractualmente se estipule otra frecuencia más exigente. El PMP deberá contener un formato el

"documento tipo" que se vaya a utilizar para la emisión de informes periódicos.

- Partes de trabajo o informes de intervención: El PMP deberá incluir el formato o formulario que los mantenedores vayan a utilizar, durante la realización del servicio, para el control de tiempos empleados y para la reseña de los trabajos realizados en cada actuación. Este documento tiene una doble utilidad: por una parte, permite a la empresa de mantenimiento llevar a cabo el control y seguimiento de las intervenciones realizadas sobre cada elemento y de los tiempos realmente empleados por sus operarios para desarrollarlas, lo que hace posible efectuar el seguimiento técnico y económico del Programa de Mantenimiento y adecuar los protocolos y los tiempos de dedicación, previstos inicialmente, a las necesidades reales en cada caso. Por otra parte, facilita a las propiedades y usuarios la información detallada y puntual del trabajo que se está efectuando.

Los partes de trabajo cumplimentados deberán irse incorporando al PMP a medida que se vayan efectuando las actuaciones, configurando un archivo de información histórica del servicio prestado.

- Definición de medios técnicos y herramientas necesarias: El PMP deberá también identificar los medios técnicos, herramientas e instrumentos que se consideren necesarios a priori para la correcta puesta en práctica del Programa de Mantenimiento que se defina. Se deberán indicar los medios que permanecerán en la instalación de forma permanente, identificando los que sean propiedad de la empresa mantenedora y los que sean facilitados por la propiedad. Si durante el transcurso del servicio fuera necesario utilizar nuevos

medios, diferentes de los inicialmente previstos, se deberá dejar constancia de ello en el capítulo correspondiente del PMP.

- Definición de *stock* mínimo de repuestos y materiales consumibles: El PMP deberá también establecer las necesidades de disponibilidad de materiales consumibles y repuestos básicos que se consideren imprescindibles a priori para el desarrollo correcto del servicio programado. Se deberá definir el *stock* mínimo imprescindible de estos materiales, teniendo en cuenta para ello no solamente la experiencia de los técnicos dedicados al establecimiento del PMP, sino también las recomendaciones al respecto de los fabricantes de los equipos y elementos más significativos o para los que se puedan prever dificultades en la localización y acopio ocasional de repuestos. Las recomendaciones de los fabricantes en todo lo referente a la utilización y al mantenimiento de sus equipos, incluyendo las relaciones de repuestos mínimos necesarios y los planos, esquemas y despieces de sus respectivos productos, deberán también formar parte de un capítulo específico del PMP.

El conjunto de indicados anteriormente conforman el Plan de Mantenimiento Preventivo. Programas paralelos al PMP son los siguientes:

- Programa de Gestión Energética:
- Instrucciones de Seguridad:
- Instrucciones de Manejo y Maniobra:
- Programa de Funcionamiento:

Es muy recomendable tener en cuenta los requerimientos de actuación que se establezcan en los programas e instrucciones antes citados, e incluir las

intervenciones predictivas, preventivas y correctivas sistemáticas necesarias, siempre que sea posible, en los protocolos de mantenimiento preventivo a aplicar a los elementos que correspondan, e incluirlas así directamente en el PMP de la instalación.

En consecuencia, se recomienda complementar los protocolos de trabajos preventivos que se aportan con actuaciones relativas a la supervisión de la existencia aplicación de las instrucciones y programas relacionados, tales como las que se indican a continuación, siempre que se consideren pertinentes y realizables:

- Verificación de la existencia e idoneidad de instrucciones de seguridad adecuadas, situadas en lugar visible. Con frecuencia anual, como mínimo.
- Verificación de la idoneidad del programa de gestión energética disponible y actualización o modificación si procede. Con frecuencia anual, como mínimo.
- Verificación de la idoneidad de las instrucciones de manejo y maniobra disponibles. Con frecuencia anual, como mínimo.
- Verificación de la idoneidad del programa de funcionamiento establecido. Con frecuencia semestral, una vez por temporada, como mínimo.
- Adecuación del programa de mantenimiento establecido a los usos y necesidades del equipo, contemplando el régimen de menor consumo energético que pueda conseguirse de cada elemento. Con frecuencia anual, como mínimo.

2.6.4. Requerimiento de repuestos

Según los registros que se obtuvieron de los técnicos han sido necesarios para la realización de los diversos servicios, pero es importante considerar los modelos y características de los equipos a trabajar.

Los repuestos con los que se sugiere contar son los siguientes:

- Codos o carcasas
- Impulsores
- Juntas
- Juntas tóricas
- Eje
- Cojinete radial interno
- Cojinetes o cojinete de impulso fuera de borda
- Arandela de seguridad del cojinete
- Tuerca de sujeción del cojinete
- Sello de laberinto fuera de borda
- Sello de laberinto interno
- Manga del eje
- Juntas teóricas con manga
- Empaquetadura del cojinete
- Anillo de cierre hidráulico
- Empaquetadura del prensaestopas
- Casquillo del prensaestopas

Se sugiere la utilización de un formato de registro del inventario de repuestos según el equipo para generar una estadística y de esta forma lograr determinar un *stock* de repuestos.

Tabla VI. **Formato de registro**

INVENTARIO DE REPUESTOS			
Cantidad	Descripción	Código de máquina	Marca

Fuente: elaboración propia.

2.6.5. Pruebas de funcionamiento

Las pruebas de funcionamiento se deben realizar apegados a condiciones y normas establecidos por los proveedores, con el fin de garantizar la vida útil y funcionamiento adecuado del equipo. Algunas de las condiciones que no pueden dejarse de considerar son las siguientes:

- No opere por debajo del flujo mínimo nominal o con la válvula de succión o descarga cerrada. Estas condiciones pueden generar un riesgo de explosión debido a la vaporización del caudal bombeado y pueden provocar la falla de la bomba y lesiones físicas.
- Controle los niveles de vibración de la bomba, la temperatura de los rodamientos y cualquier ruido excesivo. Si se exceden los niveles normales, apague la bomba y resuelva el problema según la variación o deficiencia que se esté presentando.

- La bomba debe funcionar siempre dentro de las condiciones nominales para impedir los daños ocasionados por la cavitación o la recirculación.
- Varíe siempre la capacidad con la válvula reguladora de la tubería de descarga. Nunca estrangule el flujo desde el lado de succión.
- El caudal de la bomba no debe estrangularse nunca en el extremo de succión.

La mayoría de las bombas de flujo axial están en servicio de circulación de evaporación y siendo que el rendimiento del evaporador y la cantidad de producto dependen de la tasa de circulación de líquido, debe tenerse cuidado en mantener estas bombas en buenas condiciones de operación. Cuando la producción cae, se debe a una tasa de circulación menor. Una aproximación de esta tasa se puede lograr con varios métodos:

- Reducción de la temperatura en el intercambiador de calor
- Inspección visual del flujo en el cuerpo del evaporador
- Prueba de la bomba de circulación

Los primeros dos elementos anteriores están cubiertos por el fabricante en la mayor cantidad de casos. Mientras las condiciones de campo excluyen la precisión absoluta, una comprobación del rendimiento de la bomba entregará resultados razonablemente cercanos. Esto puede realizarse instalando un manómetro de mercurio en las tapas del tubo ubicadas a al menos un diámetro de tubo de distancia de las bridas de succión y descarga de la bomba. Si se usan medidores, la presión diferencial por 2,31 dividida por la gravedad específica del lodo indica el THD contra el cual la bomba está operando. Si se usa un manómetro, entonces las pulgadas de mercurio por 1,0455 dividido por

la gravedad específica es igual a TDH, siempre que haya agua en ambas patas del manómetro y en las líneas de conexión. Compruebe la velocidad de la bomba y determine la tasa de flujo (gpm) de la curva de la bomba. Esta curva también entrega eficiencia de la cual se puede determinar la necesidad de hp. Se hace una comprobación doble para tomar las medidas del motor, convertir a hp, cifra del 90 % de la eficiencia del motor y usarla contra la curva de la bomba para obtener GPM.

Es solamente una comprobación aproximada, dado que la curva hp en algunas aplicaciones es más bien plana, pero es probable dentro de 7-1/2 %. Es importante registrar estas lecturas cuando el equipo es nuevo, para tener base para juzgar lecturas posteriores.

Operar a capacidad reducida

El motor puede sobrecargarse si la gravedad específica densidad del caudal de bombeo es mayor que la prevista o si se excede la velocidad de flujo nominal. A continuación se listan algunas causas para la pérdida de circulación. Tenga en cuenta que operación a capacidades reducidas puede causar daño a la bomba.

