

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR - JOSÉ MIGUEL CARRERA

PROPUESTA DE MEJORAS EN BOMBA DE DRENAJE PARA LA MINERIA,
ORIENTADA A MEJORAR INDICES DE MANTENIMIENTO

Trabajo de Titulación para optar al
Título de Ingeniero de Ejecución en
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Alumno:
Cristofer Eduardo Fernández Tapia

Profesor guía:
Mg. Félix Pizarro Martínez

2017

Quiero agradecer a cada persona que formo parte en mi desarrollo personal y educacional, a mis padres y hermano por siempre apoyarme en toda mi carrera, estando en los peores momentos y siempre dándome la fuerza necesaria para seguir adelante, también agradecer a amigos, profesores, compañeros de carrera y de trabajo y a toda aquella persona que aportó con un granito de arena, para lograr este objetivo.

Muchas gracias.

RESUMEN

Keywords: Bombas, Índices de Mantenimiento, Minería.

El trabajo de título, se desarrolla para la minería, en el proceso de flotación, en el sector de relaves, en los cuales se desempeñan las bombas de drenajes, las cuales transportan el fluido de los relaves, a distintos sectores de la mina.

El primer capítulo, nos permite dar a conocer el sector donde estas se desempeñan, el fluido que transportan, como también sus componentes detalladamente, su funcionamiento y fallas de cada uno de ellos. Al final del capítulo, se verán las problemáticas que se encuentran, aplicando un cuadro de falla, para identificar el problema a fondo.

En el segundo capítulo, veremos las fallas más comunes, vistas en el cuadro de fallas, en las que se encuentran y se analizarán distintas soluciones en materiales, para así conocer e identificar el más acorde.

En el tercer capítulo, se identificarán las piezas más críticas, por medio de un análisis de Pareto y en las cuales aplicaremos la mejora de material. Al finalizar el capítulo, se realizarán los cálculos de índices de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de la bomba de drenaje, antes y después del cambio de material. Con lo cual observaremos las mejoras en los índices de mantenimiento.

ÍNDICE

PROPUESTA DE MEJORAS EN BOMBA DE DRENAJE PARA LA MINERIA, ORIENTADA A MEJORAR INDICES DE MANTENIMIENTO

RESUMEN

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE GRÁFICOS

SIGLA Y SIMBOLOGÍA

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

CAPÍTULO 1: BOMBAS DE DRENAJE EN LA MINERIA

- 1.1. PROCESO DE FLOTACIÓN
- 1.2. PROCESO DE RELAVE
- 1.3. BOMBAS DE DRENAJE
 - 1.3.1. Subsistemas de Bomba de Drenaje
- 1.4. CUADRO DE FALLAS

CAPÍTULO 2: FALLAS EN BOMBA DE DRENAJE

- 2.1. CORROSIÓN
- 2.2. CAVITACIÓN
- 2.3. IMPACTO ROTURA
- 2.4. DESGASTE
 - 2.4.1. Desgaste por fatiga de contacto
 - 2.4.2. Desgaste abrasivo
 - 2.4.3. Desgaste adhesivo
 - 2.4.4. Desgaste erosivo
 - 2.4.5. Desgaste por fretting
 - 2.4.6. Desgaste por deslizamiento
- 2.5. MATERIALES USADOS EN BOMBA DE DRENAJES
 - 2.5.1. Hierro Fundido Nodular
 - 2.5.2. Acero Inoxidable 316 - 420
 - 2.5.3. Acero Inoxidable dúplex 2205

2.5.4. Alto Cromo

CAPÍTULO 3: MEJORA INDICES DE MANTENIMIENTO

BOMBA DE DRENAJE

- 3.1. IDENTIFICACIÓN DE PIEZAS CRITICAS
 - 3.1.1. Totalidad de piezas
 - 3.1.2. Priorización según diagrama de Pareto
- 3.2. SELECCIÓN DE MATERIAL A OCUPAR
 - 3.2.1. Material usado en piezas vs material nuevo
- 3.3. VARIABLES E INDICADORES DE MANTENIMIENTO
 - 3.3.1. Disponibilidad esperada
 - 3.3.2. Confiabilidad esperada
 - 3.3.3. Mantenibilidad esperada
 - 3.3.4. Resumen y análisis de variables medidas de mantenimiento
- 3.4. RESUMEN DE MEJORA REALIZADA EM BOMBA DE DRENAJE

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

- ANEXO A: COSTOS DE PIEZAS DE BOMBA DE DRENAJE
- ANEXO B: TABLA DE ALEACIONES
- ANEXO C: TABLA DE ALEACIONES FUNDICIONES BLANCAS DE ALTA ALEACIÓN

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1-1. Proceso de Flotación.
- Figura 1-2. Piscina de relave.
- Figura 1-3. Bomba de Drenaje transportando relave.
- Figura 1-4. Bomba de Drenaje.
- Figura 1-5. Motor jaula de ardilla.
- Figura 1-6. Diagrama explicativo del bobinado de un estator.
- Figura 1-7. Barnizado bobinado de motor.
- Figura 1-8. Quemado de bobinados debido a una sobrecorriente.
- Figura 1-9. Tensiones térmicas rotor.
- Figura 1-10. Impulsor y Voluta en bomba de drenaje.
- Figura 1-11. Impulsor cerrado.
- Figura 1-12. Tipos de Voluta.
- Figura 1-13. Fallas en voluta.
- Figura 1-14. Fallas en impulsor.
- Figura 1-15. Eje bomba de drenaje.
- Figura 1-16. Rotura de eje por fatiga y por tensión.
- Figura 1-17. Posición de rodamientos en bomba centrífuga.
- Figura 1-18. Posición de rodamientos en bomba de drenaje.
- Figura 1-19. Rodamientos de bolas.
- Figura 1-20. Funcionamiento O-ring.
- Figura 1-21. Anillo tórico de nitrilo.
- Figura 1-22. Anillo tórico de nitrilo hidrogenado instalado.
- Figura 1-23. Anillo tórico de vitón.
- Figura 1-24. Empaquetaduras.
- Figura 1-25. Prensaestopa.
- Figura 1-26. Retenes de labio.
- Figura 1-27. Reten de laberinto.
- Figura 1-28. Sello mecánico.
- Figura 1-29. Posicionamiento junta mecánica y cámara de aceite.
- Figura 1-30. Corrosión en una junta de carburo de tungsteno.
- Figura 1-31. Termogrieta.
- Figura 1-32. Pitting.
- Figura 2-1. Corrosión en impulsor.
- Figura 2-2. Efectos de cavitación en un impulsor.

- Figura 2-3. Efectos de impacto por rotura en un impulsor.
- Figura 2-4. Desgaste por fatiga de contacto.
- Figura 2-5. Desgaste abrasivo.
- Figura 2-6. Desgaste adhesivo.
- Figura 2-7. Desgaste erosivo.
- Figura 2-8. Desgaste por fretting.
- Figura 2-9. Desgaste por deslizamiento.
- Figura 2-10. Hierro nodular.
- Figura 2-11. Acero inoxidable 316.
- Figura 2-12. Acero inoxidable 420.
- Figura 2-13. Acero inoxidable dúplex 2205.
- Figura 2-14. Alto cromo 18%.
- Figura 2-15. Alto cromo 28%.
- Figura 3-1. Despiece bomba de drenaje.
- Figura 3-2. Fórmula para el cálculo de disponibilidad esperada.
- Figura 3-3. Línea de tiempo resumido del funcionamiento en la vida del equipo.
- Figura 3-4. Fórmula para el cálculo de MTBF.
- Figura 3-5. Línea de tiempo de la falla de un equipo.
- Figura 3-6. Fórmula para el cálculo de MTTR.
- Figura 3-7. Fórmula para el cálculo de la confiabilidad de un equipo.
- Figura 3-8. Fórmula para el cálculo de la tasa de falla de un equipo.
- Figura 3-9. Fórmula para el cálculo de la mantenibilidad de un equipo.
- Figura 3-10. Fórmula para el cálculo de la tasa de reparación de un equipo.
- Figura 3-11. Relación de la Disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad con la vida de un equipo.

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 2-1. Composición química del acero fundido nodular.
- Tabla 2-2. Propiedades mecánicas del acero fundido nodular.
- Tabla 2-3. Composición química del acero inoxidable 316.
- Tabla 2-4. Propiedades mecánicas del acero inoxidable 316.
- Tabla 2-5. Composición química del acero inoxidable 420.
- Tabla 2-6. Propiedades mecánicas del acero inoxidable 420.
- Tabla 2-7. Composición química del acero inoxidable dúplex 2205.

Tabla 2-8. Propiedades mecánicas del acero inoxidable dúplex 2205.

Tabla 2-9. Composición química del alto cromo 18%.

Tabla 2-10. Propiedades mecánicas del alto cromo 18%.

Tabla 2-11. Composición química del alto cromo 28%.

Tabla 2-12. Propiedades mecánicas del alto cromo 28%.

Tabla 3-1. Listado de piezas en bomba de drenaje.

Tabla 3-2. Listado de piezas para análisis de Pareto, según mantenimientos realizados en un año, en bomba de drenaje.

Tabla 3-3. Piezas críticas de análisis de Pareto, seleccionadas, para realizar análisis de Pareto de costos.

Tabla 3-4. Piezas críticas seleccionadas final.

Tabla 3-5. Selección de material a ocupar

Tabla 3-6. Comparación material usado vs material a usar.

Tabla 3-7. Registros de fallas, MTBF y MTTR Impulsor antes de cambio de material.

Tabla 3-8. Registros de fallas, MTBF y MTTR Impulsor después de cambio de material.

Tabla 3-9. Registros de fallas, MTBF y MTTR Plato de desgaste superior antes de cambio de material.

Tabla 3-10. Registros de fallas, MTBF y MTTR Plato de desgaste superior después de cambio de material.

Tabla 3-11. Resumen de datos e indicadores de mantenimiento.

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Grafico 1-1. Cuadro de fallas bomba de drenaje.

Grafico 3-1. Diagrama de Pareto de mantenimiento en un año, de piezas críticas de bomba de drenaje.

Grafico 3-2. Diagrama de Pareto de Costos, de piezas críticas de bomba de drenaje.

SIGLA Y SIMBOLOGÍA

A. SIGLA

NPSH	: Net positive suction head (Altura neta positiva en la aspiración).
SAE	: Society of automotive engineers (Sociedad de ingenieros automotores)
PH	: Coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa.
C	: Carbono.
Mn	: Manganeso.
Si	: Silicio.
Cr	: Cromo.
Ni	: Níquel.
Mo	: Molibdeno.
P	: Fósforo.
S	: Azufre.
Cu	: Cobre.
Ce	: Cerio.
Mg	: Magnesio.
N	: Nitrógeno.
TMD	: Tiempo de maquina detenida.
TBF	: Tiempo operativo entre el fin de la falla e inicio de esta.
TTR	: Tiempo transcurrido entre inicio de la falla y el fin de esta.
R	: Confiabilidad.
D	: Disponibilidad.
M	: Mantenibilidad.

B. SÍMBOLOS

%	: Porcentaje.
°C	: Grados celsius.
MPA	: Megapascal.
HB	: Dureza Brinells.
\$	: Peso chileno.
n	: número de fallas en el periodo.
h	: Hora.

hrs : horas.

e : Número de Euler.

λ : Tasa de falla.

t : Intervalo de tiempo a analizar.

μ Tasa de reparaciones.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo de título, nace debido a reiteradas fallas en las bombas de drenaje, en el sector de flotación, en los relaves, en la minería, estas se encuentran bajo un ambiente extremo, y trabajo pesado, teniendo que soportar la corrosión, abrasión, estando expuesto al impacto de sólidos, cavitación, entre otros, por lo cual es importante, conocer dichas bombas, para poder dar una solución a este problema.

Las bombas de drenajes, son equipos de transporte de fluidos y materiales, los cuales se sumergen por completas en dicho fluido, por lo tanto son selladas completamente, son utilizadas principalmente en la minería, para trabajos pesados, tales como en el proceso de flotación, estas bombas están equipadas y creadas, para soportar ambientes extremos, y son perfectas para transportar los relaves que se generan en la minería, ya que este es un fluido, en el cual se encuentran los desechos, que se generan en la minería, por lo cual están, tanto como líquido, como también sólido, dentro de la bomba, sus componentes principales, los cuales tienen contacto directo con este fluido, reciben todo el desgaste, corrosión, cavitación, impacto de sólidos, los cuales generan la rotura, etc..., que se generan.

Estos fluidos generan problemas en las bombas, por lo cual es importante analizar dichos problemas y buscar una solución a estas fallas imprevistas, estas fallas provocan grandes pérdidas de producción y largas demoras en su reparación. Para este problema se sugiere analizar las fallas, y hacer un cambio de materiales, para así poder garantizar una mejora en sus índices de mantenimiento, aumentando su confiabilidad y disponibilidad.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Presentar una propuesta de mejora, en el cambio de materiales, en bombas de drenaje para la minería, basada en el mantenimiento, preventivo y correctivo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Presentar el proceso de producción de las bombas de drenaje en la minería, en el sector de flotación
- Identificar las fallas más comunes, que se generan en las bombas de drenaje, a través de los materiales, por medio de diagrama de Pareto.
- Presentar alternativas de mejora en los índices de mantenimiento, en las bombas de drenaje, basado en los cálculos de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad.

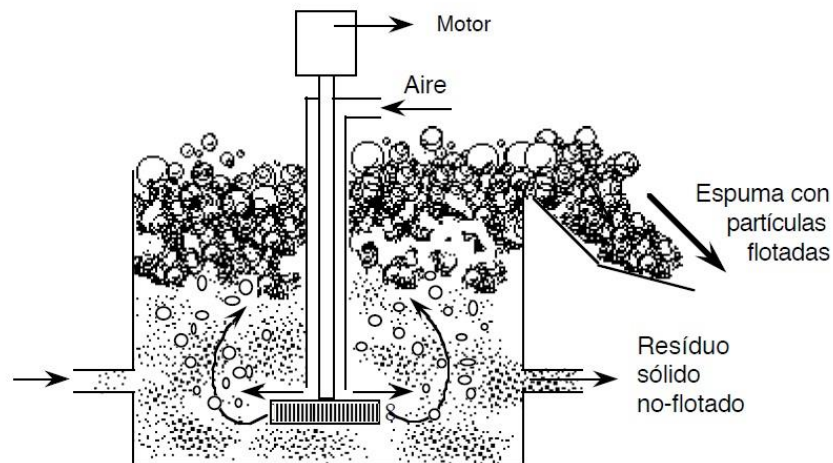
CAPÍTULO 1: BOMBAS DE DRENAJE EN LA MINERIA

1. BOMBAS DE DRENAJE EN LA MINERIA

Dentro del proceso minero se ocupan distintos tipos de bombas, para cada tipo de operación y fluidos a transportar, destacando dentro de todas las bombas de drenajes, las cuales son utilizadas en el proceso de flotación el cual se detallara a continuación.

