

|                                                                                                                                                      |                                                                                 |                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>EDUCACIÓN</b><br><small>SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA</small> | <b>SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA</b><br><b>TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO</b> |  |
|                                                                                                                                                      | <b>INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO</b>                                    |                                                                                     |
|                                                                                                                                                      | <i>Portada del Proyecto de Residencias Profesionales</i>                        |                                                                                     |

Nombre del Proyecto:  
Mejoramiento para el mantenimiento preventivo de bombas centrifugas marca goulds Aquarium  
puerto de Veracruz

Nombre del Alumno  
Joel Ramos Lara

Numero de Control  
17990199

Nombre de la Carrera  
Ingeniería mecánica.

Especialidad  
Gestión del mantenimiento Industrial

  
Mario Francisco Jiménez Susunaga  
Nombre del Asesor Interno

  
José Guadalupe Cruz Santa Rosa  
Nombre Asesor Externo



Boca del Río, Veracruz a 13 de Enero del 2023

## **Agradecimientos**

Mi proyecto va dedicado a todas aquellas personas que confiaron en mí y me ayudaron, cada una de las veces que me decían que no podía, ellos me apoyaron, mis profesores con su educación, apoyo, ánimo y enseñanza en todo el trayecto de la carrera y más aún en el proceso del trabajo compartiéndome sus conocimientos, sin todos ellos no habría concluido la etapa final que es la residencia.

También quiero agradecerle a Dios por proveerme de coraje, sensatez y sabiduría para superar cada uno de los obstáculos que fueron surgiendo en mi camino y así poder lograr mis metas y objetivos.

Lo más importante y a quien agradezco con mucho amor y les dedico este trabajo es a mis padres que sin su apoyo, enseñanzas, educación y amor no habría logrado esto, gracias por todo el apoyo tanto económico como moral que me brindaron desde pequeño y que no hubiese sido nada sin su apoyo, a mi familia que siempre creen en mí y están ahí cuando lo necesito, mis amigos y conocidos cercanos.

Y por último agradecer al Aquarium puerto de Veracruz por dejarme realizar este proyecto de mejora en sus instalaciones y por el apoyo proporcionados por los técnicos del área de bombas.



## **Resumen.**

El presente trabajo tuvo como objetivo principal el mejoramiento del mantenimiento preventivo en bombas centrífugas enfocado al Aquarium puerto de Veracruz, ya que 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 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 al mejoramiento de mantenimiento preventivo para bombas centrífugas.

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. 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.

## Índice

|                                                                                                    |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Agradecimientos .....                                                                              | I         |
| Resumen.....                                                                                       | II        |
| Índice de Contenido .....                                                                          | III       |
| Índice de figuras.....                                                                             | IV        |
| Índice de tablas.....                                                                              | V         |
| Introducción .....                                                                                 | 1         |
| Objetivos .....                                                                                    | 2         |
| Justificación .....                                                                                | 3         |
| <b>Capítulo I. Descripción de la empresa u organización y del puesto o área del trabajo.....</b>   | <b>6</b>  |
| Datos generales .....                                                                              | 7         |
| Misión .....                                                                                       | 9         |
| Visión.....                                                                                        | 9         |
| Políticas.....                                                                                     | 10        |
| Valores .....                                                                                      | 10        |
| Organigrama de la empresa.....                                                                     | 10        |
| Descripción o funciones del departamento o área donde se realizó el proyecto .....                 | 10        |
| Problemas a resolver, priorizándolos. ....                                                         | 11        |
| <b>Capítulo II. Marco teórico .....</b>                                                            | <b>11</b> |
| 2. Mantenimiento.....                                                                              | 11        |
| 2.1 Beneficios del mantenimiento.....                                                              | 12        |
| 2.1.2 áreas de acción del mantenimiento .....                                                      | 14        |
| 2.1.3 tipos de mantenimiento .....                                                                 | 15        |
| 2.1.4 Gestión y mantenimiento .....                                                                | 19        |
| 2.2 Clasificación de la bomba.....                                                                 | 21        |
| 2.2.1 tipos de bombas.....                                                                         | 25        |
| 2.2.2 balanceo hidráulico .....                                                                    | 31        |
| 2.2.3 Sellos de empuje .....                                                                       | 31        |
| 2.2.4 Patrón de caras .....                                                                        | 37        |
| <b>Capítulo III. Metodología .....</b>                                                             | <b>38</b> |
| 3.1 Método y alcance de la investigación .....                                                     | 39        |
| 3.2 diseño de la investigación .....                                                               | 40        |
| 3.3 Población y muestra.....                                                                       | 42        |
| 3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....                                           | 42        |
| 3.5 Verificación de alineamiento .....                                                             | 44        |
| <b>Capítulo IV. Resultados, planos, gráficas , prototipos y programas .....</b>                    | <b>46</b> |
| 4. Resultados de tratamiento y análisis de la información .....                                    | 46        |
| 4.1 Listado de fallas por bomba .....                                                              | 47        |
| 4.2 Falla por rodamientos trabados o gastados .....                                                | 50        |
| 4.3 Mano de obra .....                                                                             | 55        |
| 4.4 Programa anual de mantenimiento.....                                                           | 59        |
| 4.5 prueba hipótesis.....                                                                          | 60        |
| 4.6 Prueba estadística.....                                                                        | 61        |
| <b>Capítulo V. Conclusión del proyecto, recomendaciones y experiencia personal adquirida .....</b> | <b>63</b> |
| Conclusión del proyecto.....                                                                       | 63        |
| Recomendaciones.....                                                                               | 65        |
| Experiencia Personal adquirida.....                                                                | 65        |
| Fuentes de información .....                                                                       | 66        |

## Índice de figuras

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Logo de la empres.....                                                     | 6  |
| Figura 2. Curva de la bañera .....                                                   | 12 |
| Figura 3. Unidad elemental de mantenimiento .....                                    | 14 |
| Figura 4. Flujograma del mantenimiento correctivo .....                              | 15 |
| Figura 5. Ciclo general de los tipos de mantenimiento .....                          | 16 |
| Figura 6. Acciones posibles de realizar antes o después de la falla .....            | 17 |
| Figura 7. Relación ITPM y la tecnología .....                                        | 19 |
| Figura 8. Bombas centrifugas del Aquarium .....                                      | 21 |
| Figura 9. Numero de impulsadores de bombas .....                                     | 23 |
| Figura 10. Orientación de la carcasa .....                                           | 24 |
| Figura 11. Descripción bomba centrifuga .....                                        | 25 |
| Figura 12. Componentes del sello mecánico.....                                       | 26 |
| Figura 13. Clasificación de los sellos de empuje .....                               | 32 |
| Figura 14. Tipos de sellantes secundarios.....                                       | 34 |
| Figura 15. Clasificación de los sellos de empuje .....                               | 35 |
| Figura 16. Vibro pen (SKF) .....                                                     | 43 |
| Figura 17. Medición de temperatura con termómetro laser .....                        | 43 |
| Figura 18. Indicador de caratula.....                                                | 44 |
| Figura 19. Calibración de bomba .....                                                | 45 |
| Figura 20. Calibración axial .....                                                   | 45 |
| Figura 21. Descripción de un indicador de caratula.....                              | 46 |
| Figura 22. Sello mecánico diseñado.....                                              | 48 |
| Figura 23. Componentes de un sello mecánico.....                                     | 48 |
| Figura 24. Rodamiento defectuoso desmontado .....                                    | 51 |
| Figura 25. Diagrama de causa- efecto de fuga de sello.....                           | 52 |
| Figura 26. Diagrama general de causa-efecto bombas centrifugas .....                 | 57 |
| Figura 27. Ciclo PHVA .....                                                          | 58 |
| Figura 28. Tabla de mantenimiento anual preventivo en bombas centrifugas goulds..... | 59 |
| Figura 29. Tabla de mantenimiento anual preventivo de electro bombas RK2 .....       | 60 |