- Incremento en TDH en relación a qué bomba opera puede ser causado por:
 - Tubos del intercambiador de calor parcialmente conectados
 - Demasiados tubos del intercambiador de calor sellados
 - Retentor parcialmente conectado o de tamaño equivocado

- Viscosidad del lodo mayor a la correcta

- Baja velocidad de la bomba. El motor de correa en V puede estar resbalando y operando a menor velocidad de la diseñada.
- Bomba acelerada en el lado de succión. Puede ser causado por el revestimiento de goma tirando del tubo de succión y colapsando parcialmente, por grandes sólidos que caen dentro de la succión o por retenedor mal conectado o de diferente tamaño en el tubo de succión.
- Bomba parcialmente conectada por un sólido grande trabado entre dos hojas del impulsor. También ocasionará operación violenta con vibración excesiva.
- Rotación incorrecta de la bomba. Cuando cambia motores por cualquier razón o después de cualquier cambio de sistema eléctrico, siempre compruebe la dirección de los motores.
- Impulsor y/o encofrado de la bomba gastado. En una bomba nueva, el espacio entre la punta de la hoja del impulsor y el encofrado se determina con cuidado. A medida que se incrementa este espacio, el rendimiento de la bomba se reduce. No es práctico predecir el rendimiento de cualquier espacio dado sin realizar una prueba sobre el mismo. En bombas pequeñas, este efecto se magnifica por el porcentaje del área de la hoja del impulsor pérdida a causa del desgaste y la corrosión.
- Operación ruidosa o violenta
 - Succión acelerada o conexión
 - Impulsor rozando en el encofrado

Los daños provienen de:

- Niveles de vibración elevados: afectan a los cojinetes, la cámara de sello de caja de empaquetado y sellos mecánicos.
- Calentamiento excesivo: la cavitación provoca estrías y agarrotamiento en las partes móviles.
- Cavitación: daña las superficies internas de la bomba, los empaques.
- Impulsor suelto.
- Hoja de impulsor rota.
- Cojinetes no lubricados adecuadamente.
- Hay una deformación en el eje.
- Impulsor desbalanceado.

3. FASE DE DOCENCIA

3.1. Plan de mantenimiento

Durante la inspección el técnico debe evaluar el enfoque general de la relación con los sistemas de bombeo desde el punto de vista programático.

- El número y capacitaciones del personal son adecuados para operar y mantener las instalaciones de bombeo: la evaluación del personal administrativo y de operación se debe realizar según las recomendaciones del fabricante. Se debe capacitar al personal responsable para que solucione las fallas de los sistemas de bombeo y mantenimiento de los sistemas eléctricos y mecánicos. Si no hay personal competente en esas áreas, el mantenimiento deberá detenerse y contratar a un técnico experto en ese modelo estar a cargo de contratistas. Se incluye al personal administrativo en las capacitaciones debido a que ellos quienes realizan las gestiones de pedidos, compras y tratos con proveedores de equipos, repuestos y suministros.
- Se mantienen registros adecuados de operación para las estaciones de bombeo: cada unidad de bombeo incluiría una ficha de registro, pero no se limitaría a: presiones de succión y descarga, horas de operación, lecturas del caudalímetro y lecturas de amperaje y voltaje, también debe considerar fechas y tipos de mantenimiento o reparaciones realizadas.
- Los procedimientos estandarizados de operación deben estar disponibles por escrito: se deben proporcionar instrucciones de operación por escrito

a todos los operadores. Los procedimientos pueden ser tan complejos como un manual de operaciones o tan sencillos como una página de instrucciones. Deben considerar aspectos tales como la operación e inspección diaria lista de verificación, procedimientos de encendido y apagado y respuesta a fallas del equipo y otras condiciones de emergencia planes de contingencia.

- Se cuenta con un programa mantenimiento preventivo: las prácticas inadecuadas de mantenimiento pueden producir fallas en el sistema y deficiencias sanitarias. Se debe establecer y seguir un programa escrito para cada equipo de la instalación de bombeo. Este programa debe estar basado en las tareas de mantenimiento recomendadas por el fabricante y se deben mantener los registros correspondientes. En general, los pequeños sistemas de bombeo necesitan programas de mantenimiento preventivo menos sofisticados; sin embargo, todos los sistemas de agua deben tener un programa, aunque sea básico. El operador debe determinar si existen componentes específicos de un programa de mantenimiento preventivo y debe solicitarlos.

Los componentes esenciales de un estos programas incluyen:

- Inventario del equipo registro con datos como: números de modelo y serie, registros de los fabricantes y especificaciones del rendimiento.
- Información técnica de los fabricantes, estos incluyen datos técnicos sobre el equipo, tales como especificaciones, diagramas y listas de repuestos.
- Tareas y cronograma por escrito que incluye una lista de tareas, un cronograma e instrucciones para cumplir las tareas. Pueden estar

computarizados o, en sistemas más pequeños, se pueden registrar simplemente en tarjetas.

- Registros del mantenimiento, en sistemas pequeños se pueden registrar en tarjetas. El técnico debe buscar las más recientes y compararlas con la lista de tareas.
- Lista de recursos técnicos, debe incluir representantes de servicios y fabricantes de repuestos, especialistas locales para mantenimiento de instrumentos, electricistas, mecánicos especialistas y contratistas de construcción.
- Herramientas, el operador debe tener un equipo completo de herramientas para el mantenimiento básico. Inventario de repuestos Las piezas importantes y de reemplazo frecuente se deben incluir en el inventario del sistema de agua. Los materiales que no estén en el almacén se deben obtener de proveedores locales o representantes autorizados.

El objetivo principal de este título es aportar las pautas, recomendaciones y referencias que permitan a los técnicos dedicados a la organización, planificación y gestión de mantenimiento aplicar criterios comunes y procedimientos coherentes en la definición y configuración de los Planes de Mantenimiento Preventivo (PMP) racionales, enfocados con garantías de éxito a la consecución de los fines que la propia definición del mantenimiento establece. La puesta en práctica de cualquier modalidad de mantenimiento se basa en la aplicación sistemática de métodos y procedimientos predefinidos en un plan, por ello, para la definición de un PMP, la primera recomendación es seguir también un procedimiento. En este se constituye el núcleo del documento, se define de forma esquemática un procedimiento genérico de trabajo para la estructuración de un PMP eficaz.

Para la configuración del PMP específico de una instalación concreta, o de todas las instalaciones térmicas de un edificio, es preciso no perder de vista los objetivos perseguidos con la aplicación del mantenimiento preventivo y el contenido documental que debe contener un PMP. Con esta premisa, el procedimiento que se recomienda seguir se basa en el cumplimiento de las siguientes fases:

- Recopilación de información técnica

El establecimiento de un Plan de Mantenimiento Preventivo específico parte del conocimiento, lo más preciso y exhaustivo posible, de la instalación o instalaciones sobre las que deberá aplicarse. Para conseguir este conocimiento resulta imprescindible entrar en contacto directo con la instalación, efectuando las visitas necesarias, pero también es muy importante tener acceso a la información técnica sobre la instalación en cuestión, es decir, a la documentación del proyecto que la ha dado origen y a la información técnica complementaria sobre el estado real en que la instalación ha quedado construida.

Esta información técnica servirá de guía, muy útil, para el técnico que debe desarrollar el establecimiento del PMP, tanto para facilitar la localización e identificación de los elementos componentes de cada sistema, como para conocer las condiciones de funcionamiento para las que han sido diseñados y seleccionados. La documentación técnica de la instalación es, prácticamente, el único medio para conocer sus particularidades de diseño. Por otra parte la documentación técnica de proyecto y la documentación definitiva debe formar parte de la bitacora de instalación y ser tenida en cuenta para la implementación del PMP, como información imprescindible para conseguir la correcta explotación de cualquier instalación y es valiosa para determinar los

criterios idóneos de mantenimiento predictivo y preventivo que deban aplicarse en cada caso, junto con otra información posterior, que también debe estar recogida en la bitácora de la instalación, tal como los archivos correspondientes a cualquier servicio de mantenimiento prestado con anterioridad, las modificaciones efectuadas sobre las instalaciones después de su puesta en marcha inicial, los informes de estado de la instalación, los históricos de averías, entre otras.

También es imprescindible, de cara al establecimiento de criterios de gestión económica y, sobre todo, energética, disponer de la información suficiente sobre los procedimientos de actuación y sobre las lógicas de control que se hayan previsto en el proyecto de la instalación, como única vía para conseguir en la práctica los objetivos de eficiencia proyectados.

El cumplimiento del plan del mantenimiento preventivo es fundamental para el éxito del mismo, a continuación se describe el procedimiento a llevar a cabo para su correcta ejecución.

El responsable de ejecutar la evaluación del cumplimiento es el encargado o supervisor del taller de máquinas-herramientas, debido a que tienen el conocimiento del correcto funcionamiento de las máquinas. La frecuencia de realizar la inspección es quincenal.

A continuación en la figura se muestra el procedimiento para evaluar el cumplimiento del plan de mantenimiento preventivo.