1.1. PROCESO DE FLOTACIÓN

El proceso de flotación, consiste en la obtención del concentrado de cobre más puro, en el cual el material que viene del proceso de molienda, se separa de la piedra que no contiene cobre, por un proceso en el cual se inyecta aire a una solución, el material de cobre se adhiere a la burbuja, para luego pasar a fundición, mientras que el material sobrante es trasladado a tranques de relaves, en los cuales son transportados, por medio de bombas de drenajes.



Fuente: <http://procesosbio.wikispaces.com/Flotaci%C3%B3n>

Figura 1-1. Proceso de Flotación.

1.2. **PROCESO DE RELAVE**

Todos los procesos de flotación tienen desechos sólidos, los cuales se funcionan con líquido y se depositan en tanques de relaves, el cual es muy complicado de transportar, por lo cual se movilizan a través de distintas maneras, dentro de las cuales se encuentran las cintas transportadoras, camiones y bombas de drenajes, siendo estas las maneras más usadas, al ser un material altamente corrosivo y de alto desgaste, complica mucho la forma de transportarlo, unas de las maneras más comunes, es por medio de las bombas de drenajes, ya que es la forma más económica, pero a la vez que genera más mantenimiento en las plantas, ya que genera un gran desgaste y corrosión en los subsistemas o componentes de las bombas.

Los relaves se generan de distintas densidades, siendo las más comunes de 25% y 50% de sólido, al ser depositados en su respectiva relavera, se extrae el agua, para así ser reutilizada en otros procesos.



Fuente: <http://www.jri.cl/web-jri/portfolio/disenio-y-manejo-de-relaves/>

Figura 1-2. Piscina de relave.

1.3. **BOMBAS DE DRENAJE**

Las bombas de drenajes, son aquellas bombas centrífugas verticales, las cuales se sumergen en el fluido. Son diseñadas para soportar el desgaste, y ambientes extremos.

Estas bombas, son una solución económica, en el transporte de relave, ya que no se necesita grandes estructuras, o demasiada mano de obra para realizarlo, se pueden mantener bombas en stock, y así se puede tener un mantenimiento programado de las bombas, sin tener que parar la producción demasiado tiempo.



Fuente:

<http://www.tecnologiaminera.com/tm/novedad.php?id=99&ad=BOMBAS%20SUMERGIBLES%20PARA%20LODOS>

Figura 1-3. Bomba de Drenaje transportando relave.



Fuente: <http://www.directindustry.com/prod/dragflow/product-154935-1583807.html>

Figura 1-4. Bomba de Drenaje.

1.3.1. Subsistemas de Bomba de Drenaje

Las bombas de drenajes se dividen en:

- Subsistema eléctrico
- Subsistema hidráulico
- Subsistema mecánico

1.3.1.1. Subsistema eléctrico

1.3.1.1.1. Descripción de un motor eléctrico de inducción

Los motores eléctricos de inducción, son los motores más comunes usados en las bombas de drenaje, estos tienen dos sectores principales, el rotor y el estator, los cuales están contruidas de placas metálicas, su carcaza es de acero fundido o aluminio, además del eje y los cojinetes, los cuales le dan soporte al motor.

Los motores eléctricos de inducción se dividen en dos formas distintas de construcción, los de arrollamiento en cortocircuito, más conocido como motor jaula de ardilla y el rotor bobinado.

El rotor de jaula de ardilla, es el cual se ocupa en bombas de drenaje, y recibe este nombre, ya que está contruido por barras de cobre, latón o aluminio, las cuales se encuentran distribuidas a su alrededor y sostenida por dos anillos del mismo metal, formando una jaula.



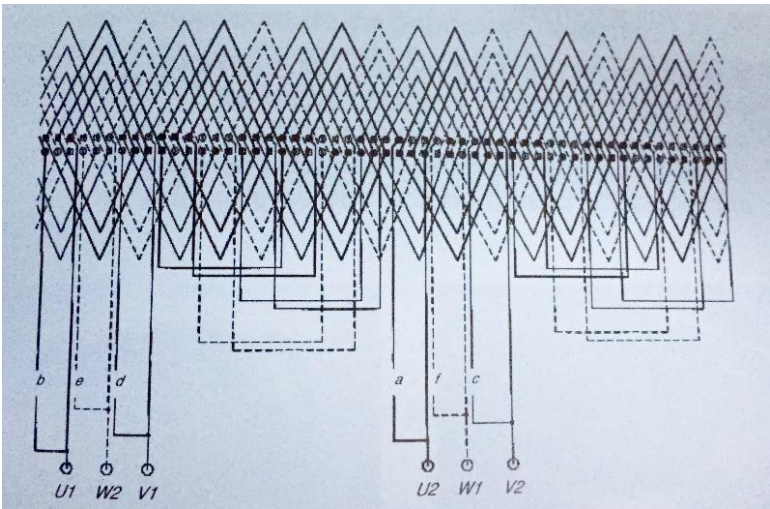
Fuente: <http://apuntescientificos.org/motores.html>

Figura 1-5. Motor jaula de ardilla.

Su estator está formado de diversas bobinas introducidas en varias ranuras. La disposición de sus bobinas está relacionado con el número de polos del motor. El número de polos es siempre es un número par. Un par de polos está formado por un polo norte y un polo sur.

1.3.1.1.2. Esquema del bobinado de un estator

Las bobinas del estator están conectadas, según el denominado diagrama de bobinado. Este diagrama explica el recorrido de los hilos de cobre a través del núcleo ferromagnético, así como su conexión a los seis bornes de la placa U1, W1, V1 y U2, W2, V2.



Fuente: Bombas sumergibles y estacionarias de bombeo

Figura 1-6. Diagrama explicativo del bobinado de un estator.

1.3.1.1.3. Aislamiento de un motor

El estator tiene que estar totalmente aislado del entorno para su correcto funcionamiento. Este se aísla, impregnándose con un barniz especial o resina de poliéster, para luego tener su respectivo secado.



Fuente: <http://rebobinadosjuniorsenati.blogspot.cl/2015/05/grupo-1.html>

Figura 1-7. Barnizado bobinado de motor.

1.3.1.1.4. Problemas en un motor de Inducción

Los problemas que se encuentran en un motor de inducción, son, el quemado de bobinados de estatores y el desprendimiento de los anillos de cortocircuito.

El quemado de bobinados, se producen por distintas razones, las cuales pueden ser por fallos de corriente, o por fallos de tensión. Las altas intensidades producen aumentos de temperatura en el bobinado, esta temperatura no causa un fallo inmediato, en su lugar, se va destruyendo lentamente el aislamiento hasta que falle pasado un largo tiempo. Este tipo de fallo es causado normalmente por una sobrecarga del motor, que puede ser el resultado de:

- Tensión baja
- Impulsor bloqueado
- Refrigeración escasa o nula (sistema bloqueado)
- Fricción excesiva en rodamiento, casquillos, o impulsor
- Densidad del líquido de bombo demasiado alta
- Temperatura del líquido de bombeo demasiado alta

Es importante ir revisando el embobinado del motor y evitar el sobrecalentamiento de estas, para evitar problemas en sus fases.



Fuente: Bombas sumergibles y estacionarias de bombeo

Figura 1-8. Quemado de bobinados debido a una sobrecorriente.

El desprendimiento de los anillos de cortocircuito, se produce por muchos arranques consecutivos del motor, esto puede fatigar las uniones de las barras del rotor, por tensiones térmicas, dependiendo del material de las barras del motor, dependerá el número de arranque por hora de estos, por ejemplo las barras de cobre suele estar 6 arranques por hora, mientras que las barras de aluminios fundidas suelen estar entre 12 y 15 arranques por hora. Se puede detectar este tipo de falla, ya que se aprecia un tono violeta o azul en la superficie cercana a la grieta. Otra causa que puede originar tensiones térmicas en esta zona es la sobrecarga del motor que puede producir un incremento del deslizamiento, o también una partida muy larga del motor.



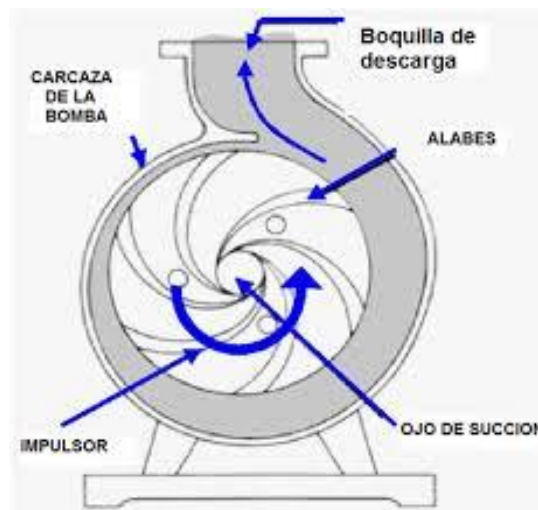
Fuente: Bombas sumergibles y estacionarias de bombeo

Figura 1-9. Tensiones térmicas rotor.

1.3.1.2. Subsistema hidráulico

1.3.1.2.1. Descripción del conjunto hidráulico

Las bombas de drenaje, funcionan girando con la ayuda del motor, un eje, el cual se conecta a un impulsor y el cual impulsa el fluido por una voluta, generando una transformación de energía eléctrica a energía hidráulica, caudal, presión y velocidad, a una altura determinada NPSH.



Fuente: <http://investigacionproyectoiae.blogspot.cl/2015/06/consultas-bombas.html>

Figura 1-10. Impulsor y Voluta en bomba de drenaje.

1.3.1.2.2. Características de los impulsores

Los impulsor se dividen en dos, los impulsores abiertos y los impulsores cerrados, los dos tipos tienen en común que contienen alabes, los cuales sirven para hacer girar el fluido, el rendimiento de la bomba dependerá dentro de muchas cosas del número de alabes

Por otro lado, el NPSH requerido aumenta normalmente cuando aumenta el caudal, pero también se reduce al aumentar el número de alabes en el impulsor.

Del mismo modo, si aumentamos el número de alabes reducimos la fatiga sobre el eje y aumentamos la vida útil de este.

Pero a la vez al aumentar el número de alabes, disminuimos el paso de sólido y aumentamos la posibilidad que la bomba se atasque, por lo cual es importante tener un

término medio que nos permita evitar el atasco y a la vez sacar el mayor rendimiento posible a la bomba.



Fuente: <http://es.hongtuocasting.com/double-suction-pump-impeller-im170396.html>

Figura 1-11. Impulsor cerrado.

1.3.1.2.3. Características de las volutas

Las volutas, al igual que el impulsor es una componente principal de una bomba de drenaje, al igual que el impulsor transforma la energía eléctrica del motor a energía hidráulica, con la diferencia del impulsor, esta se encuentra estática y no gira como este. Las volutas tienen forma espiral o de caracol, para que el fluido impulsado por el impulsor llegue al tubo de salida, las volutas entre más espacio tenga con el impulsor disminuirá su presión y aumentara su caudal y viceversa. Existen dos tipos de volutas, voluta simple y la voluta con doble canal, al igual que en el caso de los impulsores, la misión de la voluta de doble canal es disminuir el NPSH.

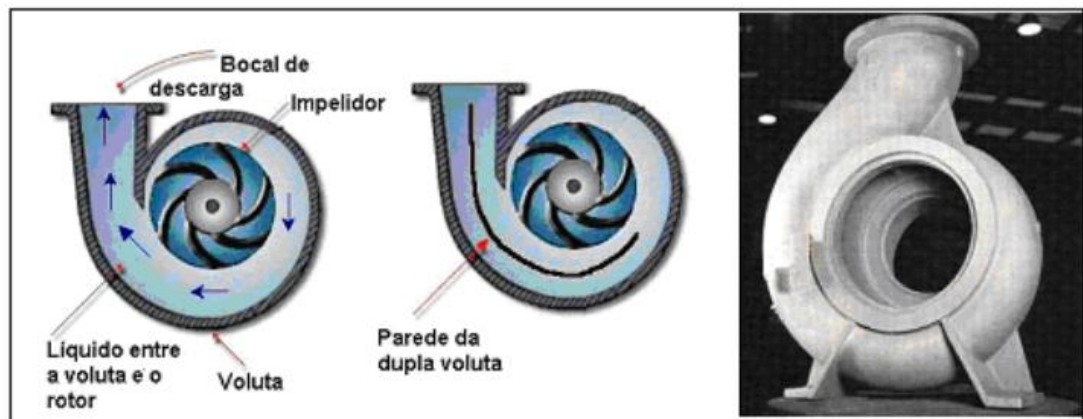


**Figura - 18 - Bomba Centrífuga - Tipo Voluta: A - simples Voluta
B - dupla Voluta**

Fuente: <http://docslide.com.br/documents/bombas-industriais.html>

Figura 1-12. Tipos de Voluta.

1.3.1.2.4. Fallas más comunes en impulsor y voluta

Los fallos más comunes en bombas de drenaje, son el desgaste, rotura por impacto, corrosión y cavitación.

Dentro de los relaves se encuentra un fluido hasta con 60% de sólido, el cual equivale a los desechos que dejan los procesos como la flotación, pero es común ver impulsores rotos con piedras grandes, impidiendo succionar el fluido, o simplemente rompiendo el impulsor o voluta por el impacto. Dentro del relave, hay sectores más densos que otros. La arena que se encuentra dentro, es altamente desgastadora, y el fluido es corrosivo a la vez. Dentro de todo lo mencionado anteriormente, además se encuentra la cavitación que es la falla más común en bombas en general.



Fuente:

http://metaline.de/wSpanisch/einsatzgebiete/pumpen_foerdertechnik/K14.php?navanchor=2110102

Figura 1-13. Fallas en voluta.



Fuente: <http://khia.belzona.com/es/view.aspx?id=3933>

Figura 1-14. Fallas en impulsor.

1.3.1.3. Subsistema mecánico

1.3.1.3.1. Ejes

Los ejes es la pieza de la bomba que transfiere el movimiento del motor hacia la bomba. Dentro de los distintos tipos de bombas, es diferente esa transmisión, en las bombas centrífugas el motor y la bomba se encuentran separados y poseen diferentes ejes cada una, estas son unidos por un machón el cual permite que se genere la

transmisión. En las bombas de drenajes, el motor y la bomba (subsistema hidráulico), se encuentran unidos en si por el mismo eje.



