

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Tesis

**Implementación de plan de mantenimiento en bombas  
centrífugas verticales para aumentar su vida útil,  
en proyecto de gran minería, Arequipa 2019**

Alfredo Edgardo Rivero Diaz

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Mecánico

Arequipa, 2020

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **ASESOR**

Mg. Ing. Jonathan Sánchez Paredes

## **Agradecimiento**

A los docentes de la escuela profesional de Ingeniería Mecánica de la Universidad Continental, por las enseñanzas a lo largo de la carrera y al Mg. Jonathan Sánchez por su apoyo constante para la presente tesis.

## **Dedicatoria**

Dedico la presente tesis a mi esposa Lucia por su apoyo para lograr este objetivo, a mis hijos Andrea, Brenda y Edgardo por ser mi motivación, a mi padre Laureano que desde el cielo me protege, a mi madre Martha por todas sus enseñanzas y a mis hermanos por su apoyo incondicional en todo este camino.

# Índice

ASESOR.....	ii
Agradecimientos .....	iii
Dedicatoria .....	iv
RESUMEN.....	x
ABSTRACT .....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....</b>	<b>2</b>
1.1 Planteamiento y formulación del problema.....	2
1.1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.1.2 Formulación del problema.....	3
1.2 Objetivos .....	3
1.2.1 Objetivo General .....	3
1.2.2 Objetivos Específicos .....	3
1.3 Justificación e Importancia .....	3
1.3.1 Técnico .....	3
1.3.2 Económico .....	4
1.3.3 Social .....	4
1.4 Hipótesis y descripción de variables.....	4
1.4.1 Hipótesis General.....	4
1.4.2 Variable Dependiente.....	4
1.4.3 Variable Independiente .....	5
1.4.4 Descripción de variables .....	6
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>7</b>
2.1 Antecedentes del Problema .....	7
2.2 Base Teórica.....	8
2.2.1 Vida útil .....	8
2.2.2 Mantenimiento.....	9
2.2.3 Bomba .....	16
<b>CAPITULO III: METODOLOGÍA.....</b>	<b>37</b>
3.1 Método y alcance de la Investigación.....	37

3.1.1	Método .....	37
3.1.2	Tipo de Investigación .....	37
3.1.3	Alcance de Investigación – Descriptivo .....	38
3.1.4	Parámetros y distribuciones en el Mantenimiento .....	38
3.2	Diseño de la investigación.....	38
3.3	Población y Muestra.....	39
3.3.1	Población .....	39
3.3.2	Muestra.....	39
3.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	40
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>		<b>43</b>
4.1	Resultados del tratamiento y análisis de la información .....	43
4.2	Prueba de hipótesis.....	63
4.2.1	Prueba estadística .....	74
4.3	Discusión de los resultados.....	77
CONCLUSIONES .....		79
RECOMENDACIONES.....		80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		81
ANEXOS.....		83

## Índice de Tablas

Tabla 1.	Operacionalización de variable Dependiente.....	5
Tabla 2.	Operacionalización de variable Independiente.....	5
Tabla 3.	Listado de fallas por bomba.....	43
Tabla 4.	Tabla del Top Ten .....	44
Tabla 5.	Sellos Mecánicos.....	46
Tabla 6.	Características de bujes o cojinetes .....	48
Tabla 7.	Descripción de cambio de sellos (2016 - Actualidad). Bomba 01.....	64
Tabla 8.	Costo del sello y mano de Obra de la bomba 01 .....	64
Tabla 9.	Costo del uso del camión grúa de la bomba 01 .....	65
Tabla 10.	Costos dólar/hora de la bomba 01 .....	66
Tabla 11.	Descripción de cambio de sellos (2016 - Actualidad). Bomba 02.....	66
Tabla 12.	Costo de sello y mano de obra de la bomba 02 .....	67
Tabla 13.	Costo de uso del Camión Grúa de la bomba 02 .....	67
Tabla 14.	Costo dólar/hora de la bomba 02.....	68
Tabla 15.	Descripción de cambio de sellos (2016 - Actualidad). Bomba 03.....	69
Tabla 16.	Costo de sello mecánico y mano de obra para bomba 03 .....	70
Tabla 17.	Costo del uso de Camión Grúa para bomba 03 .....	70
Tabla 18.	Costo dólar/hora de la bomba 03.....	71
Tabla 19.	Descripción de cambio de sello (2016 - Actualidad). Bomba 04 .....	71
Tabla 20.	Costo de sello mecánico y mano de obra para la bomba 4.....	72
Tabla 21.	Costo del uso de Camión Grúa para la bomba 4 .....	73
Tabla 22.	Costo dólar/hora para la bomba 04.....	73
Tabla 23.	Identificación del valor de Chi – Tabla .....	74
Tabla 24.	Promedio de horas trabajadas en las cuatro bombas .....	75
Tabla 25.	Identificación del primer factor .....	75
Tabla 26.	Valores esperados.....	75
Tabla 27.	Hallazgo del valor Chi – Cuadrado .....	76
Tabla 28.	PCR de las cuatro bombas.....	78



## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1:	Curva de la bañera. ....	8
Ilustración 2:	Unidad elemental de mantenimiento. ....	11
Ilustración 3:	Flujograma del mantenimiento correctivo. ....	12
Ilustración 4:	Ciclo general de los tipos de Mantenimiento. ....	12
Ilustración 5:	Acciones posibles de realizar antes o después de la falla (Etapa I o II). .	14
Ilustración 6:	Relación del TPM y la tecnología. ....	14
Ilustración 7:	Número de impulsores de bombas. ....	17
Ilustración 8:	Bombas tipo de succión. ....	18
Ilustración 9:	Tipo de voluta de la bomba. ....	19
Ilustración 10:	Tipo de soporte de Rodamientos ....	19
Ilustración 11:	Orientación de la carcasa. ....	20
Ilustración 12:	Bombas Verticales. ....	21
Ilustración 13:	Componentes del sello mecánico. ....	22
Ilustración 14:	Clasificación de los sellos de empuje. ....	26
Ilustración 15:	Tipos de sellantes secundarios. ....	28
Ilustración 16:	Clasificación de los sellos de no empuje. ....	29
Ilustración 17:	Bomba de recolección de Agua. ....	31
Ilustración 18:	Partes Principales del equipo. ....	32
Ilustración 19:	Sistema de Accionamiento. ....	32
Ilustración 20:	Cabezal de la bomba. ....	33
Ilustración 21:	Impulsor. ....	33
Ilustración 22:	Porta-Tazones. ....	34
Ilustración 23:	Columna de descarga. ....	34
Ilustración 24:	Eje. ....	35
Ilustración 25:	Vibro Pen (SKF). ....	40
Ilustración 26:	Zonas de toma de vibración en motor y bomba. ....	41
Ilustración 27:	Medición de temperatura con termómetro láser. ....	41
Ilustración 28:	Alineador láser. ....	42
Ilustración 29:	Pareto de Fallas del sistema de bombeo. ....	44
Ilustración 30:	Componentes de un sello mecánico resaltando los materiales cambiados. .....	46
Ilustración 31:	Ubicación del buje o cojinete en la bomba ....	47
Ilustración 32:	Mangueras y válvulas instaladas en bombas. ....	49

Ilustración 33: Estado de bombas sin limpieza. ....	50
Ilustración 34: Mangueras de 16" instaladas.....	51
Ilustración 35: Diagrama de causa-efecto de fuga de Sellos.....	52
Ilustración 36: Diagrama de causa-efecto de Falla por bujes trabados .....	53
Ilustración 37: Diagrama de causa-efecto de Limpieza de tuberías de refrigeración de los sellos mecánicos.....	54
Ilustración 38: Diagrama de causa-efecto de Alineamiento de tuberías en juntas de expansión .....	55
Ilustración 39: Diagrama General de causa-efecto de las bombas centrífugas .....	61
Ilustración 40: Ciclo PHVA.....	62
Ilustración 41: Análisis de curva estadística.....	77

## RESUMEN

En el presente trabajo sobre la implementación de una propuesta de un plan de mantenimiento en bombas centrífugas verticales enfocados al sector de la industria de gran minería, se pretende aumentar su tiempo de vida útil mediante el análisis crítico de los factores externos a los cuales están expuestas las bombas y los factores internos como el material de sus componentes con los cuales trabaja. La problemática que se pensó resolver en el presente trabajo es de aumentar la vida útil de las bombas disminuyendo así los costos por el mantenimiento el cual incluye la compra de los componentes.

Por los motivos anteriormente nombrados, en el primer capítulo se procedió a establecer los aspectos generales dando, la justificación del presente trabajo y los objetivos a los cuales se quiere llegar. En el capítulo posterior se explicó la fundamentación teórica relacionado a la implementación de un plan de mantenimiento para bombas centrífugas verticales.

En la metodología de la investigación se permitió reconocer los problemas que tienen las bombas específicamente identificando los factores a los cuales se encontró expuesto, además que se establece los diferentes métodos para tomar mediciones los cuales son: Medición de vibración, temperatura y verificación de alineamiento. Luego se aplicó herramientas de gestión para identificar las fallas más comunes y significantes en las bombas centrífugas verticales mediante el diagrama de Pareto e Ishikawa. Con la información obtenida se realizó el método estadístico de Chi – Cuadrado para comprobar la hipótesis y verificar si tienen relación con los cambios realizados en el plan de mantenimiento.

Con toda la investigación realizada con una muestra de 4 bombas centrífugas, los resultados indican que existe una diferencia significativa después de aplicar el plan de mantenimiento y tiene una relación el tipo de material de los componentes que se mejoraron con el aumento de la vida útil.

**Palabras claves:** Bomba centrífuga, plan de mantenimiento, sellos mecánicos, vida útil.

## ABSTRACT

In the present elaboration on the implementation of a proposal for a maintenance plan in vertical centrifugal pumps focused on the large mining industry sector, it seeks to increase its useful life by critically analyzing the external factors to which the pumps are exposed. and internal factors such as the material of its components with which it works. The problem to be solved in this work is to increase the useful life of the pumps, thus reducing maintenance costs, which includes the purchase of components.

For the reasons previously mentioned in the first chapter, the general aspects were established, giving the justification for the present work and the objectives to be achieved. In the later chapter the theoretical foundation related to the maintenance plan for vertical pumps is explained.

In the research methodology it allows us to recognize the problems that the pumps have, specifically identifying the factors to which it is exposed, in addition to establishing the different methods to take measurements, which are: Vibration measurement, temperature and alignment verification.

Then management tools will be applied to identify the most common and significant failures in vertical centrifugal pumps using the Pareto and Ishikawa diagram. With the information obtained, the Chi - Square statistical method will be performed to check the hypothesis and verify if they are related to the changes made in the maintenance plan.

With all the research carried out with a sample of 4 centrifugal pumps, the results indicate that there is a significant difference after applying the maintenance plan and the type of material of the components that improved with the increase in the useful life has a relationship.

**Keywords:** Centrifugal pump, maintenance plan, mechanical seals, useful life.

# INTRODUCCIÓN

El mantenimiento tiene como objetivo asegurar la disponibilidad y la confiabilidad de los activos de una empresa cumpliendo con los requisitos del sistema de seguridad y calidad en todos sus procesos, además de cumplir las normas de medio ambiente, priorizando obtener la mayor productividad en sus actividades.

En el capítulo I se realiza un análisis de la problemática de los procesos que se tienen en la industria de la minería, dado que demandan de un gran uso del agua; es por ello que se tiene una alternativa de tratamiento y recuperación para sacarle el mayor provecho, las bombas centrífugas verticales son utilizadas precisamente en estas actividades, teniendo en cuenta que el agua tiene presencia de partículas en suspensión propias de la actividad minera; es por ello, que se debe tener un plan de mantenimiento y seguimiento a estas bombas las cuales están expuestas a que su tiempo de vida útil sea menor a lo establecido.

En el capítulo II se realiza el marco teórico del presente trabajo, la cual nos servirá para la metodología; en el capítulo III se analiza el plan de mantenimiento y las herramientas que se utilizará en el presente trabajo dado que los elementos de gestión de los recursos definen un programa de actividades preventivas y predictivas, con los cuales se busca una mayor productividad aumentando el tiempo de vida útil y disminuyendo costos por mantenimiento.

En el capítulo IV se busca implementar un plan de mantenimiento adecuado mediante la planificación con una serie de actividades y tener un monitoreo constante, con esto se obtiene las fallas más recurrentes al cual se encuentran expuestas las bombas centrífugas, contribuyendo así a la gestión del mantenimiento, el cual incluye un presupuesto confiable dado que se tienen propuestas de materiales y marcas alternativas de los repuestos.

# **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

## **1.1 Planteamiento y formulación del problema**

### **1.1.1 Planteamiento del problema**

El agua es importante en los procesos mineros debido a que se utiliza el 5% del agua del Perú, estimando que se libera anualmente más de 13 billones de m<sup>3</sup> de efluentes, dado que el consumo es alto se ve por necesario realizar una recuperación de agua provenientes de los relaves. (Bebbington&Williams , 2008) Una de las características de esta agua recuperada es que poseen partículas en suspensión de diferentes metales en porcentajes de 11% hasta 18%, este punto genera problemas en los sistemas de las bombas que han sido diseñadas para operar bajo determinadas condiciones de trabajo.

En la Gran Minería el uso de bombas centrífugas es muy común como parte de la recuperación de agua de relaves para su uso en procesos, las bombas centrífugas verticales se utilizan en espacios reducidos, en lugares donde la altura de cabeza requerida debe ser de muchos metros, para ello es recomendable usar este tipo de bombas que no podrían realizar la función tan fácilmente con bombas centrífugas horizontales.

El uso de las bombas en la industria es importante para el transporte de fluidos, en la gran minería su utilidad es en el área de procesamiento de minerales, en la zona de explotación para el drenaje de las minas y sistemas de abastecimiento de agua.

Uno de los principales problemas de desgaste de las bombas centrífugas es por el uso de agua con sólidos en suspensión, para ello se debe tener en cuenta los elementos con los que fueron fabricados las bombas, tales como sellos mecánicos, bujes de sacrificio y holguras internas de la bomba, para poder así realizar un diagnóstico.

El mantenimiento que se realiza a estas bombas son correctivos, porque que son realizados después de ocurrir la falla mientras que si se realizara el mantenimiento preventivo y predictivo para estas bombas centrífugas ayudaría a reducir los costos en mina, optimizando los procesos y mejorando la vida útil de las bombas.

Por lo tanto, en el presente trabajo se va a realizar la implementación de un plan de mantenimiento, para aumentar la vida útil de las bombas centrífugas verticales para que la Planificación y reparación de componentes (PCR) óptimo sea de 16,000 horas y por ende analizar el ahorro de costos por mantenimiento en un promedio aproximado de \$15 por hora de mantenimiento; para ello se debe analizar las condiciones en las cuales trabajan las bombas y los componentes que se requieren, dentro de una política de mínimo costo y bajo la aplicación de estrategias adecuadas.

### **1.1.2 Formulación del problema**

- Problema general

La interrogante principal de la presente investigación: ¿Cómo se afecta la vida útil de las bombas centrífugas verticales al implementar un plan de mantenimiento?

- Problemas específicos
  - ¿Cómo se determinan las principales fallas de componentes internos de una bomba centrífuga?
  - ¿Cómo varían los costos por mantenimiento no programado con la implementación de un plan de mantenimiento?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Implementar un plan de mantenimiento en bombas centrífugas verticales para que aumente su vida útil.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Determinar principales fallas de componentes internos de una bomba centrífuga.
- Analizar la variación por costos de mantenimiento no programado con la implementación de un plan de mantenimiento

## **1.3 Justificación e Importancia**

### **1.3.1 Técnico**

Para implementar un plan de mantenimiento, se debe comprender el manejo y funcionamiento de las bombas centrífugas verticales, para ello se deben realizar mediciones y diagnósticos de estas en el área de mantenimiento aplicando diferentes

herramientas y metodologías de trabajo. Con el presente trabajo se busca aumentar su vida útil teniendo un PCR óptimo de 16,000 horas de funcionamiento continuo de las bombas centrífugas verticales, llegando a reducir los tiempos por mantenimiento.

### **1.3.2 Económico**

El presente trabajo busca la implementación de un plan de mantenimiento para alargar su tiempo de vida útil, utilizando alternativas más económicas y eficientes de los componentes más críticos de la bomba centrífuga vertical. Es por ello que al alargar la vida útil de las bombas reduce los tiempos de mantenimiento prolongados, el cual genera un ahorro económico superando el PCR de 4,000 horas en promedio de funcionamiento, significando un ahorro de más del 50% en costos de mantenimiento.

### **1.3.3 Social**

Desde el punto social, las bombas centrífugas utilizadas en la minería permiten la reutilización de aguas, generando un impacto ambiental positivo ya que realiza la recuperación de aguas provenientes de los relaves. Una de las características de esta agua recuperada, es que poseen partículas en suspensión de diferentes metales, este punto genera problemas en los sistemas de las bombas que han sido diseñadas para operar bajo determinadas condiciones de trabajo. La investigación espera poder tratar hasta 13 billones de m<sup>3</sup> de efluentes de la industria minera.

## **1.4 Hipótesis y descripción de variables**

### **1.4.1 Hipótesis General**

H0: Al implementar un plan de mantenimiento en bombas centrífugas verticales no aumenta su vida útil

H1: Al implementar un plan de mantenimiento en bombas centrífugas verticales aumenta su vida útil.

### **1.4.2 Variable Dependiente**

- Vida útil de bomba centrífuga vertical

Esta variable se debe definir por lo que el experimentador observa para hallar el efecto de la variación sistemática de la variable precedente. La característica de esta variable es que se puede investigar y es medible.



**Tabla 1.***Operacionalización de variable Dependiente*

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	DESCRIPCIÓN
Vida útil de bomba centrífuga vertical	Diagnóstico	Vibración en la bomba y el motor.	Se realizarán las mediciones cada 15 días con el Vibropen.
		Temperatura en la bomba.	Se realizarán las mediciones cada 15 días con termómetro laser.
	Calibración	Alineamiento entre el motor y la bomba.	Se realizarán las mediciones trimestralmente con alineador laser.
	Gestión operativa	Índice de ocurrencias de fallas.	Se realizará una base de datos en excel de los cambios realizados con respecto al material y marca.
	Gestión de costos	Costos de mantenimiento	Se realizará un análisis de costos con respecto a los componentes utilizados y su tiempo de vida útil obteniendo su costo por hora de trabajo.

**Fuente:** Elaboración propia**1.4.3 Variable Independiente**

- Componentes según el plan de mantenimiento

Esta variable se caracteriza ya que su valor cambia sistemáticamente para ver el efecto que esta tiene.

**Tabla 2.***Operacionalización de variable Independiente*

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	DESCRIPCIÓN
Componentes según el plan de mantenimiento	Material	Pruebas y ensayos de propiedades físicas.	Se realizará un análisis de vibración y mayor dureza para seleccionar el material mas resistente para las condiciones de trabajo requeridas.

**Fuente:** Elaboración propia

#### **1.4.4 Descripción de variables**

- Vida útil de bomba centrífuga vertical.

Para lograr evaluar la variación que existe en el tiempo de vida útil en las bombas centrífugas, se debe realizar un monitoreo constante con relación a la temperatura, vibraciones y alineamiento. Estableciendo la frecuencia de mantenimiento en las bombas centrífugas.

- Componentes de insumos de plan de mantenimiento

Al realizar un plan de mantenimiento para el uso de las bombas se tendrá una mayor productividad, para ello se debe determinar cuáles son las fallas frecuentes en la bomba centrífuga, además de determinar los costos por cada mantenimiento explorando alternativas en la marca y material de los componentes.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Antecedentes del Problema**

En marzo de 2013, RAUL PAZMIÑO, realizó un trabajo para titulado de Tecnólogo en el cual realiza un plan de mantenimiento del circuito de lubricación en bombas horizontales, este tipo de modelo está enfocado en el proceso de recuperación de crudo; se utilizó diferentes métodos de estudios como son: Análisis de aceite dieléctrico, medición de vibraciones y medición de temperaturas, las cuales se deben monitorear constantemente para determinar el comportamiento de las bombas. De acuerdo con estos parámetros de análisis se puede predecir un mantenimiento periódico de las bombas las cuales pueden son: Mensuales, Trimestrales, Semestrales y Anuales. (PAZMIÑO REY, 2013)

En 2013, LIBIA FAJARDO Y FABIAN MARTINES, realizaron un trabajo para titulado de Ingeniería Mecánica, en el cual realizan una propuesta de Plan de Mantenimiento basado en RCM para una planta de inyección de agua, este plan de mantenimiento busca alcanzar los estándares de los equipos. Para realizar su metodología, partieron de los modos de fallas que presentaban constantemente los equipos, al realizar este tipo de mantenimiento RCM transforma la relación entre el personal involucrado, la planta misma en sí y el personal que tiene que hacerla funcionar y mantenerla, esto permite el funcionamiento a gran velocidad, seguridad y precisión. (FAJARDO RODRIGUEZ & MARTINEZ SANTOS, 2013)

En noviembre 2016, UBALDO OCHOA realiza un trabajo de graduación en el cual propone un diseño de instalación y plan de mantenimiento de sistemas de bombeo, en el cual primero identifica hacia donde determinan el uso de la bomba, ya sea para dosificación de sustancias química, remoción de lodos, muestreo y compresión de aire. Cada categoría tiene sus propias características de operación y una serie de aplicaciones. Para realizar un diseño de mantenimiento primero se deben monitorear el sistema de bombeo mediante inspección diaria lista de verificación, procedimientos de encendido y apagado y respuesta

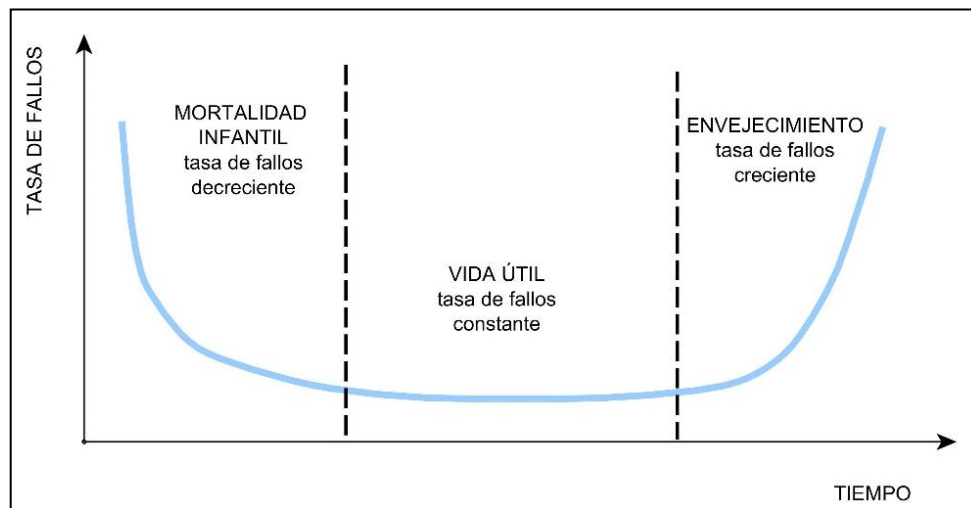
a fallas del equipo y otras condiciones de emergencia, planes de contingencia de los cuales se identifica las fallas constantes que tiene el equipo. (OCHOA LOPEZ, 2016)

## 2.2 Base Teórica

### 2.2.1 Vida útil

La vida útil se denomina como el ciclo en el cual un equipo o maquinaria logra de una manera eficiente y segura su ciclo para el cual está destinado y logre cumplir lo estimado. (Castela, 2016)

Para explicar el tiempo de vida útil en un equipo, se puede realizar mediante la curva de la bañera en la cual se representa los fallos durante la operación de un sistema, en ella se destacan tres zonas las cuales se muestran a continuación.



**Ilustración 1:** Curva de la bañera.

**Fuente:** Castela, 2016.

- **Mortalidad Infantil:** En esta etapa es característico tener una elevada tasa de fallas, las cuales pueden disminuir con el tiempo, estas fallas pueden ocurrir por un mal montaje, rodaje o ajuste. Este factor es decreciente en algunos casos puede que no disminuya si existen fallas por el fabricante.
- **Vida Útil:** En esta etapa tiene una tasa de errores menores y constantes, estos fallos no se producen debido a causas inherentes al equipo, sino por factores externos a los cuales se encuentra expuesto.
- **Envejecimiento:** En esta etapa se muestra el deterioro acelerado de los componentes llegando así al fin de la vida útil del sistema, dado que son fallos que se presentan por el tiempo de uso.

Para lograr calcular la vida útil de una maquinaria, se debe realizar mediante una predicción combinada, teniendo en cuenta diferentes factores que influyen. (Máquina Click, s.f.)

- Duración homologada: En este punto incluye que el equipo o maquinaria no cuenta con fallos de fabricación y por ende, se puede tener un punto de partida para su óptimo funcionamiento.
- Garantía: En este aspecto es un cálculo en el cual el fabricante fija un límite del cual las reparaciones resultan costosas y las fallas son por el uso de la maquinaria.
- Costos de mantenimiento: Es un indicativo real en el cual se desea saber cuánto será el tiempo de vida útil de la maquinaria, en este punto destacan los sistemas de mantenimiento predictivos y preventivos para prolongar el tiempo de vida útil.

### **2.2.2 Mantenimiento**

Comprenden todas las actividades que intervienen en la conservación en buen estado del equipo de un sistema. El objetivo principal es mantener la capacidad del sistema y minimizar los costos totales de mantenimiento. (MORA GUTIERREZ, 2009)

El mantenimiento en general tiene como objetivo en primer lugar el evitar, reducir y por último reparar las máquinas y equipos. Lo más conveniente en una empresa es evitar una falla, si en caso esto no se puede evitar, se busca disminuir sus efectos negativos. A raíz de un buen plan de mantenimiento se reduce el estrés de los operarios según área de producción y optimiza los recursos.

Según sea la necesidad de mantenimiento de la máquina o equipo, existen diferentes tipos, los cuales son:

- Mantenimiento Correctivo
- Mantenimiento Predictivo
- Mantenimiento Preventivo

#### **A. Beneficios del Mantenimiento**

- Seguridad: El correcto plan de mantenimiento preventivo, mejora las condiciones de seguridad evitando fallas catastróficas, además de conocer el

tiempo de vida de las máquinas y equipos para ser reparadas en el tiempo correcto.