Tabla VII. **Procedimiento de cumplimiento del plan de mantenimiento preventivo**

PROCEDIMIENTO DE CUMPLIMIENTO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		
<p>1. OBJETO</p> <p>Describir los pasos para evaluar el cumplimiento del plan de mantenimiento preventivo de los equipos</p>		
<p>2. SIGLAS Y DEFINICIONES N/A</p> <ul style="list-style-type: none"> • Limpieza: es la eliminación de fuentes de suciedad. • Lubricación: es la acción de emplear un lubricante en piezas mecánicas para reducir el rozamiento entre las mismas. 		
<p>3. ASPECTOS BREVES DE SALUD OCUPACIONAL</p> <ul style="list-style-type: none"> • Peligros asociados a la tarea <ul style="list-style-type: none"> - Ergonómico - Físico - Eléctrico • Equipo de protección personal (EPP) Debe usar en todo momento: <ul style="list-style-type: none"> - Casco - Lentes - Tapones auditivos - Calzado industrial 		
<p>4. CONDICIONES GENERALES N/A</p>		
<p>5. DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO</p> <p>5.1 Equipo y máquinas herramientas:</p>		
<p>Elaborado por: Ejercicio Profesional Supervisado</p>	<p>Revisado por: jefe de mantenimiento</p>	<p>Aprobado por: gerente de fábrica</p>

Continuación de la tabla VII.

PROCEDIMIENTO DE CUMPLIMIENTO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		
5.2. Actividades:		
Para llevar a cabo el mantenimiento preventivo de los equipos hay que tener en cuenta los siguientes pasos:		
<ul style="list-style-type: none">a) Analizar el plan de mantenimiento preventivo de la máquinab) Verificar que mantenimiento según programa le toca a la máquina; el mantenimiento puede ser diario, semanal, quincenal o mensual.c) Efectuar mantenimiento preventivo según el plan.d) Realizar efectuar limpieza y lubricación de la máquina.e) Evaluar si alguna pieza está fuera de operación normal de la máquina.f) Reportar cualquier mantenimiento correctivo que necesite la máquina.g) Registrar el mantenimiento realizado a la máquina en hoja de vida.		
Para evaluar el cumplimiento del plan del mantenimiento preventivo, seguir los siguientes pasos:		
<ul style="list-style-type: none">a) Tomar quincenalmente el registro de evaluación del mantenimiento preventivo.b) Seleccionar máquina a evaluar.c) Analizar y calificar el mantenimiento preventivo, considerando limpieza y lubricación.d) Reportar evaluación del mantenimiento preventivo.e) Analizar tendencia de cumplimiento del mantenimiento preventivo y en función de eso realizar planes de acción si fuese necesario.		
5.3 Riesgos asociados a la tarea:		
<ul style="list-style-type: none">• Ergonómicos: La creación de solicitudes de trabajo por ser un trabajo administrativo hay que tener en cuenta de mantener una postura correcta.• Físicos: Sí se bloquea y etiqueta la máquina se está expuesto a atrapamiento de piezas móviles.• Eléctrico: Sí existe algún mal contacto en el equipo se puede sufrir de electrocución.		
4. ÚLTIMOS CAMBIOS REALIZADOS N/A		
5. DOCUMENTOS RELACIONADOS		
<ul style="list-style-type: none">a) Plan de mantenimiento preventivo.b) Hoja de vida equiposc)		
6. ANEXOS N/A		
Elaborado por: Ejercicio Profesional Supervisado	Revisado por: jefe de mantenimiento	Aprobado por: gerente de fábrica

Fuente: elaboración propia.

3.2. Alimentación al plan de mantenimiento

La alimentación al plan de mantenimiento se realiza con el aporte de los técnicos, los equipos en su mayoría poseen detalle de funcionalidad y características de la vida útil según la operatividad del equipo.

Se realiza una ficha de datos, en la cual se colocan las características principales del equipo y el diagnóstico de los componentes del mismo, en esta se detalla la fecha en la que se realizó la evaluación, posteriormente al presentar algún inconveniente o bien cuando se programa el siguiente mantenimiento con esta ficha se hacen las revisiones y actualizaciones correspondientes, esto permitirá obtener información con la que se generarán parámetros que serán útiles para prevenir paros del equipo no programados, y de esta forma será posible programar los cambios correspondientes a los componentes del equipo.

Tabla VIII. **Ficha de datos**

Técnico:	DIAGNÓSTICO DEL ESTADO DEL EQUIPO	Fecha:
Equipo	Componente	Diagnóstico

Fuente: elaboración propia.

Posteriormente será posible crear las guías de referencia para solución de los inconvenientes en los equipos. Con estas guías se podrá ser más preciso en la realización del diagnóstico del mismo.

Tabla IX. Resolución general de problemas de la bomba

Resolución de problemas de la bomba		
PROBLEMA	CAUSA PROBABLE	SOLUCIÓN
No se entrega líquido o flujo intermitente	La bomba no está cebada o perdió la cebada, el nivel de líquido no llena el codo por completo	Llene el sistema de la tubería por completo para que el impulsor esté sumergido
	Entrada de succión tapada	Retire obstrucciones de la entrada de succión
	Impulsor trabado con material externo	Limpe manualmente el impulsor o ponga descarga en reversa a la bomba
	Válvula de succión y/o descarga cerrada o tapada	Abra las válvulas para retirar condición de apagado
	Sentido de rotación incorrecto	Cambie la rotación para que coincida con la dirección indicada por la flecha en el encofrado del cojinete
	Tubería de succión incorrecta	Cambie o modifique la tubería de succión
	NPSH disponible insuficiente	Incremente el nivel de líquido o baje la bomba
	Fuga de aire en la línea de succión	Pruebe la tubería de succión buscando pérdidas
	Velocidad (rpm) muy baja	Nuevo motor o caja de cambios para obtener mayor velocidad de bomba
Exceso de aire atrapado en líquido	Instale ventilador en tubería o elimine la fuente de aire	
La bomba no alcanza el flujo o la presión nominal	Impulsor parcialmente tapado	Limpe manualmente el impulsor o ponga descarga en reversa a la bomba
	Cabezal de succión insuficiente	Llene el sistema de tuberías para que el nivel de líquido se encuentre sobre la línea central del impulsor de bomba
	La bomba no está cebada o perdió la cebada, la bomba no llena el codo por completo	Llene el sistema de la tubería por completo para que el impulsor esté sumergido
	Válvula de succión y/o descarga cerrada o tapada	Abra las válvulas para retirar condición de parcialmente bloqueado
	Tubería de succión incorrecta	Cambie o modifique la tubería de succión
	Excesivo aire atrapado en líquido	Instale ventilador en tubería o elimine la fuente de aire
	Velocidad (rpm) muy baja	Nuevo motor o caja de cambios para obtener mayor velocidad de bomba
	Rotación incorrecta	Compruebe el cableado del motor
	Impulsor incorrecto o diámetro del impulsor incorrecto	Compruebe los ángulos del álave y/o las distancias del impulsor
	El cabezal del sistema es demasiado alto.	Compruebe los cálculos de curva del sistema, reduzca la resistencia del sistema
Los instrumentos entregan mediciones erróneas	Compruebe y calibre los instrumentos, cambie si es necesario	
Impulsor roto o desgastado, álaves doblados	Inspeccione y reemplace si es necesario	
Bomba ensamblada incorrectamente	Compare el ensamble de la bomba con el manual de instrucción	
El desgaste de las partes húmedas internas es acelerado	NPSH disponible insuficiente	Incremente el nivel de líquido o baje la bomba
	Químicos en líquido diferentes al especificado	Analice bombeo y corrija o cambie los materiales húmedos de la bomba para adecuarse a la composición del bombeo
	Bomba ensamblada incorrectamente	Compare el ensamble de la bomba con el manual de instrucción
	Concentración de sólidos más alta que la especificada	Analice bombeo y corrija o cambie los materiales húmedos de la bomba para adecuarse a la composición más dura
Fuga excesiva de la caja de empaquetadura	Prensaestopa de embalaje mal ajustada	Ajuste las tuercas
	Caja de empaquetadura mal embalada	Compruebe el embalaje y rehaga
	Partes de sello mecánico desgastadas	Cambie las partes desgastadas
	Sobrecalentamiento del sello mecánico	Compruebe la lubricación y las líneas de refrigeración
	Ranuras en la manga del eje	Maquine nuevamente o cambie según sea necesario
El embalaje tiene poca vida útil	Punto de diseño de desgaste de la bomba	Compruebe el cabezal y el flujo, las AF deben funcionar a <75% BEP > 115%
	Eje/manga del eje desgastado	Cambie el eje o la manga si es necesario
	Prensaestopa de embalaje mal ajustada	Cambie el embalaje y vuelva a ajustar la prensaestopa como se especifica en el manual de operación
	Embalaje mal instalado	Compruebe el cabezal y el flujo, las AF deben funcionar a <75% BEP > 115%
Bomba mal ensamblada	Compare el ensamble de la bomba con el manual de instrucción	

Continuación de la tabla IX.