## Índice de tablas

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Operacionalización de variable dependiente.....   | 4  |
| Tabla 2. Operacionalización de variable independiente..... | 5  |
| Tabla 3. Listado de fallas por bomba .....                 | 47 |
| Tabla 4. Tabla del Top ten .....                           | 47 |
| Tabla 5. Sellos mecánicos .....                            | 49 |
| Tabla 6. Características de rodamientos.....               | 51 |

## Introducción

En la actualidad es necesario el adecuado control y manejo del mantenimiento a las bombas. El mantenimiento preventivo 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, Teniendo en cuenta esto, se realizó un análisis de la problemática de los procesos que se tienen en el Aquarium puerto de Veracruz, dado que demanda de un gran uso del agua; es por ello que se tiene una alternativa de tratamiento y recuperación del agua, para sacar el mayor provecho, las bombas centrífugas son utilizadas precisamente en estas actividades, teniendo en cuenta que el agua tiene presencia de peces, tiburones, tortugas, toda una vida marina; 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 ya que el agua que maneja lleva demasiada demanda de salitre y esto ocasiona que se acorte su vida útil.

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 preventivo 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.

Y posteriormente en el capítulo V, comentaremos la experiencia y les daremos recomendaciones para lograr una eficiencia en el mejoramiento para el mantenimiento preventivo.

### **Objetivos.**

#### **Objetivo general.**

Implementar un plan de mantenimiento en bombas centrífugas marca goulds para que aumente su vida útil y tenga un mejor desempeño.

#### **Objetivos específicos.**

- 1) Tener un mejor funcionamiento de la bomba.
- 2) Tener un menor costo de reparación.
- 3) Una menor desgates en coples y duración de rendimiento.
- 4) Evitar que el motor de la bomba se queme por la falla de rodamientos.
- 5) Una lubricación perfecta en los acoplamientos de la bomba.
- 6) Evitar la mortandad de peces por la falla de la bomba.
- 7) Analizar la variación por costos de mantenimiento no programado con la implementación de un plan de mantenimiento

## **Justificación**

### **Justificación técnica.**

Para implementar un plan de mantenimiento, se debe comprender el manejo y funcionamiento de las bombas centrífugas, 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, llegando a reducir los tiempos por mantenimiento.

### **Justificación económica.**

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. 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.

### **Justificación Social.**

Desde el punto social, las bombas centrífugas utilizadas en el Aquarium puerto de Veracruz permiten la reutilización de aguas, generando un impacto ambiental positivo ya que realiza la recuperación de aguas provenientes de los desechos de los peces. . Una de las características de esta agua recuperada, es que poseen partículas de sal, 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 7.5 millones de m<sup>3</sup> de agua del Aquarium puerto de Veracruz.

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

#### **Hipótesis General**

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

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

#### **Variable Dependiente**

Vida útil de una bomba centrífuga

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.

| <b>VARIABLE</b>    | <b>DIMENSIÓN</b> | <b>INDICADOR</b>                        | <b>DESCRIPCIÓN</b>                                              |
|--------------------|------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Vida útil de bomba | 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.     |

|                        |                      |                                        |                                                                                                                                                               |
|------------------------|----------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| centrífuga<br>vertical | Gestión<br>operativa | Índice de<br>ocurrencias de<br>fallas. | Se realizará una base de<br>datos en excel de los<br>cambios realizados con<br>respecto al material y<br>marca.                                               |
|                        | Gestión de<br>costos | Costos de<br>mantenimiento             | Se realizará un análisis<br>de costos con respecto a<br>los componentes<br>utilizados y su tiempo de<br>vida útil obteniendo su<br>costo por hora de trabajo. |

**Tabla 1.** Operacionalización de variable Dependiente

**Fuente:** Elaboración propia

### 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.

| VARIABLE                                         | DIMENSIÓN | INDICADOR                                          | DESCRIPCION                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Componentes<br>según el plan de<br>mantenimiento | Material  | Pruebas y<br>ensayos de<br>propiedades<br>físicas. | Se realizará un análisis<br>de vibración y mayor<br>dureza para seleccionar el<br>material más resistente<br>para las condiciones de<br>trabajo requeridas. |

**Tabla 2.** Operacionalización de variable Independiente

**Fuente:** Elaboración propia

## Descripción de variables

Vida útil de bomba centrífuga. 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 I. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA U ORGANIZACIÓN Y DEL PUESTO O ÁREA DEL TRABAJO.



**Figura 1:** Logo de la empresa.

**Fuente:** Pagina Aquarium del puerto de veracruz

### 1.1 Datos generales.

El Acuario de Veracruz, en la ciudad de Veracruz, es el acuario más importante del Estado de Veracruz y de todo México, actualmente cambió su nombre a "Aquarium de Veracruz".

Comprometidos con el bienestar animal de forma responsable es el principal objetivo que tenemos para proteger la calidad de vida de nuestras especies. Logrando combinar las necesidades básicas de alimentación y albergue lo que permite con éxito el buen estado y longevidad de los ejemplares.

Desde las exhibiciones hasta la preparación de alimento, representan todo un proceso de implementación y apego a las normas oficiales mexicanas con el fin de cumplir correctamente con lo establecido referente a la vida silvestre.

Considerando fundamental el enriquecimiento ambiental mediante la implementación de actividades e interacciones innovadoras para un estímulo mental, sensitivo y sensorial como parte de la mantener una buena calidad de vida en nuestros organismos.

- **Ubicado en:** Plaza Acuario Veracruz.
- **Dirección:** Blvd. Manuel Ávila Camacho S/n, Ricardo Flores Magón, 91900 Veracruz, Ver.
- **Horarios:** Abre a las 10:00 AM-19:00 Pm
- **Teléfono:** 229 931 1020
- **Inauguración:** 13 de noviembre de 1992
- **Cantidad de animales:** 3.500
- **Coordenadas:** 19°11'14"N 96°07'21"O / 19.18714, -96.12255
- **Sitio web:** <https://www.aquariumpuertodeveracruz.mx/2022/06/04/detras-del-aquarium/>
- **Historia del Aquarium del puerto de Veracruz:**

A finales de la década de 1980 se iniciaron las pláticas con el Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave para crear un espacio donde se exhibiera la fauna marina de la región y aprovecharlo para apoyar el sector turístico.

Se escogió el playón de Hornos debido a su cercanía con la zona turística, la protección que brindaba contra los vientos del norte y el abastecimiento de agua de mar.

Para fines de 1992 se terminaría de construir la obra dirigida por el ingeniero Luis Kasuga Osaka y diseñada por el Ingeniero Hiroshi Kamio, inaugurándose así el 13 de noviembre de ese mismo año, siendo el Ing. Baltasar Pazos de la Torre el primer Presidente de su Consejo de Administración.

A partir de 2000 se inició una primera fase de ampliación (concluida en el año 2002) y cambió de imagen que incluyó la construcción de un recinto para tiburones y otro para manatíes, además de una terraza y un paseo en la parte exterior de la plaza, dando con esto a los visitantes una opción más para disfrutar del mar en su explanada de más de 300 metros, lo que le permitió obtener un crecimiento del 75% en el número de visitas.

El Acuario de Veracruz cuenta con varios reconocimientos, entre ellos, el haber mantenido por casi 8 años a un ejemplar de tiburón tigre (*Galeocerdo cuvier*), hasta su liberación posterior; es además el único lugar donde es posible admirar a los manatíes (*Trichechus manatus*) así como a dos de sus crías nacidas en sus instalaciones.