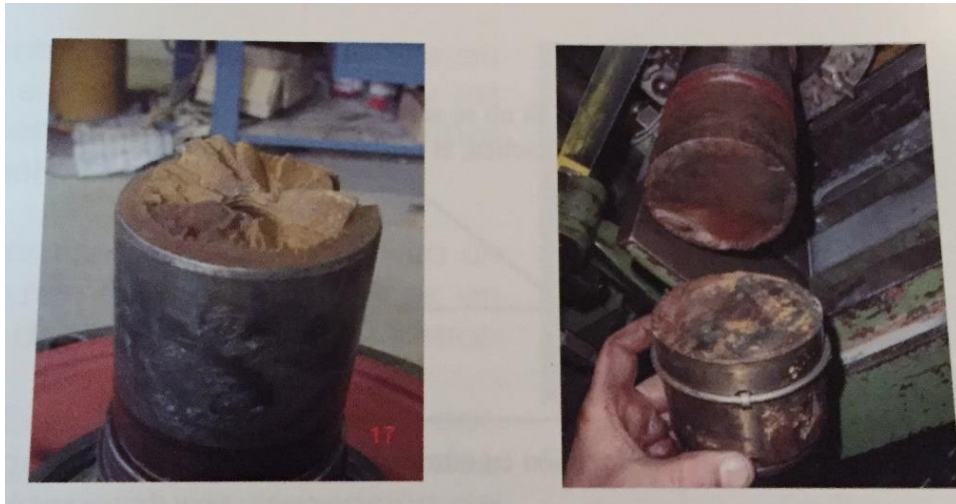
Fuente: <https://www.sulzer.com/es/Products-and-Services/Pumps-and-Systems/Submersible-Pumps/Submersible-Heavy-Duty-Pumps/Submersible-Sewage-Pump-Type-ABS-XFP-30-750-kW>

Figura 1-15. Eje bomba de drenaje.

Los ejes pueden ser de distintos materiales, según el fluido a impulsar, y también según la carga y densidad del fluido, es como así, encontramos ejes para ácidos o corrosión extrema de acero inoxidable, fluidos comunes, como agua, como es de acero al carbono, y también cargas o de fluidos densos, como es el caso del SAE 4140.

1.3.1.3.2. Problemas en ejes

Los problemas más comunes en ejes son ocasionados por la rotura del eje por fatiga y por tensión, los cuales se revisaran, a continuación.



Fuente: Bombas sumergibles y estacionarias de bombeo

Figura 1-16. Rotura de eje por fatiga y por tensión.

La rotura por fatiga es ocasionada, por cargas cíclicas anormales, las cuales se pueden ocasionar por vibraciones, la rotura por fatiga es la más común en las bombas de drenajes.

La rotura por tensión es muy inusual en bombas a no ser que tengan un eje extremadamente largo. Suele resentirse antes el propio motor, el chavetero del eje, etc. Pero puede ocurrir que este rompa por acción de un golpeteo provocando cargas de rotura por cizallamiento anormales.

1.3.1.3.3. Generalidades de los rodamientos

La disposición y lubricación de los rodamientos varía totalmente según el tipo de bomba. En bombas centrifugas, los rodamientos se encuentran en una cámara que normalmente contiene aceite para facilitar una lubricación por barboteo. Entre esta cámara y la voluta hay un espacio libre denominado linterna. En las bombas verticales los rodamientos pueden ir incluidos en el motor (si este dispone de cojinetes de empuje axial), o bien en una caja de cojinetes aparte.



Fuente: <http://tec-eimecun.blogspot.cl/2009/05/rodamientos-en-bombas-centrifugas.html>

Figura 1-17. Posición de rodamientos en bomba centrífuga.

En cambio, para bombas de drenaje, el eje de motor e impulsor es común y los rodamientos se encuentran a ambos lados del motor.



Fuente: <http://rrmotores.com.br/bombas-de-agua-abs/>

Figura 1-18. Posición de rodamientos en bomba de drenaje.

Existen dos tipos de exigencias de rodamientos dentro de una bomba de drenaje, los cuales son:

Carga radial: Una bomba centrífuga tiene siempre una carga radial por el hecho de impulsar el caudal de forma centrífuga sobre una voluta simétrica. En bombas

de flujo axial las cargas radiales son despreciables, salvo en el caso de desequilibrio de uno de los alabes.

Carga axial: Se produce siempre un empuje axial en sentido opuesto a la ubicación del motor, el cual es proporcional a la altura de elevación en cada instante y a la superficie del plato superior.

Existen básicamente dos tipos de rodamientos de bolas y de rodillos. Dentro de ellos existen muchas configuraciones distintas según el caso. Los rodamientos de bolas absorben sollicitaciones medianas de tipo axial y radial. Los rodamientos de rodillos absorben mejor las cargas radiales, a igualdad de tamaño, que los de bolas. En cambio, para cargas axiales importantes se usan rodamientos de bolas de contacto angular.



Fuente: <http://blasisl.com/suministros-industriales-012-rodamientos/900-rodamientos-rigido-bolas.html>

Figura 1-19. Rodamientos de bolas.

En bombas, se pueden encontrar muchos tipos y combinaciones, incluso montando ambos tipos de rodamientos juntos, según la combinación de esfuerzos a que vaya a ser sometido el eje. En algunos casos, se montan rodamientos con cierta compensación frente a variaciones longitudinales, como los rodamientos de rodillos oscilantes (libres).

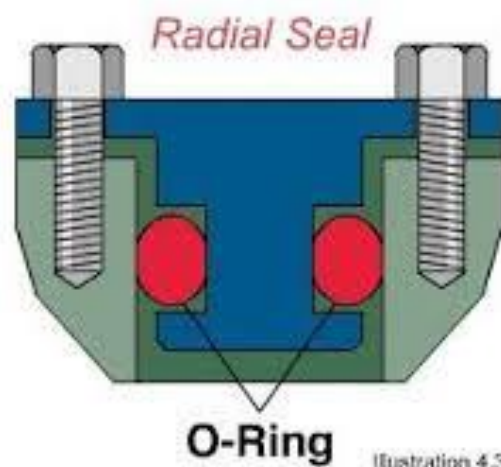
La lubricación define la vida de los rodamientos. La cantidad de grasa debe ser la justa para lograr una película de lubricación. La falta de grasa puede llegar a gripar el rodamiento, pero el exceso de la misma producirá un sobrecalentamiento del rodamiento que reducirá notablemente su vida útil.

Existen rodamientos que vienen de fábrica ya pre-engrasados para facilitar las labores de montaje y desmontaje.

1.3.1.3.4. Elementos estáticos de sellado

Las bombas de drenajes, y las bombas en general, tiene muchos puntos en el cual se pueden ocasionar fugas, como por ejemplo en cajas de rodamiento, la función del fluido transportado con el aceite o la fuga de este, como también la filtración del fluido transportado, al sector eléctrico, el cual puede ser perjudicial en el punto de vista del mantenimiento.

Los elementos de sellado de tipo estático más típicos que se pueden encontrar en bombas, son los o-rings. Se trata de un elastómero den forma toroidal que puede ser de varios materiales según la aplicación, el cual se coloca en una ranura entre dos piezas, la cual se quiera sellar, para así evitar fugas.



Fuente: <http://www.applerubber.com/seal-design-guide/seal-types-and-gland-design/static-seal-types.cfm>

Figura 1-20. Funcionamiento O-ring.

Los materiales de los o-rings más usuales en las bombas son los siguientes:

- Goma de nitrilo: Para un pH por encima de 3 y una temperatura máxima límite de 70°C. Tiene buena resistencia a los aceites, gasolinas, productos alcalinos, y tiene poca tendencia a hincharse en agua. Su resistencia a la abrasión es buena. Pero tiene escasa resistencia frente a ésteres, éteres, cetonas, tolueno y ácidos. Es de color negro.



Fuente: <http://brewmasters.com.mx/shop/oring-de-nitrilo-12/>

Figura 1-21. Anillo tórico de nitrilo.

- Goma de nitrilo hidrogenada: Para aplicaciones de ph menor de 3 y temperaturas máximas de 90°C. Sus propiedades son similares a la goma de nitrilo estándar. Es también de color negro.



Fuente: http://www.tss.trelleborg.com/global/en/products_2/orings_2/detailpages_orings/o-ring.html

Figura 1-22. Anillo tórico de nitrilo hidrogenado instalado.

- Goma fluorcarbonada (Vitón): Para ph entre 3 y 10 a una temperatura máxima de 90°C. Ofrece buena resistencia a productos químicos (ácidos, disolventes, gasolinas, aceites, etc.), pero su resistencia en medios alcalinos es limitada, así como su resistencia a la abrasión. Es de color verde.



Fuente: <https://www.globaloring.com/viton-fkm-o-rings/>

Figura 1-23. Anillo tórico de vitón.

1.3.1.3.5. Elementos dinámicos de sellado

Con respecto a los elementos de sellado de tipo dinámico, cumplen la misma en una bomba de drenaje, el cual es sellar y evitar fugas dentro de la bomba, para así aumentar la vida útil de la bomba. Existen distintos tipos de elementos de sellado dinámico:

- Empaquetaduras o prensaestopas: muy usual en bombas convencionales no sumergibles. Tienden a tener una filtración progresiva la cual se soluciona temporalmente apretando o pensando el paquete.



Fuente: <https://areamecanica.wordpress.com/2011/09/22/ingenieria-mecanica-el-sellado-de-ejes-en-bombas-centrifugas/>

Figura 1-24. Empaquetaduras.

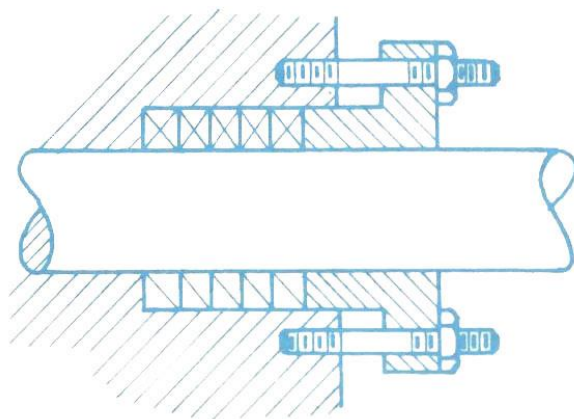
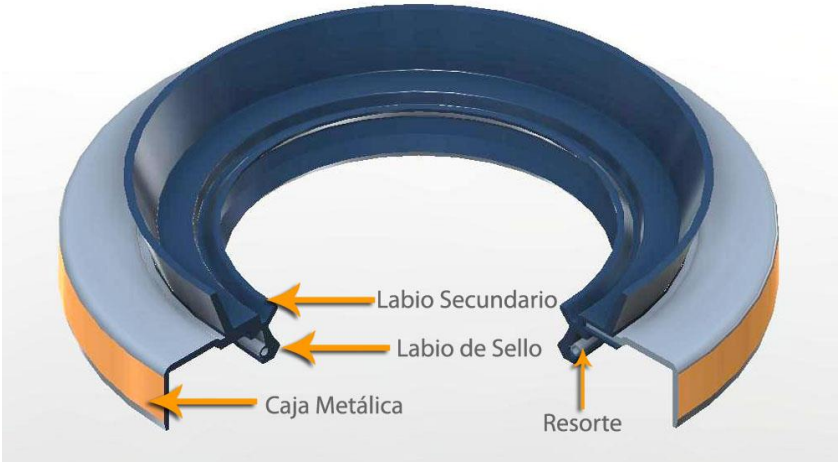


Figura 42

Fuente: http://repositorio.sena.edu.co/sitios/elementos_maquinas/vol17/volumen17.html

Figura 1-25. Prensaestopa.

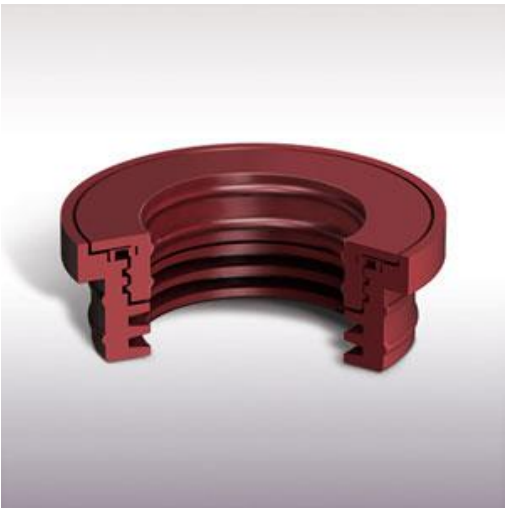
- Retenes de labio: el nivel de filtración es menor que en el de prensaestopa.
Muy usado para líquidos viscosos como el aceite.



Fuente: <http://www.vdc.com.co/site/productos/informacion-tecnica/>

Figura 1-26. Retenes de labio.

- Reten de laberíntico: es un tipo de cierre usando en algunos tipos de bombas de proceso para la caja de rodamientos. En el interior hay un pequeño laberinto, en el que el nivel de fuga es casi nulo.



Fuente:

<http://www.chestertoncompany.com/ES/Products/Pages/Product.aspx?ProductLine=EPS&Category=Rotary+Seals&ModelID=Polymer+Labyrinth+Seal>

Figura 1-27. Reten de laberinto.

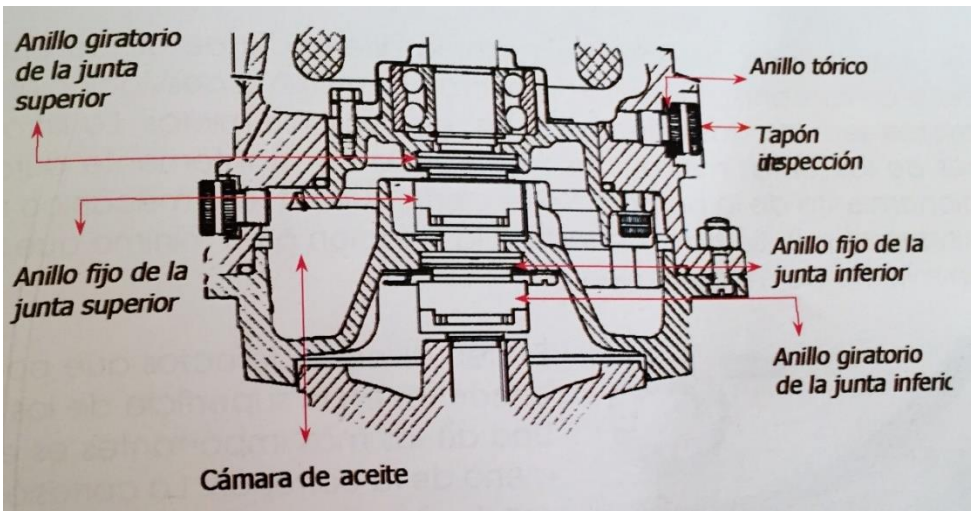
- Sello mecánico: se basa en el deslizamiento relativo de dos piezas totalmente planas y sin apenas capacidad de desgaste, entre las que existe una fina película de fluido (agua o aceite) para habilitar la refrigeración y lubricación de las dos superficies. El

nivel de filtración podríamos decir que es nulo, aunque realmente siempre existe una filtración mínima, según sea el asentamiento de una cara con otra. Este tipo de junta es la más adecuada para bombas de drenaje.