Resolución de problemas de la bomba (cont.)		
PROBLEMA	CAUSA PROBABLE	SOLUCIÓN
Los cojinetes están calientes o fallan regularmente	Nivel del lubricante	Asegúrese de que el nivel esté en la línea central del visor de vidrio
	Lubricante inadecuado	Compruebe si es el adecuado
	No hay lubricación suficiente	Incrementa la frecuencia de la lubricación de grasa
	Álaves del impulsor rotos o doblados	Compruebe las dimensiones del impulsor y la disposición del álave
	Desalineamiento del eje excesivo	Compruebe el desgaste del eje y consulte a la fábrica
	Refrigeración de lubricante inadecuada	Compruebe la temperatura de bombeo y agregue aceite al sistema de refrigeración si es necesario
	Carga de empuje axial o radial superior a la tasa del cojinete	Calcule la vida del cojinete para marca y modelo
	Lubricación de acople incorrecta	Compruebe el cronograma de lubricación de acople en la instalación del fabricante, operación, mantenimiento manual
	Acople desbalanceado	Compruebe la bomba y los niveles de vibración del componente de motor, vuelva a balancear el acople si es necesario
	Presión de succión muy alta	Compruebe los niveles de líquido y la presión de succión estática
	Cojinete mal instalado	Compruebe la orientación del cojinete al plano de sección
	Impulsor desbalanceado	Compruebe vibraciones de la bomba y vuelva a balancear el impulsor si es necesario
	Deflexión del eje excesiva	Compruebe el diámetro del eje, deflexión y pandeo, consulte a la fábrica
	Punto de diseño de desgaste de la bomba	Llene el sistema de la tubería por completo para que el impulsor esté sumergido
	La bomba hace ruido o vibra a niveles superiores al normal	Contaminación del lubricante
Tubería mal anclada		Compruebe si el esfuerzo excesivo en el tubo se transfiere a las bridas de la bomba
Motor y/o bomba no asegurado a la sub base		Compruebe ajustadores; si están flojos, compruebe alineación y vuelva a ajustar
Gravedad específica mayor a la especificada		Analice el bombeo y compare a la gravedad especificada
La viscosidad es superior a la especificada		Analice el bombeo y compare a la viscosidad especificada
Bomba ensamblada incorrectamente		Compare el ensamble de la bomba con el manual de instrucción
Impulsor parcialmente tapado que causa desbalanceo		Limpe manualmente el impulsor o ponga descarga en reversa a la bomba
Eje o impulsor roto o doblado		Reemplace según sea necesario
Cimiento de la bomba no rígido o sub base no asegurada completamente		Ajuste los pernos de sujeción en la sub base. Compruebe la rigidez de los cimientos
Impulsor desbalanceado		Compruebe el balance del impulsor
Motor no seguro		Compruebe los ajustes del motor
Lubricación de acople incorrecta		Compruebe el cronograma de lubricación de acople en la instalación del fabricante, operación, mantenimiento manual
Cojinete mal instalado		Compruebe la orientación del cojinete al plano de sección
Acople desbalanceado		Compruebe la bomba y los niveles de vibración del componente de motor, vuelva a balancear el acople si es necesario
Bomba opera a velocidad muy cercana a la frecuencia natural del sistema		Cambie la velocidad a +/- 20% de la frecuencia natural de la bomba
Alta tasa de falla de sello mecánico	Impulsor parcialmente tapado	Limpe manualmente el impulsor o ponga descarga en reversa a la bomba
	Espacios del impulsor muy ajustados	Compruebe los espacios del impulsor y ajuste si es necesario
	Bomba ensamblada incorrectamente	Compare el ensamble de la bomba con el manual de instrucción
	Punto de diseño de desgaste de la bomba	Compruebe el cabezal y el flujo, las AF deben funcionar a -75% BEP ~ 115%
	Deflexión del eje excesiva	Compruebe el diámetro del eje, deflexión y pandeo, consulte a la fábrica
	Cojinetes gastados	Cambie
	Tubería de succión o descarga no anclada o mal soportada	Anclé según las Normas del Instituto Hidráulico
	Válvula de succión y/o descarga cerrada o tapada	Abra las válvulas para retirar condición de parcialmente bloqueado
	Desalineamiento del eje excesivo	Compruebe el desgaste del eje y consulte a la fábrica
	Bomba ensamblada incorrectamente	Compare el ensamble de la bomba con el manual de instrucción
	La bomba está cavitando, no hay NPSH suficiente	Problema de sistema, incremente el nivel de líquido o baje la bomba
	NPSH disponible insuficiente	Incrementa el nivel de líquido o baje la bomba
	Desalineamiento del eje excesivo	Compruebe el desgaste del eje y consulte a la fábrica
	Presión de succión muy alta	Compruebe los niveles de líquido y la presión de succión estática
	Cojinete mal instalado	Compruebe la orientación del cojinete al plano de sección
Alta tasa de falla de sello mecánico	Impulsor desbalanceado	Compruebe vibraciones de la bomba y vuelva a balancear el impulsor si es necesario
	Sobrecalentamiento de caras de sello	Compruebe el flujo de salida con las recomendaciones de mfg; si es necesario, incremente
	Deflexión del eje excesiva	Compruebe el diámetro del eje, deflexión y pandeo, consulte a la fábrica
	Falta de sello de salida a caras de sello	Compruebe el diámetro del eje, deflexión y pandeo, consulte a la fábrica
	Instalación del sello incorrecta	Compruebe materiales del sello con el bombeo para determinar la compatibilidad
	La bomba está seca	Llene el sistema de la tubería por completo para que el impulsor esté sumergido
	Punto de diseño de desgaste de la bomba	Llene el sistema de la tubería por completo para que el impulsor esté sumergido
	Eje/manga del eje desgastado	Cambie el eje o la manga si es necesario
	Acople desbalanceado	Compruebe la bomba y los niveles de vibración del componente de motor, vuelva a balancear el acople si es necesario
	Sub base no instalada correctamente	Compare la instalación de la sub base de la bomba con el manual de instrucción
	Falla de cojinete	Reemplace si es necesario
	Tubería mal anclada	Compruebe si el esfuerzo excesivo en el tubo se transfiere a las bridas de la bomba

Fuente: elaboración propia.

3.3. Seguimiento al plan de mantenimiento

Es peligroso ignorar las señales de alerta. Si se observa síntomas de enfermedad por estrés en un operador debe tomar acciones preventivas. De otra manera podría terminar en el hospital. Usted debe de utilizar el mismo tipo de sentido común en el cuidado de los sistemas hidráulicos.

Sobrecalentamiento, pérdida de productividad y resultados anormales del análisis de fluidos, son síntomas de que existe un problema. Si no toma acciones preventivas, los componentes hidráulicos podrían terminar en el hospital, ocasionando tiempos muertos innecesarios.

Las bombas son las piezas más importantes en un sistema hidráulico y la contaminación es una gran amenaza. La base de la bomba del pistón, por ejemplo, puede ser dañada hasta por la más pequeña partícula y la acumulación residual de contaminantes puede causar una falla de válvulas.

La contaminación cuesta dinero a través de reparaciones o en pérdida de productividad. Tenga siempre en mente que su operador no alcanza a percatarse que se reduce la efectividad hidráulica hasta que alcance el 20 % de pérdida.

Se pueden realizar menos reparaciones de bombas dando un buen mantenimiento preventivo. Este puede alcanzar el mayor impacto en la duración de las bombas sólo enfocando esfuerzos en las siguientes áreas:

- Calidad de los aditivos de aceite
 - Los agentes antidesgaste presentes en el aditivo del aceite deben contener un mínimo de 900 partes por millón (ppm) de zinc.

- Los emulsores dispersan pequeñas cantidades de agua en el aceite para minimizar el daño en los componentes.
- Agentes antiespumantes previenen la formación de burbujas reduciendo la tensión de superficie del aceite.
- Los antioxidantes previenen altas temperaturas, la formación de lodo y de ácidos corrosivos.
- Detergentes, dispersores mantienen los componentes libres de depósitos y contaminantes.

- Técnica de operación
 - Inspección visual: diariamente revisar fugas.

- Mantenimiento
 - Filtros de alta eficiencia: utilícelos después de cualquier reparación por un máximo de 250 horas; después regrese al uso de filtros estándar.
 - Servicio de emergencia.: un programa de muestras de fluidos monitorea temporalmente el desgaste de los componentes y la condición del aceite, detectando tempranamente cualquier incremento de contaminantes.
 - Contador de partículas: el análisis de nivel de desgaste solamente habla acerca del tipo de contaminante. El contador de partículas examina la cantidad y el tamaño de las partículas de metal, elementos plásticos o sintéticos.

- Control de contaminación
 - Los niveles de limpieza de operación del sistema hidráulico deben de ser ISO 18/15 ó mejores.