- Vida útil: Un plan de mantenimiento preventivo, proporciona una mayor confiabilidad que la que tendría un sistema de mantenimiento correctivo, optimizando la mantenibilidad del sistema.
- Costos de reparaciones: Realizando mantenimientos predictivos, se ahorra en los costos de reparación que pueden ocasionar los mantenimientos correctivos.
- Inventarios. El costo de inventarios puede reducir, dado que un sistema correcto de mantenimiento predictivo ayuda a tener el stock de repuestos según su tiempo de vida útil.
- Confiabilidad: Es la probabilidad que una máquina o equipo pueda mantenerse operativa según un plan de mantenimiento.
- Mantenibilidad: Es la probabilidad que una máquina o equipo pueda realizar su mantenimiento programado en el tiempo adecuado.

## **B. Actividades Ligadas al Mantenimiento**

El mantenimiento comprende las actividades involucradas en la conservación en buen estado del equipo de un sistema. La industria moderna y competitiva en la que nos encontramos desea tener el correcto funcionamiento de las máquinas y equipos de producción para tener una mayor disponibilidad, esto origina tener un plan de mantenimiento. (MORA GUTIERREZ, 2009)

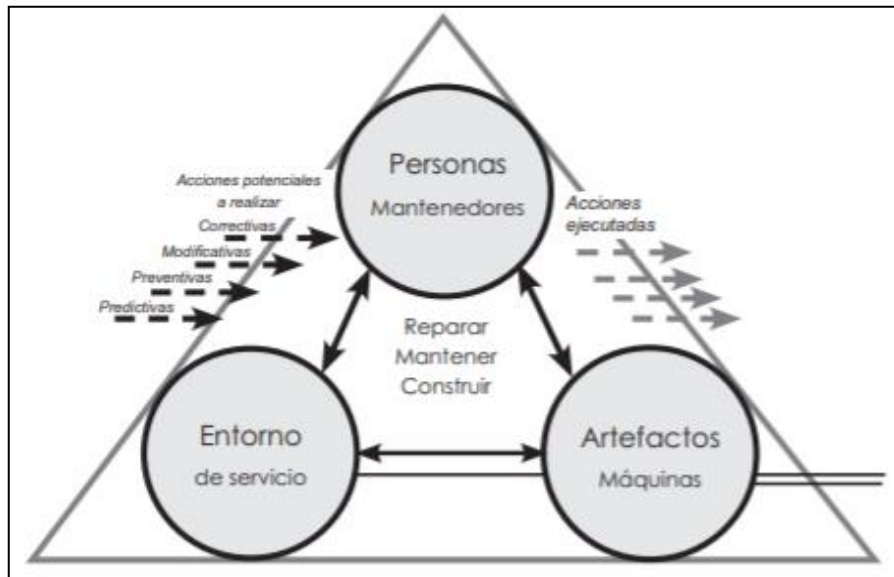
Las actividades que se deben realizar para un servicio de mantenimiento se pueden detallar de la siguiente manera:

- Nivel Operativo: Son las tareas de mantenimiento que se realizan antes y después de una falla de la máquina o equipo. (MORA GUTIERREZ, 2009)
- Nivel Táctico: Son las acciones de organización para realizar el mantenimiento correspondiente. (MORA GUTIERREZ, 2009)
- Nivel Estratégico, costos e índices: Permite medir y valorar la gestión del mantenimiento en la empresa. (MORA GUTIERREZ, 2009)

## **C. Áreas de acción del mantenimiento**

El mantenimiento dentro de una empresa abarca a tres elementos importantes en toda industria: mantenedores las cuales son las personas, máquinas o equipos que son los

artefactos o activos en una empresa y el entorno que viene a ser el espacio físico donde se da los servicios de mantenimiento.

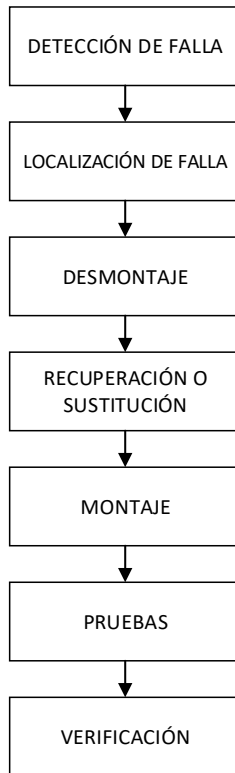


**Ilustración 2:** Unidad elemental de mantenimiento.

**Fuente:** (MORA GUTIERREZ, 2009)

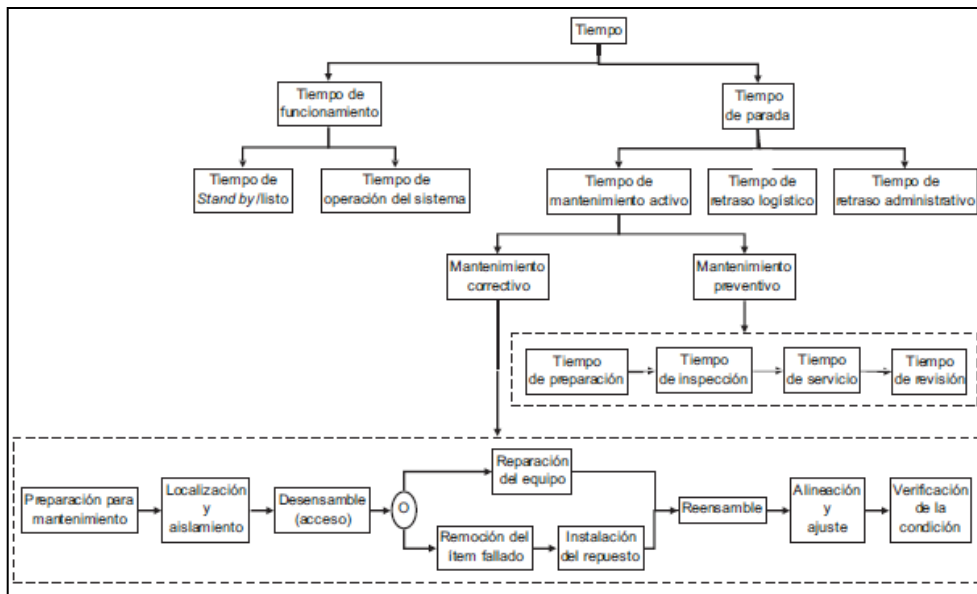
#### **D. Tipo de Mantenimiento**

- a) **Mantenimiento Correctivo:** Este tipo de acción se realiza apenas se produce una falla realizando la reparación de esta. El mantenimiento correctivo consta del siguiente procedimiento:
- b) **Mantenimiento Preventivo:** Consta de la aplicación de instrumentos avanzados y básicos para realizar un seguimiento constante a las máquinas y equipos, con esto se logra identificar fallas primarias antes de llegar a una falla catastrófica.



**Ilustración 3:** Flujograma del mantenimiento correctivo.  
**Fuente:** Elaboración propia.

- c) **Mantenimiento Predictivo:** Es el estudio de diferentes parámetros internos y externos para poder diagnosticar futuras fallas y poder evitarlas, alargando así la confiabilidad de los equipos y su vida útil.



**Ilustración 4:** Ciclo general de los tipos de Mantenimiento.  
**Fuente:** MORA GUTIERREZ, 2009.

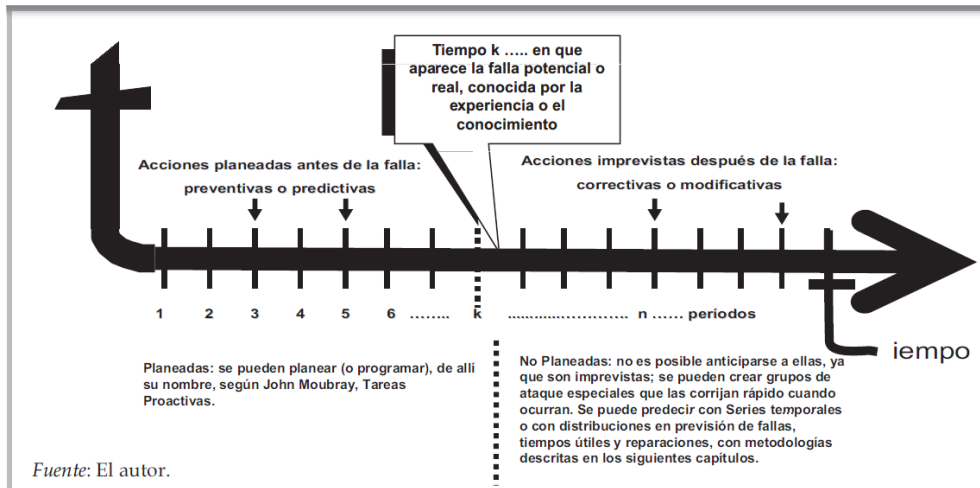


## **E. Procedimiento para realizar un Plan de Mantenimiento**

- a) Administración del plan: En este paso se realiza el planeamiento correspondiente para mantenimiento preventivo, se realiza un plan según la vida útil de cada equipo. Además de programar la cantidad de personal que será necesario y los días programados del mantenimiento. Después de realizar la planificación correspondiente se organiza el programa de trabajo.
- b) Inventario de las Instalaciones: Es la lista de requerimientos para poder realizar la instalación de los equipos. En este paso se identifica las fallas que tuvo el equipo y se elaboran los diferentes documentos para constatar las piezas que presentan fallas.
- c) Especificaciones del trabajo: Es el procedimiento que realizará para cada tarea, en este se debe especificar las piezas que se están cambiando y que tipo de mantenimiento están realizando.
- d) Control del programa: Hace referente a la mantenibilidad, la cual es la probabilidad que un equipo pueda realizar su mantenimiento en el tiempo programado.

## **F. Enfoques recientes de Mantenimiento y de Producción**

- a) Etapa I: En esta fase se realizan las acciones iniciales para realizar un mantenimiento, como entrenar al personal en su especialidad, realizar los requerimientos de herramientas a utilizar, se desarrollan las metodologías que se tiene en el planeamiento de la empresa para un mantenimiento general. (MORA GUTIERREZ, 2009)
- b) Etapa II: En esta fase se realiza el reconocimiento de que mantenimiento será el necesario según sea la máquina, se realizan el requerimiento de equipos y herramientas específicas. Sólo se realiza en esta etapa el mantenimiento correctivo. En esta etapa se realiza un análisis por la falla de la máquina para poder realizar un mantenimiento predictivo mediante métodos estadísticos. (MORA GUTIERREZ, 2009)



**Ilustración 5:** Acciones posibles de realizar antes o después de la falla (Etapa I o II).  
**Fuente:** MORA GUTIERREZ, 2009.

- c) Etapa III: Cuando la empresa ya tiene la experiencia correspondiente para poder realizar el mantenimiento y tiene una base de datos con respecto al tiempo entre fallas de una maquinaria, puede realizar tácticas de mantenimiento como el Mantenimiento Productivo Total (TPM), Mantenimiento centrado en la fiabilidad/confiabilidad (RCM), entre otras. (MORA GUTIERREZ, 2009)
- d) Etapa IV: En esta etapa ya teniendo un registro histórico de fallas y reparaciones, se establece un sistema de medición mediante parámetros, en este punto la productividad mejora en sus actividades de mantenimiento por la gestión y acciones de las etapas anteriores integrando la tecnología y la logística. (MORA GUTIERREZ, 2009)



**Ilustración 6:** Relación del TPM y la tecnología.  
**Fuente:** Mora Gutiérrez, 2009.

- e) Etapa V: Se desarrollan las habilidades en todo el personal de la empresa fortaleciendo los anteriores puntos y creando competencias, esto es parte de un mantenimiento integral basado en procesos. (MORA GUTIERREZ, 2009)
- f) Etapa VI: Integra los conocimientos y las prácticas aprendidas realizando así el éxito de sus activos. (MORA GUTIERREZ, 2009)

## **G. Gestión y Mantenimiento**

En todo mantenimiento se busca tener la eficiencia con que la gestión contribuye para poder alcanzar la producción total mediante el desarrollo de capacidades y la fiabilidad de las diferentes industrias, esto se demuestra al maximizar la vida útil de los equipos y máquinas. (MORA GUTIERREZ, 2009)

Para tener el éxito de una buena gestión en la cual existan, cero pérdidas, cero accidentes, cero defectos; se debe implementar un proceso sistémico que permita gerenciar el sistema de mantenimiento, teniendo una planeación detallada global y específica de las rutas y actividades del mantenimiento por realizar.

Para la buena gestión de mantenimiento, deben estar constantemente relacionados con el área de seguridad, calidad y producción, para así realizar un constante monitoreo en cuestión al análisis de fallas. El mantenimiento no sólo se debe realizar en el área de producción, dado que en todo lugar tenemos máquinas así sean pequeñas como en el área administrativa, por eso la empresa se debe mantener comprometida.

## **H. Técnicas de Monitoreo**

- a) Análisis vibracional: Este tipo de análisis se utiliza en máquinas rotativas en las cuales se desea implementar un mantenimiento predictivo. Ayuda a diagnosticar fallos mecánicos e incluso problemas en máquinas eléctricas. Con este tipo de análisis se logra tener parámetro de supervisión con los cuales se tendrá una base de datos cuantitativa también se obtiene gráficos de diagnóstico. (Álava).
- b) Termografía: Se realiza este tipo de técnica para inspeccionar los puntos calientes en equipos eléctricos, de procesos térmicos y mecánicos. Con esto se puede determinar si los componentes tienen la temperatura adecuada o sea posible que esté presentando fallas de sobrecarga de energía. (Álava).
- c) Alineamiento láser: El uso de este tipo de análisis en lugar de realizar un mantenimiento total de la máquina ayuda en el ahorro de tiempo y dinero,

aumentando la disponibilidad de la máquina y alargando los intervalos de mantenimiento. (TECSUP).

- d) Calibración: Es el conjunto de operaciones que se encuentran establecidas y especificadas con valores estándares por un instrumento o sistema de medida. (Laso).

## **I. Distribuciones Estadísticas en Mantenimiento**

- a) Chi – Cuadrado: Es una función derivada de la normal, es utilizada en gran variedad de pruebas estadísticas y en mantenimiento para el análisis de la fiabilidad. Es utilizado para variables discretas o continuas y se puede emplear cuando los parámetros de la distribución ya fueron estimados. Los valores críticos de las tablas estadísticas se basan en los grados de libertad y el nivel de significancia deseado. (Carrión García & Carot Sánchez, 2004)
- b) Distribución Weibull: Es una distribución de probabilidad continua y multiparamétrica la cual es utilizada en el campo del mantenimiento y fiabilidad dado que aporta mayor precisión. Esta distribución se puede trabajar con dos y con tres parámetros, el tercer parámetro involucrado es el tiempo T en el cual empieza el comportamiento del equipo. En las distribuciones exponenciales se encarga de modelar las características de la vida útil del sistema, mientras que en este tipo de distribución se encarga de modelar la curva de la bañera en las cuales incluye todos los procesos que sufrió un componente desde su infancia hasta la muerte de este. Este modelo estadístico es usado en el mantenimiento, dado que modela la fatiga y los ciclos de fallos con gran flexibilidad adaptándose a diferentes escenarios de trabajo. (Andrea Calvo & Sierra Fernández).

### **2.2.3 Bomba**

Una bomba es un dispositivo utilizado para elevar agua u otro líquido similar, puesto que es una herramienta que trabaja a presión intercambiando energía. Una bomba no genera energía propia, pero si es una fuente que transfiere energía.

#### **A. Clasificación de la Bomba**

##### **a) Bombas Centrífugas**

Este tipo de bombas son conocidas por el movimiento del líquido que realizan de igual manera por acción de una fuerza centrífuga, este tipo de fuerza actúa sobre un cuerpo

con un movimiento que sigue un patrón circular. Todas estas fuerzas causan que el líquido realice movimientos hacia fuera. El principio de movimiento de este tipo de bombas está en dos de sus principales componentes: el impulsor y la voluta. La parte rotatoria es la encargada de convertir la energía del conductor a energía cinética, mientras que la voluta es la parte estacionaria que convierte la energía cinética a energía de presión.

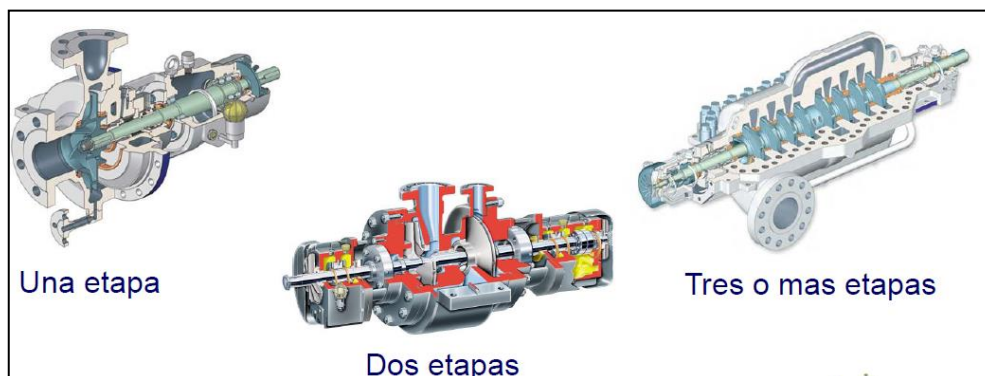
Estas bombas pueden ser agrupadas en distintos tipos de criterio según la función a la cual es dirigida. Algunos de estos grupos son los siguientes:

- Orientación del eje
  - El eje de la bomba se encuentra en un plano horizontal la cual lo hace de fácil operación y mantenimiento.
  - El eje de la bomba se encuentra en un plano vertical, esto lo hace más práctico al momento de utilizar estas bombas en espacios limitados.

- Número de impulsores

El número de impulsores de la bomba es el factor que determina el número de etapas y no el número de volutas que tengan estas.

- De una etapa: Se realiza el bombeo con un solo impulsor, para servicio de baja presión de descarga.
- De dos etapas: Se realiza el bombeo con dos impulsores en serie, para servicio de alta presión de descarga.
- De tres a más etapas: Se realiza el bombeo con tres a más impulsores en serie, para servicio de alta presión de descarga.



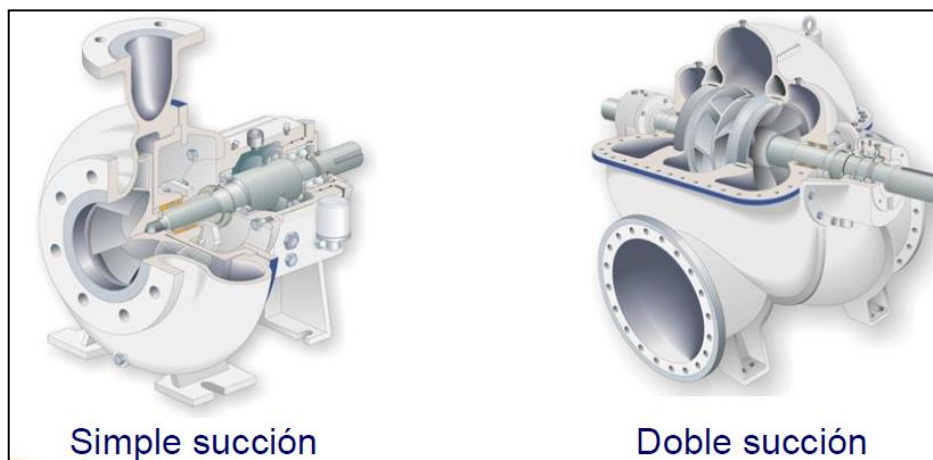
**Ilustración 7:** Número de impulsores de bombas.

**Fuente:** CRANE.

- Tipo de succión

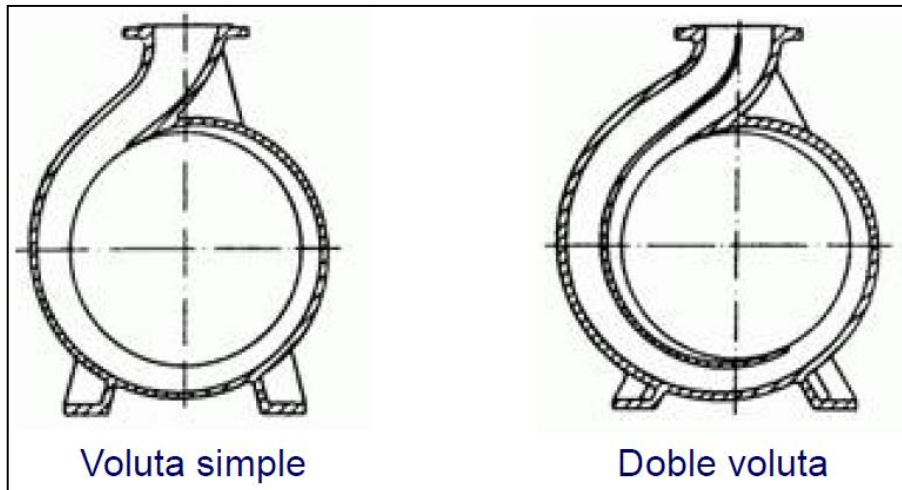
En una bomba centrífuga de dos a más impulsores, el diseño del impulsor de primera etapa determina si la bomba es considerada de simple o doble succión. (CRANE)

- De succión simple: El impulsor tiene una sola cavidad de succión por donde ingresa el fluido, su diseño es simple, pero el impulsor está sujeto a importante empuje axial que puede causar desbalanceo.
- De doble succión: El impulsor tiene cavidades de succión de ambos lados por lo cual está hidráulicamente balanceado, aunque susceptible a flujos no equilibrados si la tubería de succión no fue correctamente diseñada.



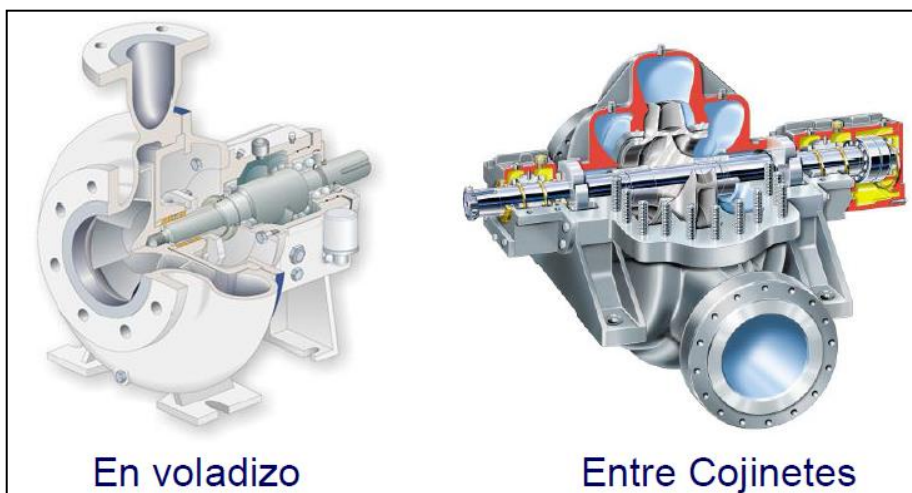
**Ilustración 8:** Bombas tipo de succión.  
**Fuente:** CRANE.

- Tipo de voluta
  - Voluta simple: La voluta de la bomba es de un solo labio, el cual es fácil de moldear en fundición. Este tipo es usado esencialmente para bajas capacidades de bombeo.
  - Voluta doble: La voluta de la bomba dispone de dos labios ubicados 180° entre sí, lo cual incrementa el balance entre cargas radiales, la mayoría de las bombas centrífugas contemplan este diseño.



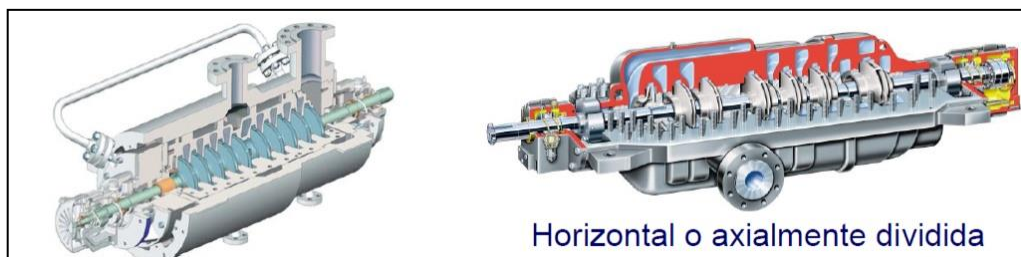
**Ilustración 9:** Tipo de voluta de la bomba  
**Fuente:** CRANE

- Tipo de soporte de rodamientos
  - En voladizo: El rotor se encuentra suspendido en un extremo del eje, el cual no está soportado por un rodamiento. Este tipo tiene generalmente un menor NPSHR debido a que no hay ninguna obstrucción en el eje del rotor que limite la sección útil de la cavidad; el problema en estos casos está dado por la mayoría deflexión del eje de la bomba durante su operación.
  - Entre cojinetes: El eje de la bomba se encuentra soportado en los extremos por un rodamiento encontrándose el impulsor entre ambos rodamientos; en este caso la deflexión es mucho menor, aunque el NPSHR de la bomba es mayor al estar el eje bloqueando el “ojo” del impulsor.



**Ilustración 10:** Tipo de soporte de Rodamientos  
**Fuente:** CRANE.

- Ubicación de las bridas de succión y descarga.
  - Succión lateral/descarga superior (end/top): La brida de succión está en el extremo y concéntrico al eje de la bomba, mientras que la brida de la descarga se encuentra arriba de la voluta, perpendicular al eje.
  - Succión y descarga superior (top/top): La brida de succión y la brida de descarga se encuentran arriba de la voluta, perpendicular al eje.
  - Succión y descarga lateral (side/side): La brida de succión y la brida de descarga se encuentran a los lados de la voluta, en posición horizontal perpendicular al eje.
  