En diciembre de 2007 se efectuó la remodelación de la pecera mayor (con más de 1 millón de litros de agua salada), debido a lo cual recibe el nombre de Gran Pecera de Arrecifes, en donde se muestran a las especies típicas que se encuentran en esos importantes ecosistemas.

El 16 de mayo de 2022 se emite el Decreto que extingue el Fideicomiso Público de Administración denominado Acuario de Veracruz.

A partir de ese momento, este centro quedo a cargo de la Procuraduría Estatal de Protección al Medio Ambiente con el nuevo nombre de: Aquarium del Puerto de Veracruz.

En este año se le considera como el atractivo turístico más importante de la ciudad, puesto que en él se destaca su contenido y la variedad que se presenta en su recorrido.

### **Áreas del Aquarium del puerto de Veracruz**

El Acuario de la ciudad de Veracruz cuenta con 8 Áreas: La selva de los Tuxtlas, la galería de agua dulce, la gran pecera arrecifal, la galería de arrecifes de coral, el tiburonario, la pecera de las medusas, el manatario, el delfinario y el pingüinario.

#### **1.2 Misión de la empresa**

Promover el conocimiento sobre ecosistemas costeros necesarios para el fomento de su conservación de manera divertida, didáctica y formativa. Proporcionando servicios de calidad que generen en nuestros visitantes conciencia e impacto sobre el cuidado de nuestras especies.

#### **1.3 Visión de la empresa**

El Aquarium del Puerto de Veracruz, será considerado a nivel nacional e internacional, como un centro de divulgación de conocimientos sobre ecosistemas costeros de excelencia. También considerado uno de los mejores acuarios a nivel mundial, por su infraestructura excelente calidad de exhibición, servicio y aportación en el conocimiento del medio.

## **1.4 Políticas**

La responsabilidad institucional es desempeñar nuestras labores con el compromiso de satisfacer las necesidades y expectativas de nuestros usuarios, con calidad, respeto, honestidad y trabajo de equipo.

## **1.5 Valores**

- Respeto
- Honestidad
- Calidad
- Compromiso
- Responsabilidad

## **1.6 Objetivo general**

Crear conciencia ecológica para la preservación de las especies marinas y dulceacuícolas, mediante la conservación de los ecosistemas costeros, a través de Acciones educativas y formativas.

## **1.7 Descripción o funcione del departamento o área donde se realizó el proyecto.**

Este proyecto de mejora se realizó en el área de mantenimiento de bombas, ya que en este departamento cuenta con la cantidad de 54 bombas centrifugas marca goluds y 35 electros bombas maca RK2.

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.

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.

### **1.8 Problemas a resolver, priorizándolos**

Debido a que algunos administradores no cuentan con un plan de mantenimiento adecuado, soporte técnico, y un control específico de las intervenciones en las bombas, que han tenido en su control y operación, se genera una problemática en cuanto al funcionamiento y control de los equipos de bombeo, ocasionando gastos innecesarios y reparaciones que se pueden prevenir o controlar por medio un manual básico del control de sus equipos de bombeo. Es por ello que se va a implementar propuestas para el mejoramiento del mantenimiento preventivo de bombas centrífugas.

## **CAPITULO II. MARCO TEÓRICO**

### **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.

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.

## 2.1. 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.

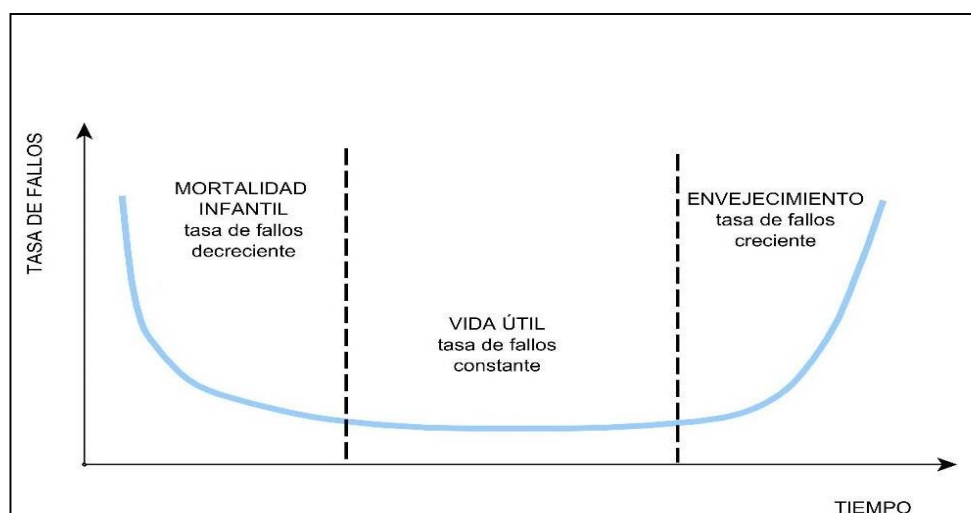


Figura 2: Curva de la bañera.  
Fuente: Bombas centrifugas goulds 3196

**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.

**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

**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.

## 2.1. Actividades Ligeras De Un 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. Las actividades que se deben realizar para un servicio de mantenimiento se pueden detallar de la siguiente manera:

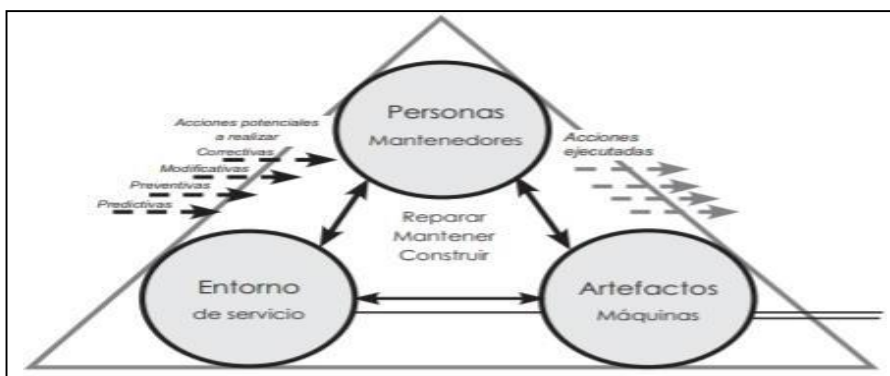
**Nivel Operativo:** Son las tareas de mantenimiento que se realizan antes y después de una falla de la máquina o equipo.