- Utilice la filtración del aceite con sistema de riñón si no cumple con el ISO 18/15.
- Revisar los sellos limpiadores y las mangueras para eliminar fugas y reducir la entrada de contaminación.

3.4. Historiales de operación y funcionamiento

Es parte elemental de la hoja de vida del equipo, en ella se detallan los componentes cambiados, consumo de aceite por nivelación o modificaciones realizadas en una fecha específica, esto se puede utilizar para verificar el tiempo de vida útil de componente cambiado y en determinado momento será posible calcular la periodicidad de compra del mismo. Las partes fundamentales del historial son:

- Fecha: es el día/mes/año que se llevó a cabo la modificación o cambio de algún repuesto.
- Descripción del mantenimiento: debe detallar de manera explícita lo que se le hizo a la máquina, para que en un futuro se pueda saber qué es lo que se le ha hecho al equipo.
- Avería: es la descripción de la falla encontrada o la forma en que se presente la avería.
- Repuesto: son las partes necesarias a cambiar para garantizar el óptimo funcionamiento de la máquina.
- Responsable: es el colaborador que llevó a cabo la reparación.

El historial de mantenimiento se debe llevar a cabo siempre que se realice un cambio de algún componente, nivelación de aceite o modificaciones realizadas al mismo.

Estado de maquinaria y equipo

Los equipos sufren desgaste y desajustes a lo largo del tiempo de uso, por lo tanto es importante registrarlas condiciones no normales de operación de los equipos. Esto permitirá, con el tiempo, tomar una decisión de los equipos que estén más deteriorados y justificar su reemplazo, haciendo un análisis de costo beneficio de reparación o compra de un equipo nuevo.

Cada máquina cuenta, como parte de su hoja de vida, con un cuadro de observaciones sobre su estado.

3.5. Capacitación al personal

Se propone que todo el personal de operaciones sea capacitado y certificado en capacitación de aptitud profesional (CAP), con orientación a mecánico de máquinas-herramientas o soldador, según sea la necesidad.

Se propone hacer una redistribución de las categorías del personal operativo, esto con el fin de que el plan de carrera de los colaboradores sea más claro. También se incluyen dos ayudantes que apoyarían en realizar las actividades que no agreguen valor a las piezas, considerando que tengan el CAP para que puedan optar a una plaza de mecánico. Por lo que se define a continuación la inducción del personal al procedimiento de mantenimiento preventivo

El objetivo principal de esta inducción es darle a conocer a los supervisores y colaboradores el procedimiento de mantenimiento preventivo, su aplicación en las máquinas y su gran importancia e impacto a generar en el taller de máquinas-herramientas.

Para cumplir con el objetivo de la inducción, se debe cumplir con los siguientes objetivos específicos y estar en la capacidad de aplicarlos en sus labores diarias.

- Conocer que es mantenimiento preventivo.
- Conocer los beneficios de su implementación.
- Conocer la importancia y el gran impacto positivo que genera su correcta aplicación.
- Hacer uso correcto de las hojas de vida de todas las máquinas y equipos.

- Conocer el mantenimiento preventivo correcto de cada una de las máquinas.
- Conocer los costos de implementación del plan de mantenimiento preventivo: están calculados en un periodo de un año, este monto puede parecer algo elevado para las actividades que se ejecutan, pero para determinar esos montos se tomaron en cuenta los siguientes factores:
 - Mano de obra: el tiempo diario ejecutado por los colaboradores tomando como referencia el promedio del costo de la hora de trabajo.
 - Insumos: el costo del renglón unitario, aplicando el costo registrado en bodega de cada material.

El monto puede parecer elevado, pero no se compara con los costos ocultos de la disponibilidad de los equipos o la baja calidad de los trabajos por el desgaste y desajuste de las máquinas, y tomando en cuenta que el costo de los repuestos de los equipos, por sus características de especificación y precisión, son bastante elevados.

El diagnóstico de necesidades de capacitación (DNC) es el factor que orienta la estructuración y desarrollo de planes y programas para el abastecimiento y fortalecimiento de conocimientos, habilidades o actitudes de los colaboradores en una organización, a fin de contribuir en el logro de los objetivos de esta.

Tabla XII. Instrumento de evaluación

EVALUACIÓN DIAGNÓSTICA DE NECESIDADES DE CAPACITACIÓN	
NOMBRE DEL COLABORADOR	ÁREA
NIVEL ACADÉMICO	PUESTO
NOMBRE DEL JEFE INMEDIATO	ANTIGÜEDAD EN LA EMPRESA
<p>Instrucciones:</p> <p>1) Lea detenidamente cada una de las funciones que describen la función que usted realiza en mantenimiento y escriba el nivel de conocimiento (NC) que usted considera que posee sobre las mismas con base en las siguientes categorías:</p> <p style="padding-left: 40px;">No puede ejecutar</p> <p>1- la tarea</p> <p style="padding-left: 40px;">Necesita ayuda de sus</p> <p>2- compañeros y supervisión</p> <p style="padding-left: 40px;">Puede realizar la tarea sin ayuda pero</p> <p>3- necesita supervisión</p> <p style="padding-left: 40px;">Realiza la tarea de acuerdo a procedimientos establecidos y</p> <p>4- especificaciones técnicas</p> <p style="padding-left: 40px;">Realiza la tarea requerida y puede</p> <p>5- capacitar a otros</p> <p>2) Establezca el nivel de importancia (NI), que considere usted que tiene cada tema, de acuerdo a las siguientes categorías:</p> <p style="padding-left: 40px;">Es importante pero no tiene efectos sobre</p> <p>1- el trabajo de otros</p> <p style="padding-left: 40px;">Es importante en mi área de</p> <p>2- trabajo y de otros</p> <p style="padding-left: 40px;">Es importante para la</p> <p>3- organización</p>	

Continuación de la tabla XII.

Núm.	Tarea	Criterio de realización	NI	NC				
				1	2	3	4	5
1	LUBRICACIÓN	Requiere el conocimiento de los diferentes tipos de lubricantes y grasas, equipos de lubricación, técnicas de aplicación y sus características físicas y mecánicas.		1	2	3	4	5
2	POLEAS Y CORREAS EN "V"	Requiere saber cómo clasificar correas según forma y norma, calcular la longitud de las correas, conocer el proceso de montaje y aleación e identificar causas comunes de averías.		1	2	3	4	5
3	COJINETES Y CHUMACERAS	Requiere clasificación de rodamientos, calcular árboles de transmisión, conocer los diferentes tipos de montaje y determinar las condiciones normales de operación.		1	2	3	4	5
4	REDUCTORES DE VELOCIDAD	Requiere de conocimiento de cómo clasificar los reductores para una correcta aplicación y conocer los componentes que lo conforman.		1	2	3	4	5
5	BOMBAS CENTRIFUGAS	Requiere identificar partes y características de una bomba centrífuga, clasificar las bombas, instalar y alinear una bomba, y darle mantenimiento a una bomba centrífuga.		1	2	3	4	5
6	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	Requiere conocer que es mantenimiento preventivo y los beneficios de su implementación, también la correcta aplicación dentro de su área de trabajo.		1	2	3	4	5
7	RUEDAS DENTADAS PARA CADENAS	Requiere el conocimiento para clasificar cadenas, calcular la longitud, explicar el mantenimiento y sistemas de lubricación y seleccionar piñones para cadenas.		1	2	3	4	5
OBSERVACIONES:								
<hr style="width: 30%; margin: auto;"/> FIRMA DE ENTREGADO								

Fuente: elaboración propia.

Para determinar las necesidades de capacitación se realizó la siguiente matriz, en la cual se relaciona, el nivel de conocimientos con el nivel de importancia. La intersección de estos puntos indica el nivel de competencia del colaborador para determinar si es necesaria la capacitación.

Figura 12. **Matriz de evaluación de necesidades de capacitación**

		NIVEL DE IMPORTANCIA		
		1	2	3
NIVEL DE CONOCIMIENTO	1	Es importante pero no tiene efectos sobre el trabajo de otros No puede ejecutar la tarea	Es importante en mi área de trabajo y de otros No puede ejecutar la tarea	Es importante para la organización No puede ejecutar la tarea
	2	Es importante pero no tiene efectos sobre el trabajo de otros Necesita ayuda de sus compañeros y supervisión	Es importante en mi área de trabajo y de otros Necesita ayuda de sus compañeros y supervisión	Es importante para la organización Necesita ayuda de sus compañeros y supervisión
	3	Es importante pero no tiene efectos sobre el trabajo de otros Puede realizar la tarea sin ayuda pero con supervisión	Es importante en mi área de trabajo y de otros Puede realizar la tarea sin ayuda pero con supervisión	Es importante para la organización Puede realizar la tarea sin ayuda pero con supervisión
	4	Es importante pero no tiene efectos sobre el trabajo de otros Realiza la tarea de acuerdo a procedimientos establecidos y especificaciones técnicas	Es importante en mi área de trabajo y de otros Realiza la tarea de acuerdo a procedimientos establecidos y especificaciones técnicas	Es importante para la organización Realiza la tarea de acuerdo a procedimientos establecidos y especificaciones técnicas
	5	Es importante pero no tiene efectos sobre el trabajo de otros Realiza la tarea requerida y puede capacitar a otros	Es importante en mi área de trabajo y de otros Realiza la tarea requerida y puede capacitar a otros	Es importante para la organización Realiza la tarea requerida y puede capacitar a otros

Fuente: elaboración propia.