- Orientación de la división de la carcasa
  - Axialmente dividida: La carcasa se encuentra dividida axialmente en dos partes: una superior y otra inferior la cual no puede ser soportada a nivel del centro de eje, razón por la cual su uso está limitado por la temperatura del fluido para evitar desalineamientos debidos a la desigual dilatación de los componentes desde la línea de eje; la junta plana de la carcasa y la irregular disposición de los pernos de fijación dificulta la distribución de esfuerzos lo cual limita su máxima presión de operación.
  - Radialmente dividida: La carcasa se encuentra dividida radialmente en dos partes: una llamada carcasa y la otra tapa, donde la suportación se efectúa a nivel de la línea de eje, lo que permite la libre dilatación de sus componentes en caso de aplicaciones a elevadas temperaturas; la junta confinada en la carcasa y la disposición circular de los pernos de fijación hace más manejable la distribución de esfuerzos, lo cual permite adecuar su diseño para mayores presiones de operación.



**Ilustración 11:** Orientación de la carcasa.  
**Fuente:** CRANE.



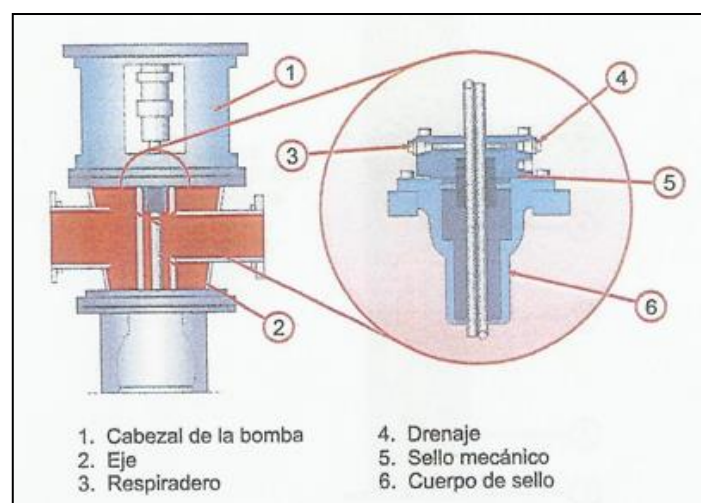
- Conexión del eje de accionamiento
- Acople integral (CloseCoupled): Típicamente utilizado en bombas de servicio liviano ya que el eje del dispositivo de accionamiento es común al eje de la bomba; el montaje del conjunto de accionamiento-bomba es muy compacto, de bajo peso y de bajo costo.
- Acople directo: El accionamiento y la bomba, tienen ejes independientes conectados mediante un acoplamiento flexible el cual posee espaciadores para permitir la remoción de los sellos sin interferir con el motor.

### b) Bombas Sumergibles

Son conocidas este tipo de bombas por extraer agua de pozos mecánicos, esto quiere decir que se encuentra sumergida debajo del nivel del agua del pozo. Se necesita de un motor eléctrico sellado que está conectado a cables de alta resistencia al agua. Las bombas sumergibles y de cárcamo tipo turbina, se utilizan en aplicaciones de pozo profundo, sistemas de riego, sistemas contra incendio, abastecimiento de agua potable a municipios e industrias en general.

### c) Bombas Vertical GouldsPumps VIT-FF

Las bombas con eje de giro en posición vertical tienen el motor a un nivel superior al de la bomba, al contrario que las horizontales que la bomba trabaje rodeada por el líquido a bombear. En la recuperación de agua de barcazas se utilizan este tipo de bombas. Para las especificaciones técnicas Ver Anexo A.



**Ilustración 12:** Bombas Verticales.

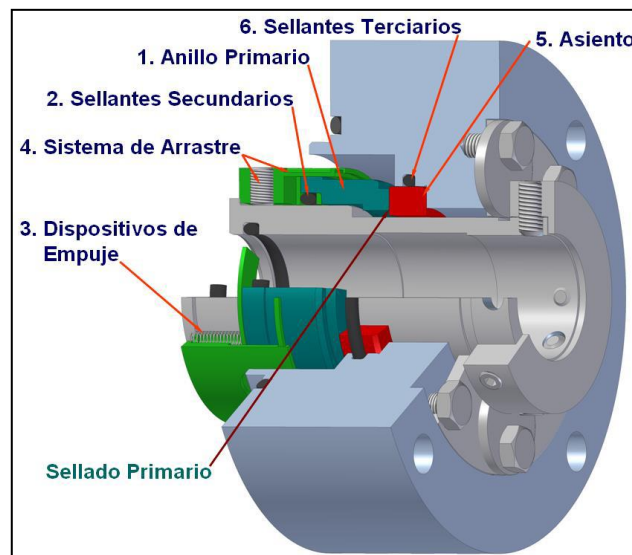
**Fuente:** TECSUP

### d) Sello mecánico de bomba

Los Sellos Mecánicos se definen técnicamente como un dispositivo que previene el escape de un fluido de un recipiente, al cual atraviesa un eje rotativo. El sellado se realiza por el contacto axial de sus caras que se encuentran perpendiculares al eje y en movimiento relativo una respecto a la otra.

Todos los sellos mecánicos constan de dos elementos básicos:

- Elemento Rotativo.
- Elemento estacionario.



**Ilustración 13:**Componentes del sello mecánico.  
**Fuente:** CRANE

El sello mecánico consta de los siguientes componentes en su estructura:

- Anillo primario o Inserto (balanceado, no balanceado)

Es el anillo de desgaste del cabezal de sello que junto con el asiento produce el sellado primario. Una de las características del anillo primario es que, aunque gira solidario con el eje, debe también moverse axialmente para acomodarse a la posición del asiento. Se tienen diferentes formas de anillo primario que se adaptan a las condiciones de operación del equipo con las opciones de balanceado hidráulicamente especialmente cuando la presión es elevada y no balanceado para bajas presiones. El Anillo primario se fabrica generalmente en Carbón (C), pero cuando el líquido manejado contiene abrasivos se fabrica en Carburo de Tungsteno (TC) o Carburo de Silicio (SiC).

- Sellante Secundario (O-Rings, cuñas, fuelles, etc.)

Son los que sellan los senderos de fuga que se producen al instalar el anillo primario en la camisa o eje. Estos se clasifican en dos grupos: Empujadores (Anillos deslizantes) y no empujadores (Fuelles).

Los Elementos Sellantes Secundarios se fabrican en diversos materiales

- Sellos de empuje: Fluoroelastomero (FKM), Perfluoroelastomero (FFKM), Nitrilo (NBR), Politetrafluoroetileno (PTFE)
- Sellos de No Empuje alta temperatura: Grafito Flexible
- Sellos de No Empuje Baja temperatura: Fluoroelastomero(FKM), Nitrilo (NBR), Politetrafluoroetileno (PTFE)

- Dispositivos de Empuje (resortes, fuelles)

Suministran la fuerza de cierre cuando no hay presión hidráulica. Su funcionamiento se hace relevante cuando la presión en la cámara de sellado es baja, pero en altas presiones su efecto en la fuerza de cierre resultante es muy pequeño. En los sellos mecánicos se tiene la opción de cuatro elementos básicos que pueden ser usados como dispositivos de empuje: Resorte único de muelle helicoidal, resortes múltiples de muelle helicoidal, fuelle metálico y resorte de onda.

Los resortes únicos de muelle helicoidal se fabrican en acero inoxidable 316 y los resortes múltiples de muelle helicoidal en HastelloyC. Los fuelles metálicos para alta temperatura se fabrican en Inconel718 o AM350 y los de baja temperatura en HastelloyC-276.

- Sistema de arrastre (retenedores, componentes metálicos misceláneos)

Es el que se encarga de transmitir el movimiento rotacional desde el eje hasta la cara rotativa. Los materiales de fabricación dependen del producto bombeado, generalmente son acero inoxidable 316 para el manejo de productos que no ataquen químicamente los metales y HastelloyC, Monel, Duplex, etc. para el manejo de productos agresivos.

- Asiento

El asiento es el anillo de desgaste removible instalado en la brida, si es estacionario o en un adaptador en la camisa, si es rotativo;este anillo no provee flexibilidad al ensamble del sello, pero guía el acomodamiento del anillo primario del cabezal de sello en los movimientos axiales y radiales del equipo.

Usualmente el asiento se fabrica en materiales más duros que los del anillo primario, los más comunes son Carburo de Silicio “ReactionBonded” (RBSiC) o Carburo de Silicio Sinterizado (SSiC), pero también se pueden fabricar en Carburo de Tungsteno con unión de Níquel (TC), hierro fundido, Ni-resist, cerámica, etc.

Dado a las diferentes aplicaciones y materiales, se tienen muchas variaciones en el diseño del asiento, los cuales se clasifican en:

- Asientos de diseño estándar

Son asientos diseñados para ser usados con diferentes ensambles de cabezales de sellos. Los asientos de diseño estándar son: O - Ring, rectangular, copa montada, flotante y aprisionado. Los asientos estándar están disponibles en tamaños desde 1/2” hasta 8” de diámetro interior y están fabricados con materiales como: hierro fundido, Ni-resist, cerámica, carburo de tungsteno y carburo de silicio.

- Asientos de diseño específico

Son asientos diseñados para ser usados con cabezales de sellos específicos o en ensambles de cartuchos. Los asientos de diseño específicos solo están disponibles en tamaños limitados y en materiales como carburo de tungsteno y carburo de silicio.

- Asientos de diseño especial.

Son asientos diseñados de acuerdo a especificaciones para un único equipo; estos diseños son generalmente efectuados para el fabricante original del equipo. Se tienen muchos diseños de asientos especiales a los cuales se les asigna el nombre del fabricante original del equipo.

- Sellantes Terciarios

Sellan los senderos de fugas que se pueden producir después de instalar el asiento o cara estacionaria. Se tiene cuatro tipos básicos: O – Rings (elastómeros), anillos de sección cuadrada o rectangular (PTFE, Grafito flexible), anillos de copa (Elastómeros) y juntas planas (PTFE, Fibras comprimidas).

Para el funcionamiento de las áreas de sellado en operación, se debe tener en cuenta tres áreas de sellado, sin incluir el sellado de la camisa en el eje y el de la brida en la bomba. El contacto entre las caras lapeadas del asiento y el anillo primario se conoce como “área de sellado primario”. El área de sellado entre el eje y el anillo primario se conoce

como “área de sellado secundario”. El área de sellado entre el alojamiento de la brida y el asiento es referida como “área de sellado terciaria”.

- El sellado primario

Es el que ocurre entre las caras de contacto del elemento rotativo y el estacionario. La presión hidráulica del líquido manejado, cierra las caras a la vez que se introduce entre ellas para formar la película lubricante. Al funcionar adecuadamente, el sellado primario debe cubrir dos aspectos:

- Retención de fluido.
- Preservación de las superficies deslizantes por medio de la película de lubricación interfacial.

- La película de lubricación

Debe estar siempre presente, ser estable, estar limpia, libres de abrasivos, mantener una viscosidad razonable, estar a temperatura controlada y tener una presión aceptable.

Las caras de contacto del sello mecánico que se mueven una con respecto a la otra y son empujadas por fuerzas axiales que dan como resultado una presión entre ellas. Esta presión se distribuye en el área de contacto en forma de cuña y se conoce como una "cuña de presión".

Para asegurar el correcto desempeño de ambas caras, estas deben estar separadas a una distancia menor a 0.001mm., en este espacio “la cuña de presión” forma una capa del fluido de proceso, la cual permite lubricar y enfriar las caras evitando un desgaste excesivo de las piezas, esta capa se conoce como “película lubricante”.

- Balanceo hidráulico

Cuando el equipo está detenido, los resortes mantienen las caras en contacto, pero al entrar en operación es la presión hidráulica la que produce el cierre, por lo que es importante conocer el balanceo hidráulico.

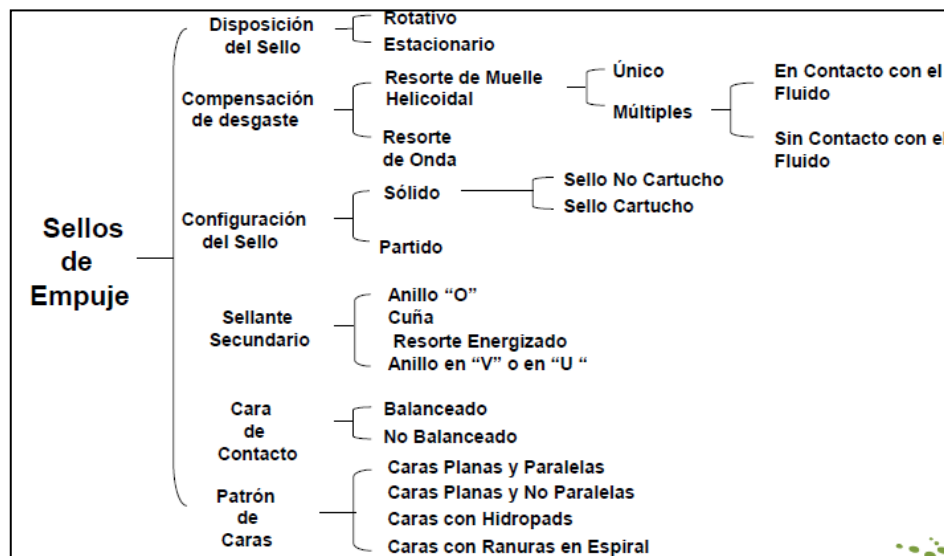
El término balanceo hidráulico cuando se aplica a sellos mecánicos, sirve para describir la relación entre las presiones del fluido que actúan axialmente en las áreas de contacto de las caras.

Sin tener en cuenta las diferencias particulares de los distintos tipos de sellos mecánicos, estos se pueden englobar en determinadas categorías como características de

diseño y arreglo posicional. Por su característica de diseño los sellos mecánicos pueden ser clasificados como sellos de empuje y sellos de no empuje.

- Sellos de empuje

Los sellos de empuje utilizan como elementos sellantes secundarios, empaques deslizantes que se desplazan axialmente en la camisa o en el eje simultáneamente con los movimientos del anillo primario. Con la versión de anillo primario balanceado pueden trabajar a altas presiones. Los sellos de empuje los podemos clasificar por:



**Ilustración 14:** Clasificación de los sellos de empuje  
**Fuente:** CRANE.

- Disposición sellos de empuje

El cabezal de los sellos de empuje puede estar dispuesto en forma rotativa, el cual es la forma más usual y sencilla pues gira el cabezal del sello; se usan en aplicaciones con velocidad tangencial ( $V_m$ ) menor a 4500 fpm. o estacionaria. Mientras que el sello con el cabezal estacionario el que gira es el asiento, se utiliza en aplicaciones donde la velocidad tangencial ( $V_m$ ) es mayor de 4500 fpm con el fin de impedir que los componentes del cabezal de sello se dañen por la acción de las fuerzas centrífugas.

- El sistema de compensación de desgaste

Los elementos de compensación de desgaste en un sello de empuje generalmente son los resortes. Los resortes de un sello de empuje pueden ser:

Único de muelle helicoidal, es un solo resorte grande, robusto y autolimpiante, se recomienda cuando el producto a sellar es viscoso o abrasivo las ventajas que tiene es de

alambre de sección transversal más resistente al ataque ocasionado por corrosión y no se atasca, entre sus desventajas es que no suministra carga uniforme en las caras del sello además tiene tendencia a dañarse por la acción de la fuerza centrífuga y requiere mayor espacio axial.

En la versión de los resortes múltiples de muelle helicoidal se tienen en dos versiones: en contacto con el producto bombeado, se encuentran inmerso en dicho fluido y están expuestos al riesgo de ataque químico o atascamiento, por lo que se recomienda su uso en productos limpios y sin contacto con el producto bombeado, se usan cuando existe la posibilidad de atascamiento o daños que pueden ser ocasionados por el fluido. Generalmente son los resortes múltiples los que se usan sin contacto con el producto bombeado para evitar atascamiento en los mismos; sin embargo, también pueden usarse resortes únicos o resortes de ondas.

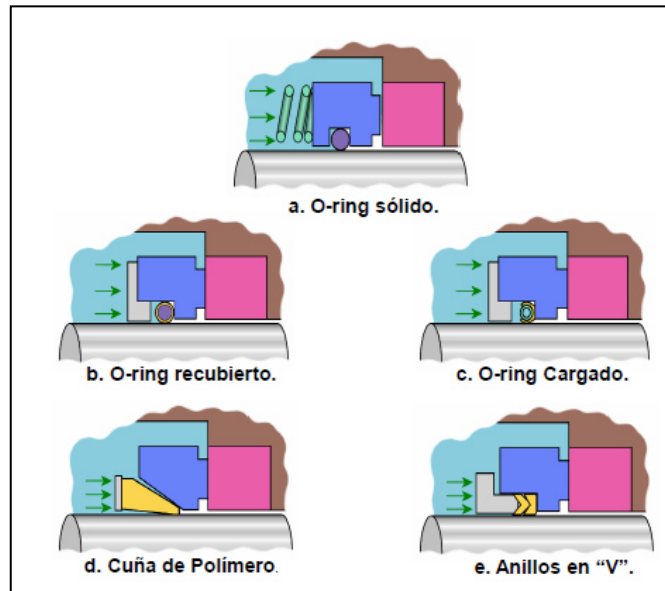
El resorte de onda es un disco con deformaciones en forma de ondas en un plano perpendicular al eje, los diseños varían de dos a seis ondas y estos diseños se utilizan para el uso de sellos donde el espacio axial es limitado. La ventaja que tiene es que requiere poco espacio axial y como desventaja la carga axial es limitada.

- La configuración del Sello

Dependiendo de la aplicación, los sellos mecánicos de empuje se diseñan configurando sus elementos como componentes de parte sólidos que se presentan con dos opciones para la instalación con sello no cartucho, esto quiere decir que el sello se instala en el equipo por componente en forma individual, puede incluir camisa con brida y sello cartucho que es una unidad auto contenida de sus componentes que incluye además del sello y el asiento, la brida, la camisa, el collar de arrastre, los espaciadores, entre otros componentes. Además, se tiene componentes de sellos partidos que tienen sus elementos de sellado primario y otros componentes cortados en un plano paralelo al eje, en estos sellos los anillos son dos semicírculos se prefiere cuando el tiempo disponible para instalar o sustituir el sello en el equipo rotativo es reducido o que es difícil de desmontar.

- Los sellantes secundarios

Los sellos de empuje se utilizan como sellantes secundarios empaques deslizantes, entre los más comunes se tiene los anillos en “O” sólidos, los anillos en “O” recubiertos, los anillos en “O” cargados, cuñas de polímeros y anillos de “V” o en “U”.



**Ilustración 15:**Tipos de sellantes secundarios.

**Fuente:** CRANE.

- Las caras de contacto

En un sello de empuje las caras de contacto proporcionan el área donde actúan las fuerzas de cierre y apertura. Las caras de contacto de un sello de empuje se presentan en dos versiones, sellos no balanceados el cual el área de cierre es mayor o igual al área de apertura, lo cual permite que el área de contacto soporte la fuerza de cierre y el sello balanceado el cual permite aliviar la presión entre las caras al hacer mayor el área de apertura respecto al área de cierre, para lo cual se requiere fabricar un escalón en la camisa o eje.

- El patrón de las caras

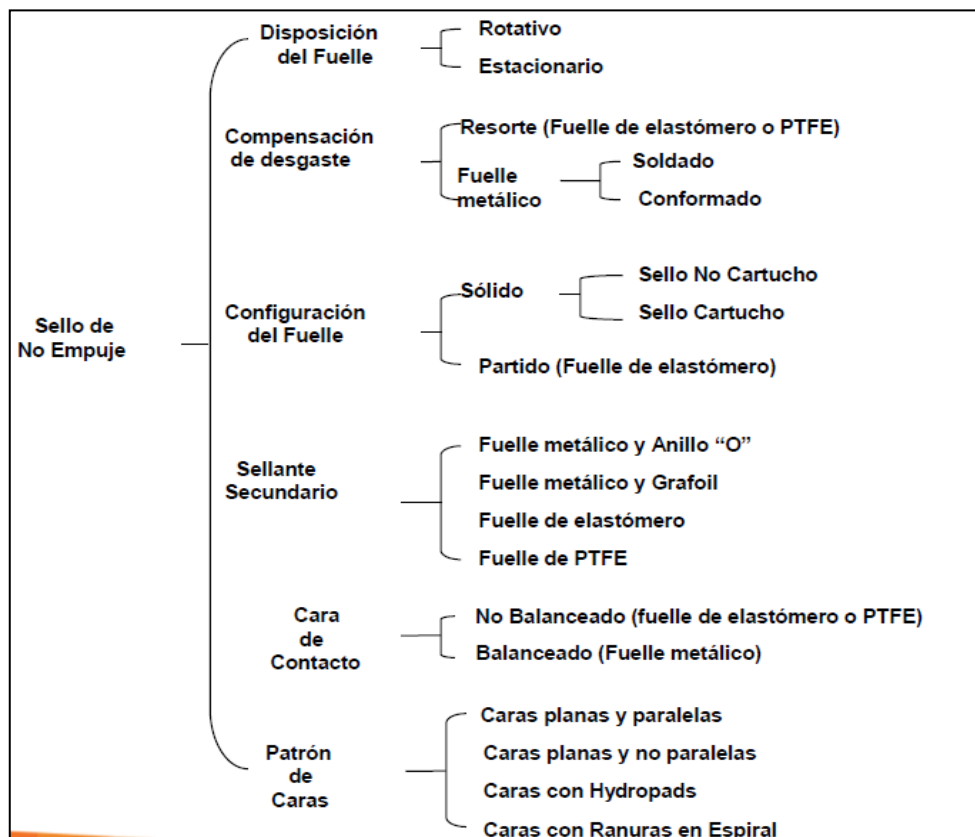
Dependiendo de las condiciones operacionales, las caras del sello de empuje se diseñan de varias formas siguiendo patrones específicos para producir entre ellas fuerzas hidrostáticas o hidrodinámicas, el objetivo es incrementar la fuerza de apertura para reducir la magnitud de la fuerza de contacto. Las fuerzas hidrostáticas no dependen de la velocidad de rotación, la película de lubricación se forma por la presión entre las caras planas y paralelas o caras planas y no paralelas. Las fuerzas hidrodinámicas varían con la velocidad de rotación y la viscosidad del fluido, una de las caras del sello tiene una serie de ranuras



con geometría característica que producen el levantamiento que reduce el contacto cuando se mueve una cara contra la otra, las formas más comunes son los hydropads y las ranuras en espiral.

- Sellos de no empuje

Los sellos de no empuje, se caracterizan por tener un fuelle que puede ser de elastómero, PTFE o metal. El sellante secundario no se desplaza axialmente en la camisa o eje.



**Ilustración 16:** Clasificación de los sellos de no empuje  
**Fuente:** CRANE.

- Disposición del Fuelle

El fuelle del sello mecánico de no empuje, se puede instalar como fuelle rotativo el cual se instala en la camisa o eje; además se usan en aplicaciones con velocidad tangencial menor a 4500 fpm y la instalación estacionaria el cual se instala en la brida y el asiento en la camisa o eje es recomendable generalmente cuando la velocidad tangencial es mayor a 4500 fpm o se tiene movimiento radial en el eje.

- Compensación de desgaste

El fuelle para los sellos de no empuje, se fabrican en elastómero, teflón o metal, el cual puede ser soldado o conformado. En los sellos con fuelle elastómero y de PTFE la fuerza para compensar el desgaste se consigue con resortes y en los sellos con fuelle de metal el mismo fuelle produce la fuerza.

- Configuración del Fuelle

Los sellos mecánicos de no empuje, se configuran diseñando sus elementos como componentes de parte sólidos que se fabrican en las versiones de fuelle metálico, fuelle de elastómero y fuelle de PTFE, estos componentes sólidos, se presentan con dos opciones para la instalación de diseño no cartucho, el cual se instalan individualmente en el equipo, el cabezal de sello en la camisa o eje y el asiento en la brida, si el sello rotativo o el cabezal de sello en la brida y el asiento en la camisa o eje si es estacionario, en el caso del sello cartucho es una unidad auto contenida de sus componentes que incluyen además del sello y el asiento, la brida, la camisa, el collar de arrastre, los espaciadores entre otros, este cartucho es preensamblado y se prueba antes de la instalación.

Los componentes de sellos partidos solo se fabrican con fuelles de elastómeros.

- Sellante secundario

Los sellos de no empuje, utilizan como elemento sellante secundario un fuelle, el cual puede ser de elastómero cuando se requiere flexibilidad y condiciones operacionales no exigentes, cuando se manejan productos extremadamente corrosivos el fuelle de PTFE es una buena solución.

- Cara de contacto

En los sellos de no empuje la cara de contacto permanece unida al fuelle, desplazándose axialmente para compensar el desgaste que pueda ocurrir. Para lograr compensar este efecto de la presión, los sellos de no empuje se diseñan de dos maneras sellos no balanceados y sellos balanceados en fuelles de elastómero y PTFE y sellos balanceados inherentes en fuelles metálicos.

- Patrón de Caras

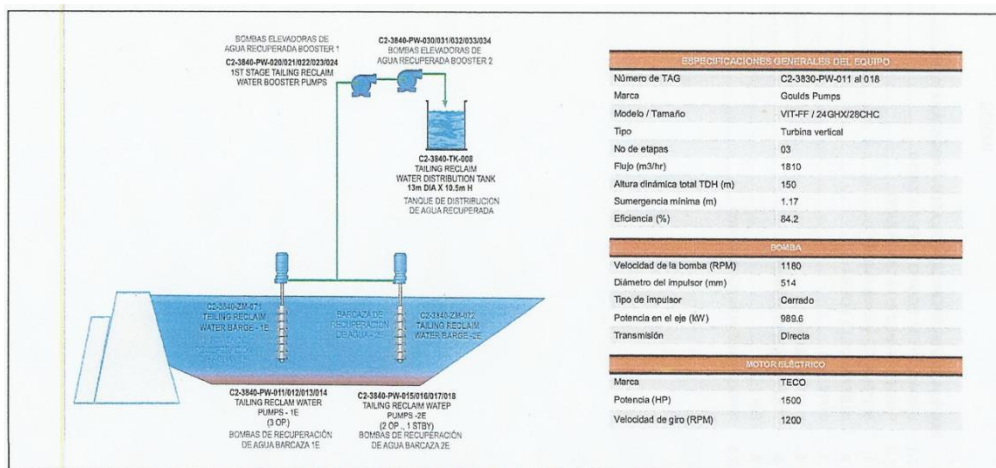
El patrón de caras de los sellos de no empuje, se diseña siguiendo las mismas características y especificaciones de los sellos de empuje.