Fuente: <http://www.lbaindustrial.com.mx/que-es-sello-mecanico/>

Figura 1-28. Sello mecánico.



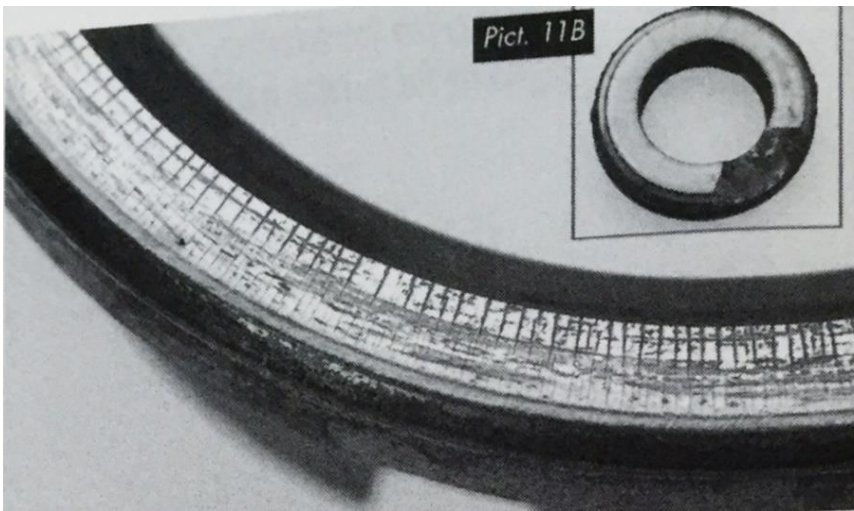
Fuente: Bombas sumergibles y estacionarias de bombeo

Figura 1-29. Posicionamiento junta mecánica y cámara de aceite.

En las bombas de drenaje, en su parte media, existe un sector llamado cámara de aceite, en este sector se encuentra el aceite de la bomba, el cual es usado para lubricar los distintos sectores, este sector es sellado, con la ayuda de retenes de labios,

generalmente, o también en algunos casos con sellos mecánicos. El aceite también sirve se refrigerante para estos sellos.

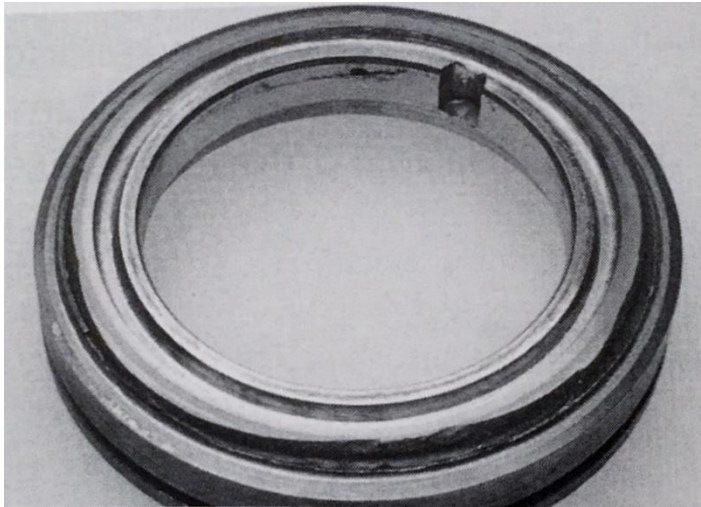
Existen diversos defectos que podemos encontrar en la superficie de los anillos, de los sellos mecánicos. Uno de los más importantes es la corrosión. La corrosión suele producirse en sellos de carburo de tungsteno y es fácilmente identificable a través de los cortes que el material puede sufrir de forma radial a lo largo de todo su perímetro.



Fuente: Bombas sumergibles y estacionarias de bombeo

Figura 1-30. Corrosión en una junta de carburo de tungsteno.

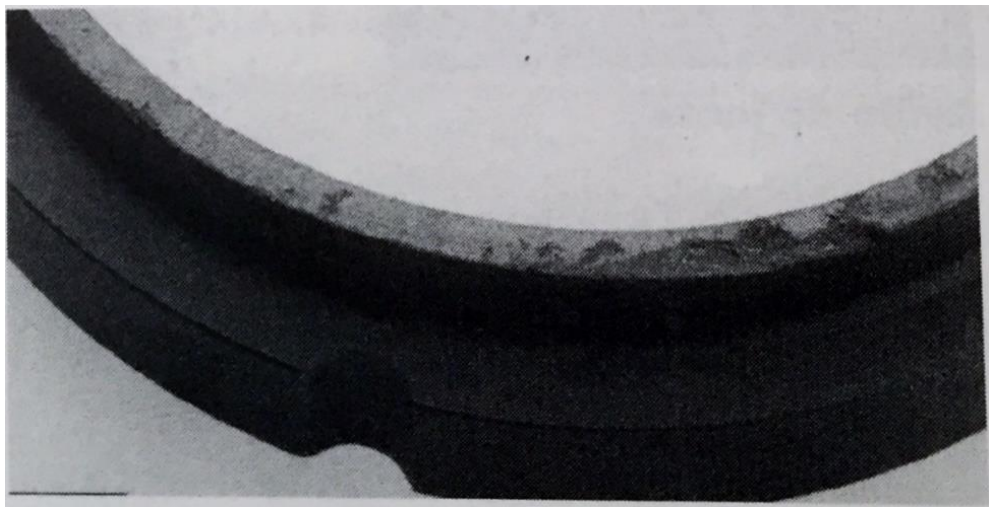
Otro defecto en los sellos mecánicos, son los denominadas termogrietas, las cuales se producen, cuando la bomba funciona en seco durante mucho tiempo, o por presiones altas en las caras de contacto, por mal montaje, o por presión de trabajo más alta del valor admisible.



Fuente: Bombas sumergibles y estacionarias de bombeo

Figura 1-31. Termogrieta.

Por último, el denominado pitting (picaduras) se suele producir en juntas de grafito en bombas con funcionamiento continuo interrumpido.

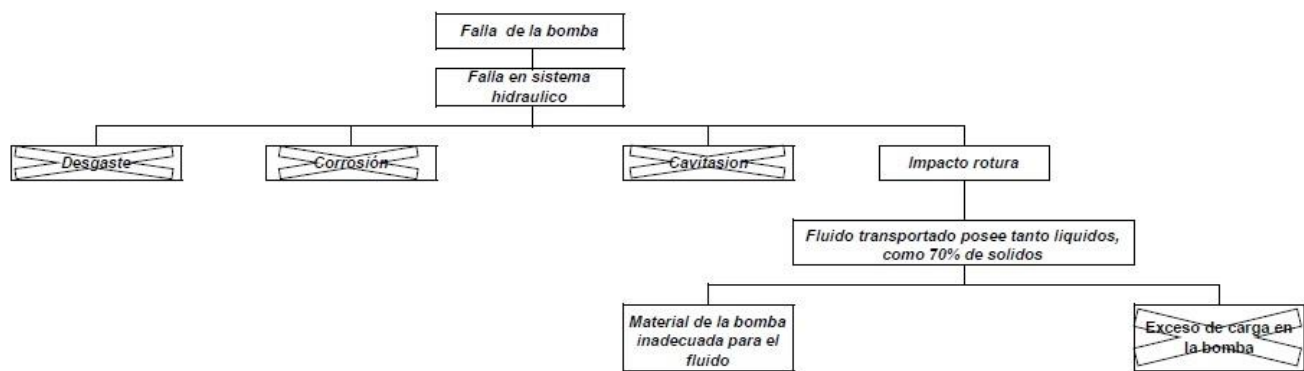


Fuente: Bombas sumergibles y estacionarias de bombeo

Figura 1-32. Pitting.

1.4. CUADRO DE FALLAS

El cuadro de falla, es una herramienta, que se ocupa en el mantenimiento, para identificar la causa raíz de una falla, estos son contruidos, de la falla principal, hasta llegar a lo más básico, que provoca la falla principal, para así poder dar solución al problema.



Fuente: Elaboración personal en planilla Excel.

Grafico 1-1. Cuadro de fallas bomba de drenaje.

Se realiza el cuadro de fallas, para visualizar la deficiencia en la fallas prematuras de las bombas de drenaje, que afectan el subsistema hidráulico de la bomba de drenaje, ya que las fallas prematuras que se generan tienen que ver con el impacto y la rotura, tanto del impulsor, como sus platos de desgaste, al ser un fluido complicado, ya que posee tanto líquidos como sólidos.

CAPÍTULO 2: FALLAS EN BOMBA DE DRENAJE

2. FALLAS EN BOMBA DE DRENAJE

Según el cuadro de fallas antes realizado, se observan distintos tipos de fallas, que desatan, la falla prematura en una bomba de drenaje, dentro de todos los problemas se encuentran tanto el desgaste, como la corrosión, la cavitación y el impacto y rotura, a continuación se explicara estas fallas.

2.1. CORROSIÓN

La corrosión es la degradación o deterioro de los materiales, tanto como metales, cerámicos, polímeros, etc..., esto se produce por efecto químico o electroquímico, más conocido como oxidación, el cual dependerá de la temperatura, del fluido en el que este expuesto, la salinidad y las propiedades del material en sí.

Existen distintos tipos de corrosión, las cuales se generan en las bombas de drenajes:

- Corrosión uniforme.
- Corrosión por picadura.
- Corrosión intersticial.
- Corrosión intergranular.
- Corrosión selectiva.
- Corrosión por erosión.
- Corrosión por tensión.
- Corrosión por fatiga.
- Corrosión galvánica.



Fuente: <http://ingsiri.com.ar/hola-mundo-2/>

Figura 2-1. Corrosión en impulsor.

2.2. CAVITACIÓN

La cavitación es uno de los problemas, que se encuentra en los sistemas hidráulicos, especialmente en las bombas, el cual es producido, por un mal diseño, o una mala instalación de la bomba, consiste en la vaporización del fluido, el que genera pequeñas burbujas, las cuales cuando revientan, generan picaduras en el material, esto es producido, por una reducción de la presión del fluido, lo cual genera la ebullición de este a menor temperatura, por eso es importante generar dentro del fluido una presión y temperatura que no generen este fenómeno.

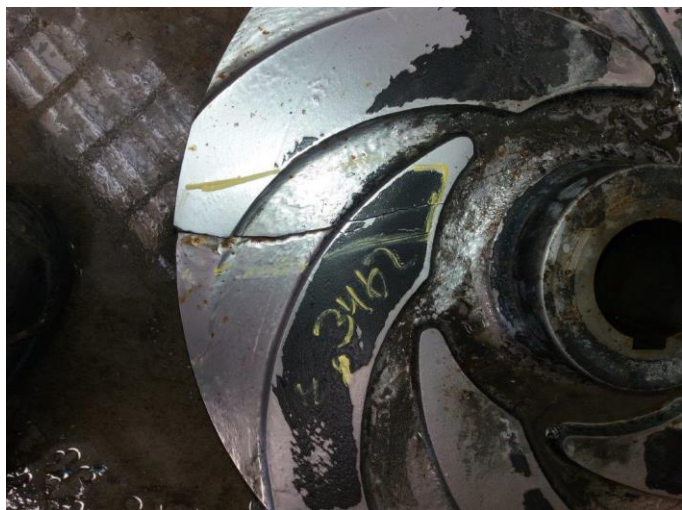


Fuente: <http://rfloresb50.blogspot.cl/2015/09/corrosion-y-proteccion-de-metales.html>

Figura 2-2. Efectos de cavitación en un impulsor.

2.3. IMPACTO ROTURA

Las bombas de drenaje, se encuentran en los relaves, los cuales contienen los desechos del proceso de flotación, en este fluido, el cual contiene tanto liquido como sólido, se forma una arenilla altamente, abrasiva, como a la vez corrosiva, pero en este fluido, también se encuentran piedras de desecho, los cuales al chocar con el impulsor o plato de desgaste, generan grietas, que con el giro constante de este se van agrandando hasta generar la rotura.



Fuente: Imagen propia.

Figura 2-3. Efectos de impacto por rotura en un impulsor.

2.4. DESGASTE

El desgaste es un fenómeno que se produce en los materiales, degradando este, es un problema recurrente en las bombas de drenaje junto a la corrosión, ya que el relave es altamente abrasivo, el cual genera un daño superficial en la pieza, generando perdida de medidas, grietas internas y deformación de estas.

Existen distintos tipos de desgaste, según la carga de trabajo que esté sometida la pieza, a continuación se detallaran:

2.4.1. Desgaste por fatiga de contacto

El desgaste por fatiga de contacto, se produce cuando un material está sometido a esfuerzos repetitivos, como la fricción, en la cual se producen grietas superficiales, esto a la vez producen ruido y contaminantes. Para evitar este tipo de desgaste es importante la buena selección de lubricante, como también, el buen acabado superficial de las piezas que estarán bajo este efecto.

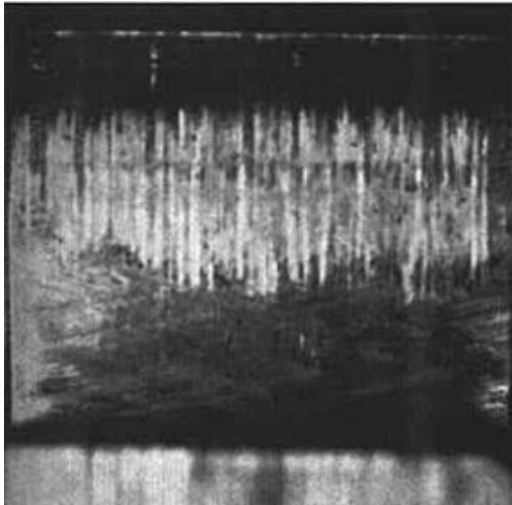


Fuente: https://www.ecured.cu/Fatiga_superficial

Figura 2-4. Desgaste por fatiga de contacto.