El color rojo indica que es importante la capacitación teórica y práctica, el color amarillo indica que es importante reforzar los conocimientos generales del colaborador y el color verde indica que el colaborador está capacitado sobre el tema evaluado.

Con base en las evaluaciones realizadas se diagnosticaron los temas más importantes a capacitar:

- Mantenimiento preventivo: se realizará completa la capacitación
- Bombas centrífugas: se hará el plan propuesto

Plan de capacitación

A partir de identificar los temas de capacitación, se elaboró un plan para cada uno de los mismos, definiendo el objetivo general y objetivos específicos, el programa de la capacitación que comprende el contenido del curso dividido en módulos teórico-prácticos, la metodología a emplear para el desarrollo de la misma, la programación, personal al que va dirigida, observaciones dirigidas al instructor y el costo total por capacitación.

Además se realizó una evaluación con la finalidad de poder evaluar cada una de las capacitaciones.

Tabla XIII. **Plan de capacitación**

No.	TEMA	OBJETIVO	GRUPOS	TIEMPO
1	Bombas centrífugas	Reforzar conocimientos de instalación y mantenimiento de bombas centrífugas.	5 grupos	2 horas por grupo
2	Mantenimiento preventivo	Conocer principios de mantenimiento preventivo y su metodología de implementación.	5 grupos	2 horas por grupo

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presentan las propuestas de capacitación.

Tema 1: bombas centrífugas

- Objetivo general: reforzar el conocimiento básico de bombas centrífugas; sus partes, funcionamiento y mantenimiento.
- Objetivos específicos:
 - Identificar las partes y características de una bomba centrífuga
 - Clasificar las bombas centrífugas.
 - Instalar y alinear una bomba centrífuga.
 - Operar y mantener una bomba centrífuga.
- Programa de capacitación: el programa de capacitación está integrado por todos los aspectos que se deben llevar a cabo en la capacitación para que de forma integral se cumplan los objetivos específicos planteados.
- Contenido del curso de bombas centrífugas: está enfocado en cubrir los conocimientos básicos de bombas centrífugas de tal manera que sea fácil conocer, comprender y aplicar los conceptos en las labores diarias.

Módulo 1, teórico

- Partes y características de la bomba centrífuga.
 - ✓ Bomba centrifuga
 - ✓ Principio de funcionamiento
 - ✓ Partes que la conforman y sus características.
 - ❖ Impulsor
 - ❖ Carcaza
 - ❖ Ejes
 - ❖ Anillos de desgaste

- ❖ Estoperos, empaques, prensa estopas.
- ❖ Sellos mecánicos
- Clasificación de las bombas centrífugas.
 - ✓ Según tipo de material que están construidas
 - ✓ Según el tipo de succión
 - ✓ Según dirección del flujo

Módulo 2, teórico

- Instalación y alineación de las bombas centrífugas
 - ✓ Principios de instalación
 - ✓ Alineación
 - ✓ Desalineamiento angular
 - ✓ Alineamiento vertical
 - ✓ Alineamiento horizontal
 - Conexiones de tubería
 - ✓ Tubería de descarga
 - ✓ Tubería de succión
 - ✓ Sentido de rotación
 - Operación y mantenimiento de las bombas centrífugas
 - ✓ Procedimiento de arranque de la bomba
 - ✓ Procedimiento de parada de la bomba
 - ✓ Mantenimiento de las bombas centrífugas
 - ❖ Alineación
 - ❖ Empaquetaduras
 - ❖ Algunas causas de falla
- Metodología: el contenido se divide en cuatro temas principales, los cuales tienen como fin cubrir cada uno de los objetivos específicos. El primer módulo tiene como objetivo reforzar los conceptos

generales de las bombas centrífugas, al finalizar se realizará la evaluación.

El segundo módulo se llevará a cabo de forma teórica con el objetivo de especificar el mantenimiento y la correcta operación de las bombas centrífugas, al finalizar se realizará la evaluación.

- Programación de la capacitación: la programación de los módulos se llevó a cabo de tal manera que cada grupo recibiera uno diariamente por dos días consecutivos.

- Instructor: se recomienda que el instructor sea alguien capaz de comunicarse con claridad, conocer el tema y los objetivos a alcanzar, y tenga la capacidad para motivar al grupo y mantener su interés durante la capacitación.
Para esta capacitación se está tomando en consideración que alguien interno llene los requisitos para impartirlo.

- Evaluación de bombas centrífugas: a continuación se encuentra una batería de preguntas donde debe de subrayar la respuesta que considere correcta:

Tabla XIV. Evaluación de bombas centrífugas

		EVALUACIÓN	Nota:
		Bombas centrífugas	
<p>A continuación se encuentra una serie de enunciados, coloque F (falso) o v (verdadero) según corresponda:</p>			
1.	El rotor de una bomba está constituido por un árbol de transmisión y un impulsor.	(V)	
2.	El impulsor es el corazón de la bomba centrífuga, recibe el líquido y le imparte una velocidad.	(V)	
3.	Un impulsor de doble succión se utiliza para transportar medianas cantidades de líquidos.	(F)	
4.	El impulsor tipo axial es apropiado para impulsar líquidos limpios sin sólidos en suspensión.	(F)	
5.	La conversión de velocidad por presión se debe a la vuelta construida en la carcasa.	(V)	
6.	Las bombas centrífugas de varios pasos tienen la carcasa del tipo difusor.	(V)	
7.	Las carcasas se construyen en su mayoría de hierro fundido.	(V)	
8.	Los anillos de desgaste tienen como objetivo principal el de facilitar el movimiento entre el impulsor y la carcasa.	(F)	
9.	Un sello mecánico asegura una lubricación óptima en la zona de sello, debido al goteo pequeño y uniforme que debe formar.	(F)	
<p>A continuación se encuentra una serie de preguntas donde debe de subrayar la respuesta que considere correcta:</p>			
<p>10. Las bombas centrífugas se clasifican así:</p>			
<p>a. Según el tipo de succión</p>			
<p>b. Según el líquido a impulsar</p>			
<p>c. Según el tiempo de operación</p>			
<p><u>d. Según la dirección del flujo</u></p>			
<p>e. a. y d. son correctas</p>			
<p>f. b. y c. son correctas</p>			
<p>11. En la actualidad se encuentran bombas centrífugas construidas en:</p>			
<p>b. Acero inoxidable</p>			
<p>c. Bronce</p>			
<p>d. Aluminio</p>			
<p>e. a. y d. son correctas</p>			
<p><u>f. b. y c. son correctas</u></p>			
<p>12. Los factores de servicio que afectan principalmente la selección del material son:</p>			
<p>a. Capacidad</p>			
<p>b. Abrasión de los sólidos en suspensión</p>			
<p>c. Temperatura de bombeo</p>			
<p>d. Altura de succión</p>			
<p>e. a. y d. son correctas</p>			
<p><u>f. b. y c. son correctas</u></p>			
<p>13. Teniendo en cuenta el sentido del flujo, las bombas centrífugas se clasifican en bombas de:</p>			
<p>a. Doble succión</p>			
<p>b. Succión horizontal</p>			
<p>c. Succión múltiple</p>			
<p>d. Succión a presión</p>			
<p><u>e. a. y d. son correctas</u></p>			
<p>f. b. y c. son correctas</p>			

Continuación de la tabla XIV.