Según su arreglo posicional, los sellos mecánicos pueden ser clasificados en arreglo sencillo que está conformado por un sello mecánico que puede montarse

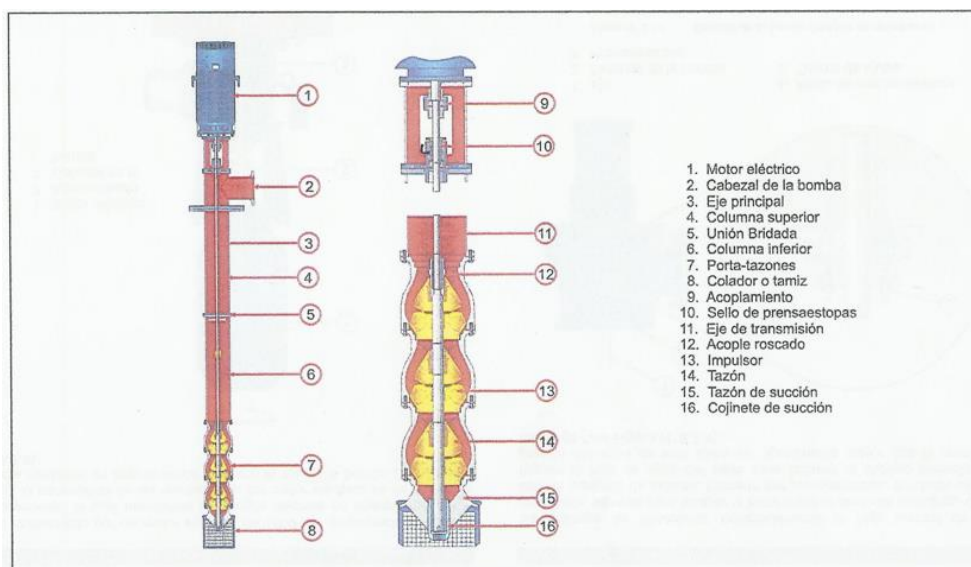
interiormente o exteriormente y de arreglos duales que están compuestos de dos juegos de caras contactantes y pueden ser dual no presurizado o dual presurizado.

### e) Bombas de Recuperación de Agua Barcazas

Es una bomba electromecánica de múltiples etapas de impulsión que bombea a razón de 1,810 m<sup>3</sup>/h (operación) el agua recuperada, la bomba cuenta con una carcasa vertical constituida principalmente por el cabezal de la bomba, columna de descarga y el porta-tazones, que un su interior aloja a cada impulsor acopiado al eje de la bomba mediante una chaveta; las extensiones del eje en toda la bomba están unidos mediante acoples y se encuentran soportados por cojinetes a lo largo de la columna de descarga, y en el extremo superior se acopla directamente al motor eléctrico de 1500HP.



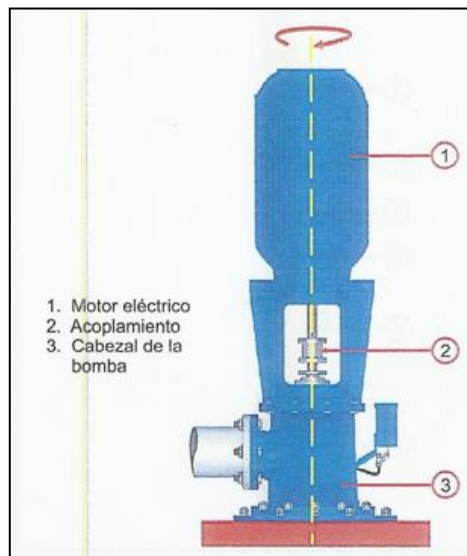
**Ilustración 17:** Bomba de recolección de Agua.  
**Fuente:** TECSUP



**Ilustración 18:**Partes Principales del equipo.  
**Fuente:** TECSUP.

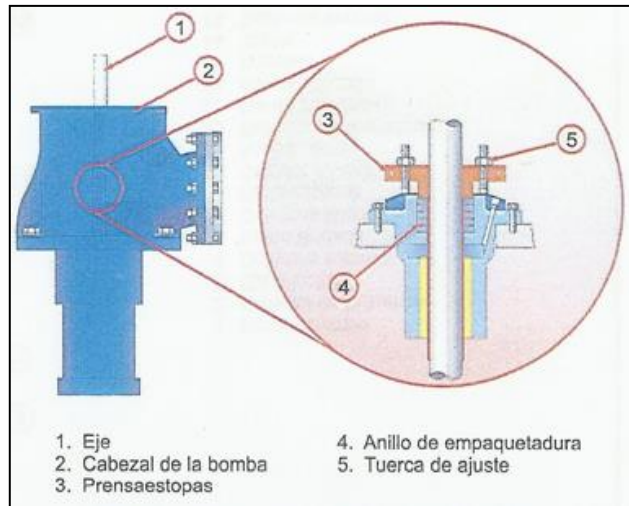
**f) Sistema de la bomba de recuperación de Agua**

- Sistema de accionamiento: Está conformado por un motor de 1500 HP de potencia dispuesto verticalmente, el cual transforma la energía eléctrica en energía mecánica (giro), la transmisión de las revoluciones del motor eléctrico se da en forma directa mediante un acoplamiento montado al eje de la bomba.



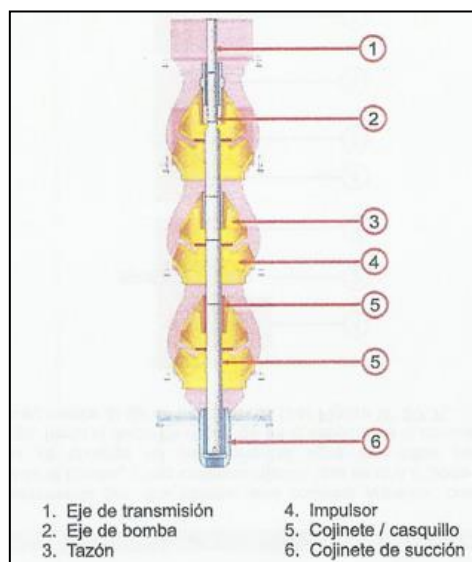
**Ilustración 19:**Sistema de Accionamiento.  
**Fuente:** TECSUP.

- Cabezal de la bomba: Se encarga de direccionar horizontalmente el flujo vertical de agua impulsada, además para acoplar la bomba con el ducto de descarga. Cuenta con un conjunto de sellado, formado por prensaestopas, por tanto, se debe regular el flujo de agua del sello, para obtener el chorreo específico.



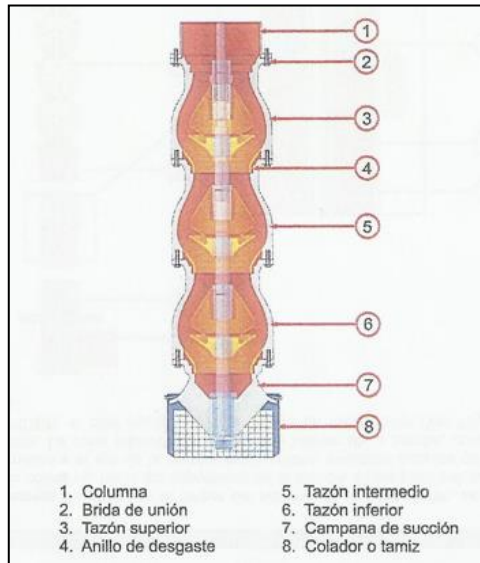
**Ilustración 20:** Cabezal de la bomba.  
**Fuente:** TECSUP.

- Impulsor: Es el componente de la bomba que está formado por álabes, cuya función es someter al agua a un movimiento de rotación acelerado y proyectarlo hacia la periferia del tazón debido a la fuerza centrífuga; a medida que el agua pasa por las diferentes etapas de los impulsores, alcanza una velocidad más alta.



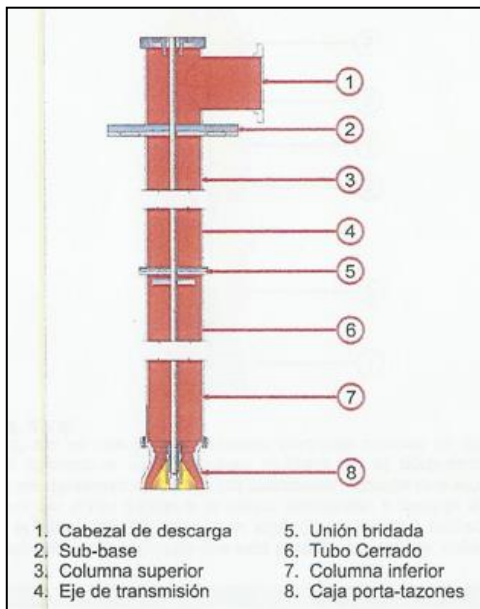
**Ilustración 21:** Impulsor.  
**Fuente:** TECSUP.

- Porta-Tazones: Se encargan de contener al agua bombeada y permitir la transformación de la energía cinética de energía de presión. Está conformado por tazones en cuyo interior alojan al impulsor, y la campana de succión donde se encuentra fijado exteriormente el colador o tamiz de succión.



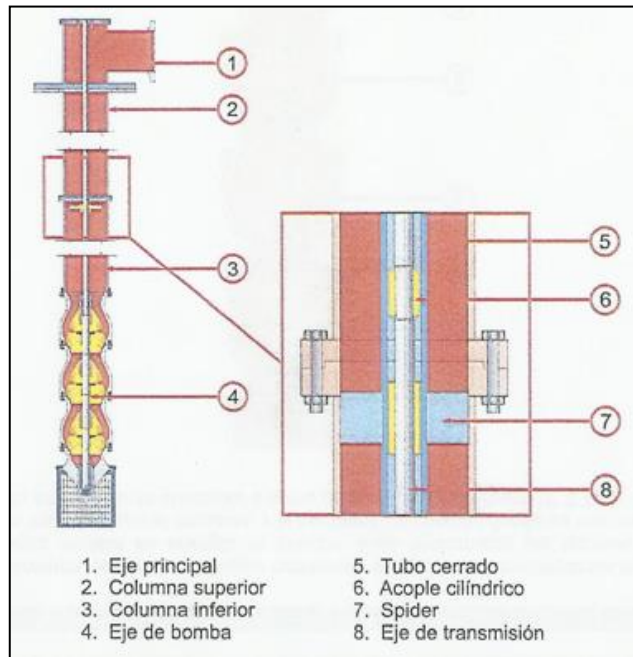
**Ilustración 22:** Porta-Tazones.  
**Fuente:** TECSUP.

- Columna de Descarga: Está conformada por dos tramos, una columna superior que se une al cabezal de la bomba, y una columna inferior, que se une a la porta-tazones. La columna se encarga de direccionar el agua expulsada por la fuerza centrífuga, hacia el ducto de descarga en el cabezal de la bomba.



**Ilustración 23:** Columna de descarga.  
**Fuente:** TECSUP.

- Eje: Se encarga de transmitir, el torque del sistema de accionamiento, soportado por cojinetes, hacia los impulsores de la bomba. El eje principal, el eje de transmisión y el eje de la bomba están unidos mediante acoples cilíndricos roscados. La zona superior de la columna inferior de la bomba cuenta con un SPIDER, el cual ayuda a centrar el eje de transmisión.



**Ilustración 24:**Eje.  
**Fuente:** TECSUP.

#### g) Mediciones y control de bombas

- Temperatura: Esta variable es importante en las bombas, dado que afecta directamente en la dilatación cuando la temperatura aumenta, además se puede identificar la ganancia y pérdida de calor la máquina, así como también en la conservación de esta. (OMEGA COMPANY, s.f.)
- Vibraciones: Las vibración es el movimientos oscilante o el movimiento repetitivo que se produce en una máquina que se encuentra en una posición de equilibrio, este movimiento está causado por una fuerza llamada excitación la cual puede provenir por un factor externo o interno. La vibración está determinada por las fuerzas de excitación, su dirección y frecuencia en la cual están siendo aplicadas. El análisis de esta variable depende del estado de la máquina dado que se requiere conocimiento de sus características e interacción que permite un diagnóstico del problema que pueda estar presentando la máquina. (Glen, 2010)

- Alineamiento: Las máquinas que ejercen mucha fuerza están expuestas a sufrir desalineación, es por ello que deben ser sometidas a un mantenimiento periódico para reducir sus costos de mantenimiento y operación a largo plazo. El tener un control y monitoreo de la alineación de la máquina, amplía la disponibilidad de esta y aumenta su tiempo medio entre fallas, dado que protege los equipos y eleva la calidad del producto dado que las vibraciones se reducen por este factor. Cuando no se realiza el seguimiento correcto y la máquina sufre por el desalineamiento produce que la carga de los ejes aumente drásticamente producto de las fuerzas ejercidas que se crean dentro del acoplamiento. (PRUFTECHNIK, s.f.)



## **CAPITULO III: METODOLOGÍA**

### **3.1 Método y alcance de la Investigación**

#### **3.1.1 Método**

- Método estadístico Inferencial Cuantitativo

Se utiliza este método dado que al recolectar la información de las bombas se utilizará las relaciones cuantitativas entre propiedades en base a los datos obtenidos en el cálculo de la probabilidad de ocurrencia. Las técnicas aplicadas en esta investigación son del Chi-Cuadrado y Pareto.

#### **3.1.2 Tipo de Investigación**

- Tipo Cuasi Experimental

La investigación que se realiza se manipula las variables de estudio por lo tanto son planeadas, se tendrá que realizar dos mediciones antes y después. Se tiene dos variables de interés por eso su análisis estadístico es bivariado estos estudios ponen a prueba la hipótesis y establece la asociación entre factores.

- Tipo Prospectivo

Dado que los datos necesarios para la investigación son recogidos al propósito para su estudio, es el investigador que realiza las mediciones, el investigador posee el control del sesgo de la medición.

- Tipo Longitudinal

La variable de estudio es medida en dos o más ocasiones, por eso si realizamos comparaciones en estas medidas se tratan de muestras relacionadas que se realizaran antes y después.

### **3.1.3 Alcance de Investigación – Descriptivo**

El procedimiento elaborado servirá para permitir que el sistema con bombas centrífugas de recuperación de agua de relaves en Arequipa funcione en condiciones de elevadas aumentando la vida útil de las bombas y disminuyendo los costos.

### **3.1.4 Parámetros y distribuciones en el Mantenimiento**

La evaluación de parámetros mediante métodos estadísticos busca comprobar la hipótesis según la cual los datos que se observan corresponden a una distribución seleccionada, existen métodos visuales y las pruebas de tendencia. (MORA GUTIERREZ, 2009)

#### **a) Diagrama de Pareto.**

Es un tipo especial de gráfica de barras donde los valores graficados están organizados de este diagrama mayor a menor. Se utiliza Pareto para identificar las fallas ocurridas con mayor frecuencia de las causas más comunes de fallas o las causas más frecuentes de fallas. Determina las principales causas que disminuye la vida útil de las bombas centrífugas verticales.

#### **b) Chi Cuadrado**

Esta prueba se usa para probar si una muestra de datos proviene de una población con distribución específica. La prueba puede ser aplicada a cualquier distribución, a la cual se puede estimar su función de distribución acumulada. Con esta prueba estadística se evaluará la hipótesis. No se utiliza Weibull dado que no se analizarán los cambios durante toda su vida útil de los componentes, solo se analizará el impacto que se tiene al cambiar de componentes.

#### **c) Hishikawa (Diagrama causa y efecto)**

Es un diagrama de causa y efecto el cual tiene como objetivo el de representar gráficamente permitiendo la visualización de las causas raíz de un problema, para este análisis intervienen las 6M las cuales son Mano de obra, Materiales, Maquinaria, Método, Medio Ambiente y Mediciones.

## **3.2 Diseño de la investigación**

Se obtienen registros de operación y mantenimiento preventivo, incluirá horas de operación lecturas de vibración, amperajes, caudales y presiones de succión y descarga

de las bombas, lubricación debiendo mantener estos registros para tener un historial de cada bomba facilitando un adecuado control.

Verificar la correcta operación de la bomba ya que por mala operación es una de las causas de fallas.

Las capacitaciones son adecuadas para una buena operación y el mantenimiento de las bombas, todas actividades se deben realizar según recomendaciones del fabricante. El personal que recibe las capacitaciones será responsable de solucionar las fallas operación y un buen mantenimiento preventivo para evitar las paradas inesperadas de las bombas y así aumentar su vida útil.

Instalación y mantenimiento de aireadora en las bombas y tuberías para evitar que las bombas succionen aire ya que son una de las causas de fallas.

Realizar mantenimiento preventivo teniendo una frecuencia programadas estas serán semanales, mensuales trimestrales semestrales y anuales según recomendaciones del fabricante.

Se realiza un diseño experimental a la implementación de la estrategia. Este proyecto nos servirá para obtener el funcionamiento óptimo de bombeo con bombas centrífugas en condiciones mayores para así disminuir costos de mantenimiento y proceso.

Resumir la información de manera cuidadosa para ser analizada minuciosamente, y de esta forma a través de los resultados, se pueda extraer generalizaciones significativas y realizar el diagnóstico respectivo que contribuyan al conocimiento en general de las caracterizaciones de las fallas, para encontrar la resolución del problema planteado, a fin de implementar un plan de mantenimiento orientado a la concepción cualitativa y cuantitativa ya que se obtuvieron y analizaron datos estadísticos; para ello se tendrá en cuenta lo siguiente, realizar un listado de todas las fallas ocurridas que ocasionaron paradas inesperadas de las bombas, llevarlas a un diagrama de Pareto realizando un top ten para trabajar en el 80% de fallas de acuerdo a lo que indica el diagrama antes mencionado.

### **3.3 Población y Muestra**

#### **3.3.1 Población**

La presente investigación utiliza como unidades de estudio 8 bombas centrífugas verticales utilizadas en el sector minero para la recuperación de aguas de relaves.

#### **3.3.2 Muestra**

Se utiliza el muestreo no probabilístico intencional, donde se seleccionará 4 de las bombas centrífugas que trabajan continuamente y requirieron de alguna parada para su mantenimiento durante los últimos 12 meses de operación en el área de bombeos de agua recuperada.

### 3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se utilizará instrumentos para medir la vibración, temperatura y realizar el control de lineamiento con alineador láser. Se analizará de forma minuciosa los resultados obtenidos de la temperatura, vibración y lineamientos, comparando con las paradas programadas y no programada, para tener así un historial de posibles fallas en las bombas.

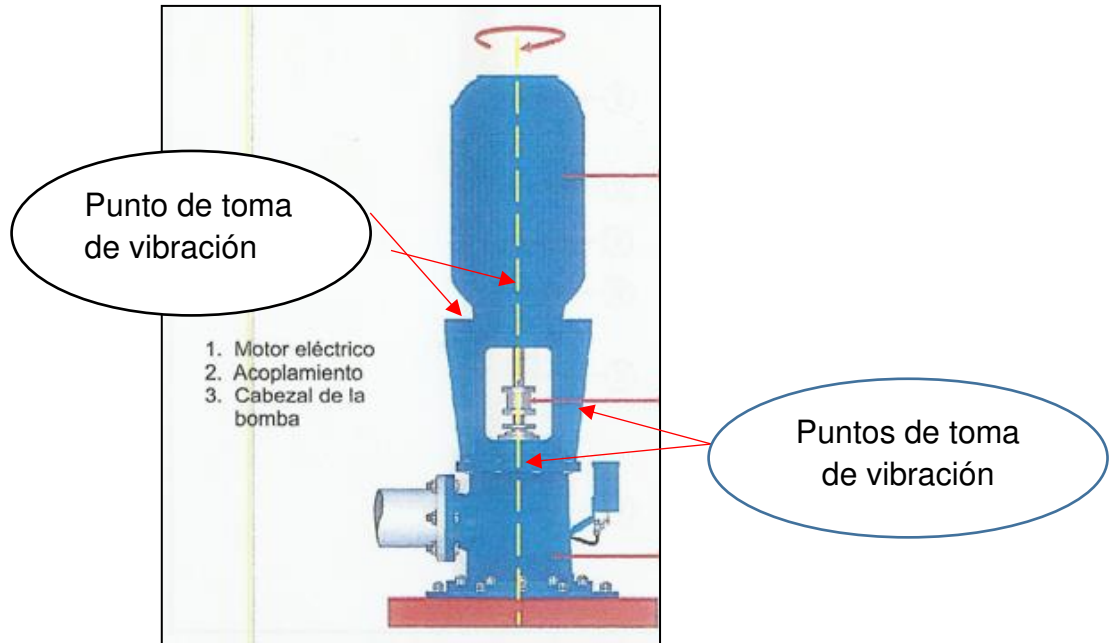
#### a) Método de medición de vibración

Para medir las vibraciones se cuenta con un equipo electrónico Vibro Pen de la marca SKF, registrando vibraciones del motor donde se toma datos de la situación de los rodamientos en dos puntos axial y radial en la base del motor estos datos nos servirán para descartar si la vibración proviene de la bomba o motor, entregando esta información al departamento de mantenimiento eléctrico para su evaluación.



**Ilustración 25:** Vibro Pen (SKF)  
**Fuente:** Mitchell Instrument, s.f.

También se tomará datos de vibración en la bomba en dos puntos en el sentido de la descarga de la bomba y a 90 grados ella parte, los registros obtenidos de las vibraciones del motor de la bomba y las inspecciones visuales se transfieren al programa de mantenimiento para ser evaluados, documentados y archivados para tener un historial de cada bomba para así implementar el plan de mantenimiento. Ver Anexo B.



**Ilustración 26:** Zonas de toma de vibración en motor y bomba.  
**Fuente:** (TECSUP)

#### b) Método de medición de temperatura.

Para tomar la temperatura se utiliza un termómetro pistola infrarroja marca Fluke 572 la temperatura se toma en el motor lado rodamientos siendo su temperatura máxima 70 °C, siendo su temperatura normal de funcionamiento en un rango de 35°C hasta 40°C, para el lado de bomba el rango de temperatura es de 25°C hasta 30°C tomando esta temperatura del lado del impulsor superior esleveshaf. Ver Anexo C.



**Ilustración 27:** Medición de temperatura con termómetro láser.  
**Fuente:** (FLUKE, s.f.)

**c) Método de verificación de alineamiento.**

Para este método se utiliza un alineador láser, este equipo electrónico de la marca SHAFTALIGN OS3, se utiliza cuando se cambian sellos mecánicos o cuando la vibración de las bombas es superior a 2 milímetro/segundo, también se verifica mensualmente el ajuste de los pernos de la base de la bomba y de la base de motor dándole el torque correspondiente para evitar que se suelten por la vibración que sucede por cavitación o desgaste de las piezas, dándole el mantenimiento predictivo aseguramos la disponibilidad de las bombas. Ver Anexo D.



**Ilustración 28:** Alineador láser.  
**Fuente:** (PRUFTECHNIK, s.f.)

## CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información

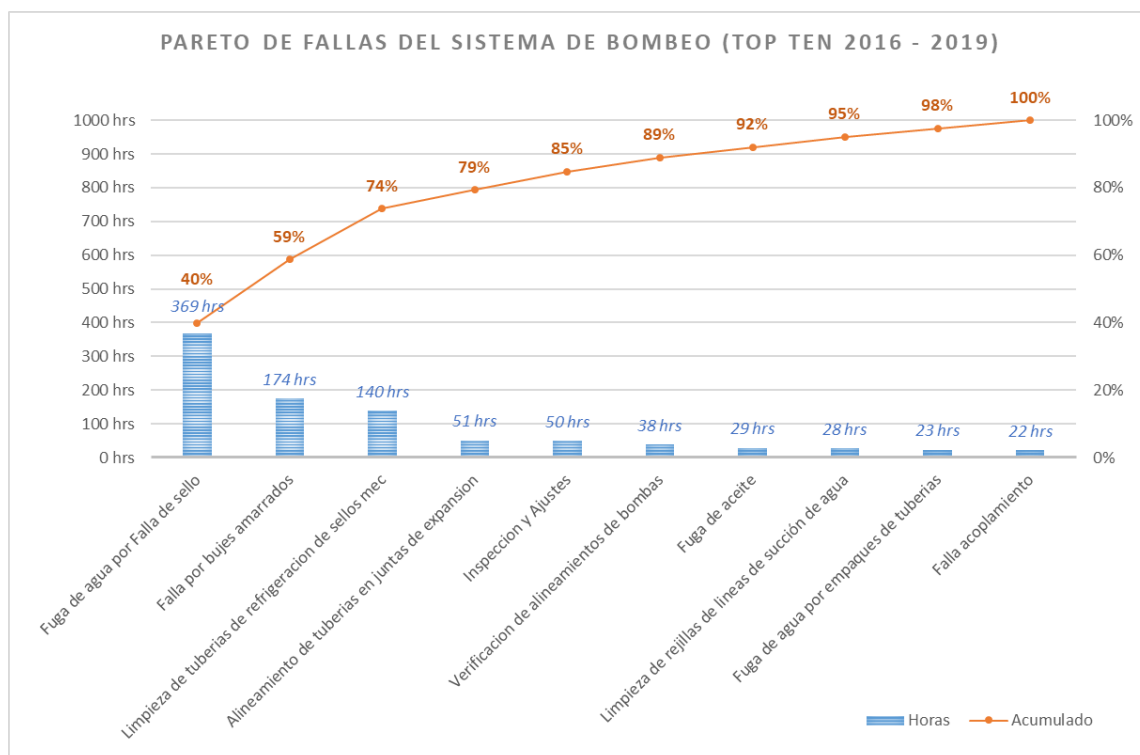
Para el análisis de los datos, se realizó un listado en el cual se encuentra las fallas frecuentes de cada bomba, identificado por medio de Pareto cuáles son las más significativas. Ver Tabla 6.