**Nivel Táctico:** Son las acciones de organización para realizar el mantenimiento correspondiente.

**Nivel Estratégico:** costos e índices: Permite medir y valorar la gestión del mantenimiento en la empresa.

### 2.1.2 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.

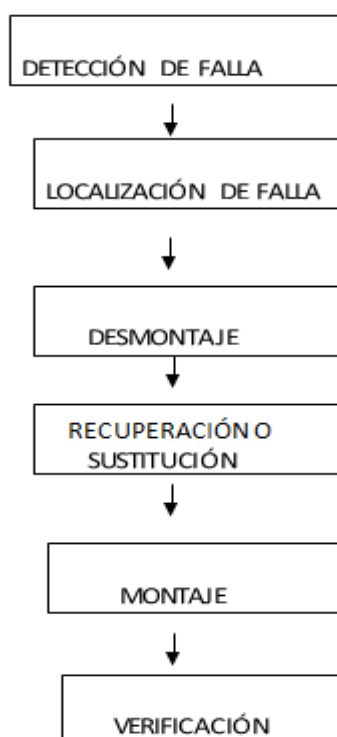


**Figura 3:** Unidad elemental de mantenimiento.

**Fuente:** Plan de mantenimiento de una bomba centrífuga

### 2.1.3 Tipo de mantenimiento

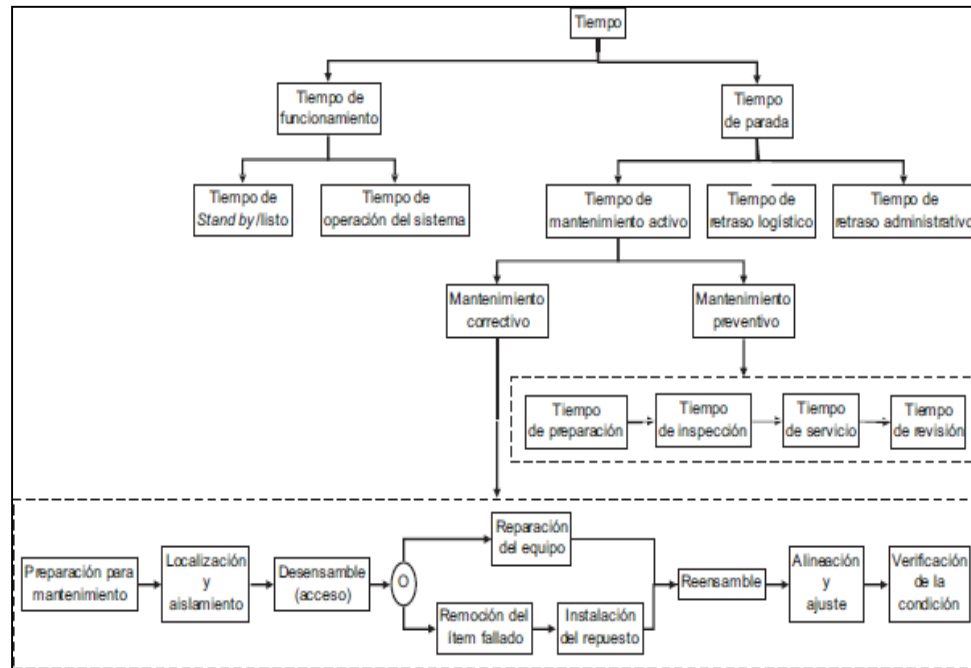
a) **Mantenimiento Correctivo:** Este tipo de acción se realiza apenas se produce una falla realizando la reparación de esta. El mantenimiento correctivo consta del siguiente procedimiento:



**Figura 4:** Flujograma del mantenimiento correctivo.

Fuente: Plan de mantenimiento de una bomba centrífuga

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.



**Figura 5:** Ciclo general de los tipos de Mantenimiento.

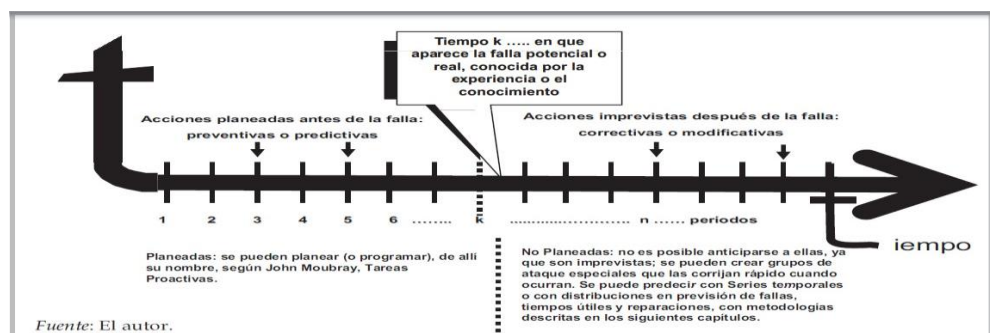
**Fuente:** Plan de mantenimiento de una bomba centrífuga

- a) **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
- b) **Procedimiento para realizar un plan de mantenimiento**
- 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.
  - 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.

### c) 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.
- 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.



**Figura 6:** Acciones posibles de realizar antes o después de la falla (Etapa I o II).

**Fuente:** Plan de mantenimiento de una bomba centrífuga

- 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.
- 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.



**Figura 7:** Relación del TPM y la tecnología

Fuente: Plan de mantenimiento de una bomba centrífuga

- 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.
- f) Etapa VI: Integra los conocimientos y las prácticas aprendidas realizando así el éxito de sus activos.

### 2.1.4 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. 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.

#### ➤ **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.

- 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).

### ➤ **Distribuciones Estadísticas en Mantenimiento**

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.

- a. Distribución Weibull: Es una distribución de probabilidad continua y multi-paramétrica 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.

## 2.2 Clasificación de la Bomba

### 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.

### 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 bomba 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.



**Figura 8:** Bombas centrífugas del Aquarium.

**Fuente:** Imagen propia

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

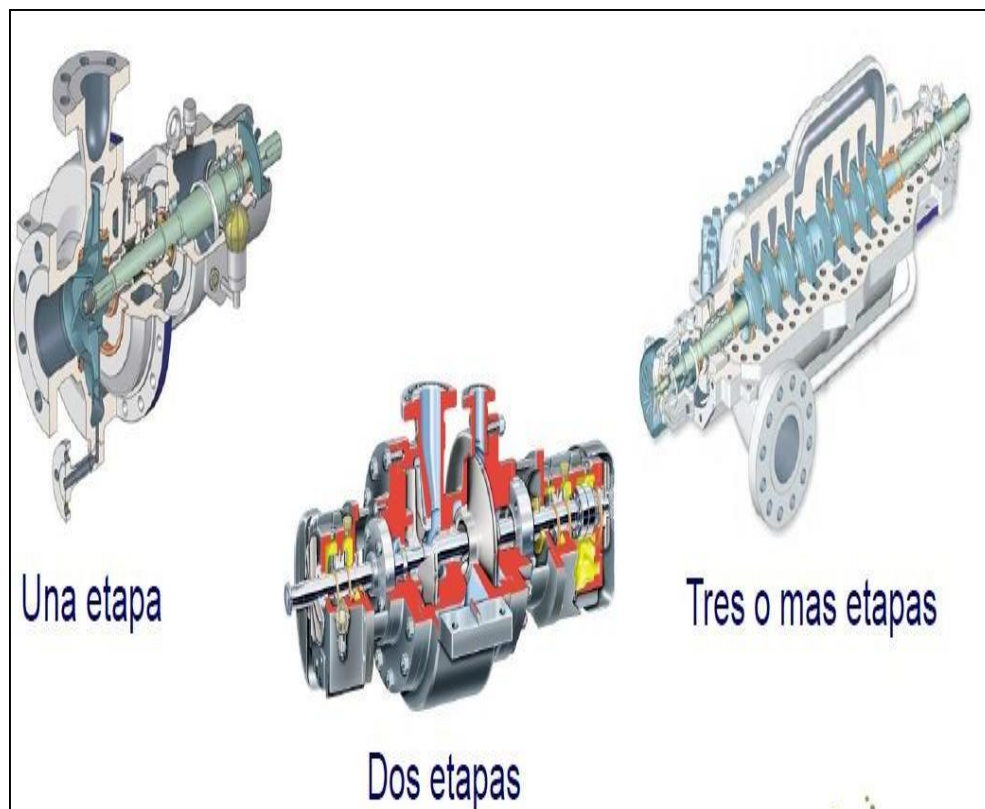
El eje de la bomba se encuentra en un plano horizontal la cual lo hace de fácil operación y mantenimiento.

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.