	EVALUACIÓN	Nota:
	Bombas centrífugas	
14. La instalación de la bomba respecto a la fuente de suministro del líquido debe ser:	a. Lo más retirado posible b. Lo que indique el fabricante c. Lo más cerca posible	
15. Entre la cara superior del bloque de cimentación y la cara inferior de la base de la bomba se deja un espacio de:	a. 50 mm b. 35 mm c. 30 mm d. 25 mm	
16. Des-alineamiento angular en la unidad de bombeo se refiere a que las caras del acoplamiento no están:	a. Paralelas b. Con el ángulo recomendado c. Verticales d. Unidas	
17. Mirando la unidad de bombeo por la parte superior se observa que las llantas del acoplamiento no están a ras, esto se conoce como delineamiento:	a. Angular b. Vertical c. Horizontal d. Mixto	
18. En la línea de descarga muy cerca de la salida de la bomba para protección de esta se instalan dos válvulas del tipo:	a. Reguladoras de presión b. Compuerta y retención c. Globo y compuerta d. Seguridad y globo	- - -
19. Antes de hacer funcionar la bomba hay que asegurarse que la tubería de succión y la carcasa estén completamente vacías.		(F)
20. La unidad de bombeo puede funcionar con un des-alineamiento máximo de 3/1000 pulgadas.		(V)
21. El eje que forma parte del rotor de la bomba no debe tener excentricidad mayor de 10/1000 pulgadas.		(F)
22. Las uniones de los anillos que conforman la empaquetadura deben ubicarse a 90° si son más de 4 o más anillos.		(F)
23. El goteo excesivo por el estopero puede controlarse a través de la prensa estopas.		(V)
24. El calentamiento y otras fallas de la empaquetadura se debe a un apriete muy fuerte del prensa estopas.		(V)
25. Cuando una bomba no da rendimiento pleno es causado por el giro en sentido contrario del impelente.		(F)
26. Si la bomba no suministra agua, una causa puede ser que el agua está caliente.		(F)
27. La bomba no desarrolla la presión suficiente debido a que los anillos de desgaste se han gastado.		(V)
28. La bomba trabaja bien por un tiempo, luego pierde succión debido a que la altura de succión pasa de 2 m.		(F)

Fuente: elaboración propia.

- Presupuesto de la capacitación: el presupuesto está formado por los factores que representan un costo para la capacitación. En esta oportunidad se tomó como referencia el tiempo laboral que los colaboradores tomarán para participar en la capacitación, con el costo promedio por hora que gana cada colaborador, también se consideró que el instructor será interno y la cantidad de horas que dedicará a capacitar.

Tabla XV. **Presupuesto de la capacitación**

PRESUPUESTO			
Participantes			
Colaboradores	Costo prom hora	Hr_Capacitación	Costo_MO
9	Q 15,43	2	Q 277,74
Instructor	Q 300,00	10	Q 3 000,00
COSTO TOTAL			Q 3277,74
Costo unitario/capacitación			Q 374,20

Fuente: elaboración propia.

- El costo unitario de capacitación por persona para la empresa es de Q 374,20 está basado en el tiempo que lo colaboradores dejarán de producir o estarán fuera de sus puestos de trabajo.

Tema 4: mantenimiento preventivo

- Objetivo general: conocer el concepto de mantenimiento preventivo y su aplicación en los equipos.
- Objetivos específicos

Conocer que es mantenimiento preventivo y los beneficios de su implementación.

Conocer la utilización de la hoja de vida y del mantenimiento preventivo de las máquinas.

- Programa de capacitación: el programa de capacitación está integrado por todos los aspectos que se deben llevar a cabo en la capacitación, para que de forma integral se cumplan los objetivos específicos planteados.
- Contenido del curso de mantenimiento preventivo: el contenido del curso está enfocado en dar a conocer las aplicaciones y beneficios del mantenimiento preventivo, como también las herramientas de control del mantenimiento e historial de cada una de las máquinas, con el fin de disminuir el desgaste y aumentar la vida útil de las máquinas.

Módulo 1 (teórico)

- Mantenimiento y sus tipos
 - ✓ Industrial
 - ✓ Predictivo
 - ✓ Correctivo
 - ✓ Preventivo
 - ❖ Ventajas del mantenimiento preventivo

Módulo 2 (teórico-práctico)

- Hoja de vida y mantenimiento preventivo de las máquinas.
 - ✓ Ficha técnica
 - ✓ Programa de mantenimiento preventivo
 - ✓ Plan de mantenimiento preventivo
 - ✓ Historial de maquinaria

- Metodología: el contenido se divide en dos módulos, los cuales tienen como fin cubrir cada uno de los objetivos específicos. El primer módulo tiene como objetivo conocer que es el mantenimiento industrial, sus tipos y las ventajas de aplicar el mantenimiento preventivo. El segundo módulo se llevará a cabo tipo taller con el objetivo de explicar cada parte de la hoja de vida y del mantenimiento preventivo de los equipos.
- Programa de capacitación a programación de los módulos se llevó a cabo de tal manera que cada grupo recibiera un módulo diariamente por dos días consecutivos.
- La programación anterior tiene como objetivo hacer grupos de técnicos con el fin de distribuir las capacitaciones de tal manera de no descuidar la operación.
- Instructor: se recomienda que el instructor sea alguien capaz de comunicarse con claridad, conocer el tema y los objetivos a alcanzar, y tenga la capacidad para motivar al grupo y mantener su interés durante la capacitación. Para esta capacitación se está tomando en consideración que alguien interno tenga los conocimientos para impartirlo.
- Evaluación de mantenimiento preventivo: a continuación se encuentra una batería de preguntas donde debe de seleccionar la respuesta que considere correcta:

Tabla XVI. Evaluación de mantenimiento preventivo

		EVALUACIÓN	Nota:								
		MANTENIMIENTO PREVENTIVO									
<p>Instrucciones: coloque el número que relacione el concepto con el tipo de mantenimiento</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Número</th> <th>Tipo de mantenimiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Mantenimiento Preventivo</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Mantenimiento Correctivo</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Mantenimiento Predictivo</td> </tr> </tbody> </table>				Número	Tipo de mantenimiento	1	Mantenimiento Preventivo	2	Mantenimiento Correctivo	3	Mantenimiento Predictivo
Número	Tipo de mantenimiento										
1	Mantenimiento Preventivo										
2	Mantenimiento Correctivo										
3	Mantenimiento Predictivo										
Respuesta	Concepto										
<u>2</u>	Mantenimiento realizado cuando la avería ya se ha presentado en la máquina.										
<u>3</u>	Se basa en medir ciertos parámetros de la máquina (vibración, ruido, temperatura, etc.) para programar el mantenimiento antes de que se produzca la falla.										
<u>1</u>	Mantenimiento que consiste en programar las intervenciones con el fin de reducir la probabilidad de avería o pérdida de rendimiento en la máquina.										
<p>Instrucciones: A continuación se presenta un listado de actividades, las cuales tiene que ordenar según la secuencia del procedimiento de mantenimiento preventivo. Debe de colocar en orden de menor a mayor la secuencia de actividades para llevar a cabo el mantenimiento preventivo de las máquinas</p> <p>Ejemplo:</p> <p>. (1) Primera actividad de mantenimiento preventivo</p> <p>. (10) Última actividad de mantenimiento preventivo</p>											
Número	ACTIVIDAD										
<u>3</u>	Verificar las actividades a realizar en el día (pág. 3)										
<u>1</u>	Seleccionar hoja de programación de actividades del mantenimiento preventivo (pág. 3)										
<u>2</u>	Buscar el mes en curso (pág. 3)										
<u>6</u>	Buscar la actividad a realizar por número (pág. 2)										
<u>8</u>	Preparar las herramientas e insumo para realizar la actividad (pág. 2)										
<u>4</u>	Leer el número de la actividad (pág. 3)										
<u>5</u>	Seleccionar la hoja de descripción de mantenimiento preventivo (pág. 2)										
<u>10</u>	Seleccionar la hoja de seguimiento de actividades y chequear la actividad realizada (pág. 3)										
<u>7</u>	Identificar el componente y turno a realizar la actividad (pág. 2)										
<u>9</u>	Hacer mantenimiento (pág. 2)										

Fuente: elaboración propia.

- Presupuesto de la capacitación: está formado por los factores que representan un costo para la capacitación. En esta oportunidad se tomó como referencia el tiempo laboral que los colaboradores

tomarán para participar en la capacitación, con el costo promedio por hora que gana cada colaborador, también se tomó se consideró que el instructor será interno y la cantidad de horas que dedicará a capacitar.

Tabla XVII. **Presupuesto de la capacitación**

PRESUPUESTO			
Participantes			
Colaboradores	Costo prom hora	Hr_Capacitación	Costo_MO
9	Q 15.43	2	Q 277,74
Instructor	Q 400.00	10	Q 4 000,00
COSTO TOTAL			Q 4277,74
costo unitario/capacitación			Q 475,31

Fuente: elaboración propia.

El costo unitario de capacitación por persona es de Q 475,31 que está basado en el tiempo que lo colaboradores dejarán de producir o estarán fuera de sus puestos de trabajo.

Resultados de la capacitación de mantenimiento preventivo

A partir de la evaluación de la capacitación de mantenimiento preventivo se obtuvieron los siguientes resultados, que reflejan el conocimiento aprendido por parte de cada uno de los colaboradores.

Tabla XVIII. **Resultados de evaluación de capacitación de mantenimiento preventivo**

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN			
COLABORADOR	SERIE I (%)	SERIE II (%)	TOTAL (%)
M-t-I	10	70	80
M-t-III	30	42	72
M-t-I	30	70	100
M-t-IV	30	21	51
M-t-IV	30	56	86
M-t-I	30	0	30
M-t-II	30	35	65
M-t-I	30	70	100
M-t-IV	30	49	79
M-t-I	NO ASISTIÓ (Turno de noche)		
M-t-III	NO ASISTIÓ (Turno de noche)		
M-t-I	30	21	51
M-t-I	30	56	86
M-t-II	30	21	51
M-t-III	30	21	51
M-t-III	30	70	100
M-t-III	30	70	100
M-t-I	10	70	80
M-t-III	30	56	86
M-t-I	30	28	58
M-t-III	30	28	58
Promedio	28	45	73

En la columna colaborador se detalla un código, el cual corresponde a cada uno de los colaboradores (operarios o personal administrativo).