**Tabla 3.**

*Listado de fallas por bomba*

Duración de Paradas	Bombas					
Descripción de la Falla	Bomba 1	Bomba 2	Bomba 3	Bomba 4	Total general	
Fuga de agua por Falla de sello	122 h	91 h	96 h	59 h	369 h	
Falla por bujes amarrados	45 h	47 h	47 h	35 h	174 h	
Limpieza de tuberías de refrigeración de sellos mec	73 h	37 h	17 h	14 h	140 h	
Alineamiento de tuberías en juntas de expansión	43 h		6 h	2 h	51 h	
Inspección y Ajustes	11 h	23 h	2 h	15 h	50 h	
Verificación de alineamientos de bombas	2 h	17 h	10 h	10 h	38 h	
Fuga de aceite	15 h	11 h		3 h	29 h	
Limpieza de rejillas de líneas de succión de agua	28 h				28 h	
Fuga de agua por empaques de tuberías	10 h	5 h	7 h	2 h	23 h	
Falla acoplamiento		22 h			22 h	
Instalación de manijas		1 h	19 h	1 h	21 h	
Mantenimiento de válvulas de venteo	5 h	4 h	8 h	4 h	21 h	
Mantenimiento de válvula	5 h	4 h	10 h	2 h	21 h	
Falla válvula de succión	10 h	7 h	0 h	0 h	17 h	
Mantenimiento val alivio	11 h		5 h		16 h	
Falla válvula venteo		3 h	10 h	3 h	16 h	
Falla de válvula de descarga	3 h	0 h	0 h	12 h	15 h	
Falla de vibración		3 h	2 h	11 h	15 h	
Falla lado chumacera		14 h			14 h	
Instalación de bomba		10 h	3 h		13 h	
cambio juntas de expansión	1 h	12 h			13 h	
falla por rodamientos		10 h	0 h	0 h	10 h	
Lubricación	5 h	1 h	1 h	2 h	9 h	
Falla línea de succión	8 h				8 h	
Verificación arranques de bombas y motor elec	2 h	3 h		2 h	7 h	
Aireadoras giradas		6 h			6 h	
Recuperación de válvulas	3 h			2 h	5 h	
(en blanco)	3 h			0 h	3 h	
<b>Total general</b>	<b>404 h</b>	<b>329 h</b>	<b>243 h</b>	<b>177 h</b>	<b>1153 h</b>	

**Fuente:** Elaboración propia



**Ilustración 29:** Pareto de Fallas del sistema de bombeo.

**Fuente:** Propia

**Tabla 4.**

*Tabla del Top Ten*

Descripción de la Falla (Top Ten)	Horas	Porcentaje	Acumulado
Fuga de agua por Falla de sello	369 h	40%	40%
Falla por bujes amarrados	174 h	19%	59%
Limpieza de tuberías de refrigeración de sellos mec	140 h	15%	74%
Alineamiento de tuberías en juntas de expansión	51 h	6%	79%
Inspección y Ajustes	50 h	5%	85%
Verificación de alineamientos de bombas	38 h	4%	89%
Fuga de aceite	29 h	3%	92%
Limpieza de rejillas de líneas de succión de agua	28 h	3%	95%
Fuga de agua por empaques de tuberías	23 h	3%	98%
Falla acoplamiento	22 h	2%	100%

**Fuente:** Elaboración propia

### A) El diagrama de Pareto

Es una gráfica de barras la cual están organizadas de mayor a menor, esto nos ayuda a identificar las fallas de mayor frecuencia en el sistema de bombeo. En el eje “x” se encuentran las fallas del sistema y en el eje “y” se encuentran las horas que estuvo en funcionamiento cada componente antes de su mantenimiento correctivo.



Con esto identificamos cuales son las fallas que deben tener necesariamente un plan de mantenimiento y así poder alargar el tiempo de vida útil y reducir costos de mantenimiento.

El objetivo de tener el análisis mediante Pareto es obtener las fallas principales que son el 80% y diferenciarlas de las pequeñas fallas y fáciles de controlar las cuales deben ignorarse y enfocarse en las fallas principales, según el resultado de la gráfica los cuatro problemas principales son:

- a) Fuga de agua por falla de sello.
- b) Falla por bujes trabados.
- c) Limpieza de tuberías de refrigeración.
- d) Alineamiento de tuberías en juntas de expansión.

Con la información obtenida del Pareto, se puede realizar un análisis de causa – efecto para identificar cuáles son los puntos críticos en la bomba que ocasionan las paradas no programadas disminuyendo la vida útil.

Con el cuadro mostrado se pueden identificar las fallas más frecuentes y significativas para cada bomba, las cuales son:

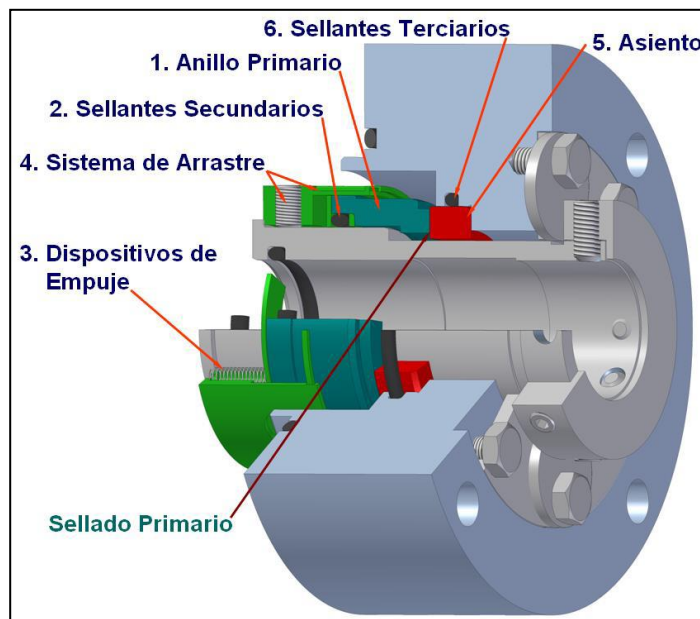
#### **a) Fuga de agua por falla de sello**

Seleccionar material de caras de sellos mecánicos y bujes de acuerdo con la tecnología proporcionada por el fabricante de las bombas y otras marcas alternativas, para el tipo de agua a utilizada las bombas fueron instaladas con componentes para bombear agua limpia sin sólidos en suspensión y eso fue uno de los problemas, debido a que el agua presenta de 11% a 18% de partículas en suspensión,

Las partes de la bomba que fallaron con mayor frecuencia son los sellos mecánicos, los bujes o cojinetes instalados entre el eje de bomba y el diámetro interno de los impulsores y las líneas de refrigeración de los sellos mecánicos.

Una vez identificado y analizado cada una de las partes, fue posible llegar a la solución obteniendo información del fabricante de las bombas y marcas alternativas que fabrican estos repuestos. para solucionar el problema de los sellos mecánicos se cambiaron el material del anillo primario y asiento del sello mecánico; el anillo primario es el anillo de desgaste que junto al asiento produce el sellado primario inicialmente el material del anillo primario es de carbón, pero el líquido manejado es abrasivo y produce desgaste ocasionando fugas de agua teniendo como consecuencia la parada del equipo, por tal razón, consultando con el fabricante se cambió a carburo de tungsteno (TC) tenía mayor duración pero el tungsteno es duro pero frágil no resiste la vibración producida por el

desalineamiento y la cavitación de la bomba llegando a romperse, por tal motivo investigando se decide cambiar material de caras por carburo de silicio (SIC) por ser este material duro y resistente a las vibraciones, con lo que se logró mayor duración de operación de las bombas evitando paradas inesperadas. También se consultaron precios de marcas alternativas fabricantes de sellos mecánicos y que tuvieran las mismas características y duración que la marca original, optando por la marca alternativa realizando un ahorro de costo significativo en tiempo de paradas y precio de los sellos



**Ilustración 30:**Componentes de un sello mecánico resaltando los materiales cambiados.

**Fuente:** (CRANE)

**Tabla 5.**

*Sellos Mecánicos*

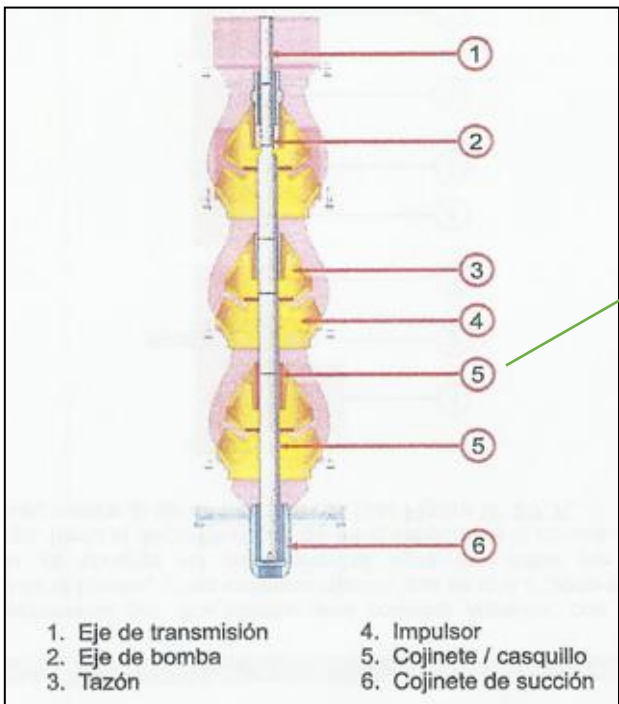
MARCA DE SELLOS MECÁNICOS	MATERIA	FRECUENCIA DE CAMBIO	CAMBIOS POR AÑO	COSTO DE SELLO
MARCA ORIGINAL	Carbono	15 días	24 veces	\$7000.00
	Carburo de Tungsteno	02 meses	06 veces	\$13000.00
	Carburo de Silicio	06 meses	02 veces	\$16000.00
MARCA ALTERNATIVA	Carbono	15 días	24 veces	\$2000.00

Carburo de Tungsteno	02 meses	06 veces	\$4000.00
Carburo de Silicio	06 meses	02 veces	\$6000.00

**Fuente:** Elaboración propia

**b) Falla por bujes trabados**

El buje se trababa al girar sobre el eje de la bomba, debido a que el material que era fabricado originalmente es de acero inoxidable y al girar sobre el eje de bomba que también era del materia inoxidable, como el agua que se bombea no es limpia tiene partículas en suspensión al ingresar a los impulsores se llenaba de sarro entre el eje y los bujes, como los dos materiales son de igual dureza no desgastaba ninguno de ellos y se amarraban, ese era el motivo de la falla originando paradas inesperadas, costos de mantenimiento y operación. Consultando con el fabricante se cambió el material de los bujes de acero inoxidable a material Micarta quedando el buje como componente de sacrificio ya que el material Micarta es blando de este modo se evitaba el desgaste prematuro del eje y paradas inesperadas, ahorrando en costos de mantenimiento y operación.



**Ilustración 31:**Ubicación del buje o cojinete en la bomba

**Fuente:** TECSUP.

**Tabla 6.***Características de bujes o cojinetes*

<b>MARCA DE BUJE O COJINETE</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>PRECIO</b>
ORIGINAL	Acero Inoxidable	\$6712.38
ALTERNATIVO	Micarta	\$2957.47

**Fuente:** Elaboración propia**c) Limpieza de líneas de refrigeración de los sellos mecánicos.**

Las bombas se instalaron con sus componentes y accesorios para que trabajen con agua limpia, no teniendo en cuenta que el agua que se recupera proviene de los relaves tiene otras condiciones debido a la operación, el agua con el cual opera las bombas contienen partículas en suspensión, ocasionando un problema de saturación en las líneas de refrigeración con sarro que se acumula dentro de la tubería, inicialmente se instalaron tuberías inoxidable de ¼ de pulgada de diámetro para evitar que el agua refrigere al sello mecánico, teniendo que parar la bomba para realizar la limpieza, este mantenimiento duraba 6 horas de parada de bomba; las horas efectivas de trabajo era 2 horas y 4 horas por procedimientos de bloqueo ya que intervienen otras áreas en el bloqueo. La tubería de lubricación salía del impulsor superior e ingresaba al sello mecánico, al ser una tubería directa se paraba la bomba para la limpieza. Para solucionar este problema de las paradas de la bomba, se optó por instalar válvulas de ½ pulgada al ingreso del sello mecánico y a la salida del impulsor y se cambió la tubería de inoxidable por una manguera flexible de ½ pulgada, realizando este cambio ya no se tenía que parar la bomba para realizar la limpieza de las líneas solo se cierran las 2 válvulas ya mencionadas, se retira la manguera y se instala otra manguera ya limpia que se tiene en espera, con esta mejora se evita parar la bomba enviando la cantidad de agua planificada hacia la planta concentradora, ahorrando en costos de mantenimiento y de operaciones aumentando la disponibilidad de las bombas.



**Ilustración 32:** Mangueras y válvulas instaladas en bombas.

**Fuente:** Propia

Otro problema que se tiene, es la limpieza exterior de las bombas, para asegurar el funcionamiento y la disponibilidad de las bombas se tiene que programar mantenimientos, ya que el agua que se bombea no es limpia contiene partículas en suspensión y eso origina que se llene de sarro (caliche) y al acumularse en la parte exterior de la bomba por las fugas de agua, dificulta el mantenimiento a la hora de realizar la limpieza de las líneas de lubricación, las regulaciones que se realizan en funcionamiento y también en el desmontaje de bomba, toda esta información se registrará para la programación del mantenimiento como parte de la implementación del mantenimiento de las bombas, haciendo esta limpieza programada una vez al mes, tendremos los trabajos de mantenimiento con menor tiempo ya que no tendríamos los problemas que veremos en la siguiente figura.



**Ilustración 33:** Estado de bombas sin limpieza.  
**Fuente:** Elaboración propia

#### **d) Alineamiento de tuberías en juntas de expansión**

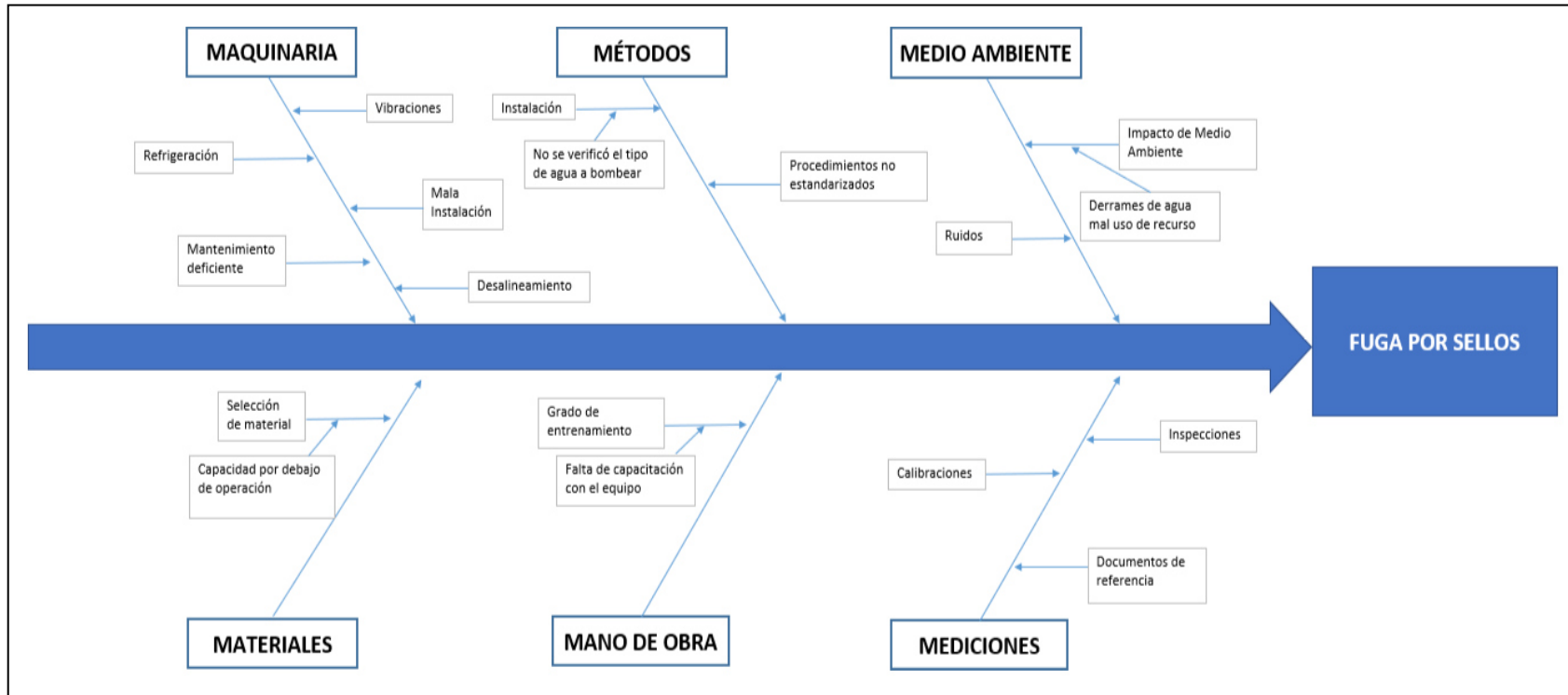
Las bombas tienen la descarga de 16 pulgadas de diámetro, se instalaron con tuberías rígidas teniendo una junta de expansión a la descarga de bomba que sirve para adsorber la vibración de la tubería, la tubería se conecta a un manifold de 42 pulgadas de diámetro que recibe las descargas de las 4 bombas la barcazas donde se instalaron las bombas se encuentran sobre el agua (laguna artificial) y el manifold se encuentra en una plataforma metálica fija en el suelo como la barcaza tiene movimiento al estar sobre el agua (no tiene punto fijo), las tuberías se desalineaban absorbiendo todas las juntas de expansión, llegando a fisurarlas ocasionando fugas de agua y paradas inesperadas, originando costos de mantenimiento y pérdidas de operación; para solucionar este problema se instalaron mangueras flexibles de 16 pulgadas de diámetro y 20 metros de longitud, de este modo las mangueras absorben el desalineamiento de las barcazas con respecto al manifold asegurándonos que la manguera resista la presión adecuada, ya que cada bomba envía agua a una presión de 215 PSI, al realizar estas mejoras se ahorra en gastos de mantenimiento y operación ya que la planta recibe la cantidad de agua necesaria para que opere al 100%



**Ilustración 34:** Mangueras de 16" instaladas.

**Fuente:** REN CONTROL Ingeniería, Suministro y Reparación de válvulas, bombas y barcasas, s.f.

a) Fuga de agua por falla de sello

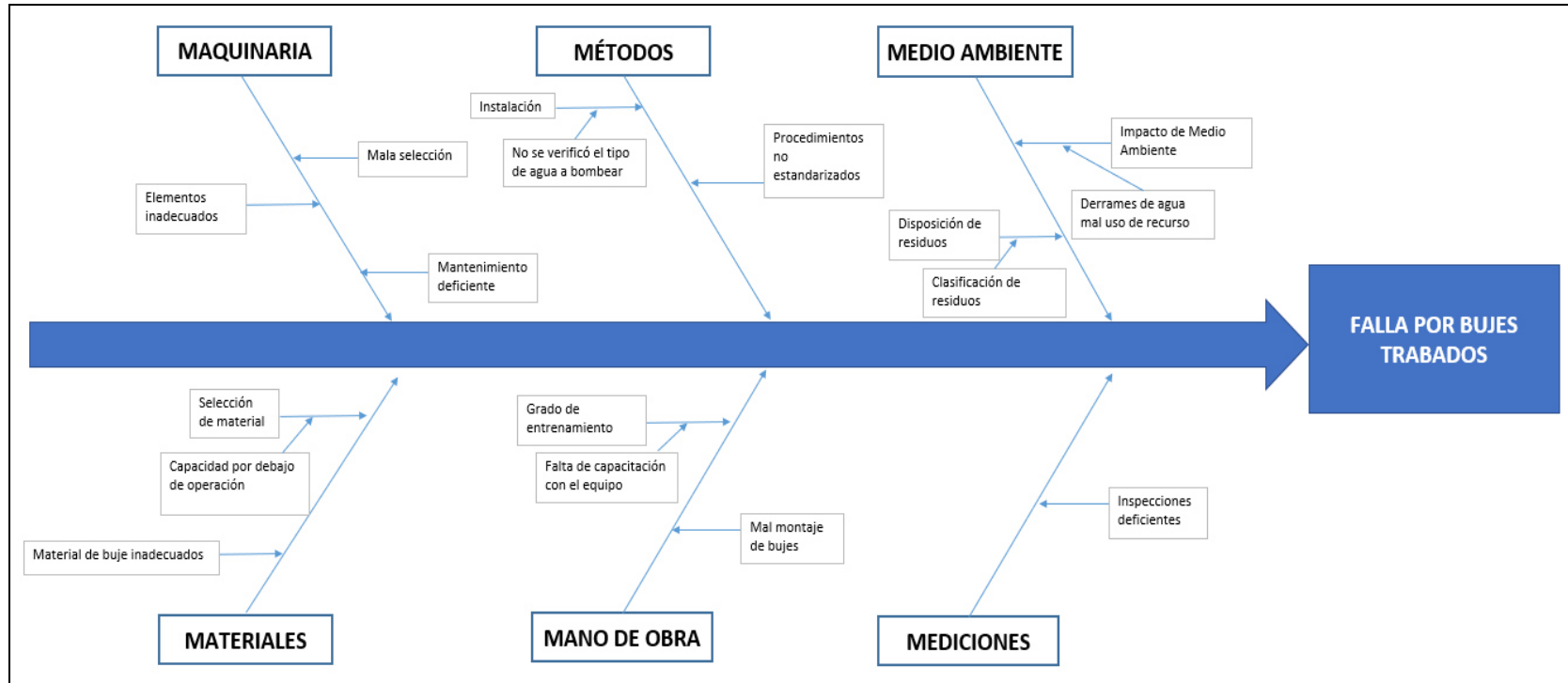


**Ilustración 35:** Diagrama de causa-efecto de fuga de Sellos

**Fuente:** Elaboración propia



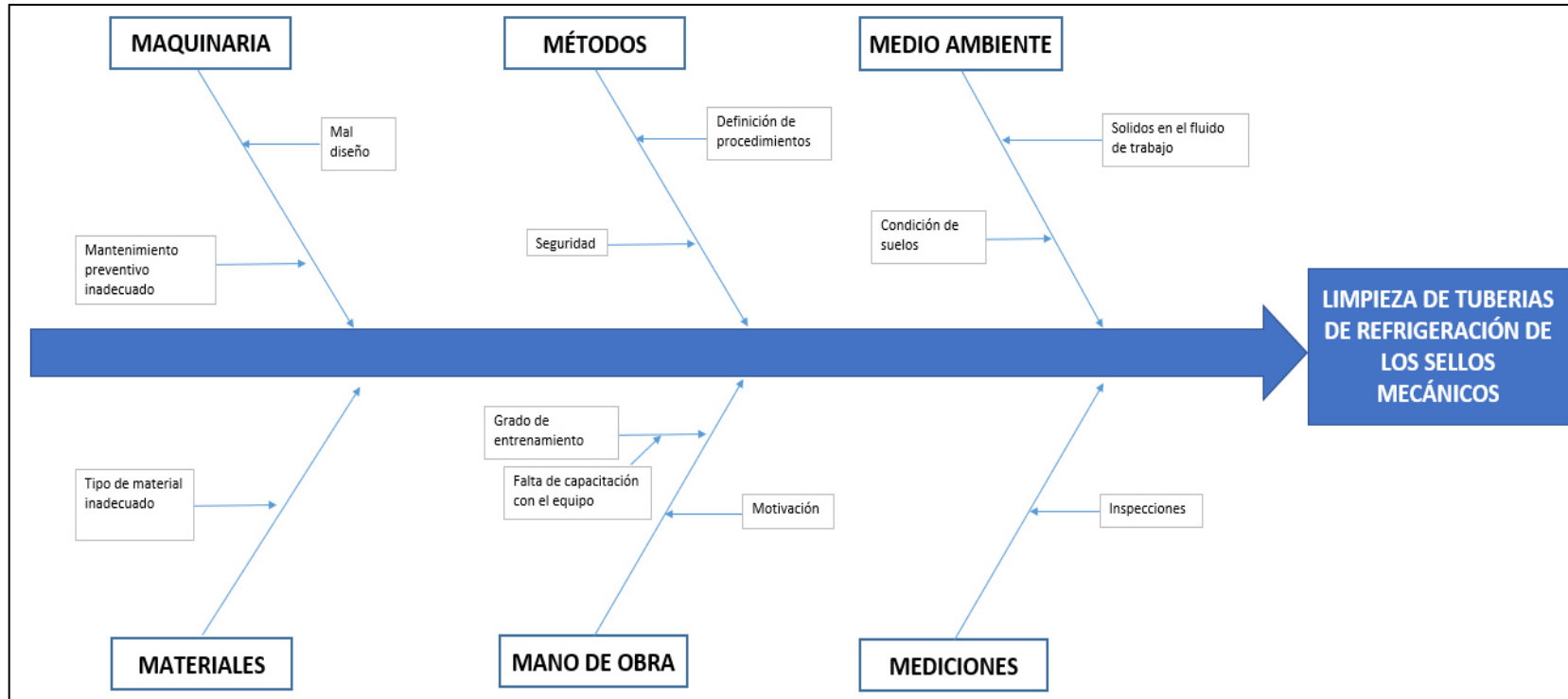
b) Falla por bujes trabados.