**Figura 9:** Número de impulsadores de bombas.

**Fuente:** descripción de bombas goulds.

#### **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 des-alineamiento 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.



**Figura 10:** Orientación de la carcasa.  
**Fuente:** descripción de bombas goulds.

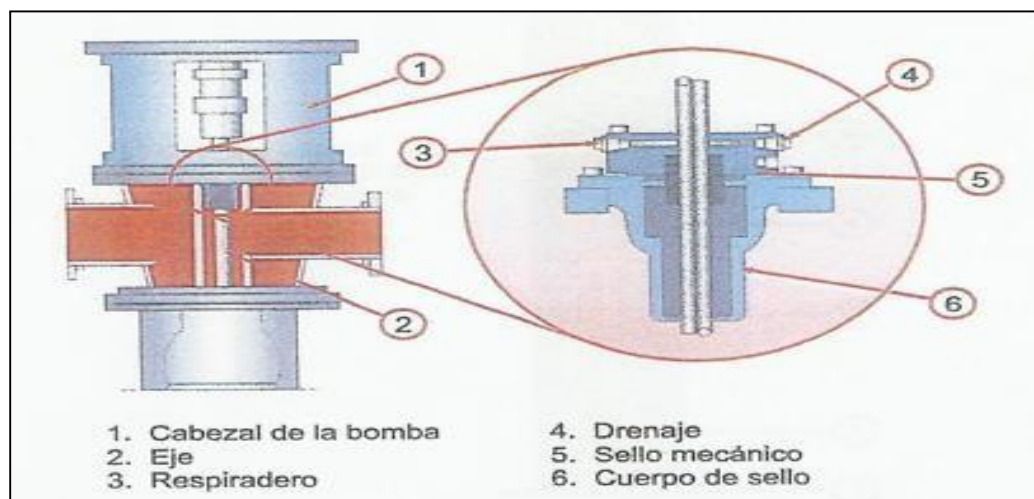
- **Conexión del eje de accionamiento**

- 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.

### 2.2.1 Tipos de bombas.

#### a) 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.



**Figura 11:** descripción bomba centrífuga

**Fuente:** descripción de bombas goulds.

#### b) Bombas Vertical GouldsPumps VIT-FF

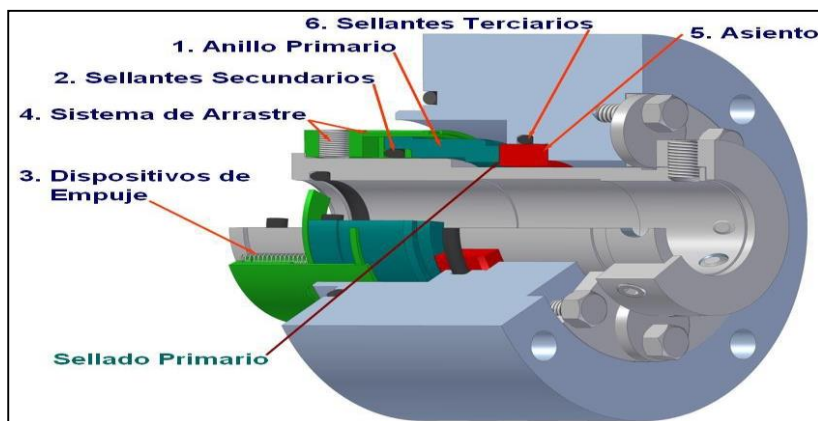
Las bombas con eje de giro en posición vertical tienen el motor a un nivel superior al de la bomba, al contrario que las horizontales que la bomba trabaje rodeada por el líquido a bombear. En la recuperación de agua de barcasas se utilizan este tipo de bombas. Para las especificaciones técnicas

#### a) Sello mecánicos 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.



**Figura 12:** Componentes del sello mecánico.  
**Fuente:** descripción de bombas goulds.

➤ **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 balanceada 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.

#### 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.

- **Asientos**

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:

### **a) 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.

### **b) 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.

### **c) 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:

- 1) Retención de fluido.**

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

- 2) 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".

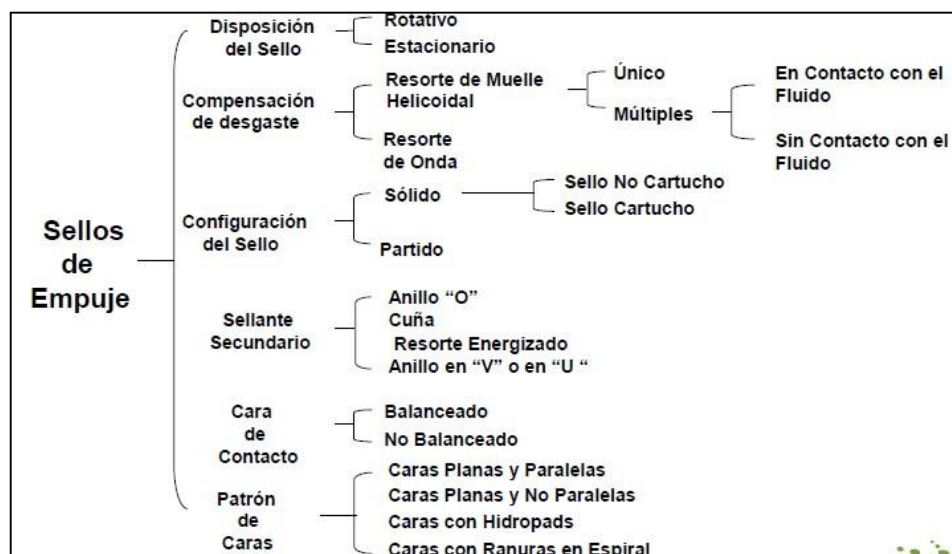
Para asegurar el correcto desempeño de ambas caras, estas deben estar separadas a una distancia menor a 0.001mm., en este espacio “la cuña de presión” forma una capa del fluido de proceso, la cual permite lubricar y enfriar las caras evitando un desgaste excesivo de las piezas, esta capa se conoce como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

### **2.2.2 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.

### **2.2.3 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:



**Figura 13:** Clasificación de los sellos de empuje

**Fuente:** descripción de bombas goulds.

### 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 4500fpm.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 auto limpiable, 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.

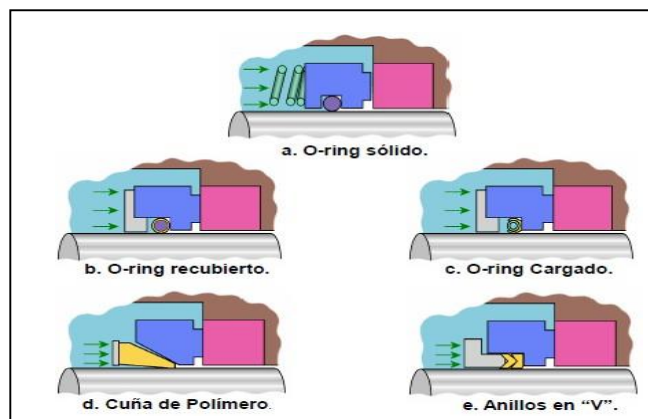
### **La configuración del Sello**

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 desmonta. 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”.