Fuente: elaboración propia.

A partir de estos resultados se puede concluir que la mayoría de los colaboradores captó el concepto y la diferencia de cada uno de los diferentes tipos de mantenimiento. Además se puede decir que, por medio de la

capacitación se logró introducir a los colaboradores al uso de los documentos de programación de actividades, descripción de mantenimiento preventivo y seguimiento de actividades.

Costos de la propuesta

En cada una de las propuestas de capacitación, descritas anteriormente, se incluyó el costo unitario de capacitación que está determinado por los factores que representan un costo para la empresa.

Se tomó como referencia el tiempo laboral que los colaboradores tomarán para participar en la capacitación, como hora de la capacitación, con el costo promedio por hora que gana cada colaborador, como costo promedio hora, para poder determinar el costo de mano de obra, como costo mano de obra en función de la cantidad de colaboradores a capacitar y el costo del capacitador interno por hora de capacitación.

El programa total de las cuatro capacitaciones propuestas tiene un costo, para la empresa, de Q 14 920,00, ver desplegado de costos en tabla XVII.

Tabla XIX. **Costo total de capacitaciones propuestas**

Materiales	Cantidad	Costo unitario (Q)	Costo total (Q)
Hojas (resma)	1	60,00	60,00
Pizarrón	1	1 200,00	1 200,00
Marcadores de pizarrón	4	5,00	20,00
Borrador de pizarrón	1	15,00	15,00
Impresiones de evaluación	500	0,25	125,00
Refacción	500	5,00	2 500,00
Instructor lubricación	1	600	2 500,00
Instructor cojinetes y chumaceras	1	400	1 500,00
Instructor bombas centrífugas	1	400	3 000,00
Instructor mantenimiento preventivo	1	400	4 000,00
Costo total de materiales			14 920,00

Fuente: elaboración propia.

3.5.1. Utilización de equipos de protección

Seguridad

- El equipo rotatorio y eléctrico tiene protectores: el operador se debe preocupar no sólo por los aspectos, sanitarios del equipo sino también por los aspectos de seguridad. Debe verificar que las cintas, engranajes, ejes rotatorios e instalaciones eléctricas se protejan adecuadamente para prevenir cualquier accidente. Nota: mientras realice la inspección sanitaria, el inspector no debe usar ropa holgada ni corbata.
- Se requiere y proporciona energía auxiliar: la energía auxiliar puede ser necesaria para la operación continua de un sistema de bombeo. Es especialmente importante en áreas donde las interrupciones del suministro eléctrico son frecuentes y cuando el almacenamiento de agua

es limitado. El inspector debe evaluar la frecuencia y duración de las interrupciones previas del suministro eléctrico y los efectos sobre el abastecimiento de agua. También se deben consultar las normas estatales de diseño para determinar la necesidad de energía auxiliar.

- Qué tipo de energía auxiliar se provee y cómo se activa: se puede suministrar energía de emergencia con un generador auxiliar operado con motores de diésel o gasolina o motores conectados directamente al eje de la bomba a través de un mecanismo de transmisión en ángulo recto. La unidad de energía auxiliar (UEA) se debe activar automáticamente después del corte de energía. Debe haber un «interruptor de transferencia automática» que transfiera la carga actual a la unidad de energía auxiliar. Si hay un corte de energía, no se debe requerir que el operador encienda manualmente la UEA y que transfiera la carga, aunque también se debe contar con dispositivos para la operación manual.
- La unidad de energía auxiliar abastece a todos los sistemas eléctricos de la estación de bombeo: además del motor de la bomba, la UEA debe suplir de energía eléctrica a toda la estación de bombeo, incluidas las luces, calefacción, ventilación, controles automáticos y, más importante aún, cualquier sistema de dosificación de sustancias químicas. Sin embargo, existe un problema con los sistemas operados mecánicamente con transmisión en ángulo recto, porque sólo generan energía para la bomba de agua. En ese caso, durante las principales interrupciones de suministro eléctrico, el agua no tratada o parcialmente tratada se bombea al sistema de distribución.
- Dónde está el tanque de combustible, el tanque de combustible de la UEA está bajo tierra: en ese caso, existe riesgo de fuga de combustible hacia

el suministro de agua, si el tanque de combustible está a nivel del suelo, se debe montar dentro de un contenedor contra derrames.

La unidad de energía auxiliar se usa y prueba de manera regular y adecuada: el inspector debe evaluar la frecuencia y método de uso y prueba de la UEA. El sistema se debe probar una vez por semana como mínimo en presencia de un operador. Si la UEA se prueba automáticamente sin la presencia del operador, no hay forma de monitorear el rendimiento del sistema ni de detectar pequeños problemas antes de que se acentúen. Por otro lado, esos sistemas se deben probar con una carga. La UEA se debe usar como fuente de energía para la instalación de bombeo durante el período de prueba. Este procedimiento asegura que todas las funciones de la UEA se evalúen y se ejecuten adecuadamente. Se debe guardar los registros de prueba de la UEA, incluidas las lecturas del motor y del generador.

- La unidad de energía auxiliar se mantiene en buen estado y se protege: el inspector debe verificar que la UEA se incluya en el programa de mantenimiento preventivo. El mantenimiento regular se debe realizar según las recomendaciones del fabricante. El inspector debe verificar visualmente el estado general de la unidad con el fin de encontrar rastros de líquidos o lubricantes derramados. La UEA debe estar cercada si se encuentra en el exterior. Los orificios de ventilación se deben proteger con mallas para prevenir el ingreso de animales. El público no debe tener acceso a la UEA.
- Existen conexiones cruzadas entre la energía auxiliar y el agua potable: algunos motores para la UEA usan agua de bebida para el sistema de enfriamiento. El inspector debe determinar cómo se enfría el motor. Si se usa agua de bebida, el refrigerante no debe regresar al sistema potable y

la conexión entre el agua y el motor se debe proteger con una trampa o dispositivos aprobados para la prevención de contracorrientes.

CONCLUSIONES

1. Las prácticas inadecuadas de mantenimiento pueden producir fallas en el sistema y deficiencias sanitarias. Se debe establecer y seguir un programa escrito de mantenimiento preventivo para cada equipo de la instalación de bombeo. Este programa debe estar basado en las tareas de mantenimiento recomendadas por el fabricante y se deben mantener los registros correspondientes.
2. Al contar con una base de datos en la cual se encuentre la información de los clientes y de los sistemas a los que se les brinda el servicio y adicionalmente con las fichas técnicas y boletas de mantenimiento se podrán detectar de forma eficiente las fallas que tienen los equipos y de esta forma será posible realizar de una forma más oportuna los mantenimientos, incrementando así la satisfacción de los clientes.
3. Las piezas importantes y de reemplazo frecuente se deben incluir en el inventario del sistema. Los materiales que no estén en el almacén se deben obtener de proveedores locales o representantes autorizados.
4. Se debe capacitar al personal responsable para que solucione las fallas de los sistemas de bombeo y mantenimiento de los sistemas eléctricos y mecánicos.

RECOMENDACIONES

1. Al gerente de mantenimiento de Pozos y Bombas, crear una política de actualización de los manuales de mantenimiento de los equipos, con la finalidad de contar con la información actualizada del desempeño y cualidades así como capacidades de los equipos.
2. Al encargado de programación de servicios: actualizar constantemente la base de datos, de la misma forma los formatos correspondientes a las fichas técnicas y boletas de registro, para contar con la información necesaria y actualizada en el momento oportuno.
3. Al gerente general: dotar al operador del equipo completo, herramientas para el mantenimiento básico, con el objeto de realizar el mantenimiento de forma óptima y minimizar los imprevistos
4. Al gerente general: realizar alianzas estratégicas con centros de servicio si no cuenta con personal competente en equipos específicos, para capacitar al personal y continuar con la realización de los servicios para satisfacción de los clientes.

BIBLIOGRAFÍA

1. EVERETT, E. Adam; EBERT, Ronald J. *Administración de la producción y las operaciones*. México: Prentice Hall, 1988. 198 p.
2. GRIMALDI, John V.; ROLLIN, H. Simonds. *La seguridad industrial, su administración*. 3a ed. México: Representaciones y servicios de ingeniería, 1979. 185 p.
3. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. *Guía técnica, Mantenimiento de instalaciones técnicas*. España, Madrid, 208, 154 p.
4. VÉLIZ PADILLA, José Ismael. *Guía general para el cálculo, instalación y mantenimiento de bombas hidroneumáticas*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2012 148 p.