**Ilustración 36:** Diagrama de causa-efecto de Falla por bujes trabados

**Fuente:** Elaboración propia.

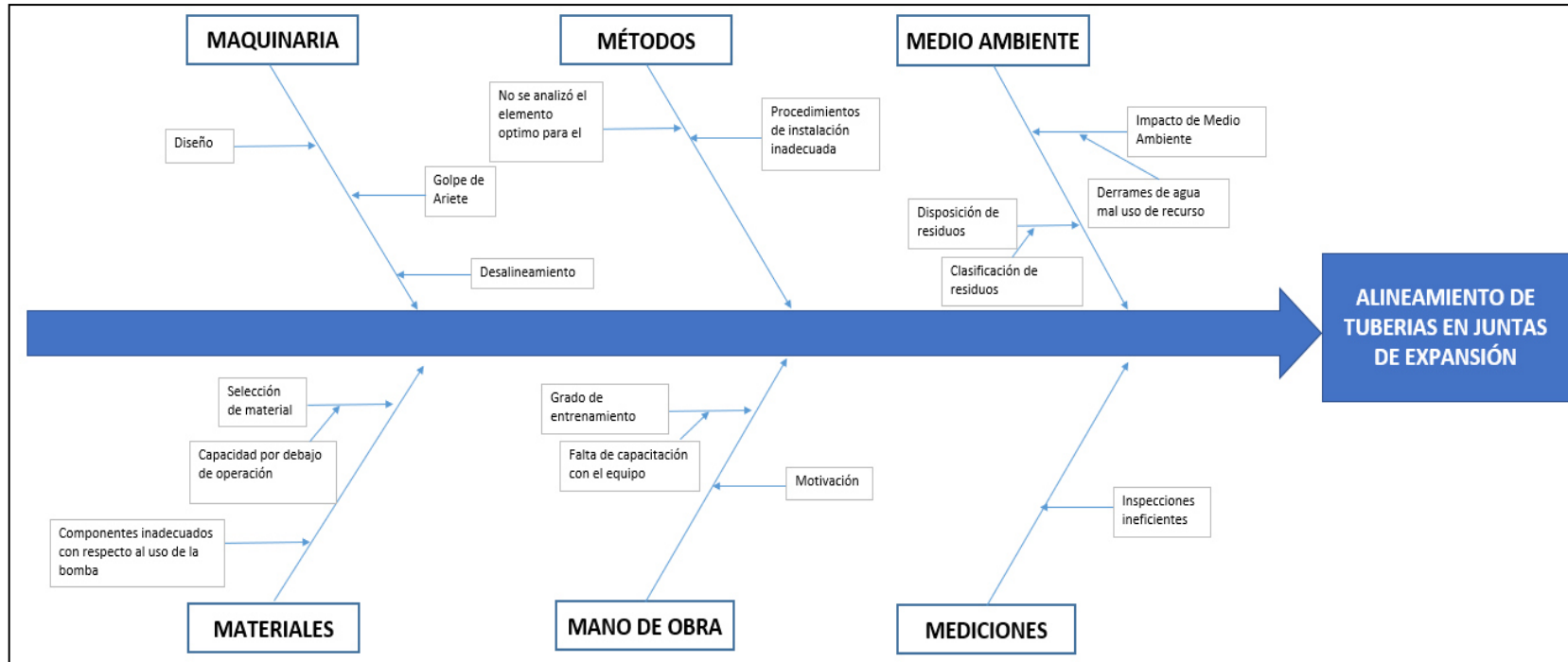
c) Limpieza de tuberías de refrigeración de sellos mecánicos



**Ilustración 37:** Diagrama de causa-efecto de Limpieza de tuberías de refrigeración de los sellos mecánicos

**Fuente:** Elaboración propia

d) Alineamiento de tuberías en líneas de expansión



**Ilustración 38:** Diagrama de causa-efecto de Alineamiento de tuberías en juntas de expansión

**Fuente:** Elaboración propia

## **B) Análisis de los diagramas de Causa – Efecto**

### **a) Maquinaria**

En esta clasificación se incluyen como posibles causas, todo lo relacionado con la bomba y conexiones de tuberías de succión y descarga; a continuación se detallará los puntos críticos que se encuentran.

- **Vibraciones:** Una de las causas principales es la cavitación y el desalineamiento, esto acorta la vida útil de la bomba, dado que ocasiona además de vibración, ruido y desgaste prematuro de las piezas en el impulsor, sellos mecánicos, además que puede ocasionar fisuras. Para evitar el fenómeno de la cavitación se debe considerar que:

$$NPSH \text{ Disponible} \geq NPSH \text{ Requerido} + 0.5$$

Donde:

NPSH: indica la altura mínima de succión de la bomba

0.5: Factor de seguridad

- **Golpe de Ariete:** Es una onda de choque transmitida por la presión contenida en las tuberías, es un incremento momentáneo de presión en un sistema de líquidos debido a un repentino cambio de velocidad de un fluido, creando una onda de presión. Este fenómeno causa problemas en las bombas cuando el personal de operaciones cierra y abre las válvulas de una forma brusca o cuando por algún problema la bomba para inesperadamente, para evitar esto se instalaron válvulas reguladoras de presión, las cuales regulan la presión de alta y baja de fluido. Cuando se paran las bombas esta válvula se abre por poca presión en el sistema y desfoga el agua a la laguna; por este motivo es importante programar el mantenimiento de estas válvulas, como limpieza de filtros y verificar las regulaciones de alta y baja en el sistema para evitar daños en las bombas, tuberías y válvulas.
- **Lubricación y Refrigeración:** Las bombas necesitan lubricación que a la vez sirven de refrigeración, sobre todo en los sellos mecánicos el cual toma el agua del tazón superior de la bomba y por medio de tuberías ingresa hacia los sellos mecánicos. La bomba instalada inicialmente debería bombear agua limpia, pero al encontrar partículas en suspensión los ductos de refrigeración se obstruyen evitando la lubricación del sello mecánico disminuyendo la vida útil del sello teniendo que paralizar la bomba para realizar su respectiva limpieza de los ductos. Para solucionar este problema se tienen que realizar modificaciones

para evitar paradas no programadas y tener mantenimiento programados para verificar la limpieza de los ductos.

- **Mantenimiento deficiente:** Los resultados de la encuesta indican que el personal que realiza los trabajos de mantenimiento y operación de las bombas en un 90% es personal técnico, los cuales aseguran tener experiencia en el mantenimiento y operación de las bombas, pero no recibieron capacitaciones de las bombas centrífugas verticales de la marca en específico, para reforzar sus conocimientos y estandarizar la forma como se debe realizar el mantenimiento y las consideraciones que se debe tener en el momento de manipulación y operación.
- **Desalineamiento:** Para evitar el desalineamiento, se debe realizar mantenimiento programado mensualmente para verificar el ajuste de los pernos en la base de la bomba y del motor, además de verificar el alineamiento de las bombas.

#### **b) Métodos**

El trabajo de mantenimiento mecánico de las bombas y de operación son muy importantes, la falla de estos puede causar daño en los equipos y por lo tanto paradas inesperadas si el personal incumple con las técnicas de manejo y cuidado de los mismos.

- **Instalación:** No se verificó el tipo de agua a bombear ya que la bomba instalada inicialmente era para agua limpia y al contener partículas en suspensión ocurren fallas y por lo tanto paradas inesperadas, disminuyendo la disponibilidad de las bombas, debido a ello no se puede enviar el agua necesaria para que la planta concentradora opere al 100% dado que el agua es importante para que opere una planta en la minería.
- **Seguridad:** La empresa ha implementado normas de seguridad que son más exigentes que las Normas Técnicas Peruana, todo ello para salvaguardar la integridad de las personas y equipos en la minería. En cuanto a la forma de cómo se deben realizar los trabajos de mantenimiento de las bombas en taller y en campo, para ello se realiza procedimientos de trabajo que se deben seguir por ser de cumplimiento obligatorio, los supervisores de seguridad realizan seguimiento de cumplimiento. El personal mecánico debe utilizar las herramientas adecuadas, así como los implementos de seguridad necesarios que están estipulados en dicho procedimiento, así como los supervisores de campo deberán facilitar lo necesario para hacer cumplir todo lo estipulado.

- Verificar procedimientos de mantenimiento y operación: Debido a que el agua presenta partículas de suspensión, esto ocasionaba problemas en los componentes de las bombas como falla prematura de estos. Para ello es necesario revisar los procedimientos y si es necesario realizar modificaciones para tener un óptimo desempeño de las bombas evitando así paradas no programadas y alargar la vida útil del equipo. Además, se debe difundir estos procedimientos al personal de operaciones para que así puedan realizar la manipulación de las bombas en condiciones aceptables tanto como en parar y arrancar las bombas.
- Medio ambiente: Se tiene que evitar cualquier impacto al medio ambiente dado que al abrirse las tuberías y válvulas ocasionan derrames de agua impactando el medio ambiente además de desperdiciar el recurso se debe seleccionar los residuos de todo mantenimiento que se realice llevándolo a un lugar adecuado, todo estará en los procedimientos establecidos.

#### **c) Materiales**

Se debe verificar el tipo de material que deben tener los componentes de la bomba que son afectados por las partículas en suspensión que posee el agua a bombear.

- Selección de material: Se determinará mediante consultas con el fabricante haciendo uso de sus catálogos y manuales de operación y mantenimiento, así como también con fabricantes de repuestos alternos que cumplan con las características del fabricante disminuyendo costos.
- Componentes inadecuados con respecto al uso de la bomba: Se determinará qué tipo de material es el adecuado para los componentes de la bomba como las caras de los sellos mecánicos, así como la línea de lubricación y de los bujes. Teniendo en cuenta que las partículas en suspensión ocasionan problemas principalmente en estos componentes mencionados. En este punto también intervienen los tipos de tubería de descarga teniendo en cuenta que las bombas están instaladas en barcasas que se sitúan en la laguna artificial, estos a la vez están conectados a un Manifold en suelo firme, llevando el agua hacia la concentradora. Todos estos cambios se realizarán consultando con el fabricante.

#### **d) Mano de Obra**

El personal directamente involucrado con la operación de la bomba como mecánicos y operadores, desempeñan un papel importante en el ciclo de trabajo de las bombas centrífugas verticales, el rendimiento y capacidad del personal está directamente relacionado con sus conocimientos y experiencia que tengan, como la destreza física y mental. Cualquiera de estos factores que se alteren afectará la capacidad de la persona para ejecutar bien los trabajos asignados, así se podrá tener alguna de las posibles causas de falla.

- **Grado de entrenamiento:** La capacitación del personal es uno de los factores más importantes para que se realicen un buen mantenimiento y dicho entrenamiento debe ser dictado por el fabricante de la bomba, ya que cada tipo de bomba tiene diferentes modos de mantenimiento y operación que el fabricante recomienda.
- **Motivación:** Este factor es importante para la empresa y el trabajador, dado que si se aplica en el ámbito laboral se puede lograr que los empleados motivados se esfuercen por tener un mayor desempeño, es importante que el personal se sienta motivado cada día a realizar bien sus obligaciones, dado que así la empresa incrementa su productividad. La motivación se puede realizar de manera extrínseca e intrínseca reconociendo su desempeño en su área de trabajo logrando un buen ambiente laboral.
- **Supervisión:** El supervisor es un elemento clave dentro de cualquier área de trabajo porque de él depende el aprovechamiento de recursos en el trabajo, gestionando y proporcionando herramientas, procedimiento y toda la información pertinente a realizar. El supervisor dirige y evalúa los trabajos dado que conoce todas las habilidades de los trabajadores haciendo respetar todas las normas de seguridad y cuidado del medio ambiente.

#### **e) Medición**

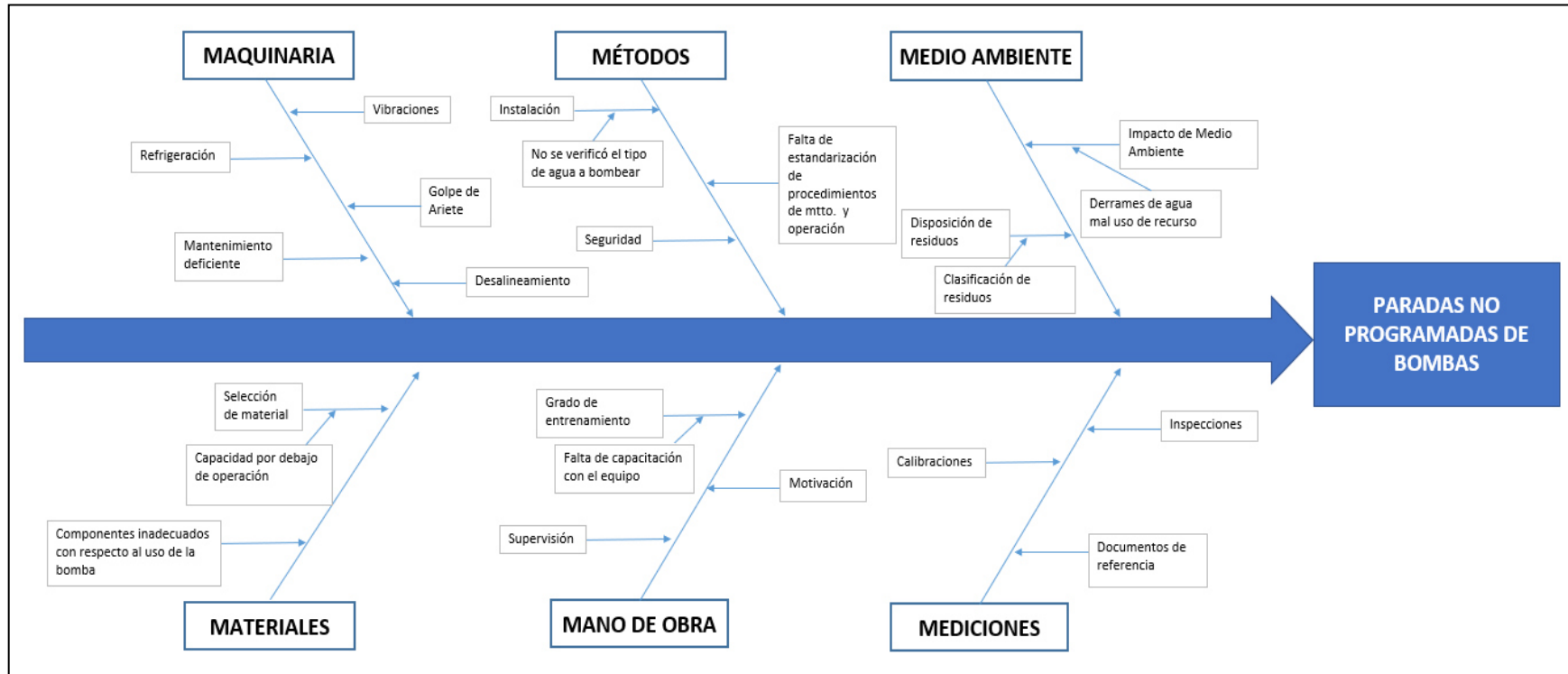
Esta rama destaca la importancia que se tiene del funcionamiento de la bomba, las cuales son tomar decisiones y acciones.

- **Inspecciones:** Se dispone de un programa de mantenimiento preventivo y predictivo para las mediciones requeridas de acuerdo con un programa de mantenimiento.
- **Documentos de referencia:** Todos los datos tomados en las mediciones realizadas se deben archivar para tener un historial de las bombas y así poder

tomar decisiones para programar mantenimientos evitando paradas inesperadas.

- Calibraciones: Instrumentación adecuada, calibrado para realizar las mediciones correctas realizando calibraciones de calidad dando resultados de mediciones y las pruebas fiables.





**Ilustración 39:**Diagrama General de causa-efecto de las bombas centrífugas

**Fuente:** Elaboración propia

### C) Implementación de Ciclo de Deming

Para la implementación de un plan de mantenimiento se deben seguir unas fases, para lo cual se basará en el ciclo PHVA de Deming dado que es un sistema de gestión que busca la mejora continua.



**Ilustración 40:**Ciclo PHVA.

**Fuente:** (Gestiopolis, s.f.)

#### a) Planear

Este primer paso consiste en el planeamiento en el cual se realiza los requerimientos tanto de materiales, recursos humanos, herramientas y recursos económicos. Se debe tener en cuenta la disponibilidad y confiabilidad de los equipos en este caso de las bombas centrífugas. Según el análisis de anteriores mantenimientos predictivos se realizará el planeamiento.

#### b) Hacer

En este punto se realiza todo lo planeado en la primera etapa, es donde se realizan las acciones y los procedimientos de operaciones en las bombas, para esto se realizan las mediciones propuestas. Se realiza un control operacional el cual se puede seguir del procedimiento de trabajo y un control documentario.

#### c) Verificar

En este tercer punto se comprueba que todo lo planificado para el mantenimiento está realizado para esto se realiza inspecciones, supervisión, auditorías, informes y también está involucrado el ámbito estadístico para poder realizar un seguimiento continuo

a las bombas centrífugas verticales. Además, se realiza un seguimiento continuo verificando las fechas de instalación de los repuestos.

#### **d) Actuar**

Mediante reuniones semanales en el área de mantenimiento junto a los fabricantes se realiza un análisis de los materiales de los componentes de la bomba centrífuga vertical y con la entrega de verificaciones se busca ajustar todo lo organizado con respecto a los resultados obtenidos. Se busca la mejora continua para organizar los puntos críticos y realizar acciones correctivas mejorando el plan de mantenimiento. Se debe analizar las características del material para realizar los siguientes cambios:

- Material de los componentes críticos.
- Marca de los componentes críticos (costos).

## **4.2 Prueba de hipótesis**

La falla más frecuente se encuentra en los sellos mecánicos por la fuga de agua, en base a este conocimiento se realizarán las pruebas estadísticas, según el mantenimiento que se le realiza a cada una de las bombas.

#### **a) Bomba 01**

En esta bomba se realizan cambios de sello no solo en la marca sino en el material, alargando así su tiempo de vida útil. En la Tabla 8 se describe los cambios que tuvo desde el 2016 hasta la actualidad, dando una mejora notoria el cambio de material de Carburo de Tungsteno a Carburo de Silicio y con la marca que se trabaja, en un principio se colocó el sello original cuyo material es de Carburo de Tungsteno, luego se cambió a la marca alternativa manteniendo el mismo material, se cambió a Carburo de Silicio en la marca original y finalmente se cambió a la marca alternativa manteniendo el sello de Carburo de Silicio.

Con el sello original de Carburo de Tungsteno se realizó cuatro mantenimientos correctivos a la bomba, los cuales tuvieron una duración promedio de 1,360 horas de funcionamiento, al cambiar a la marca alternativa con el mismo material se realizó dos mantenimientos correctivos teniendo una duración promedio de 2,052 horas de funcionamiento, se cambió a la marca original variando el material del sello con el cual se obtuvo una duración de 4,656 horas y dado que anteriormente se notó una mejora con la marca alternativa se cambió de marca teniendo una duración promedio de 8,016 horas de funcionamiento. Obteniendo mayor vida útil de los sellos mecánicos.

**Tabla 7.***Descripción de cambio de sellos (2016 - Actualidad). Bomba 01*

FECHA CAMBIO	AÑO	TEXTO BREVE	MARCA DE SELLO	TIPO	HORAS TRABAJADAS
26/02/2016	2016	Cambio de sello	Original	Carburo de Tungsteno	1,296 hrs
22/04/2016	2016	Cambio de sello	Original	Carburo de Tungsteno	1,344 hrs
21/06/2016	2016	Cambio de sello	Original	Carburo de Tungsteno	1,440 hrs
10/10/2016	2016	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Tungsteno	2,664 hrs
13/02/2017	2017	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Tungsteno	3,024 hrs
26/08/2017	2017	Cambio de sello	Original	Carburo de Silicio	4,656 hrs
22/07/2018	2018	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	7,920 hrs
25/06/2019	2019	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	8,112 hrs
		Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	

**Fuente:** Elaboración propia

En cuestión a los costos se tienen en consideración tres factores: el costo del sello, el costo de mano de obra y el costo de maquinaria en este caso el camión grúa. Se puede observar en la Tabla 9 la variación con respecto a los sellos mecánicos el cual a un principio tiene un precio de \$16,050.00 en la marca original con el material Carburo de Tungsteno, al cambiar a la marca alternativa manteniendo el material tiene un costo de \$5,350.00, se cambia el material del sello en la marca original teniendo un costo de \$18,350.00 y manteniendo el material pero cambiando a la marca alternativa se tiene un costo final de \$6,740.00 existiendo una disminución de costos y mayor vida útil en los sellos. Con respecto a la cantidad de personal y el costo que genera la mano de obra, no se tiene una variación de costos se mantiene en \$960.00 pero con la diferencia de que si se tiene mayor tiempo de vida útil, el pago al personal disminuye aproximadamente a dos mantenimientos anuales.

**Tabla 8.***Costo del sello y mano de Obra de la bomba 01*

MARCA DE SELLO	TIPO	COSTO SELLO	CANTIDAD DE PERSONAL	DURACION	COSTO DE PERSONAL	COSTO MO
Original	Carburo de Tungsteno	\$ 16,050.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00
Original	Carburo de Tungsteno	\$ 16,050.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00
Original	Carburo de Tungsteno	\$ 16,050.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00
Alternativo	Carburo de Tungsteno	\$ 5,350.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00
Alternativo	Carburo de Tungsteno	\$ 5,350.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00
Original	Carburo de Silicio	\$ 18,350.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00
Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 6,740.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00
Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 6,740.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00
Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 6,740.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00

**Fuente:** Elaboración propia

El costo de camión grúa tampoco tiene una variación en sus costos de mantenimiento ni en las horas de trabajo como se observa en la Tabla 9, pero dado que los sellos a un principio tenían cuatro cambios anuales teniendo un costo de \$3,200.00 anual y con el último sello se reduce en dos cambios al año teniendo un costo de \$1,600.00 anual, entonces se tiene una reducción en la cantidad de mantenimientos, por ende se tiene una disminución en el costo anual del camión grúa.

**Tabla 9.**

*Costo del uso del camión grúa de la bomba 01*

MARCA DE SELLO	TIPO	HORAS DE GRUA	COSTO HORA CAMION GRUA	COSTO TOTAL (CAMION)
Original	Carburo de Tungsteno	8	\$ 100.00	\$ 800.00
Original	Carburo de Tungsteno	8	\$ 100.00	\$ 800.00
Original	Carburo de Tungsteno	8	\$ 100.00	\$ 800.00
Alternativo	Carburo de Tungsteno	8	\$ 100.00	\$ 800.00
Alternativo	Carburo de Tungsteno	8	\$ 100.00	\$ 800.00
Original	Carburo de Silicio	8	\$ 100.00	\$ 800.00
Alternativo	Carburo de Silicio	8	\$ 100.00	\$ 800.00
Alternativo	Carburo de Silicio	8	\$ 100.00	\$ 800.00
Alternativo	Carburo de Silicio	8	\$ 100.00	\$ 800.00

**Fuente:** Elaboración propia

Es necesario realizar el cálculo del costo dólar/hora que se tiene del sello, la mano de obra y el uso del camión grúa; se calcula dividiendo el costo total entre la cantidad de horas trabajadas. Obteniendo en un principio se tiene un promedio de \$13.12 por hora, al realizar el cambio se tiene un promedio de \$3.85 por hora, se realiza un tercer cambio obteniendo un costo de \$4.32 por hora y finalmente, se tiene un promedio de \$1.06 por hora, teniendo una reducción de \$12.06 por hora al utilizar el sello en la marca alternativa y de material Carburo de Silicio. Ver Tabla 10.

**Tabla 10.***Costos dólar/hora de la bomba 01*

AÑO	TEXTO BREVE	MARCA DE SELLO	TIPO	COSTO TOTAL	HORAS TRABAJADAS	DÓLAR/ HORA
2016	Cambio de sello	Original	Carburo de Tungsteno	\$ 17,810.00	1,296 hrs	\$ 13.74
2016	Cambio de sello	Original	Carburo de Tungsteno	\$ 17,810.00	1,344 hrs	\$ 13.25
2016	Cambio de sello	Original	Carburo de Tungsteno	\$ 17,810.00	1,440 hrs	\$ 12.37
2016	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Tungsteno	\$ 7,110.00	2,664 hrs	\$ 2.67
2017	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Tungsteno	\$ 7,110.00	3,024 hrs	\$ 2.35
2017	Cambio de sello	Original	Carburo de Silicio	\$ 20,110.00	4,656 hrs	\$ 4.32
2018	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 8,500.00	7,920 hrs	\$ 1.07
2019	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 8,500.00	8,112 hrs	\$ 1.05
	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 8,500.00		

**Fuente:** Elaboración propia**b) Bomba 02**

Esta bomba estuvo operando desde el año 2016, empezó con el sello mecánico original de material Carburo de Tungsteno el cual tuvo una duración inicial promedio de 1,536 horas de vida útil antes de su mantenimiento correctivo, existe un cambio de marca original a la marca alternativa, se tuvo dos mantenimientos correctivos en la marca alternativa teniendo un promedio de 2,868 horas de funcionamiento, se decide cambiar de material a Carburo de Silicio del sello original obteniendo 4,800 horas de funcionamiento, se decide mantener el material pero en la marca alternativa teniendo un promedio de 8,040 horas de funcionamiento. En los últimos 4 años se tuvo una mejora en el tiempo de vida útil de 6,504 horas de funcionamiento como se puede observar en la Tabla 11.

**Tabla 11.***Descripción de cambio de sellos (2016 - Actualidad). Bomba 02*

FECHA CAMBIO	AÑO	TEXTO BREVE	MARCA DE SELLO	TIPO	HORAS TRABAJADAS
20/02/2016	2016	Cambio de sello	Original	Carburo de Tungsteno	1,560 hrs
20/04/2016	2016	Cambio de sello	Original	Carburo de Tungsteno	1,440 hrs
26/06/2016	2016	Cambio de sello	Original	Carburo de Tungsteno	1,608 hrs
15/10/2016	2016	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Tungsteno	2,664 hrs
20/02/2017	2017	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Tungsteno	3,072 hrs
08/09/2017	2017	Cambio de sello	Original	Carburo de Silicio	4,800 hrs
08/08/2018	2018	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	8,016 hrs
10/07/2019	2019	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	8,064 hrs
		Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	

**Fuente:** Elaboración propia

En cuestión a los costos se tienen en consideración tres factores: el costo del sello, el costo de mano de obra y el costo de maquinaria en este caso el camión grúa. Se puede

observar en la Tabla 12 la variación con respecto a los sellos mecánicos el cual a un principio tiene un precio de \$16,050.00 en la marca original con el material Carburo de Tungsteno, al cambiar a la marca alternativa manteniendo el material tiene un costo de \$5,350.00, se cambia el material del sello en la marca original teniendo un costo de \$18,350.00 y manteniendo el material pero cambiando a la marca alternativa se tiene un costo final de \$6,740.00 existiendo una disminución de costos y mayor vida útil en los sellos. Con respecto a la cantidad de personal y el costo que genera la mano de obra, no se tiene una variación de costos se mantiene en \$960.00 pero con la diferencia de que si se tiene mayor tiempo de vida útil, el pago al personal disminuye aproximadamente a dos mantenimientos anuales.