### 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.



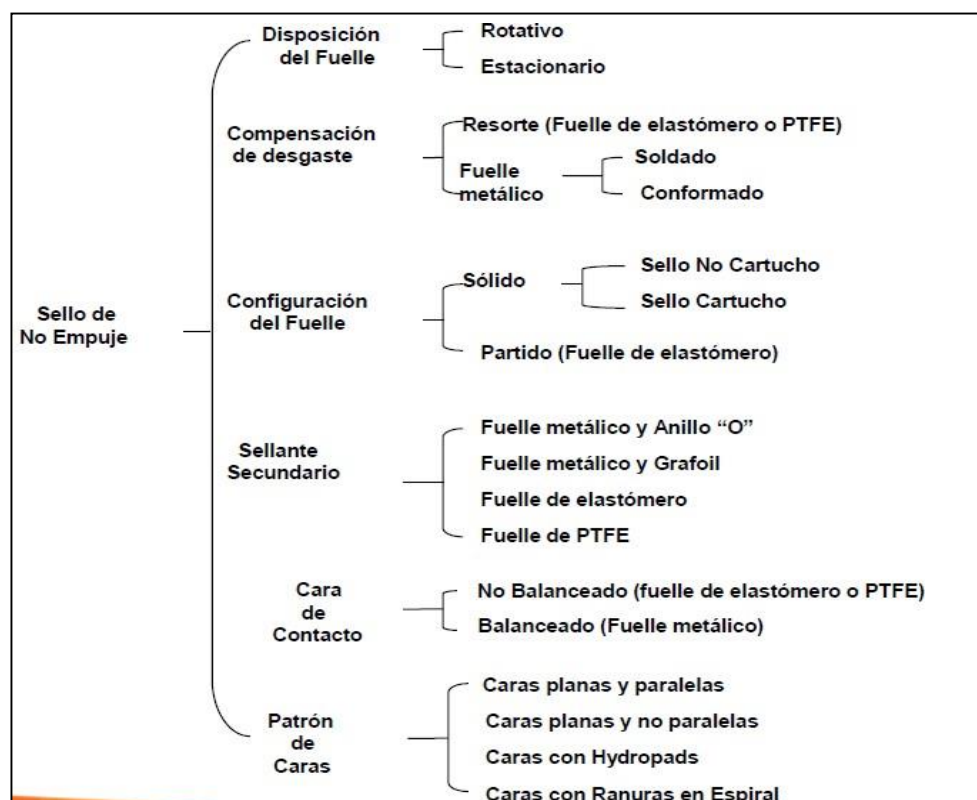
**Figura 14:** Tipos de sellantes secundarios  
**Fuente:** descripción de bombas goulds.

### 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 produce 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.



**Figura 15:** Clasificación de los sellos de no. empuje

**Fuente:** Plan de mantenimiento de una bomba centrífuga horizontal

### **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.

### **Los sellantes secundarios.**

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.

### **2.2.4 Patrón de Caras.**

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:

#### **a) 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.

### **b) 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.

### **c) 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.

### **d) 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).

## **CAPITULO III: METODOLOGÍA**

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

#### **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

### **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.

### **Alcance de Investigación – Descriptivo.**

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

### **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.

### **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.

### **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**

#### **Población.**

La presente investigación utiliza como unidades de estudio 8 bombas centrífugas utilizadas en el sector cuarentena de tiburonario para la recuperación de aguas de utilizadas en los filtros.

#### **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 de caratula. 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.

- **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.



**Figura 16:** Vibro Pen (SKF)

**Fuente:** Plan de mantenimiento de una bomba centrífuga horizontal

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.

- **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.



**Figura 17:** Medición de temperatura con termómetro láser.

**Fuente:** Plan de mantenimiento de una bomba centrífuga horizontal

### 3.5 Verificación de alineamiento.

Para este método se utiliza un indicador de caratula el cual lo que es un indicador de carátula, o comparador de carátula, es un instrumento de medición que transforma movimientos lineales de un husillo móvil en movimientos circulares dentro de un puntero.

Estos indicadores, se usan para comparar medidas, que deben encontrarse dentro de cierto intervalo y, que ya sea por desgaste u otras causas, pudieron haber variado.



**Figura 18** indicador de caratula.  
**Fuente:** indicadores de caratula

#### Generalidades:

El indicador es un instrumento utilizado para el control del error de forma de una pieza (tolerancias geométricas) y para la medida comparativa (por diferencia) entre la dimensión de una pieza sujeta a examen y la de una pieza patrón.

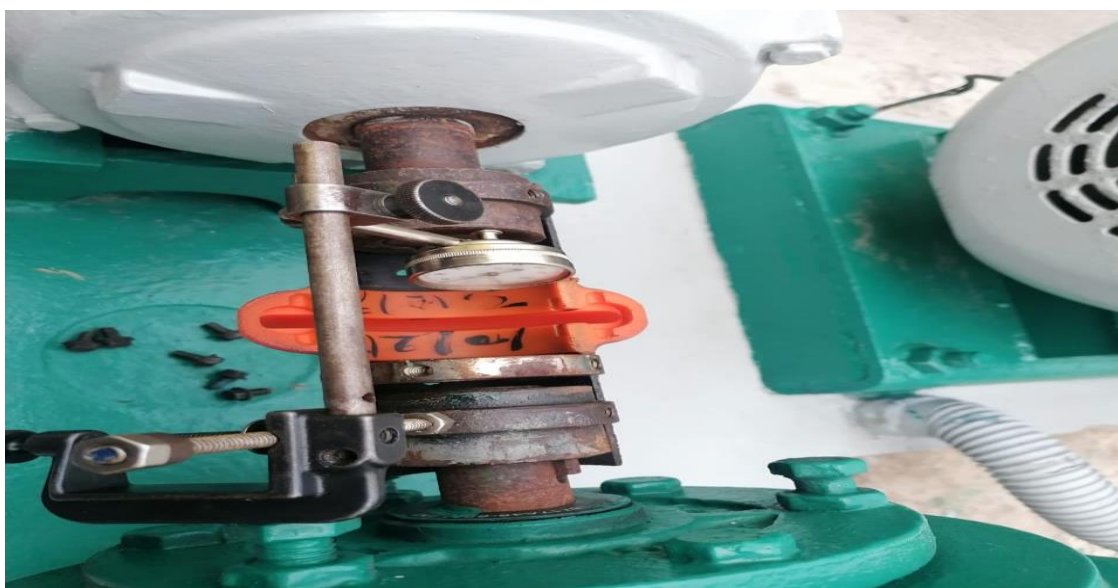
Al ser un instrumento de comparación, es necesario que durante su uso esté sólidamente sujeto a una base de referencia.



**Figura 19:** calibración de bomba.  
**Fuente:** Imagen propia.

### **Principio de funcionamiento:**

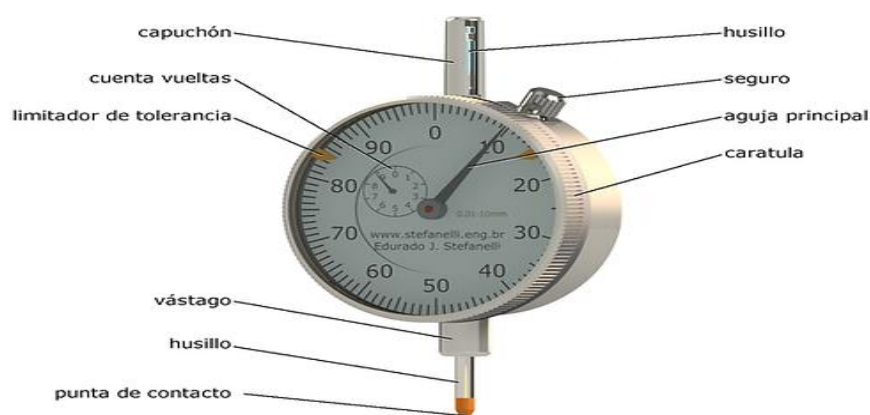
Como lo mencionamos, este instrumento se usa para el control de piezas con una mesa y soportes adecuados, y con una barra o cremallera que permita el desplazamiento del comparador.