2.4.2. Desgaste abrasivo

El desgaste abrasivo es el cual se produce en la superficie del material, al frotar dos asperezas, existen dos tipos de desgaste abrasivo, los cuales se diferencian por ser partículas sueltas en la superficies y por partículas unida a una o las dos superficies, para evitar estos dos tipos de desgaste es muy importante mantener las superficies lisas, o en buena calidad superficial, y también tener un lubricante, a la vez revisar que este lubricante no tenga contaminantes.

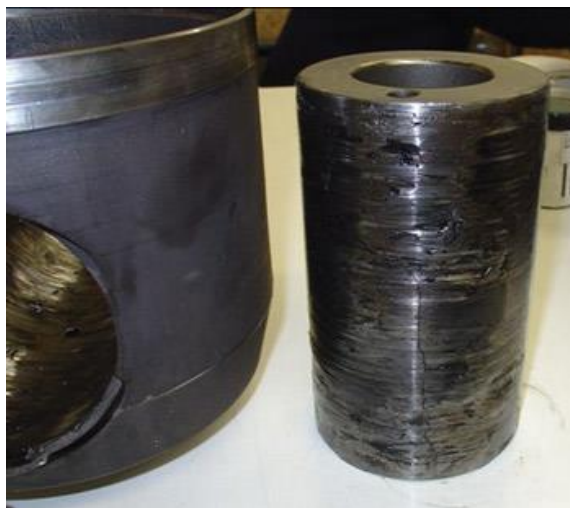


Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos94/lubricacion-engranajes-industriales/lubricacion-engranajes-industriales2.shtml>

Figura 2-5. Desgaste abrasivo.

2.4.3. Desgaste adhesivo

El desgaste adhesivo, es producido por el contacto de dos superficies, en las cuales se sueldan partículas de material en una de sus superficies, este desgaste se produce al poseer distintos materiales en las dos superficies, en el cual uno es más blando que el otro, o al existir grandes presiones de trabajo, también cuando entre medio de las dos superficies se encuentran impurezas como el oxido, por lo cual es importante, la lubricación y la limpieza que exista en ambas superficies.



Fuente: <http://noria.mx/lublearn/particulas-amigas-o-enemigas-entendiendo-el-valor-de-las-particulas-en-el-analisis-de-aceite/>

Figura 2-6. Desgaste adhesivo.

2.4.4. Desgaste erosivo

El desgaste erosivo es el desgaste que más se genera en las bombas de drenajes, ya que es la combinación de la corrosión y un esfuerzo mecánico, como el desgaste corrosivo, esto genera que el metal se degrade, acelerado por la acción de la corrosión y genere este desgaste.



Fuente: https://www.ecured.cu/Desgaste_erosivo

Figura 2-7. Desgaste erosivo.

2.4.5. Desgaste por fretting

El desgaste por fretting, se genera por la vibración cíclica, en este caso de la bomba de drenaje, entre dos superficies en contacto, estas vibraciones generan deslizamientos, este tipo de desgaste están presentes en los rodamientos, engranajes, bujes, etc..., por lo cual es importante ir observando que la bomba de drenaje no contenga vibraciones.



Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Fretting>

Figura 2-8. Desgaste por fretting.

2.4.6. Desgaste por deslizamiento

El desgaste por deslizamiento es el más común en el área industrial, y es aquel que se presenta en dos superficies que tienen contacto entre sí, en la cual tiene una fuerza aplicada, esta fuerza o carga aplicada genera el deslizamiento.



Fuente: <http://www.nskeurope.es/desgaste-por-deslizamiento-172.htm>

Figura 2-9. Desgaste por deslizamiento.

2.5. MATERIALES USADOS EM BOMBA DE DRENAJES

El relave, es el material transportado por las bomba de drenajes, el cual contiene los desechos que se generan en el proceso minero de flotación, este material contiene un porcentaje de solido y un porcentaje de liquido, siendo el más utilizado el de 60 a 70% de solido, ya que las mineras reciclan la mayor cantidad de agua para ser reutilizado en otros procesos, he aquí el problema, ya que al ser de esta forma genera fallas prematuras en las bombas de drenajes, tales como la el impacto rotura, corrosión, desgaste, por lo tanto a continuación nombraremos los materiales más usados en las bombas de drenajes.

2.5.1. Hierro Fundido Nodular

El hierro fundido nodular, es el más utilizado para la fundición de impulsores y volutas, en general todos los elementos que componen la bomba, ya que una de sus propiedades es la resistencia y ductilidad en comparación a las otras fundiciones de acero, además otras de sus grandes propiedades es que es fácil de fundir, ya que posee una gran fluidez, con la que se pueden fundir bajos espesores con facilidad, esto es de gran ayuda a la hora de fundir los alabes de los impulsores o nervios que poseen las volutas, además tiene la propiedad de que se puede hacer tratamientos térmicos.

A continuación se revisaran su composición química.

Tabla 2-1. Composición química del acero fundido nodular.

Componente Químico	% del peso de la pieza
C	3,6 – 3,8
Mn	0,15 – 1,00
Si	1,8 – 2,8
Cr	0,03 – 0,07
Ni	0,05 – 0,20
Mo	0,01 – 0,10
Cu	0,15 – 1,00
P	0,03 max.
S	0,002 max.
Ce	0,005 – 0,20
Mg	0,03 – 0,06

Fuente: Elaboración propia en programa Excel, según fundición Omamet.

Tabla 2-2. Propiedades mecánicas del acero fundido nodular.

Resistencia a la Tracción	414 MPa
Limite de Fluencia	276 MPa
Alargamiento	18%
Dureza	207 HB

Fuente: Elaboración propia en programa Excel, según fundición Omamet.



Fuente: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/open-type-centrifugal-water-pump-impeller-water-pump-vane-impeller-60209856610.html>

Figura 2-10. Hierro nodular.

2.5.2. Acero Inoxidable 316 - 420

El acero inoxidable 316 y el acero inoxidable 420, se utilizan en componentes y piezas de bombas en general, su mayor uso es en ambientes corrosivos y de alto contenido químico, a continuación se detallaran cada uno de ellos.

El acero inoxidable 316, se ocupa para piezas que están sometidas a la corrosión por picadura, a la vez a la química, es usada para transportar el ácido sulfúrico, como también aguas servidas, agua de mar, etc..., este acero inoxidable no puede ser sometido a tratamientos térmicos.

El acero inoxidable 420, posee resistencia a la corrosión, pero no químicamente, este acero inoxidable puede ser sometido a tratamientos térmicos, aumentando su resistencia al desgaste, con una resistencia a la corrosión media, es ocupado en la medicina, cuchillos, válvulas, etc...

A continuación se revisaran su composición química.

Tabla 2-3. Composición química del acero inoxidable 316.

Componente Químico	% del peso de la pieza
C	0,08
Mn	2,00
Si	1,00
Cr	16,00 - 18,00
Ni	10,00 - 14,00
Mo	2,00 - 3,00
P	0,045
S	0,03

Fuente: Elaboración propia en programa Excel, según fundición Omamet.

Tabla 2-4. Propiedades mecánicas del acero inoxidable 316.

Resistencia a la Tracción	515 MPa
Limite de Fluencia	205 MPa
Alargamiento	40%
Dureza	217 HB

Fuente: Elaboración propia en programa Excel, según fundición Omamet.



Fuente: <http://www.iquimica.com/nota.asp?Id=4100>

Figura 2-11. Acero inoxidable 316.

Tabla 2-5. Composición química del acero inoxidable 420.

Componente Químico	% del peso de la pieza
C	0,15
Mn	1,00
Si	1,00
Cr	12,00 - 14,00
P	0,04
S	0,03

Fuente: Elaboración propia en programa Excel, según fundición Omamet.

Tabla 2-6. Propiedades mecánicas del acero inoxidable 420.

Resistencia a la Tracción	586 MPa
Limite de Fluencia	276 MPa
Alargamiento	25%
Dureza	255 HB

Fuente: Elaboración propia en programa Excel, según fundición Omamet.



Fuente:

<http://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=11807&nombreproducto=Bomba+Centrifuga+Horizontal++>

Figura 2-12. Acero inoxidable 420.

2.5.3. Acero Inoxidable dúplex 2205

El acero inoxidable dúplex, es un acero inoxidable que tiene una gran resistencia a la corrosión, mayor que los otros aceros inoxidables nombrados con anterioridad, y a la vez tiene una gran resistencia mecánica, por lo tanto una gran resistencia al desgaste, son ocupados en estructuras expuestas a la corrosión, y a esfuerzos mecánicos, como puentes, pasarelas, también se utilizan en las plantas desalinizadoras, tanques, tuberías para químicos, intercambiadores de calor en la industria química, etc...

Tabla 2-7. Composición química del acero inoxidable dúplex 2205.

Componente Químico	% del peso de la pieza
C	0,03
Mn	2,00
Si	1,00
Cr	22,00 - 23,00
Ni	4,5 - 6,5
Mo	3,0 - 3,5
N	0,14 - 0,20
P	0,03
S	0,02

Fuente: Elaboración propia en programa Excel, según fundición Omamet.

Tabla 2-8. Propiedades mecánicas del acero inoxidable dúplex 2205.

Resistencia a la Tracción	620 MPa
Limite de Fluencia	450 MPa
Alargamiento	25%
Dureza	290 HB

Fuente: Elaboración propia en programa Excel, según fundición Omamet.



Fuente: <http://www.rysformining.cl/inicio/10-carcasa-goulds-3196-.html>

Figura 2-13. Acero inoxidable dúplex 2205.

2.5.4. Alto Cromo

Las fundiciones de alto cromo, son utilizadas principalmente en la minería hace 50 años, es una fundición resistente a la abrasión, con gran dureza, como también resistente a la corrosión, para cada una de las necesidades, existen distintos tipos, de los cuales nos interesaran la que contiene 18% de cromo y la de 28% de cromo, la que se revisaran a continuación.

El alto cromo al 18%, se clasifica en la clase 2, la cuales son las fundiciones blancas al cromo molibdeno, su principal característica es su alta resistencia a la abrasión y su dureza, al igual que todas las otras clases posee resistencia a la corrosión, pero no es su característica principal.

El alto cromo al 28%, se clasifica en la clase 3, la cuales son las fundiciones blancas al cromo, su principal característica es su resistencia a la corrosión a diferencia a las otras clases, su resistencia a la abrasión y dureza es menor que el alto cromo al 18%, pero a su vez, esto lo hace ser más resistente al impacto.

Tabla 2-9. Composición química del alto cromo 18%.

Componente Químico	% del peso de la pieza
C	2,8 - 3,6
Mn	0,5- 1,5
Si	1,0
Ni	1,5
Cr	14,0 - 18,0
Mo	2,3 – 3,5

Fuente: Elaboración propia en programa Excel, según documento “fundiciones blancas de alta aleación”.

Tabla 2-10. Propiedades mecánicas del alto cromo 18%.

Dureza	550 HB
--------	--------

Fuente: Elaboración propia en programa Excel, según documento “fundiciones blancas de alta aleación”.



Fuente: Imagen propia

Figura 2-14. Alto cromo 18%.

Tabla 2-11. Composición química del alto cromo 28%.

Componente Químico	% del peso de la pieza
C	2,3 - 3,0
Mn	0,5- 1,5
Si	1,0
Ni	1,5
Cr	23,0 - 28,0
Mo	1,5

Fuente: Elaboración propia en programa Excel, según documento “fundiciones blancas de alta aleación”.

Tabla 2-12. Propiedades mecánicas del alto cromo 28%.

Dureza	450 HB
--------	--------

Fuente: Elaboración propia en programa Excel, según documento “fundiciones blancas de alta aleación”.



Fuente: Imagen propia

Figura 2-15. Alto cromo 28%.

**CAPÍTULO 3: MEJORA INDICES DE MANTENIMIENTO BOMBA DE
DRENAJE**

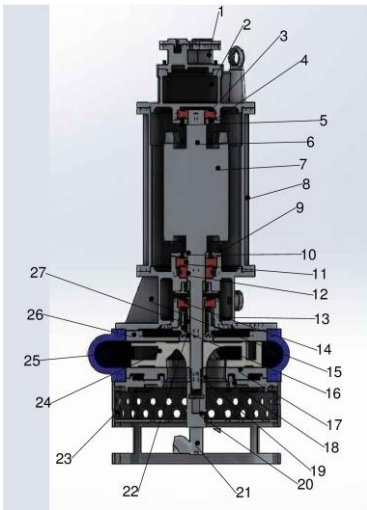
3. **MEJORA INDICES DE MANTENIMIENTO BOMBA DE DRENAJE**

En el presente capítulo, se verán las posibles soluciones, para mejorar los índices de mantenimiento de la bomba de drenaje, sabiendo que uno de los puntos importantes y que genera más problemas, son los materiales, ya que en el capítulo anterior se vio los distintos posibles materiales, en este capítulo compararemos, y veremos el material que realmente nos ayudaría en las piezas críticas de la bomba a mejorar dichos índices.

3.1. **IDENTIFICACIÓN DE PIEZAS CRITICAS**

3.1.1. **Totalidad de piezas**

Se realiza un levantamiento de todas las piezas de una bomba de drenaje encontrando que la totalidad de piezas son 27, de lo cual es necesario priorizar los que tienen mayor impacto al negocio por medio de diagramas de Pareto.



Fuente: Imagen propia, realizada en software solidworks

Figura 3-1. Despiece bomba de drenaje.

Tabla 3-1. Listado de piezas en bomba de drenaje.

N°	Denominación
1	Cubierta terminales eléctricos
2	Terminales eléctricos motor
3	Rodamiento de bola superior
4	Reten rodamiento superior
5	Tapa rodamiento superior
6	Eje
7	Rotor
8	Carcasa motor
9	Tapa de rodamiento intermedio
10	Reten rodamiento intermedio
11	Rodamiento de bola Intermedio
12	Rodamiento axial
13	Caja de rodamiento inferior
14	Rodamiento de bolas inferior
15	Caja de aceite
16	Caja de retenes
17	Retenes inferiores
18	Deflector
19	Plato de desgaste superior
20	Impulsor
21	Voluta
22	Plato de desgaste inferior
23	Tapa plato de desgaste inferior
24	Tuerca
25	Sobre eje
26	Agitador
27	Rejilla de succión

Fuente: Elaboración propia en programa Excel.

3.1.2. Priorización según diagrama de Pareto

Para priorizar y escoger determinados subsistemas o componentes críticos se procede a utilizar una herramienta llamada diagrama de Pareto, para este caso, en primera instancia se realizara en función de la cantidad de cambio de componentes que se realizan en un año de mantenimiento.