**Tabla 12.**

*Costo de sello y mano de obra de la bomba 02*

MARCA DE SELLO	TIPO	COSTO SELLO	CANTIDAD DE PERSONAL	DURACION	COSTO DE PERSONAL	COSTO MO
Original	Carburo de Tungsteno	\$ 16,050.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00
Original	Carburo de Tungsteno	\$ 16,050.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00
Original	Carburo de Tungsteno	\$ 16,050.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00
Alternativo	Carburo de Tungsteno	\$ 5,350.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00
Alternativo	Carburo de Tungsteno	\$ 5,350.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00
Original	Carburo de Silicio	\$ 18,350.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00
Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 6,740.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00
Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 6,740.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00
Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 6,740.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00

**Fuente:** Elaboración propia

El costo de camión grúa tampoco tiene una variación en sus costos de mantenimiento ni en las horas de trabajo con se observa en la Tabla 13, pero dado que los sellos a un principio tenían cuatro cambios anuales teniendo un costo de \$3,200.00 anual y con el último sello se reduce en dos cambios al año teniendo un costo de \$1,600.00 anual, entonces se tiene una reducción en la cantidad de mantenimientos, por ende se tiene una disminución en el costo anual del camión grúa.

**Tabla 13.**

*Costo de uso del Camión Grúa de la bomba 02*

MARCA DE SELLO	TIPO	HORAS DE GRUA	COSTO HORA CAMION GRUA	COSTO TOTAL (CAMION)
Original	Carburo de Tungsteno	8	\$ 100.00	\$ 800.00
Original	Carburo de Tungsteno	8	\$ 100.00	\$ 800.00
Original	Carburo de Tungsteno	8	\$ 100.00	\$ 800.00
Alternativo	Carburo de Tungsteno	8	\$ 100.00	\$ 800.00
Alternativo	Carburo de Tungsteno	8	\$ 100.00	\$ 800.00
Original	Carburo de Silicio	8	\$ 100.00	\$ 800.00
Alternativo	Carburo de Silicio	8	\$ 100.00	\$ 800.00
Alternativo	Carburo de Silicio	8	\$ 100.00	\$ 800.00
Alternativo	Carburo de Silicio	8	\$ 100.00	\$ 800.00

**Fuente:** Elaboración propia

Es necesario realizar el cálculo dólar/hora del sello mecánico, mano de obra y el uso del camión grúa; se calcula dividiendo el costo total entre la cantidad de horas trabajadas. Se obtiene en un principio con el sello original de Carburo de Tungsteno un costo promedio de \$11.62 por hora, al cambiar a la marca alternativa se tiene un promedio de \$2.49 por hora, se realiza el cambio a la marca original pero el material del sello es de Carburo de Silicio teniendo un costo de \$4.19 por hora y finalmente se mantiene el material cambiando a la marca alternativa, teniendo un promedio de \$1.05 por hora. Se tiene una disminución de costos de \$10.57 por hora. Ver Tabla 14.

**Tabla 14.**

*Costo dólar/hora de la bomba 02*

AÑO	TEXTO BREVE	MARCA DE SELLO	TIPO	COSTO TOTAL	HORAS TRABAJADAS	DÓLAR/ HORA
2016	Cambio de sello	Original	Carburo de Tungsteno	\$ 17,810.00	1,560 hrs	\$ 11.42
2016	Cambio de sello	Original	Carburo de Tungsteno	\$ 17,810.00	1,440 hrs	\$ 12.37
2016	Cambio de sello	Original	Carburo de Tungsteno	\$ 17,810.00	1,608 hrs	\$ 11.08
2016	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Tungsteno	\$ 7,110.00	2,664 hrs	\$ 2.67
2017	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Tungsteno	\$ 7,110.00	3,072 hrs	\$ 2.31
2017	Cambio de sello	Original	Carburo de Silicio	\$ 20,110.00	4,800 hrs	\$ 4.19
2018	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 8,500.00	8,016 hrs	\$ 1.06
2019	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 8,500.00	8,064 hrs	\$ 1.05
	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 8,500.00		

**Fuente:** Elaboración propia

### c) Bomba 03



Esta bomba estuvo operando desde el año 2016, tuvo dos cambios de marca y dos cambios en el material del sello, a lo largo de los años hasta la actualidad, el material fue una gran influencia en el tiempo de vida útil.

Empezó con la marca original en Carburo de Tungsteno teniendo un promedio de 1,568 horas de funcionamiento, se cambió a la marca alternativa manteniendo el material obteniendo 3,048 horas de funcionamiento, se realiza el cambio de material a Carburo de Silicio en la marca original teniendo 4,608 horas de funcionamiento y finalmente se cambia a la marca alternativa manteniendo el material anterior obteniendo en promedio 7,960 horas de funcionamiento. Se obtiene mayor tiempo de vida útil de 6,122 horas.

**Tabla 15.**

*Descripción de cambio de sellos (2016 - Actualidad). Bomba 03*

FECHA CAMBIO	AÑO	TEXTO BREVE	MARCA DE SELLO	TIPO	HORAS TRABAJADAS
22/03/2016	2016	Cambio de sello	Original	Carburo de Tungsteno	1,368 hrs
23/05/2016	2016	Cambio de sello	Original	Carburo de Tungsteno	1,488 hrs
08/08/2016	2016	Cambio de sello	Original	Carburo de Tungsteno	1,848 hrs
13/12/2016	2016	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Tungsteno	3,048 hrs
23/06/2017	2017	Cambio de sello	Original	Carburo de Silicio	4,608 hrs
22/05/2018	2018	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	7,992 hrs
22/04/2019	2019	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	8,040 hrs
14/03/2020	2020	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	7,848 hrs
		Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	

**Fuente:** Elaboración propia

En cuestión a los costos se tienen en consideración tres factores: el costo del sello, el costo de mano de obra y el costo de maquinaria en este caso el camión grúa. Se puede observar en la Tabla 17, la variación con respecto a los sellos mecánicos el cual a un principio tiene un precio de \$16,050.00 en la marca original con el material Carburo de Tungsteno, al cambiar a la marca alternativa manteniendo el material tiene un costo de \$5,350.00, se cambia el material del sello en la marca original teniendo un costo de \$18,350.00 y manteniendo el material pero cambiando a la marca alternativa se tiene un costo final de \$6,740.00 existiendo una disminución de costos y mayor vida útil en los sellos. Con respecto a la cantidad de personal y el costo que genera la mano de obra no se tiene una variación de costos se mantiene en \$960.00 pero con la diferencia de que si se tiene mayor tiempo de vida útil el pago al personal disminuye aproximadamente a dos mantenimientos anuales.

**Tabla 16.***Costo de sello mecánico y mano de obra para bomba 03*

MARCA DE SELLO	TIPO	COSTO SELLO	CANTIDAD DE PERSONAL	DURACION	COSTO DE PERSONAL	COSTO MO
Original	Carburo de Tungsteno	\$ 16,050.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00
Original	Carburo de Tungsteno	\$ 16,050.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00
Original	Carburo de Tungsteno	\$ 16,050.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00
Alternativo	Carburo de Tungsteno	\$ 5,350.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00
Original	Carburo de Silicio	\$ 18,350.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00
Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 6,740.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00
Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 6,740.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00
Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 6,740.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00
Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 6,740.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00

**Fuente:** Elaboración propia

El costo de camión grúa tampoco tiene una variación en sus costos de mantenimiento ni en las horas de trabajo con se observa en la Tabla 17, pero dado que los sellos a un principio tenían cuatro cambios anuales teniendo un costo de \$3,200.00 anual y con el último sello se reduce en dos cambios al año teniendo un costo de \$1,600.00 anual entonces se tiene una reducción en la cantidad de mantenimientos por ende se tiene una disminución en el costo anual del camión grúa.

**Tabla 17.***Costo del uso de Camión Grúa para bomba 03*

MARCA DE SELLO	TIPO	HORAS DE GRUA	COSTO HORA CAMION GRUA	COSTO TOTAL (CAMION)
Original	Carburo de Tungsteno	8	\$ 100.00	\$ 800.00
Original	Carburo de Tungsteno	8	\$ 100.00	\$ 800.00
Original	Carburo de Tungsteno	8	\$ 100.00	\$ 800.00
Alternativo	Carburo de Tungsteno	8	\$ 100.00	\$ 800.00
Original	Carburo de Silicio	8	\$ 100.00	\$ 800.00
Alternativo	Carburo de Silicio	8	\$ 100.00	\$ 800.00
Alternativo	Carburo de Silicio	8	\$ 100.00	\$ 800.00
Alternativo	Carburo de Silicio	8	\$ 100.00	\$ 800.00
Alternativo	Carburo de Silicio	8	\$ 100.00	\$ 800.00

**Fuente:** Elaboración propia

Es necesario realizar el cálculo dólar/hora por la mano de obra y el uso del camión grúa; se calcula dividiendo el costo total entre la cantidad de horas trabajadas.

Para el primer tipo de sello se tiene un promedio de \$11.54 por hora, con el segundo tipo de sello se tiene \$9.64 por hora, para el tercer tipo de sello se tiene \$4.36 por hora y

finalmente para el cuarto tipo de sello, se tiene un promedio de \$1.07 por hora. Teniendo una disminución de \$10.47 por hora. Ver Tabla 18.

**Tabla 18.**

*Costo dólar/hora de la bomba 03*

AÑO	TEXTO BREVE	MARCA DE SELLO	TIPO	COSTO TOTAL	HORAS TRABAJADAS	DÓLAR/ HORA
2016	Cambio de sello	Original	Carburo de Tungsteno	\$ 17,810.00	1,368 hrs	\$ 13.02
2016	Cambio de sello	Original	Carburo de Tungsteno	\$ 17,810.00	1,488 hrs	\$ 11.97
2016	Cambio de sello	Original	Carburo de Tungsteno	\$ 17,810.00	1,848 hrs	\$ 9.64
2016	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Tungsteno	\$ 7,110.00	3,048 hrs	\$ 2.33
2017	Cambio de sello	Original	Carburo de Silicio	\$ 20,110.00	4,608 hrs	\$ 4.36
2018	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 8,500.00	7,992 hrs	\$ 1.06
2019	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 8,500.00	8,040 hrs	\$ 1.06
2020	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 8,500.00	7,848 hrs	\$ 1.08
	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 8,500.00		

**Fuente:** Elaboración propia

d) Bomba 04

En el caso de esta bomba en el año 2016 estuvo con el sello original en material de Carburo de Tungsteno teniendo una duración de 0,864 horas, luego se cambió a la marca alternativa con el mismo material, teniendo una duración de 3,048 horas, se cambió a la marca original con el material de carburo de Silicio, teniendo un promedio de 3,516 horas, para el siguiente cambio se mantuvo el mismo material, pero con la marca alternativa teniendo un promedio de 8,048 horas de funcionamiento. Se obtiene una mejora en la vida útil del sello dado por los cambios realizados en los últimos 4 años obteniendo una mejora de 7,184 horas de funcionamiento.

**Tabla 19.**

*Descripción de cambio de sello (2016 - Actualidad). Bomba 04*

FECHA CAMBIO	AÑO	TEXTO BREVE	MARCA DE SELLO	TIPO	HORAS TRABAJADAS
25/02/2016	2016	Cambio de sello	Original	Carburo de Tungsteno	864 hrs
01/07/2016	2016	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Tungsteno	3,048 hrs
18/12/2016	2016	Cambio de sello	Original	Carburo de Silicio	4,080 hrs
20/04/2017	2017	Cambio de sello	Original	Carburo de Silicio	2,952 hrs
23/03/2018	2018	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	8,088 hrs
21/02/2019	2019	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	8,040 hrs
21/01/2020	2020	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	8,016 hrs
		Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	

**Fuente:** Elaboración propia

En relación a los costos se tienen en consideración tres factores: el costo del sello, el costo de mano de obra y el costo de maquinaria en este caso el camión grúa. Se puede observar en la Tabla 20, la variación con respecto a los sellos mecánicos el cual a un principio tiene un precio de \$16,050.00 en la marca original con el material Carburo de Tungsteno, al cambiar a la marca alternativa manteniendo el material tiene un costo de \$5,350.00, se cambia el material del sello en la marca original teniendo un costo de \$18,350.00 y manteniendo el material pero cambiando a la marca alternativa se tiene un costo final de \$6,740.00 existiendo una disminución de costos y mayor vida útil en los sellos. Con respecto a la cantidad de personal y el costo que genera la mano de obra no se tiene una variación de costos se mantiene en \$960.00 pero con la diferencia de que si se tiene mayor tiempo de vida útil, el pago al personal disminuye aproximadamente a dos mantenimientos anuales.

**Tabla 20.**

*Costo de sello mecánico y mano de obra para la bomba 4*

MARCA DE SELLO	TIPO	COSTO SELLO	CANTIDAD DE PERSONAL	DURACION	COSTO DE PERSONAL	COSTO MO
Original	Carburo de Tungsteno	\$ 16,050.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00
Alternativo	Carburo de Tungsteno	\$ 5,350.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00
Original	Carburo de Silicio	\$ 18,350.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00
Original	Carburo de Silicio	\$ 18,350.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00
Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 6,740.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00
Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 6,740.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00
Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 6,740.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00
Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 6,740.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00

**Fuente:** Elaboración propia

El costo de camión grúa tampoco tiene una variación en sus costos de mantenimiento ni en las horas de trabajo con se observa en la Tabla 21, pero dado que los sellos a un principio tenían hasta tres cambios anuales teniendo un costo aproximado de \$3,200.00 anual y con el último sello se reduce en dos cambios al año teniendo un costo de \$1,600.00 anual entonces se tiene una reducción en la cantidad de mantenimientos, por ende se tiene una disminución en el costo anual del camión grúa.

**Tabla 21.***Costo del uso de Camión Grúa para la bomba 4*

MARCA DE SELLO	TIPO	HORAS DE GRUA	COSTO HORA CAMION GRUA	COSTO TOTAL (CAMION)
Original	Carburo de Tungsteno	8	\$ 100.00	\$ 800.00
Alternativo	Carburo de Tungsteno	8	\$ 100.00	\$ 800.00
Original	Carburo de Silicio	8	\$ 100.00	\$ 800.00
Original	Carburo de Silicio	8	\$ 100.00	\$ 800.00
Alternativo	Carburo de Silicio	8	\$ 100.00	\$ 800.00
Alternativo	Carburo de Silicio	8	\$ 100.00	\$ 800.00
Alternativo	Carburo de Silicio	8	\$ 100.00	\$ 800.00
Alternativo	Carburo de Silicio	8	\$ 100.00	\$ 800.00

**Fuente:** Elaboración propia

Es necesario realizar el cálculo dólar/hora por la mano de obra y el uso del camión grúa; se calcula dividiendo el costo total entre la cantidad de horas trabajadas. En la Tabla 22 se observa la variación que se tiene por cada sello con respecto a los costos por mantenimiento en el primer sello se tiene un valor de \$20.61 por hora, en el segundo sello se tiene un valor de \$2.33 por hora, en el tercer sello se tiene un promedio de \$5.87 por hora y finalmente en el cuarto sello, se tiene un valor promedio de \$1.06 por hora. Se tiene finalmente una reducción significativa en costos de \$19.55 por hora, además se tiene mayor tiempo de vida útil de los sellos y por ende una reducción de mantenimientos.

**Tabla 22.***Costo dólar/hora para la bomba 04*

AÑO	TEXTO BREVE	MARCA DE SELLO	TIPO	COSTO TOTAL	HORAS TRABAJADAS	DÓLAR/ HORA
2016	Cambio de sello	Original	Carburo de Tungsteno	\$ 17,810.00	864 hrs	\$ 20.61
2016	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Tungsteno	\$ 7,110.00	3,048 hrs	\$ 2.33
2016	Cambio de sello	Original	Carburo de Silicio	\$ 20,110.00	4,080 hrs	\$ 4.93
2017	Cambio de sello	Original	Carburo de Silicio	\$ 20,110.00	2,952 hrs	\$ 6.81
2018	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 8,500.00	8,088 hrs	\$ 1.05
2019	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 8,500.00	8,040 hrs	\$ 1.06
2020	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 8,500.00	8,016 hrs	\$ 1.06
	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 8,500.00		

**Fuente:** Elaboración propia

En la columna “DÓLAR/HORA (SELLO)” está incluido el precio del sello sumado al precio de la mano de obra que se requiere para realizar el mantenimiento correspondiente.

#### 4.2.1 Prueba estadística

Para la prueba estadística Chi – Cuadrado se tendrá en cuenta las siguientes variables del sello mecánico:

VARIABLE 1: Variación del material de los componentes críticos de la bomba.

VARIABLE 2: Vida útil de bomba centrífuga vertical

- Paso 01: Prueba de Hipótesis

En este punto se planteará la hipótesis nula y alternativa las cuales nos indicarán si las variables son independientes o si tienen algún grado de relación.

H0: Al implementar un plan de mantenimiento en bombas centrífugas verticales no aumenta su vida útil.

H1: Al implementar un plan de mantenimiento en bombas centrífugas verticales aumenta su vida útil.

- Paso 02: Identificación del CHI – TABLA

Primero se debe hallar los grados de libertad, el cual se halla multiplicando la cantidad de columnas menos uno y la cantidad de filas menos uno.

Como vamos utilizar los datos de dos marcas y dos tipos de material el resultado nos daría uno, también se debe reconocer el nivel de confianza con el cual se trabajará en nuestro caso al 95%. Con estos datos podemos establecer el valor del chi – tabla.

#### Tabla 23.

*Identificación del valor de Chi – Tabla*

Grados de libertad:	<b>1</b>
Nivel de Confianza:	<b>95%</b>
Chi Tabla @ 0.05	<b>3.8415</b>

**Fuente:** Elaboración propia

- Paso 03: Se realiza el cálculo del Chi – Cuadrado

Los datos sobre la marca y el material de los sellos serán en base a sus horas trabajo con esto se podrá analizar la hipótesis principal si existe una relación del sello y la marca del sello en cuestión a la vida útil.

**Tabla 24.***Promedio de horas trabajadas en las cuatro bombas*

Promedio de HORAS TRABAJADAS	TIPO		
MARCA DE SELLO		Carburo de Tungsteno	Carburo de Silicio
Original		1426	4219
Alternativo		2920	8014
<b>Total general</b>		<b>1986</b>	<b>6749</b>

**Fuente:** Elaboración propia

En la Fuente: Elaboración propia

Se observan los datos promedio de las horas trabajadas en las cuatro bombas. Esta es la tabla principal de la cual se empezarán a realizar los cálculos correspondientes.

**Tabla 25.***Identificación del primer factor*

MARCA DE SELLO	Carburo de Tungsteno	Carburo de Silicio	TOTAL
Original	1,426	4,219	<b>5,645</b>
Alternativo	2,920	8,014	<b>10,934</b>
<b>TOTAL</b>	<b>4,346</b>	<b>12,233</b>	<b>16,578</b>
	0.26212421	0.73787579	

**Fuente:** Elaboración propia

En la Fuente: Elaboración propia

Con los totales de cada columna en el caso del Carburo de Tungsteno 4,346 y el Carburo de Silicio 12,33 se divide con el total general que es 16,578 hallando así el primer factor para poder identificar cuáles son los valores esperados.

**Tabla 26.***Valores esperados*

MARCA DE SELLO	Carburo de Tungsteno	Carburo de Silicio	TOTAL
Original	1,480	4,165	5,645
Alternativo	2,866	8,068	10,934
total	4,346	12,233	16,578

**Fuente:** Elaboración propia

En la Fuente: Elaboración propia

Se multiplica el factor de cada columna contra los totales de cada fila consiguiendo así los datos esperados para cada columna.

**Tabla 27.**

*Hallazgo del valor Chi – Cuadrado*

MARCA DE SELLO	Carburo de Tungsteno	Carburo de Silicio	TOTAL
Original	1.9736	0.7011	2.6747
Alternativo	1.0189	0.3620	1.3809
total	2.9925	1.0631	4.0556

**Fuente:** Elaboración propia

En la Fuente: Elaboración propia

Se realiza el cálculo del Chi – Cuadrado con los datos de las dos tablas anteriores: La tabla principal y la tabla con los valores esperados. Se utiliza la siguiente formula en cada casilla  $x^2 = \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i}$ .

Seguidamente se vuelve a realizar la sumatoria de cada columna y fila, el total general es el valor Chi – Cuadrado de nuestro cuadro.

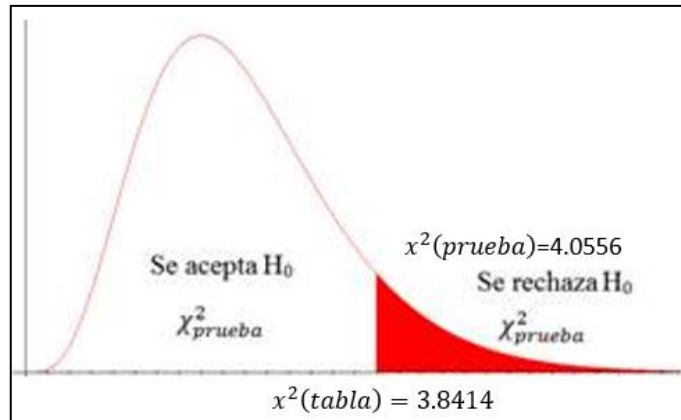
También se puede realizar mediante el programa Excel, el cual con los datos de la tabla principal y la tabla de valores esperados se halla el valor de “p” y con los grados de libertad, se encuentra el valor de Chi – Cuadrado. Esta es una manera de verificar los datos obtenidos.

Factor P:	0.044
Prueba de Chi	4.0556

- Paso 04: Análisis de curva

Se realiza el análisis de la curva estadística para poder aprobar o rechazar nuestra hipótesis nula.





**Ilustración 41:** Análisis de curva estadística  
**Fuente:** Elaboración propia

En la Ilustración 41: Análisis de curva estadística se puede observar que nuestro Chi – Cuadrado tabla tiene un valor de 3.8414 y el valor de Chi – Cuadrado prueba es de 4.0556 y se encuentra en el área de rechazo de la hipótesis nula.

- Paso 05: Toma de decisión

Se observa que el valor del Chi prueba es mayor que el de Chi tabla, entonces podemos concluir que rechazamos  $H_0$ , es decir, existen diferencias en el tiempo de vida útil del sello con respecto al material y la marca.

### 4.3 Discusión de los resultados

Con los datos obtenidos en el diagrama ParetoM se identificó las fallas más significativas en la bomba centrífuga la cuales son:

- Fuga de agua por falla de sello.
- Falla por bujes amarrados.
- Limpieza de tuberías de refrigeración.
- Alineamiento de tuberías en juntas de expansión.

Dado que la falla más frecuente es la fuga de agua por la falla del sello mecánico, se realizó el análisis de este factor. El análisis se realiza por cada bomba en cuestión al costo de los sellos y el costo de mantenimiento. Los sellos utilizados son de dos marcas y dos tipos de material.

Para cada bomba se tiene un pronóstico de tiempo de vida útil de dos años antes de realizar el overhaul.

Analizando los factores de marca y material se obtuvieron los siguientes datos:

**Tabla 28.**

*PCR de las cuatro bombas*

PCR	16,000 hrs	
MARCA DE SELLO	Carburo de Tungsteno	Carburo de Silicio
Original	11	4
Alternativo	5	2

**Fuente:** Elaboración propia

Para el PCR óptimo que es de 16000 horas la marca original con el material de carburo de Tungsteno tiene 11 cambios de sello mecánico y con el carburo de Silicio son 4 cambios de sello mecánico, en el caso de la marca alternativa que esde carburo de Tungsteno de tiene 5 cambios de sello y el con el carburo de Silicio 2 cambios de sello. Teniendo una mejora con la marca alternativa en cuestión a su vida útil además que tiene precios más bajos el sello mecánico.

Con estos valores se realiza la prueba estadística del Chi – Cuadrado con el promedio de horas trabajados por bomba, dándonos un factor en el cual nos indica que la mejora del tiempo de vida útil tiene relación a la marca y material del sello mecánico, con este resultado nos ayuda a tomar la decisión al momento de utilizar un tipo de sello, con esto también tenemos una afirmación en cuestión a la hipótesis principal del presente trabajo de investigación el cual nos indica que si se debe tener una implementación de una estrategia de mantenimiento adecuada para prolongar la vida útil de las bombas centrifugas.

## CONCLUSIONES

- Se llegó a la conclusión que es posible implementar un plan de mantenimiento para aumentar la vida útil de bombas centrífugas verticales, se tuvo el monitoreo de las 4 bombas en operación en las cuales se identifican los fallos más frecuentes, dando como resultado fugas por los sellos mecánicos los cuales tienen cambios en cuestión al material y la marca. Se realizó una comparación entre los sellos mecánicos de la marca original y alternativa, rotando en el material de Carburo de Tungsteno y Carburo de Silicio. El sello mecánico de Carburo de Tungsteno no era resistente a la vibración dado que su material es duro pero frágil a diferencia del Carburo de Silicio que es de material duro, pero si resiste vibraciones. Dado que la bomba presenta vibraciones por desalineamiento y cavitación al momento de estar en operación.
- Se realizó el análisis de las principales fallas en componentes internos de bombas centrífugas con el gráfico de Pareto, como se muestra en la Ilustración 33 de una bomba centrífuga vertical antes de que presente una falla; esto se obtuvo mediante un plan estadístico predictivo en el cual se analizó el tiempo de vida útil de los componentes críticos.
- Se aumentó la vida útil de las bombas reduciendo costos por mantenimiento no programado dado que al identificar cuál es el sello óptimo, aumenta el tiempo de vida útil, se puede predecir el tiempo de falla para la bomba como se muestra en la Tabla 25. Se realizaron modificaciones en la línea de lubricación de sellos y tuberías de salida de bombas de barcaza hacia manifold cambiando de tubería rígida a manguera flexible de 16 pulgadas clase 300 con la intención de absorber el desalineamiento ya que las barcasas se encuentran sobre la laguna artificial y el manifold se encuentra en un punto fijo.