**Figura 20:** calibración axial,  
**Fuente:** Imagen propia.

La aguja del indicador puede desplazarse para ambos lados, según la medida que sea menor o mayor que la que se considera nominal o correcta.

A su vez, tienen el disco graduado giratorio, lo que permite, luego de obtenida la medida, colocar en cero la posición de la aguja. Además, tienen un contador de revoluciones que indica cuantas vueltas dio la aguja.



**Figura 21:** Descripción de un indicador de caratula  
**Fuente:** indicadores de caratula

## CAPITULO IV: RESULTADOS, PLANOS, GRAFICAS, PROTOTIPOS Y PROGRAMAS

### 4. 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.

#### 4.1 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         |
| 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          |
| Fuga de agua por empaques de tuberías         | 10 h     | 5 h      | 7 h      | 2 h      | 23 h          |
| Falla acoplamiento                            |          | 22 h     |          |          | 22 h          |
| Falla de vibración                            |          | 3 h      | 2 h      | 11 h     | 15 h          |
| Instalación de bomba                          |          | 10 h     | 3 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           |
| <b>Total general</b>                          | <b>h</b> | <b>h</b> | <b>h</b> | <b>h</b> | <b>h</b>      |

**Tabla 3:** Listado de fallas por bomba  
**Fuente:** Elaboración propia

#### Tabla del Top Ten

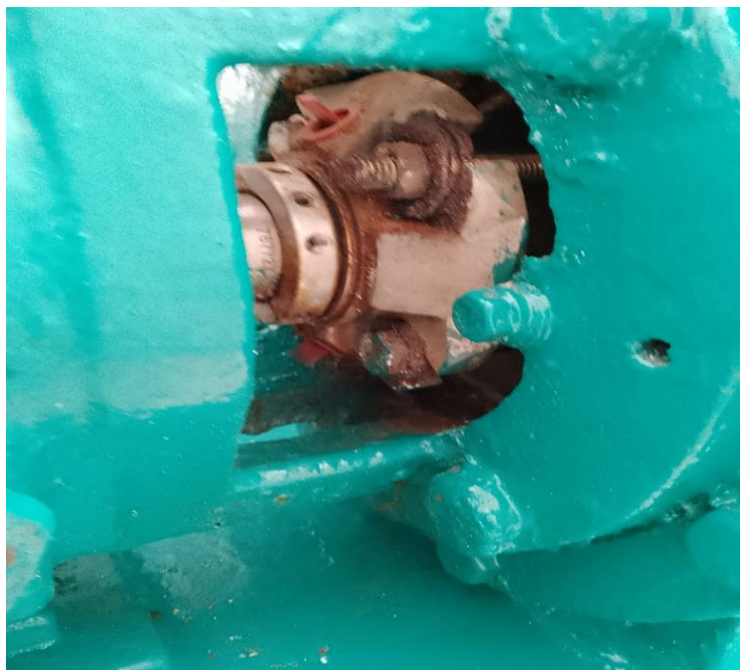
| Descripción de la Falla (Top Ten)       | Horas | Porcentaje | Acumulado |
|-----------------------------------------|-------|------------|-----------|
| Fuga de agua por Falla de sello         | 369 h | 40%        | 40%       |
| Falla por bujes amarrados               | 174 h | 19%        | 59%       |
| Lubricación                             | 140 h | 15%        | 74%       |
| Inspección y Ajustes                    | 50 h  | 5%         | 85%       |
| Verificación de alineamientos de bombas | 38 h  | 4%         | 89%       |
| Fuga de aceite                          | 29 h  | 3%         | 92%       |
| Verificación de arranque de motor       | 28 h  | 3%         | 95%       |
| Fuga de agua por empaques de tuberías   | 23 h  | 3%         | 98%       |
| Falla acoplamiento                      | 22 h  | 2%         | 100%      |

**Tabla 4:** Tabla del Top Ten.  
**Fuente:** Elaboración propia.

#### 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

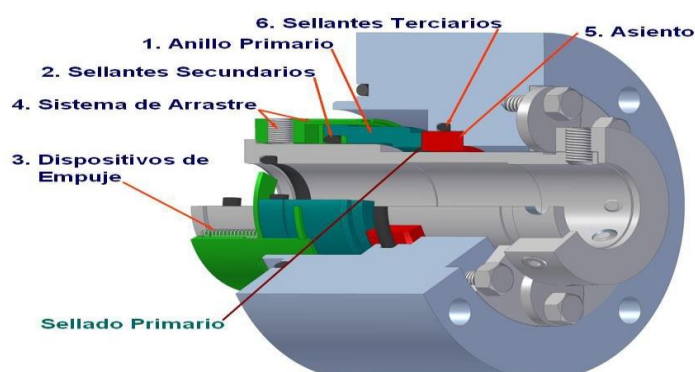
sólidos en suspensión y eso fue uno de los problemas, debido a que el agua presenta de 11% a 18% de partículas en suspensión.



**Figura 22:** sello mecánico dañado

**Fuente:** Imagen propia

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.



**Figura 23:** Componentes de un sello mecánico resaltando los materiales cambiados.

**Fuente:** Descripción de un sello mecánico.

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.

| MARCA DE SELLOS MECÁNICOS | MATERIAL | FRECUENCIA DE CAMBIO | CAMBIOS POR AÑO | COSTO DE SELLO |
|---------------------------|----------|----------------------|-----------------|----------------|
|                           | silicio  | 5 años               | 01 veces        | \$90,000.00    |
| MARCA ORIGINAL            | Silicio  | 5 años               | 01 veces        |                |

|                      |                     |         |          |             |
|----------------------|---------------------|---------|----------|-------------|
|                      | titanio             | 5 años  | 01 veces |             |
| MARCA<br>ALTERNATIVA | silicio             | 15 días | 01 veces | \$55,000.00 |
|                      | silicio             | 02 años | 01 veces |             |
|                      | Acero<br>inoxidable | 02 años | 01 veces |             |

**Tabla 5:** Sellos Mecánicos.

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.2 Falla por rodamientos trabados o gastados

En bombas centrífugas, los problemas en rodamientos se suelen originar por alguna de las siguientes causas:

- Mal montaje
- Lubricación o engrase defectuoso
- Contaminación de sólidos en grasa o lubricante
- Alta temperatura
- Desalineación y Desbalanceo
- Selección inadecuada del rodamiento

Cuando se detecta problemas en rodamientos en una bomba centrífuga, se podrían recomendar las siguientes acciones:

- Sustituir el rodamiento y hacer un análisis de causa raíz
- Hacer un estudio de grasa que tiene el rodamiento
- Revisar las prácticas de montaje de rodamientos
- Revisar las prácticas de lubricación del rodamiento

- Verificar la alineación y balanceo de la bomba
- Revisar si las condiciones de operación son las adecuadas para el rodamiento