En segunda instancia, se realizara otro análisis para ser más preciso a base de los costos de cada componente en el periodo de un año, con esto tomar la decisión de escoger los equipos críticos con mayores costos de mantenimiento.

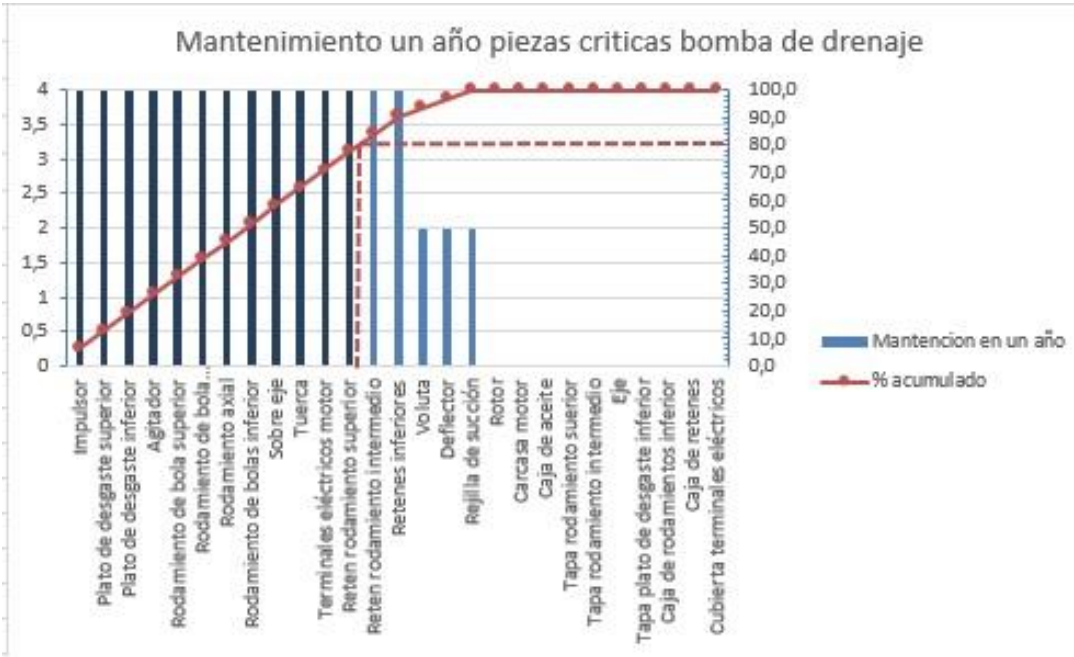
El diagrama de Pareto permite mostrar gráficamente, que hay muchos problemas sin importancia, frente a unos pocos muy importantes, en porcentajes el 20%

de las causas totales, hace que sean originados el 80% de los efectos. El principal uso que tiene este tipo de diagrama es para establecer un orden de prioridades en la toma de decisiones. En la zona 1 (parte izquierda) se encuentran los pocos problemas, pero de vital importancia y en la zona 2 (parte derecha) se encuentran los problemas de menor importancia.

Tabla 3-2. Listado de piezas para análisis de Pareto, según mantenimientos realizados en un año, en bomba de drenaje.

Denominación
Impulsor
Plato de desgaste superior
Plato de desgaste inferior
Agitador
Rodamiento de bola superior
Rodamiento de bola Intermedio
Rodamiento axial
Rodamiento de bolas inferior
Sobre eje
Tuerca
Terminales eléctricos motor
Reten rodamiento superior
Reten rodamiento intermedio
Retenes inferiores
Voluta
Deflector
Rejilla de succión
Rotor
Carcasa motor
Caja de aceite
Tapa rodamiento superior
Tapa rodamiento intermedio
Eje
Tapa plato de desgaste inferior
Caja de rodamientos inferior
Caja de retenes
Cubierta terminales eléctricos

Fuente: Elaboración propia en programa Excel.



Fuente: Mantenimiento en un año, piezas críticas y elaboración personal en planilla Excel.

Grafico 3-1. Diagrama de Pareto de mantenimiento en un año, de piezas críticas de bomba de drenaje.

Por lo tanto, al visualizar el diagrama de Pareto realizado a las piezas críticas, se llega a la siguiente determinación, para hacer más preciso el análisis y buscar las verdaderas piezas críticas, se puede combinar el Pareto realizado, con otro Pareto de costos de piezas, el cual nos dará las piezas a las cuales realizaremos el cambio de material.

Tabla 3-3. Piezas críticas de análisis de Pareto, seleccionadas, para realizar análisis de Pareto de costos.

Denominación
Impulsor
Plato de desgaste superior
Plato de desgaste inferior
Agitador
Rodamiento de bola superior
Rodamiento de bola Intermedio
Rodamiento axial
Rodamiento de bolas inferior
Sobre eje
Tuerca
Terminales eléctricos motor
Reten rodamiento superior

Fuente: Elaboración propia en programa Excel.



Fuente: Costos de piezas críticas y elaboración personal en planilla Excel.

Grafico 3-2. Diagrama de Pareto de Costos, de piezas críticas de bomba de drenaje.

Tabla 3-4. Piezas críticas seleccionadas final.

Denominación
Impulsor
Plato de desgaste superior

Fuente: Elaboración propia en programa Excel.

Las piezas seleccionadas a continuación, son las más críticas, en mantenimiento anual, como también en costos, por eso es importante para mejorar los índices de mantenimiento en la bomba de drenaje, intervenirlos, y hacerles un cambio de material, para que puedan soportar tanto el desgaste, como el ambiente de trabajo el cual son sometidos, ya que estas piezas se encuentran en contacto directo con el fluido.

3.2. SELECCIÓN DE MATERIAL A OCUPAR

A continuación se comparara los aceros más usados para las piezas seleccionadas anteriormente, las cuales están bajo constante desgaste y corrosión.

Tabla 3-5. Selección de material a ocupar

	Acero Fundido Nodular	Acero Inoxidable 420	Acero Inoxidable dúplex 2205	Alto Cromo 18%	Alto Cromo 28%
Resistencia a la corrosión	Baja	Media	Muy Alta	Alta	Muy Alta
Resistencia al desgaste	Baja	Media	Media	Muy Alta	Alta
Resistencia al impacto	Media	Media	Baja	Baja	Baja
Dureza	207 HB	255 HB	290 HB	550 HB	450 HB
Precio	\$2.400	\$5.375	\$24.805	\$4.500	\$4.500

Fuente: Elaboración propia en programa Excel, según fundición Omamet y documento “fundiciones blancas de alta aleación”.

Dentro de los aceros que se encuentran y visto con anterioridad cada uno, los aceros inoxidables, son más ocupados para la corrosión o ataques químicos, y por su alto precio no son convenientes para este tipo de piezas. Los aceros fundidos tienen una baja resistencia, tanto en la corrosión y al desgaste, siendo los aceros al alto cromo los más convenientes, de estos aceros el de 18% y 28%. Las piezas a mejorar, se encuentran echas en acero al alto cromo al 18%, el cual lo mejoraremos a alto cromo al 28%, por las características antes vistas.

3.2.1. Material usado en piezas vs material nuevo

Dentro de las bombas de drenajes, se utiliza el material Alto Cromo al 18%, como se revisó, en el capítulo anterior, es un material sumamente resistente al desgaste, con una gran dureza, el cual reemplazaremos por el material Alto Cromo al 28%, el cual es un material más resistente a la corrosión pero a la vez más resistente al impacto.

Tabla 3-6. Comparación material usado vs material a usar.

	Alto Cromo 18%	Alto Cromo 28%
Clase de acero	Fundición Blanca al cromo molibdeno, se clasifica en la clase 2	Fundición Blanca al cromo, se clasifica en la clase 3
Composición Química	C: 2,8-3,6; Mn: 0,5-1,5; Si: 1,0; Ni: 1,5; Cr: 14,0-18,0; Mo: 2,3-3,5	C: 2,3-3,0; Mn: 0,5-1,5; Si: 1,0; Ni: 1,5; Cr: 23,0-28,0; Mo: 1,5
C	Posee más Carbono, por lo cual es más resistente a la abrasión	Posee menos Carbono, por lo cual es más resistente al impacto
Cr	Posee menos Cromo, por lo cual es menos resistente a la corrosión	Posee más Cromo, por lo cual es más resistente a la corrosión
Mo	Posee más Molibdeno, por lo cual posee más dureza	Posee menos Molibdeno, por lo cual posee menos dureza
Dureza	550 HB	450 HB

Fuente: Elaboración propia en programa Excel, según documento “fundiciones blancas de alta aleación”.

En resumen se puede decir, que el acero al Alto Cromo al 28%, el cual es el material, con el cual reemplazaremos las piezas analizadas, posee menos resistencia a la abrasión, pero posee más resistencia al impacto, que es uno de los problemas que se encuentran en estas bombas, ya que trabajan con un fluido el cual no se encuentra líquido, llegando a encontrarse un 70% de sólido, al generar el efecto centrifuga en la bomba, este hace impulsar piedras hacia las piezas, golpeando el impulsor y el plato de desgaste, generando que estos se rompan, teniendo que parar la bomba para generar el mantenimiento correctivo.

3.3. VARIABLES E INDICADORES DE MANTENIMIENTO

No hay cosa más importante y esencial para cualquier profesional dedicado a un área específica que conocer y entender los términos y conceptos relacionados con su trabajo, en mantenimiento existen varios términos y conceptos importantes que se deben conocer y manejar, pero sin duda los esenciales son los de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad.

Estos conceptos han sido, son y seguirán siendo los elementos centrales para el control y evaluación de la gestión de mantenimiento en cualquier parte del mundo y están vinculados con indicadores de gestión y con la generación de cultura de mantenimiento y confiabilidad en las empresas.

Para interpretar la forma en la que actúa el mantenimiento, se hace necesario revisar y analizar distintas variables de significación que repercuten en el desempeño de los sistemas. Como se ha escuchado en muchas frases de la gestión de mejora continua “lo que no se puede medir no se puede controlar y si no se controla no se mejorar”. El uso de estos conceptos de mantenimiento nos permite tomar decisiones correctas, nos permite garantizar el avance de la gestión de activos y conocer la situación de la compañía.

Para definir un buen Indicador de control en un proceso, función u organización, es importante desarrollar un criterio para la selección de los indicadores que deberán controlarse en forma continua, ya que el seguimiento tiene un alto costo cuando no está soportado por un verdadero beneficio. Para esto se puede utilizar una sencilla técnica que consiste en responder cuatro preguntas básicas:

- ¿Es fácil de medir?
- ¿Se mide rápidamente?

- ¿Proporciona información relevante en pocas palabras?
- ¿Se grafica fácilmente?

Si las respuestas a todas estas preguntas son afirmativas, ya está definido un indicador apropiado.

Para nuestro caso según algunos de los registros obtenidos de los equipos como el tiempo de maquina detenida TMD y las fechas de acontecimiento de fallas, nos da la opción de calcular las variables de disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad.

3.3.1. Disponibilidad esperada

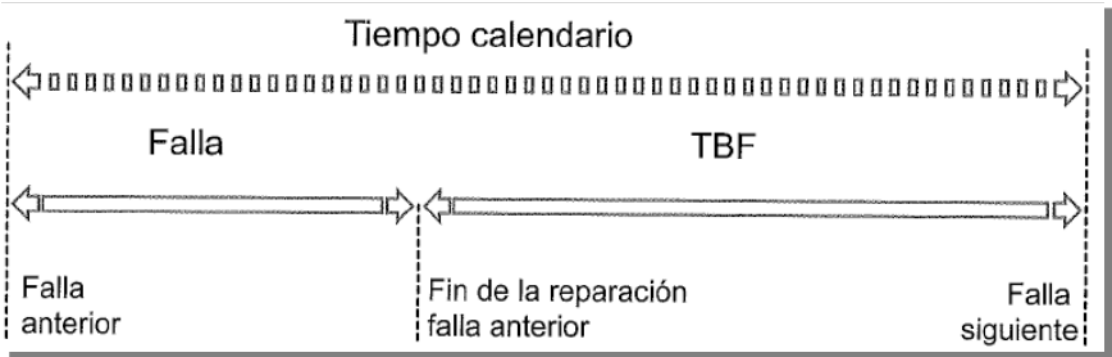
La disponibilidad es la proporción de tiempo durante la cual un sistema o equipo estuvo en condiciones de ser usado, es la capacidad de un equipo o proceso para desarrollar su función durante un periodo de tiempo determinado. Podemos decir que la disponibilidad depende de la frecuencia de las fallas y el tiempo que nos demande reanudar el servicio. Por supuesto que no están comprendidos en el tiempo de paradas aquellas que se producen por problemas de huelgas, o suspensión de la producción por caída en la demanda. Para calcular la disponibilidad esperada de los equipos se debe realizar de la siguiente forma:

$$Disponibilidad\ esperada = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Fuente: Materia de la asignatura gestión del mantenimiento industrial.

Figura 3-2. Fórmula para el cálculo de disponibilidad esperada.

En donde MTBF corresponde al tiempo medio que un equipo, máquina, línea o planta cumple su función sin interrupción debido a una falla funcional. Gráficamente podemos abreviar de la siguiente forma la línea de funcionamiento en la vida del equipo:



Fuente: Materia de la asignatura gestión del mantenimiento industrial.

Figura 3-3. Línea de tiempo resumido del funcionamiento en la vida del equipo.

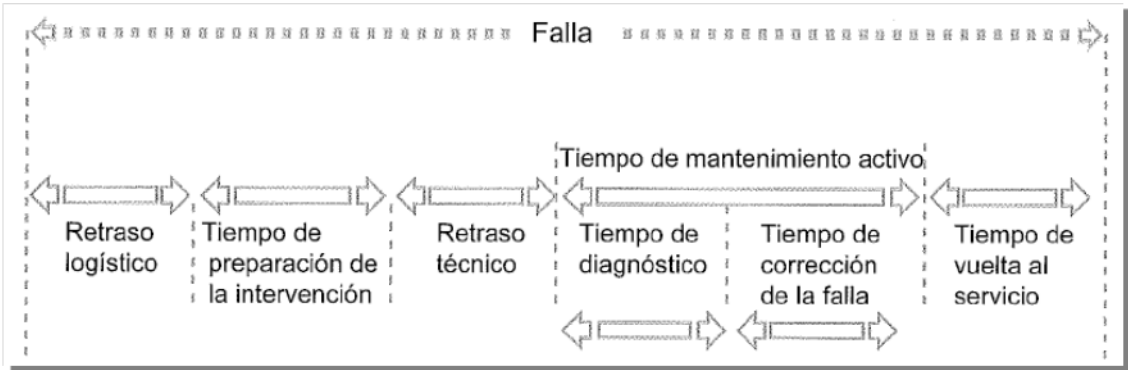
Para el cálculo del MTBF, se requiere obtener los diversos TBF, los cuales son los tiempos operativos entre el fin de la falla anterior y el inicio de una nueva falla, además se deben considerar el número (n) de la cantidad de fallas durante ese periodo.

$$MTBF = \frac{\sum_{i=0}^n TBF_i}{n}$$

Fuente: Materia de la asignatura gestión del mantenimiento industrial.