## RECOMENDACIONES

- Para evitar mantenimientos correctivos se debe realizar inspecciones diarias y lista de verificación para tener un monitoreo constante de las bombas, para evitar las fallas catastróficas, mejorando así los planes de mantenimiento.
- Solicitar al fabricante si las bombas y sus componentes fueron analizados y son aptos para los fluidos de trabajo, dado que las bombas tuvieron diferentes cambios de sus componentes críticos por factores externos como el agua con sólidos en suspensión.
- Solicitar al fabricante dar capacitaciones a todo el personal sin excepciones sobre los equipos con los cuales se trabajará, estas capacitaciones deben ser recurrentes para que el personal este en constante conocimiento y aprendizaje.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ÁLAVA, G. (s.f.). Preditec. Análisis de vibraciones. Disponible en: <http://www.preditec.com/mantenimiento-predictivo/analisis-de-vibraciones/>
- CALVO, E., & SIERRAFERNÁNDEZ, C. (s.f.). Funciones de fiabilidad. En E. Andrea Calvo, & C. Sierra Fernández, Técnicas de mantenimiento en instalaciones mineras. Open Courseware.
- BEBBINGTON, A., & WILLIAMS, M. (2008). Agua y Minería: Conflictos en el Perú. 28 (3/4).
- CARRIÓN GARCÍA, A., & CAROT SÁNCHEZ, T. (2004). Introducción a la Fiabilidad. Valencia.
- CASTELA, F. Mantenimiento Industrial: Curva de la Bañera. 2016. [fecha de consulta: 20 de abril del 2020]. Disponible en <https://mantenimientoindustrialweb.wordpress.com/2016/06/14/curva-de-la-banera/>
- CRANE, J. Manual de bombas.
- FAJARDO RODRIGUEZ, L., & MARTINEZ SANTOS, F. Propuesta para la implementación del mantenimiento basado en RCM, para la nueva planta de inyección de agua PIA13 de la superintendencia de operaciones La Cira Infantas de la gerencia regional Magdalena Medio ECOPEPETROL S.A. BUCARAMANGA. 2013
- FLUKE. Termómetro de infrarrojos para altas temperaturas Fluke 572-2. 2020. Disponible en: <https://www.fluke.com/es-mx/producto/medicion-de-temperatura/termometros-infrarrojos/fluke-572-2>
- GLEN, W. Introducción al análisis de vibraciones. Azima DLI. 2010.
- IFLUTECH S.A.C. Barcazas para bombas – Estaciones de bombeo flotante Ingeniería, Suministro y Reparación de válvulas, bombas y barcazas. (s.f.). Disponible en: <https://iflutech.com/producto/estaciones-bombeo-flotante/>
- LASO, J. (s.f.). Calibración de equipos de medida.
- MÁQUINA CLICK. La importancia de conocer la vida útil de la maquinaria. [fecha de consulta: 20 de Abril de 2020]. Disponible en: <https://www.fabricantes-maquinaria-industrial.es/vida-util-de-la-maquinaria/>
- MCNAUGHTON, K. Bombas, selección, uso y mantenimiento. 1989.
- MITCHELL INSTRUMENT COMPANY. Machine Condition Advisor. 2020 [fecha de consulta: 20 de Abril de 2020]. Disponible en: <http://www.mitchellinstrument.com/skf-vibration-meter-machine-condition-advisor-skf-cmas100.html>
- MORA GUTIERREZ, L. Mantenimiento, Planeación, ejecución y control. México: Alfaomega Grupo Editor. 2009

- OCHOA LOPEZ, U. Diseño, instalación y plan de mantenimiento de sistemas de bombeo para la empresa Pozos y Bombas. GUATEMALA. 2016
- OMEGA COMPANY. La Importancia de la Instrumentación: Medición y control de procesos define calidad en la industria [fecha de consulta: 03 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://cl.omega.com/prodinfo/instrumentacion.html>
- PAZMIÑO REY, R. Plan de mantenimiento del circuito de lubricación en bombas horizontales utilizadas en el proceso de recuperación de crudo del Campo CEPHY - 18- SW - 2A. QUITO. 2013
- PRUFTECHNIK. PRÜFTECHNIK lanza PROMO PACK 2013, un paquete de Servicio de Mantenimiento con tres productos innovadores. industria [fecha de consulta: 03 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://pruftechnik.wordpress.com/2013/07/11/pruftechnik-lanza-promo-pack-2013-un-paquete-de-servicio-de-mantenimiento-con-tres-productos-innovadores/>
- QUESADA, G. El PHVA y las normas ISO 9000. [fecha de consulta: 20 de Abril de 2020]. Disponible en: <https://www.gestiopolis.com/el-phva-y-las-normas-iso-9000/>
- TECSUP. Manual de operaciones de planta concentradora C2 - Manejo de Relaves y recuperación de agua. 2014

## **ANEXOS**

**ANEXO A:** Características Técnicas de Bomba Vertical GouldsPumps VIT-FF

<b>BOMBAS DE RECUPERACION DE AGUA DE BARCAZA</b>	
<b>ESPECIFICACIONES GENERALES DEL EQUIPO</b>	
Marca	Goulds Pumps
Modelo / Tamaño	VIT-FF / 24GHX/28CHC
Tipo	Turbina vertical
No. De etapas	3
Flujo (m3/hr)	1810
Altura dinámica total TDH (m)	150
Sumergencia mínima (m)	1.17
Eficiencia (%)	84.2
<b>BOMBA</b>	
Velocidad de la bomba (RPM)	1180
Diámetro del impulsor (mm)	514
Tipo de impulsor	Cerrado
Potencia en el eje (kW)	989.6
Trnasmisión	Directa
<b>MOTOR ELÉCTRICO</b>	
Marca	TECO
Potencia (HP)	1500
Velocidad de giro (RPM)	1200



## ANEXO B: Datos Técnicos de Sensor de Vibración manual Básico SKF

Sensor de vibración manual básico SKF - ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Captación de vibraciones:	
- Interna	Aceleración piezoeléctrica integrada
- Externa:	Compatible con un acelerómetro estándar de corriente constante de 100 mV / g
Sensor de temperatura:	Sensor de temperatura por infrarrojos interno
Mediciones:	
- Velocidad:	Rango: De 0,7 a 65,0 mm / s (RMS) [de 0.04 a 3.60 pulg./s (pico equivalente)], cumple con la norma ISO 10816-3 Frecuencia: De 10 a 1000 Hz, cumple con la norma ISO 2954
- Envolvente de aceleración:	Rango: de 0,2 a 50,0 gE · Frecuencia: Similar a banda 3 (de 500 a 10 000 Hz)
- Temperatura:	Rango: de -20 a +200 ° C (de -5 a +390 ° F) Precisión de temperatura por infrarrojos: 2 ° C (4 ° F) Distancia: corto alcance, máximo 10 cm (4 pulg.) Desde el objetivo
Intervalo de temperaturas de funcionamiento:	En uso: de -10 a +60 ° C (de 15 a 140 ° F) En carga: de 0 a 40 ° C (de 30 a 105 ° F)
Temperatura de almacenamiento:	
- Menos de un mes:	de -20 a +45 ° C (de -5 a +115 ° F)
- Más de un mes, pero menos de seis meses:	de -20 a +35 ° C (de -5 a +95 ° F)
Humedad:	Humedad relativa del 95%, sin condensación
Carcasa:	IP 54
Aprobaciones:	CE
Prueba de caídas:	2 m (6,6 pies)
Peso:	125 g (4,4 onzas)
Dimensiones:	
- Longitud:	200,0 mm (7,90 pulg.)
- Ancho:	47,0 mm (1,85 pulg.)
- Alto:	25,4 mm (1,00 pulg.)
Duración de la batería:	10 horas antes de la recarga (1000 mediciones)
- Con sensor externo:	Duración de la batería hasta un 55% menor
Sensor externo compatible:	Cualquier acelerómetro estándar con sensibilidad de corriente constante de 100 mV / g
Alimentación del sensor externo:	24 V CC a 3,5 mA
Especificaciones del cargador:	Toma de pared de CA / CC universal Entrada: De 90 a 264 V CA, de 47 a 60 Hz Salida: 5 V CC regulada De 3 a 4 horas para carga completa

### ANEXO C: Datos técnicos Termómetro IR Fluke

	<b>62 MAX</b>	<b>62 MAX +</b>
Rango de temperatura	De -30 °C a 500 °C (de -22° F a 932° F)	De -30 °C a 650 °C (de -22° F a 1202° F)
Precisión (Geometría de calibración con temperatura ambiente de 23 °C ±2 °C)	≥0 °C: ±1,5 °C o ±1,5% de la lectura, lo que sea mayor (≥32 °F: ±3 °F o ±1,5% de la lectura, lo que sea mayor) ≥ -10 °C a <0 °C: ±2 °C (≥14 °F a <32 °F: ±4 °F) < -10 °C: ±3 °C (<14 °F: ±6 °F)	≥0 °C: ±1 °C o ±1% de la lectura, lo que sea mayor (≥32 °F: ±2 °F o ±1% de la lectura, lo que sea mayor) ≥ -10 °C a <0 °C: ±2 °C (≥14 °F a <32 °F: ±4 °F) < -10 °C: ±3 °C (<14 °F: ±6 °F)
Tiempo de respuesta (95%)	<500 ms (95% de la lectura)	<300 ms (95% de la lectura)
Respuesta espectral	De 8 a 14 micrones	
Emisividad	0,10 a 1.00	
Coefficiente de temperatura	±0,1 °C/°C o ±0,1 %/°C de la lectura (lo que resulte mayor)	
Resolución óptica	10:1 (calculado al 90% de la energía)	12:1 (calculado al 90% de la energía)
Resolución de la pantalla	0.2° C (0,1° F)	
Repetibilidad (% de la lectura)	±0,8% de la lectura o ±1,0 °C (2 °F), lo que sea mayor	±0,5% de la lectura o ±0,5 °C (1 °F), lo que sea mayor
Alimentación	1 Batería AA IEC LR06	
Vida útil de las pilas	10 horas con el láser y la retroiluminación activados	8 horas con el láser y la retroiluminación activados
Peso	255 g (8,99 oz)	
Tamaño	(175 x 85 x 75) mm (6,88 x 3,34 x 2,95) pulgadas	
Temperatura de funcionamiento	De 0 °C a 50 °C (de 32 °F a 122 °F)	
Temperatura de almacenamiento	De -20 °C a 60 °C (de -4 °F a 140 °F), (sin batería)	
Humedad de operación	De 10% a 90% RH sin condensación @ 30 °C (86 °F)	
Altitud operativa	2000 metros sobre el nivel medio del mar	
Altitud de almacenamiento	12.000 metros sobre el nivel medio del mar	
Clasificación de protección de estanqueidad	IP 54 según la norma IEC 60529	
Prueba de caída	3 metros	
Resistencia a choques y vibraciones	IEC 60068-2-6 2,5 g, de 10 a 200 Hz, IEC 60068-2-27, 50 g, 11 ms	
EMC	EN 61326-1:2006 EN 61326-2:2006	

## ANEXO D: Datos técnicos Alineador láser SHAFTALIGN

### Dispositivo SHAFTALIGN® OS3

Especificaciones generales		
CPU	procesador Memoria	Intel XScale PXA270 funcionando a 520 MHz 64 MB RAM, 64 MB Flash
Display	Tipo	TFT, transmisiva (legible a la luz del sol), 65 535 colores, LED retroiluminado
	Resolución	Sensor de luz integrado para ajustar automáticamente el brillo de la pantalla según las condiciones de iluminación, lo que prolonga la duración de la batería 320 x 240 Pixel
	Dimensiones	89 mm [3,5"] diagonal
Elementos del teclado		Cursor de navegación cruzada con teclas arriba, abajo y menú; Teclado alfanumérico con dimensiones, medidas y resultados, pie suave y teclas duras de movimiento
Indicadores LED		LED multicolor para el estado del láser y la condición de alineación LED multicolor para el estado de la batería
Power supply	Fuente de alimentación Baterías desechables*	5 x 1.5 V IEC LR6 ("AA") con un tiempo de funcionamiento típico de 9 horas (basado en un ciclo de funcionamiento del 33% de medición, 33% de cálculo y 33% de modo "sleep")
	Batería recargable de iones de litio integrada*	7.4 V / 2.6 Ah (para el ordenador opcional) con un tiempo de funcionamiento típico de 17 horas (basado en un ciclo de funcionamiento del 33% de medición, 33% de cálculo y 33% de modo "sleep")
Interfaz externa		*La computadora está disponible con baterías desechables o recargables.
		USB huésped y USB esclavo
		Comunicación inalámbrica Bluetooth® integrada Clase 1, potencia de transmisión 100mW RS232 (en serie) para el transductor Toma de adaptador/cargador de CA
Protección ambiental	IP 65	Resistente al polvo y a las salpicaduras de agua, a prueba de golpes
	La humedad relativa	del 10% al 90%
Rango de temperatura	Operación	-10°C a 50°C [14°F a 122°F]
	Almacenamiento	-20°C a 60°C [-4°F a 140°F]
Dimensiones		Aprox. 220 x 165 x 45 mm [8,7" x 6,5" x 1,8"]
Peso		742 g [1.64 lb]
Conformidad CE		Se cumplen las directrices de la CE para dispositivos eléctricos [73/23/CEE] y las relativas a la compatibilidad electromagnética [2004/108/CE]
Maletín de transporte	Standard	HPX® Harz, probado en caída (2 m / 6 1/2 pies)
	Dimensiones	Aprox. 551 x 358 x 226 mm [21 11/16" x 14 3/32" x 8 29/32"]
Cumplimiento de la FCC	Peso	incluyendo todas las piezas estándar: aprox. 5,8 kg [12,8 lb]
		Requisitos cumplidos (ver el documento proporcionado "Seguridad e información general")

### Transductor OS3

Especificaciones generales		
Principio de medición:		Coaxial, rayo láser reflejado
Área de medición		ilimitada, dinámicamente extensible
Resolución		1 µm (0,04 mil) y angular 10 µRad
Precisión (media)		> 98%
Tasa de medición		aprox. 20 Hz
Láser	Tipo :	Diodo láser semiconductor
	Longitud de onda:	630 - 680 nm (rojo, visible)
	Poder del rayo:	< 1 mW
	Beam divergence:	< 0.3mrad
Clase de láser		Clase 2 según IEC 60825-1:2014 El láser cumple con 21 CFR 1040.10 and 1040.11 exceptuando lo conforme a la desviación Notificación Láser No. 50, fechado en 24 de junio de 2007. Precauciones de seguridad: No mirar el haz láser directamente.
Inclinómetro	Área de medición:	0° to 360°
	Resolución:	0,1°
	Error del inclinómetro:	± 0.30% a escala completa
Conformidad CE		Consulte el certificado de conformidad CE en <a href="http://www.pruftechnik.com">www.pruftechnik.com</a>
Rango de temperatura	Operación	-10°C a 55°C [14°F a 131°F]
	Almacenamiento	-20°C a 80°C [-4°F a 176°F]
Protección ambiental	IP 65	Humedad relativa a prueba de polvo y chorros de agua, a prueba de golpes
	Humedad relativa	10% a 90%
Protección del medio ambiente		Óptico y activo electrónico digital compensación
Dimensiones		Aprox. 107 x 70 x 49 mm [4 1/4" x 2 3/4" x 2"]
Peso		Aprox. 177 g [6 1/2 oz.]

### Reflector

Especificaciones generales		
Type		90° roof prism; Accuracy (avg): > 99%
Environmental protection	IP 67	Sumergible
Rango de temperatura	Temperatura de almacenamiento	-20°C a 80°C [-4°F a 176°F]
	Temperatura de funcionamiento	-20°C a 60°C [-4°F a 140°F]
Dimensiones		aprox. 100 x 41 x 35 mm [4" x 1 5/8" x 1 3/8"]
Peso		aprox. 65 g [2 1/2 oz.]

## ANEXO E: Base de datos de las 4 bombas estudiadas con respecto a los sellos mecánicos

BOMBA	DESCRIPCIÓN DE FALLA	FECHA INSTALACION	FECHA CAMBIO	AÑO	TEXTO BREVE	MARCA DE SELLO	TIPO	COSTO SELLO	CANTIDAD DE PERSONAL	DURACION	COSTO DE PERSONAL	COSTO MO	HORAS DE GRUA	COSTO HORA CAMION GRUA	COSTO TOTAL (CAMION)	COSTO TOTAL	DIAS TRABAJADOS	HORAS TRABAJADAS	DÓLAR/ HORA
Bomba 1	Fuga por sello mecanico	03/01/2016	26/02/2016	2016	Cambio de sello	Original	Carburo de Tungsteno	\$ 16,050.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 17,810.00	54 días	1,296 hrs	\$ 13.74
Bomba 1	Fuga por sello mecanico	26/02/2016	22/04/2016	2016	Cambio de sello	Original	Carburo de Tungsteno	\$ 16,050.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 17,810.00	56 días	1,344 hrs	\$ 13.25
Bomba 1	Fuga por sello mecanico	22/04/2016	21/06/2016	2016	Cambio de sello	Original	Carburo de Tungsteno	\$ 16,050.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 17,810.00	60 días	1,440 hrs	\$ 12.37
Bomba 1	Fuga por sello mecanico	21/06/2016	10/10/2016	2016	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Tungsteno	\$ 5,350.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 7,110.00	111 días	2,664 hrs	\$ 2.67
Bomba 1	Fuga por sello mecanico	10/10/2016	13/02/2017	2017	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Tungsteno	\$ 5,350.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 7,110.00	126 días	3,024 hrs	\$ 2.35
Bomba 1	Fuga por sello mecanico	13/02/2017	26/08/2017	2017	Cambio de sello	Original	Carburo de Silicio	\$ 18,350.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 20,110.00	194 días	4,656 hrs	\$ 4.32
Bomba 1	Fuga por sello mecanico	26/08/2017	22/07/2018	2018	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 6,740.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 8,500.00	330 días	7,920 hrs	\$ 1.07
Bomba 1	Fuga por sello mecanico	22/07/2018	25/06/2019	2019	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 6,740.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 8,500.00	338 días	8,112 hrs	\$ 1.05
Bomba 1	Fuga por sello mecanico	25/06/2019			Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 6,740.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 8,500.00			
Bomba 2	Fuga por sello mecanico	17/12/2015	20/02/2016	2016	Cambio de sello	Original	Carburo de Tungsteno	\$ 16,050.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 17,810.00	65 días	1,560 hrs	\$ 11.42
Bomba 2	Fuga por sello mecanico	20/02/2016	20/04/2016	2016	Cambio de sello	Original	Carburo de Tungsteno	\$ 16,050.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 17,810.00	60 días	1,440 hrs	\$ 12.37
Bomba 2	Fuga por sello mecanico	20/04/2016	26/06/2016	2016	Cambio de sello	Original	Carburo de Tungsteno	\$ 16,050.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 17,810.00	67 días	1,608 hrs	\$ 11.08
Bomba 2	Fuga por sello mecanico	26/06/2016	15/10/2016	2016	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Tungsteno	\$ 5,350.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 7,110.00	111 días	2,664 hrs	\$ 2.67
Bomba 2	Fuga por sello mecanico	15/10/2016	20/02/2017	2017	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Tungsteno	\$ 5,350.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 7,110.00	128 días	3,072 hrs	\$ 2.31
Bomba 2	Fuga por sello mecanico	20/02/2017	08/09/2017	2017	Cambio de sello	Original	Carburo de Silicio	\$ 18,350.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 20,110.00	200 días	4,800 hrs	\$ 4.19
Bomba 2	Fuga por sello mecanico	08/09/2017	08/08/2018	2018	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 6,740.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 8,500.00	334 días	8,016 hrs	\$ 1.06
Bomba 2	Fuga por sello mecanico	08/08/2018	10/07/2019	2019	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 6,740.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 8,500.00	336 días	8,064 hrs	\$ 1.05
Bomba 2	Fuga por sello mecanico	10/07/2019			Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 6,740.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 8,500.00			
Bomba 3	Fuga por sello mecanico	25/01/2016	22/03/2016	2016	Cambio de sello	Original	Carburo de Tungsteno	\$ 16,050.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 17,810.00	57 días	1,368 hrs	\$ 13.02
Bomba 3	Fuga por sello mecanico	22/03/2016	23/05/2016	2016	Cambio de sello	Original	Carburo de Tungsteno	\$ 16,050.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 17,810.00	62 días	1,488 hrs	\$ 11.97
Bomba 3	Fuga por sello mecanico	23/05/2016	08/08/2016	2016	Cambio de sello	Original	Carburo de Tungsteno	\$ 16,050.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 17,810.00	77 días	1,848 hrs	\$ 9.64
Bomba 3	Fuga por sello mecanico	08/08/2016	13/12/2016	2016	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Tungsteno	\$ 5,350.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 7,110.00	127 días	3,048 hrs	\$ 2.33
Bomba 3	Fuga por sello mecanico	13/12/2016	23/06/2017	2017	Cambio de sello	Original	Carburo de Silicio	\$ 18,350.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 20,110.00	192 días	4,608 hrs	\$ 4.36
Bomba 3	Fuga por sello mecanico	23/06/2017	22/05/2018	2018	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 6,740.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 8,500.00	333 días	7,992 hrs	\$ 1.06
Bomba 3	Fuga por sello mecanico	22/05/2018	22/04/2019	2019	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 6,740.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 8,500.00	335 días	8,040 hrs	\$ 1.06
Bomba 3	Fuga por sello mecanico	22/04/2019	14/03/2020	2020	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 6,740.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 8,500.00	327 días	7,848 hrs	\$ 1.08
Bomba 3	Fuga por sello mecanico	14/03/2020			Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 6,740.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 8,500.00			
Bomba 4	Fuga por sello mecanico	20/01/2016	25/02/2016	2016	Cambio de sello	Original	Carburo de Tungsteno	\$ 16,050.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 17,810.00	36 días	0,864 hrs	\$ 20.61
Bomba 4	Fuga por sello mecanico	25/02/2016	01/07/2016	2016	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Tungsteno	\$ 5,350.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 7,110.00	127 días	3,048 hrs	\$ 2.33
Bomba 4	Fuga por sello mecanico	01/07/2016	18/12/2016	2016	Cambio de sello	Original	Carburo de Silicio	\$ 18,350.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 20,110.00	170 días	4,080 hrs	\$ 4.93
Bomba 4	Fuga por sello mecanico	18/12/2016	20/04/2017	2017	Cambio de sello	Original	Carburo de Silicio	\$ 18,350.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 20,110.00	123 días	2,952 hrs	\$ 6.81
Bomba 4	Fuga por sello mecanico	20/04/2017	23/03/2018	2018	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 6,740.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 8,500.00	337 días	8,088 hrs	\$ 1.05
Bomba 4	Fuga por sello mecanico	23/03/2018	21/02/2019	2019	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 6,740.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 8,500.00	335 días	8,040 hrs	\$ 1.06
Bomba 4	Fuga por sello mecanico	21/02/2019	21/01/2020	2020	Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 6,740.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 8,500.00	334 días	8,016 hrs	\$ 1.06
Bomba 4	Fuga por sello mecanico	21/01/2020			Cambio de sello	Alternativo	Carburo de Silicio	\$ 6,740.00	4	12	\$ 20.00	\$ 960.00	8	\$ 100.00	\$ 800.00	\$ 8,500.00			

**ANEXO F: Hoja de inspección de operación de la bomba centrífuga vertical**

INSPECCIÓN DE OPERACIÓN DE BOMBA CENTRÍFUGA VERTICAL							
Planta:		Equipo:		Descripción del equipo:			
Centro de Cos		Ubicación Funcional:		Descripción Ubicación Funcional:			
Centro de trabajo Principal:		Serial No.:		Tipo de Act de PM		Tipo de Orden:	
Fecha de Inicio:		Fecha de Termino:		Prioridad:		Creador:	
Descripción:							
Persona Responsable:				Descripción Persona Responsable:			
INFORMACIÓN DE FALLA			REVISIÓN			COMENTARIOS	
Mantenión/Trabajo Rehecho							
Incidente o Accidente							
Excede Parametro de diseño							
Mala Practica Operacional							
Desgaste/Deterioro Normal							
<b>SIGA TODAS LAS INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD RELACIONADAS CON CADA OPERACIÓN</b>							
<b>OPERACIÓN</b>							
OP#	SOp#	Centro de Trabajo	Operación	Act. No. People	Hrs. Act.	Dur. Act	Fecha de Conclusión
<b>LIMPIEZA/LUBRICACIÓN/INSPECCIÓN</b>							
BIEN MAL							
Limpieza línea agua prensa estopa ( )							
Engrase y regulación prensa estopa ( )							
Lubricación rodamientos ( )							
Verificación ajuste pernos bomba ( )							
Verificación ajuste pernos motor ( )							
Verificación ajuste pernos acoplamiento ( )							
Verificación alineamiento ( )							
Limpieza y engrase pernos y bridas ( )							
<b>NOTA:</b> En caso de encontrar pernos de anclaje sueltos solicitar parada de equipo a operaciones, comunicar y realizar alineamiento correspondiente.							
<b>OBSERVACIONES:</b>							

**ANEXO G: Hoja de inspección de operación de la Tarjeta de trabajo en bomba centrífuga Vertical**

INSPECCIÓN DE OPERACIÓN DE LA TARJETA DE TRABAJO EN BOMBA CENTRÍFUGA VERTICAL							
Planta:		Equipo:		Descripción del equipo:			
Centro de Cos		Ubicación Funcional:		Descripción Ubicación Funcional:			
Centro de trabajo Principal:		Serial No.:		Tipo de Act de PM		Tipo de Orden:	
Fecha de Inicio:		Fecha de Termino:		Prioridad:		Creador:	
Descripción:							
Persona Responsable:				Descripción Persona Responsable:			
<b>INFORMACIÓN DE FALLA</b>			<b>REVISIÓN</b>			<b>COMENTARIOS</b>	
Mantenión/Trabajo Rehecho							
Incidente o Accidente							
Excede Parametro de diseño							
Mala Practica Operacional							
Desgaste/Deterioro Normal							
<b>SIGA TODAS LAS INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD RELACIONADAS CON CADA OPERACIÓN</b>							
<b>OPERACIÓN EN LA TARJETA DE TRABAJO</b>							
OP#	SOp#	Centro de Trabajo	Operación	Tipo de Actividad	No. Personas	Fecha de Inicio:	Fecha de Termino:
<b>MEDICIONES Y HOROMETROS</b>							
Lugar de Medición	Posición	Descripción	Ultima Lectura	Fecha Lectura	Tomado / Leído por	Lectura Actual	