Figura 3-4. Fórmula para el cálculo de MTBF.

El MTTR corresponde al tiempo medio para restaurar la función de un equipo, maquinaria o proceso después de una falla funcional con detención del equipo. Incluye el tiempo para analizar y diagnosticar la falla, tiempo de planeación, reparación, etc.



Fuente: Materia de la asignatura gestión del mantenimiento industrial.

Figura 3-5. Línea de tiempo de la falla de un equipo.

Para el cálculo del MTTR, se requiere obtener los diversos TTR, los cuales son los tiempos transcurridos entre el inicio de la falla y el fin de esta, además también se deben considerar el número (n) que corresponde a la cantidad de fallas durante ese periodo. Cabe mencionar que el período de parada del equipo durante el mantenimiento preventivo se registra como tiempo fuera del requerido para la producción, de esta forma este tiempo no debe entrar en el cómputo de las pérdidas de disponibilidad, el MTTR se calcula de la siguiente manera:

$$MTTR = \frac{\sum_{i=0}^n TTR_i}{n}$$

Fuente: Materia de la asignatura gestión del mantenimiento industrial.

Figura 3-6. Fórmula para el cálculo de MTTR.

Haciendo uso de las formulas descritas con anterioridad, se procede a calcular la disponibilidad esperada de nuestra primera pieza, la cual es, Impulsor, para luego seguir con el Plato de desgaste superior. Toda la información utilizada para estos cálculo es obtenida en base a algunos registros de tiempos de maquina detenida y acontecimientos de fallas, de estos registros se resume en las siguientes tablas de acontecimiento para el cálculo de la disponibilidad.

Tabla 3-7. Registros de fallas, MTBF y MTTR Impulsor antes de cambio de material.

REGISTROS DE FALLAS DE IMPULSOR ANTES DE CAMBIO MATERIAL						
EVENTO	FECHA INICIO MANT.	FECHA TERMINO MANT.	TBF (Hrs)		TTR (Hrs)	
1	26-02-2014	20-03-2014	0		153	
2	30-06-2014	20-08-2014	1752		342	
3	08-12-2014	14-01-2015	1896		252	
4	18-05-2015	13-07-2015	2136		369	
			MTBF	1446	MTTR	279

Fuente: Registros del dept. de mantenimiento y elaboración propia en planilla de Excel.

Tabla 3-8. Registros de fallas, MTBF y MTTR Impulsor después de cambio de material.

REGISTROS DE FALLAS DE IMPULSOR DESPUES DE CAMBIO MATERIAL						
EVENTO	FECHA INICIO MANT.	FECHA TERMINO MANT.	TBF (Hrs)		TTR (Hrs)	
1	18-05-2016	25-06-2016	5352		252	
			MTBF	5352	MTTR	252

Fuente: Registros del dept. de mantenimiento y elaboración propia en planilla de Excel.

Tabla 3-9. Registros de fallas, MTBF y MTTR Plato de desgaste superior antes de cambio de material.

REGISTROS DE FALLAS DE PLATO DE DESGASTE SUPERIOR ANTES CAMBIO MATERIAL						
EVENTO	FECHA INICIO MANT.	FECHA TERMINO MANT.	TBF (Hrs)		TTR (Hrs)	
1	26-02-2014	20-03-2014	0		153	
2	30-06-2014	20-08-2014	1752		342	
3	08-12-2014	14-01-2015	1896		252	
4	18-05-2015	13-07-2015	2136		369	
			MTBF	1446	MTTR	279

Fuente: Registros del dept. de mantenimiento y elaboración propia en planilla de Excel.

Tabla 3-10. Registros de fallas, MTBF y MTTR Plato de desgaste superior después de cambio de material.

REGISTROS DE FALLAS DE PLATO DE DESGASTE SUPERIOR ANTES CAMBIO MATERIAL						
EVENTO	FECHA INICIO MANT.	FECHA TERMINO MANT.	TBF (Hrs)		TTR (Hrs)	
1	18-05-2016	25-06-2016	5352		252	
			MTBF	5352	MTTR	252

Fuente: Registros del dept. de mantenimiento y elaboración propia en planilla de Excel.

Las Bombas de drenaje están operativas de lunes a domingo, las 24 horas en dos turnos, con esto en un caso ideal se espera que el equipo se encuentre operativo 8.736 h/año.

Según los datos de la tabla de registros de fallas del Impulsor, Plato de desgaste superior, la disponibilidad de las piezas, es la siguiente:

$$D = \frac{1446 \text{ hrs}}{(1446 \text{ hrs} + 279 \text{ hrs})} \times 100 = 83.8\%$$

$$D = \frac{5352 \text{ hrs}}{(5352 \text{ hrs} + 252 \text{ hrs})} \times 100 = 95.5\%$$

3.3.2. Confiabilidad esperada

La confiabilidad de un sistema es la probabilidad de que ese sistema funcione o desarrolle una cierta función, bajo condiciones fijadas para un intervalo de tiempo dado.

Es decir, cuando hablamos de confiabilidad el componente trabaja continuamente durante un periodo de tiempo dado, en otras palabras la función del componente no se interrumpe, el componente se pone en operación (arriba) y se mantiene arriba. Para el cálculo de la confiabilidad (R) de un equipo es posible determinarlo con la siguiente ecuación:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Fuente: Materia de la asignatura gestión del mantenimiento industrial.

Figura 3-7. Fórmula para el cálculo de la confiabilidad de un equipo.

En donde (*e*) pertenece al número de Euler o constante de Napier, (λ) es la tasa de fallos del equipo y (t) es el intervalo de tiempo a analizar.

La tasa de falla (λ) se puede definir como la proporción de fallas por unidad de tiempo. Tiene la dimensión inversa de un tiempo, por lo que puede interpretarse como "Número de fallos en la unidad de tiempo" y la podemos obtener de la inversa del tiempo medio de fallas MTBF.

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \text{ [N° de Fallos / tiempo]}$$

Fuente: Materia de la asignatura gestión del mantenimiento industrial.

Figura 3-8. Fórmula para el cálculo de la tasa de falla de un equipo.

Respecto a nuestro análisis:

Respecto a Impulsor, Plato de desgaste superior, según los datos de MTBF, la tasa de falla antes y después del cambio de material es la siguiente:

$$\lambda = \frac{1}{1446 \text{ hrs}} = 0.0006915 \text{ (1/hrs)}$$

$$\lambda = \frac{1}{5352 \text{ hrs}} = 0.0001868 \text{ (1/hrs)}$$

Ya que el equipo debe trabajar de lunes a domingo solo 12 horas de día y 12 horas de noche, queremos determinar la confiabilidad del equipo en el periodo de un mes de operación (720 h), la probabilidad de que el equipo no falle durante un mes de funcionamiento es la siguiente:

$$R = e^{-0.0006915 \text{ (1/hrs)} \times 720 \text{ hrs}} \times 100 = 60.7\%$$

$$R = e^{-0.0001868 \text{ (1/hrs)} \times 720 \text{ hrs}} \times 100 = 87.4\%$$

3.3.3. Mantenibilidad esperada

La mantenibilidad de un sistema es la probabilidad de que este pueda ser reparado en condiciones específicas dentro de un periodo de tiempo definido y dejando el sistema en un estado donde sea capaz de realizar su función original nuevamente, en tanto su mantenimiento sea realizado de acuerdo con ciertas metodologías y recursos determinados. Este concepto se refiere a la variabilidad de los tiempos de reparación y se trata de conceptos paralelos a la confiabilidad ya que ambas son funciones de distribución de probabilidad.

El resultado de la mantenibilidad es el logro de cortos tiempos de reparación para mantener una alta disponibilidad, de tal manera que sean minimizadas las paradas de los equipos productivos para el control de costos, cuando la disponibilidad es crítica.

Esto quiere decir, que si un componente tiene un 95% de mantenibilidad en una hora, entonces habrá 95% de probabilidad de que ese componente sea reparado exitosamente en una hora. La mantenibilidad puede ser estimada con ayuda de la siguiente expresión:

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t}$$

Fuente: Materia de la asignatura gestión del mantenimiento industrial.

Figura 3-9. Fórmula para el cálculo de la mantenibilidad de un equipo.

En donde (*e*) pertenece al número de Euler o constante de Napier, (*μ*) es la tasa de reparaciones del equipo y (*t*) es el intervalo de tiempo a analizar. La tasa de reparación (*μ*) se puede definir como la proporción de reparaciones por unidad de tiempo, es un parámetro el cual permite evaluar la probabilidad que tiene un componente a ser reparado, y está en función del tiempo promedio para reparar MTTR como muestra la siguiente formula:

$$\mu = \frac{1}{MTTR} [N^{\circ} \text{ de Reparaciones} / \text{tiempo}]$$

Fuente: Materia de la asignatura gestión del mantenimiento industrial.

Figura 3-10. Fórmula para el cálculo de la tasa de reparación de un equipo.

Respecto a las piezas de nuestro análisis, tomando los datos de la tabla de MTTR la tasa de reparación del impulsor y platos de desgaste superior, antes y después del cambio de material es la siguiente:

$$\mu = \frac{1}{279 \text{ hrs}} = 0.0035842 \text{ (1/hrs)}$$

$$\mu = \frac{1}{252 \text{ hrs}} = 0.0039682 \text{ (1/hrs)}$$

Para determinar la mantenibilidad del equipo se considera el tope máximo de respuesta de un caso grave para solucionar y reparar en condiciones específicas algún tipo de falla, este tiempo debe ser hasta de 264 horas, por ende la probabilidad de que el equipo sea reparado exitosamente en 264 horas es la siguiente:

$$M = (1 - e^{-0.0035842 \text{ (1/hrs)} \times 264 \text{ hrs}}) \times 100 = 61.1\%$$

$$M = (1 - e^{-0.0039682 \text{ (1/hrs)} \times 264 \text{ hrs}}) \times 100 = 64.9\%$$

3.3.4. Resumen y análisis de variables medidas de mantenimiento

Los datos obtenidos en el cálculo de Disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad de Impulsor y Plato de desgaste superior, antes y después del cambio de material, se presentan en la siguiente tabla de resumen que nos ayuda a realizar un buen análisis.

Tabla 3-11. Resumen de datos e indicadores de mantenimiento.

RESUMEN DE DATOS E INDICADORES DE MANTENIMIENTO					
EQUIPO	MTBF	MTT R	DISP. (D)	CONF. (R)	MANT. (M)
IMPULSOR ANTES DEL CAMBIO MATERIAL	1446	279	83.8%	60.7%	61.1%
IMPULSOR DESPUES DEL CAMBIO MATERIAL	5352	252	95.5%	87.4%	64.9%
PLATO DE DESGASTE SUPERIOR ANTES DEL CAMBIO MATERIAL	1446	279	83.8%	60.7%	61.1%
PLATO DE DESGASTE SUPERIOR DESPUES DEL CAMBIO MATERIAL	5352	252	95.5%	87.4%	64.9%

Fuente: Resultados obtenidos de cálculos y elaboración propia en planilla de Excel.

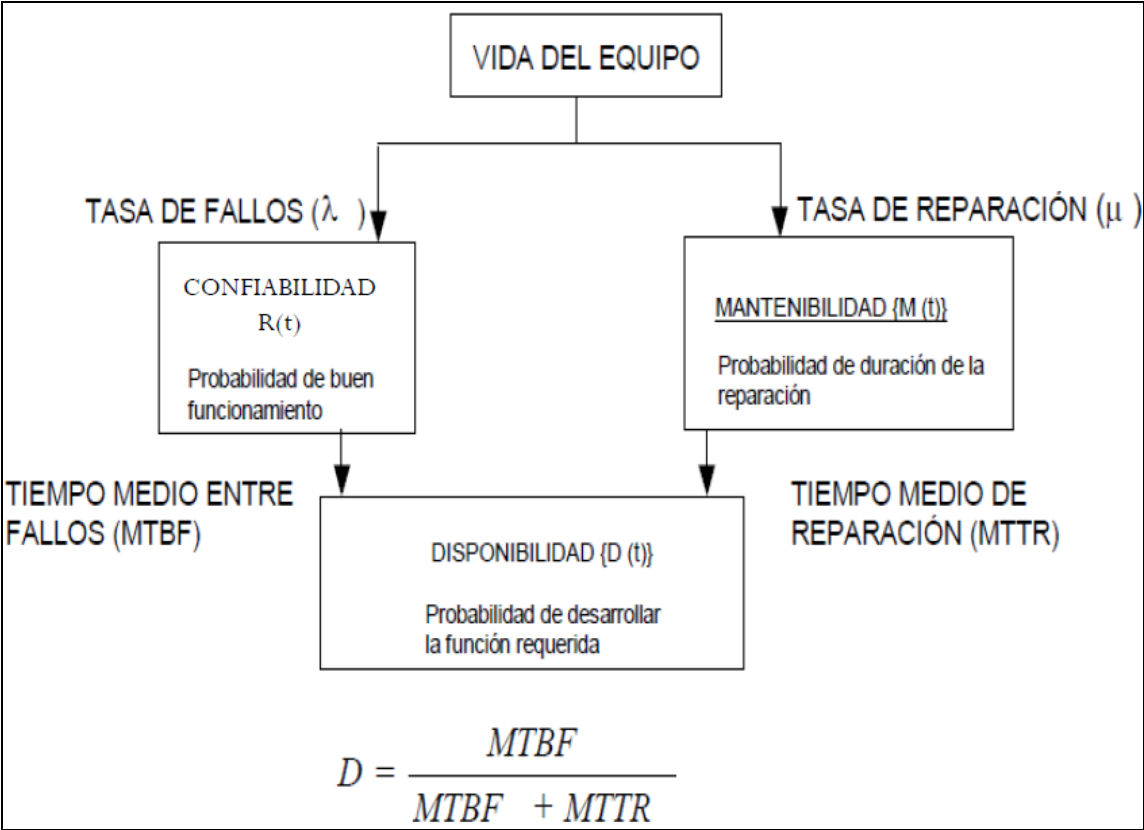
En resumen la tabla 3-10 presenta los valores obtenidos se ve reflejado el cambio de materiales que se produjo en las distintas piezas seleccionadas con anterioridad, en el cual se ve una mejora significativa en el MTBF, MTTR, disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad.

El MTBF, en el cambio de material del impulsor y plato de desgaste superior, realmente se ve un mejoramiento, ya que estos mejoraron más que el doble, teniendo en si mayor disponibilidad y confiabilidad.

Por lo tanto, en vez de parar cada 1446 horas la bomba de drenaje, esta es detenida cada 5352 horas, teniéndola más tiempo funcionando, bajo las mismas exigencias.

Respecto a la mantenibilidad, se puede ver que se mantiene baja, ya que el mantenimiento de la bomba en si es demoroso y la exigencia es alta, teniendo en si un tiempo de respuesta de 264 horas. Pero de igual manera, se puede ver que se mejoro significativamente.

En resumen estos tres conceptos están en relación directa con la vida de un equipo, y estos conceptos se pueden enfocar de forma provisoria antes del uso o de manera operacional durante y después del uso. Las tres funciones importantes vista con anterioridad, llamadas respectivamente Disponibilidad, Confiabilidad y Mantenibilidad, son funciones importantes del tiempo, para un departamento de mantenimiento es indispensable sus resultados para una buena gestión y con esto mantener en una sola línea la vida del equipo.



Fuente: Materia de la asignatura gestión del mantenimiento industrial.

Figura 3-11. Relación de la Disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad con la vida de un equipo.

3.4. RESUMEN DE MEJORA REALIZADA EM BOMBA DE DRENAJE

El problema se iniciaba, por las fallas inesperadas, en la bomba de drenajes, la cual se desempeñaba en el sector de relaves, este fluido, tiene un porcentaje líquido, como otro sólido, de arenilla y piedras, lo cual son los desechos que deja el cobre, en el proceso de flotación, dentro de las fallas, que se analizaron en el cuadro de fallas, se encuentran la corrosión, el desgaste, cavitación y el impacto por rotura, siendo esta ultima la causante de más mantenimientos correctivos, ya que es una falla que no se puede controlar, porque no se puede predecir el momento que una piedra o roca choque con algún componente de la bomba, internamente.

Para ver qué punto atacar nos encontramos que un cambio de material de los componentes principales de la bomba, puede solucionar dichos problemas.

Mediante diagramas de Pareto, ver gráfico 3-1 y gráfico 3-2, se pudo encontrar los componentes más críticos, los cuales significan gran cantidad de dinero, su reposición y a la vez, los más que más daño reciben al llegar a mantenimiento.

Sabiendo ya los componentes críticos, se analizaron distintos materiales ocupados en bombas, de los cuales, el alto cromo al 28%, es el que más se acomoda a nuestra necesidad, ya que es un material no muy caro, que soporta la corrosión, el desgaste y a la vez el impacto, analizados anteriormente.

Al hacer una comparación del material de la bomba (alto cromo al 18%), con el seleccionado (alto cromo al 28%), analizado anteriormente en la tabla 3-6, se puede apreciar que el material seleccionado, es menos duro que el de la bomba, pero soporta más los impactos, por lo cual alarga la vida útil de los componentes de la bomba, para probar esto se realizó los distintos cálculos de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad de los dos materiales, siendo el material seleccionado, quien contiene, más disponibilidad y confiabilidad, analizado en tabla 3-11, esto es una buena manera de ayudar a tener menos mantenimientos por ende se ahorra una buena cantidad de dinero y ayudar a la gestión del mantenimiento.

CONCLUSIONES

Al realizar el trabajo de título, se presentó el proceso de producción dentro de la minería, en el cual se desempeñan las bombas de drenajes, el cual lleva el nombre de flotación, donde dicho proceso, las bombas, operan en los relaves, los cuales son los desechos que deja el cobre, en el cual hay arenilla, rocas y líquidos, además se comprobó las bombas de drenaje, como tal, sus piezas y componentes, los factores que producen problemas, las exigencias en las cueles son sometidas, sus fallas más comunes.

La fallas revisadas según cuadro de fallas, es la que genera una falla más imprevista y no más bien controlada, el desgaste y la corrosión, son fallas que se encuentran en los relaves constantemente, los cuales acortan la vida de las piezas más críticas de la bomba, lentamente, pero son más controladas, la cavitación es un aspecto más de diseño de las piezas y de cálculo de nps_h, por lo cual es un aspecto controlable, por lo cual la falla más imprevista que se encuentra dentro del fluido, es el impacto por rotura, ya que una roca o piedra que se encuentra en el fluido, genera una falla inmediata, para poder dar solución a esta falla, se analizó en el cuadro de falla, y ya que el fluido contiene tanto sólido como líquido, se le aplico un cambio de material, en el cual se prevenga o dificulte que se genere dicha falla. Al analizar cada material ocupado en bombas, de alto rendimiento, y realizar los cambios de materiales pertinentes, analizando las piezas críticas según análisis de Pareto, de mantenimiento un año piezas críticas y de precios de costo de piezas, se pudo identificar las piezas críticas de la bomba, en el cual se seleccionó el impulsor y los platos de desgaste, tanto superior, como inferior.

Con esto, se pudo apreciar una significativa mejora en sus índices de mantenimiento, disminuyendo las fallas inesperadas, aumentando el tiempo medio de falla (MTTF), además su confiabilidad, en el caso del impulsor y plato de desgaste superior de un 60,7% a un 87,4%, en el caso de su disponibilidad de un 83,8% a un 95,5%, en el caso de su mantenibilidad, se mantiene, ya que la mejora de materiales repercute directamente a la disponibilidad y confiabilidad.

Cada falla que se produce en un equipo como en este caso, una bomba de drenaje, es una oportunidad de mejorar, analizando y buscando las soluciones directa a las condiciones en la cual se encuentra produciendo, dependiendo de sus exigencias y de su ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- BALDI, Carlos. Apuntes de Gestión del mantenimiento industrial, [diapositivas] UTFSM. Segundo semestre 2014. 92 diapositivas.
- PARRA, Carlos y CRESPO, Adolfo. Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la Gestión de Activos [en línea]. 2012 [citado el 7 de Abril de 2013]. Disponible en: http://books.google.cl/books?id=8xsnQ1aMg2gC&dq=norma+criticidad+semi+cuantitativa&hl=es&source=gbs_navlinks_s.
- FLYGT S.A., TFB. Bombas sumergibles y estaciones de bombeo. Madrid: Adequa ingeniería S.L.L., 2004. 326 p.

ANEXOS

ANEXO A: COSTOS DE PIEZAS DE BOMBA DE DRENAJE

Maestranza Diesel S.A.
RUT: 92.730.000-1



COTIZACIÓN

Página 1 de 2

SANTIAGO, 7 de Marzo de 2017

BPU : 56.375/17

C.Costo: 1.06.62

Empresa: Mauricio Orlando Arellano Arancibia
At.: SR. Cristófer Fernandez
Fax: Email: maisvermec@maisver.cl
Fono: Ref.:

Estimados señores:

De acuerdo a lo solicitado en referencia, tenemos el agrado de cotizar la siguiente oferta:

Item	Cantidad	Detalle	Valor Unitario	Total Item
1	1	19435 Impeller, DP, HCr, 50Hz.	10.082,00	10.082,00
2	1	24444 Casing, DI, 50Hz.	3.197,57	3.197,57
3	1	03768 Agitator, DP, HCr.	1.200,28	1.200,28
4	1	03764 Disc, Impeller, DP 50, 50B, 75B, HCr.	2.926,20	2.926,20
5	1	19906 Assembly, Rotor.	21.948,40	21.948,40
6	1	19221 Cover, Under.	6.315,18	6.315,18

CONDICIONES DE VENTA:

- * Plazo de Entrega : 10 - 12 semanas
- * Forma de Pago : 30 Días F.F.
- * Lugar de Entrega : Bodegas MD Santiago
- * Validez de la Oferta : 30 días corridos. Después de esa fecha debe ser revalidada.
- * Tipo Moneda : US Dollars

Valor Total: 47.669,63

Nota: estos valores no incluyen IVA.

Nota



SANTIAGO
Tel: 56-21 230 00 00
Fax: 56-21 230 09 38
www.maisver.cl

TEMUCO
Fono: 56-07 2 42 06 28

ANTOFAGASTA
Fono: 56-05 2 35 49 00
Fax: 56-05 2 33 48 90

CONCEPCIÓN
Fono: 56-41 2 79 63 00
Fax: 56-41 2 79 63 00

PUÑO
Fono: 56-01 2 42 88 00
Fax: 56-01 2 42 88 00
www.maisver.cl

COLOMBIA
Barranquilla
Fono: 57-31 368 32 70
www.maisver.cl

ANEXO B: TABLA DE ALEACIONES

Acero	Inoxidable	NORMAS ACTUALES Y EQUIVALENCIAS		ELEMENTOS COMPOSICION QUIMICA (% mas)											Densidad (kg/cm³ a 20°)	Dureza Brinell	Alargamiento	Límite Elástico (kg/cm²)	Características RECOMENDACIONES GENERALES DE USO
		ASTM	AISI	Fe	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	P	S	Cu						
		AISI 316	304	Resto	0,08	2,00	--	20,00	12,00	--	0,045	--	--	58	142	20	25	Se genera en acero inoxidable a requesto de procesamiento de alta calidad y normalización de calidad.	
		AISI 316	316	Resto	0,25	2,00	1,00	20,00	22,00	--	0,045	--	--	58	142	10	25		
		AISI 316	316	Resto	0,08	2,00	--	20,00	14,00	2,00	--	--	--	58	142	40	25		
		AISI 316	316	Resto	0,15	2,00	--	20,00	14,00	2,00	--	--	--	58	142	20	25		
		AISI 316	316	Resto	0,15	2,00	--	20,00	14,00	2,00	--	--	--	58	142	20	25		
Acero al Manganeso		AISI 120C	Acero al Manganeso	Resto	1,25	14,00	1,00	2,15	--	--	0,70	--	--	140	220	--	40	Se recomienda aleación con el Carbono al 0,20 mas.	
		AISI 120C	Acero al Manganeso	Resto	1,25	14,00	1,00	2,15	--	--	0,70	--	--	140	220	--	40		
Acero al Carbono		AISI 1045	1045	Resto	0,45	0,40	--	--	--	--	0,04	0,05	--	--	--	--	--	Se genera en acero al carbono a requesto de procesamiento de alta calidad y normalización de calidad.	
		AISI 1045	1045	Resto	0,45	0,40	--	--	--	--	0,04	0,05	--	--	--	--	--		
		AISI 1045	1045	Resto	0,45	0,40	--	--	--	--	0,04	0,05	--	--	--	--	--		
		AISI 1045	1045	Resto	0,45	0,40	--	--	--	--	0,04	0,05	--	--	--	--	--		
		AISI 1045	1045	Resto	0,45	0,40	--	--	--	--	0,04	0,05	--	--	--	--	--		
Fundición de Hierro		AISI 120	Fund. Gris	Resto	2,40	0,10	2,20	--	--	--	0,10	0,04	--	40	140	12	45,2	Se genera en fundición de hierro a requesto de procesamiento de alta calidad y normalización de calidad.	
		AISI 120	Fund. Gris	Resto	2,40	0,10	2,20	--	--	--	0,10	0,04	--	40	140	0	45,2		
		AISI 120	Fund. Gris	Resto	2,40	0,10	2,20	--	--	--	0,10	0,04	--	40	140	0	45,2		
		AISI 120	Fund. Gris	Resto	2,40	0,10	2,20	--	--	--	0,10	0,04	--	40	140	0	45,2		
		AISI 120	Fund. Gris	Resto	2,40	0,10	2,20	--	--	--	0,10	0,04	--	40	140	0	45,2		

Av. Lo Sierra (ex Av. Lo Espejo) 03246, San Bernardo, Santiago, Chile
Teléfono - fax: (56-2) 2854 2620 mesa central
info@omamet.cl
www.omamet.cl



ANEXO C: TABLA DE ALEACIONES FUNDICIONES BLANCAS DE ALTA ALEACIÓN

Class	Type	Designation	Composition				Cr	Mo
			C	Mn	Si	Ni		
I.....	A	Ni-Cr-HC	3.0-3.6	1.3 max	0.8 max	3.3-5.0	1.4-4.0	1.0 max(a)
I.....	B	Ni-Cr-LC	2.5-3.0	1.3 max	0.8 max	3.3-5.0	1.4-4.0	1.0 max(a)
I.....	C	Ni-Cr-GB	2.9-3.7	1.3 max	0.8 max	2.7-4.0	1.1-1.5	1.0 max(a)
I.....	D	Ni-Hi Cr	2.5-3.6	1.3 max	1.0-2.2	5.0-7.0	7.0-11.0	1.0 max(b)
II.....	A	12% Cr	2.4-2.8	0.5-1.5	1.0 max	0.5 max	11.0-14.0	0.5-1.0(c)
II.....	B	15% Cr-Mo-LC	2.4-2.8	0.5-1.5	1.0 max	0.5 max	14.0-18.0	1.0-3.0(c)
II.....	C	15% Cr-Mo-HC	2.8-3.6	0.5-1.5	1.0 max	0.5 max	14.0-18.0	2.3-3.5(c)
II.....	D	20% Cr-Mo-LC	2.0-2.6	0.5-1.5	1.0 max	1.5 max	18.0-23.0	1.5 max(c)
II.....	E	20% Cr-Mo-HC	2.6-3.2	0.5-1.5	1.0 max	1.5 max	18.0-23.0	1.0-2.0(c)
III.....	A	25% Cr	2.3-3.0	0.5-1.5	1.0 max	1.5 max	23.0-28.0	1.5 max(c)

Mechanical requirements					
Class	Type	Designation	Hardness, HB		Typical section thickness, max mm
			Sand cast, min	Chill cast, min	
I.....	A	Ni-Cr-HC	550	600	8
I.....	B	Ni-Cr-LC	550	600	8
I.....	C	Ni-Cr-GB	550	600	3 diam ball
I.....	D	Ni-Hi Cr	550	600	12
II.....	A	12% Cr	550	600	1 diam ball
II.....	B	15% Cr-Mo-LC	450	600	4
II.....	C	15% Cr-Mo-HC	550	600	3
II.....	D	20% Cr-Mo-LC	450	600	8
II.....	E	20% Cr-Mo-HC	450	600	12
III.....	A	25% Cr	450	600	8

(a) Maximum: 0.30% P, 0.15% S. (b) Maximum: 0.10% P, 0.15% S. (c) Maximum: 0.10% P, 0.06% S, 1.2% Cu