**Figura 24:** Rodamiento defectuoso desmontado.  
**Fuente:** Tablas y información de Rodamientos

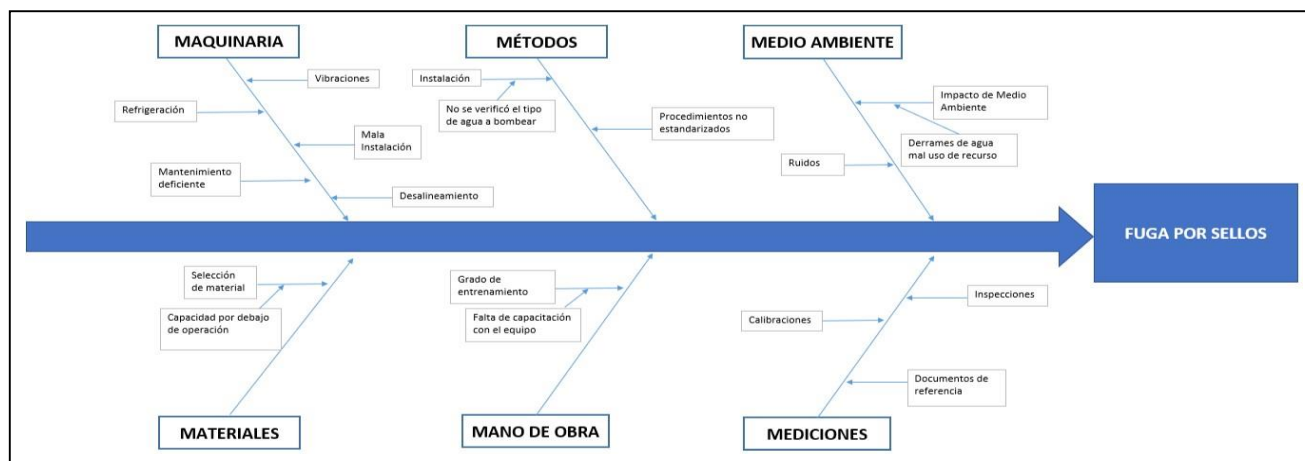
Cuando se habla de la calidad de un rodamiento se hace referencia a la marca que puede garantizar un control de funcionamiento, que se hace responsable por la efectividad del componente, en ocasiones esto puede significar un costo más elevado pero definitivamente vale la pena.

Los rodamientos de más baja gama generalmente son los fabricados en China o la India, pasan por fronteras comunes y resultan de muy baja calidad, esto sucede con casi todas las marcas asiáticas

| Características de rodamientos |                   |            |
|--------------------------------|-------------------|------------|
| MARCA DE RODAMIENTOS.          | MATERIAL          | PRECIO     |
| ORIGINAL                       | Acero Inoxidable. | \$2,000.00 |
| ALTERNATIVO                    | rígido.           | \$500.00   |

**Tabla 6:** Características de rodamientos  
**Fuente:** Elaboración propia

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



**Figura 25:** Diagrama de causa-efecto de fuga de Sello

**Fuente:** Elaboración propia

### a) Análisis de los diagramas de Causa – Efecto.

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 des-alineamiento, 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 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.

- Des-alineamiento: Para evitar el des-alineamiento, 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.
- 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.

- a) 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. Teniendo en cuenta que las partículas en suspensión ocasionan problemas principalmente en estos componentes mencionados.

## **4.3 Mano de Obra**

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, 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.

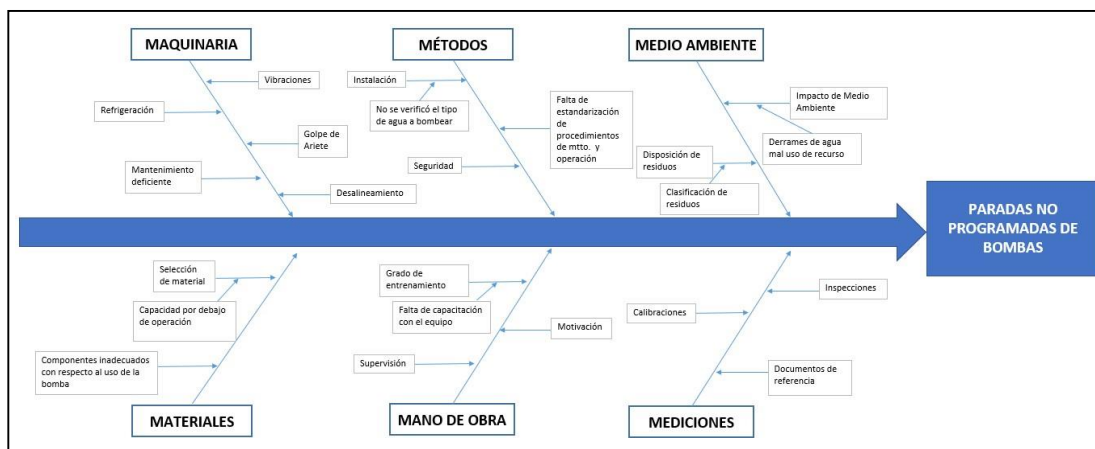
- a) Grado de entrenamiento: La capacitación del personal es uno de los factores más importantes para que se realicen un buen mantenimiento y dicho entrenamiento debe ser dictado por el fabricante de la bomba, ya que cada tipo de bomba tiene diferentes modos de mantenimiento y operación que el fabricante recomienda.
- b) 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.
- c) 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.

#### **d) Medición**

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

- a) Inspecciones: Se dispone de un programa de mantenimiento preventivo y predictivo para las mediciones requeridas de acuerdo con un programa de mantenimiento.

- b) Documentos de referencia: Todos los datos tomados en las mediciones realizadas se deben archivar para tener un historial de las bombas y así poder. decisiones para programar mantenimientos evitando paradas inesperadas.
- c) Calibraciones: Instrumentación adecuada, calibrado para realizar las mediciones correctas realizando calibraciones de calidad dando resultados de mediciones y las pruebas fiables.



**Figura 26:** Diagrama General de causa-efecto de las bombas centrífugas.  
Fuente Elaboración propia.

### e) 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.



**Figura 27:** Ciclo PHVA.

**Fuente:** Manual de mantenimiento.

#### **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 programa semanal en el área de mantenimiento de bombas se realiza un análisis de los materiales de los componentes de la bomba centrífuga 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).

#### 4.4 Programa anual de mantenimiento:

[illegible]



**PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO-CORRECTIVO MOTO-BOMBAS**  
**ANUAL ACUARIO DE VERACRUZ 2022**  
**DEPARTAMENTO BOMBAS**

| UBICACIÓN                 |               | ENERO  | FEB    | MARZO | ABRIL  | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOS | SEP | OCT | NOV | DIC |
|---------------------------|---------------|--------|--------|-------|--------|------|-------|-------|------|-----|-----|-----|-----|
| SKIMER DELFINARIO NUM 5   | 1 MBSKDA-01   |        |        |       |        |      |       |       |      |     |     |     |     |
|                           | 2 MBSKDA-02   |        | NO HAY |       |        |      |       |       |      |     |     |     |     |
|                           | 3 MBSKDA-03   | NO HAY |        |       |        |      |       |       |      |     |     |     |     |
|                           | 4 MBSKDA-04   |        |        |       |        |      |       |       |      |     |     |     |     |
| SKIMER DELFINARIO NUM 6   | 5 MBSKDB-01   |        |        |       |        |      |       |       |      |     |     |     |     |
|                           | 6 MBSKDB-02   |        | NO HAY |       |        |      |       |       |      |     |     |     |     |
|                           | 7 MBSKDB-03   | NO HAY |        |       |        |      |       |       |      |     |     |     |     |
|                           | 8 MBSKDB-04   |        |        |       |        |      |       |       |      |     |     |     |     |
| SKIMER DELFINARIO NUM 7   | 9 MBSKDC-01   |        |        |       |        |      |       |       |      |     |     |     |     |
|                           | 10 MBSKDC-02  |        |        |       | NO HAY |      |       |       |      |     |     |     |     |
|                           | 11 MBSKDC-03  |        |        |       |        |      |       |       |      |     |     |     |     |
|                           | 12 MBSKDC-04  |        |        |       |        |      |       |       |      |     |     |     |     |
| SK 1 DE LA P. A.          | 13 MBSKPAA-01 |        |        |       |        |      |       |       |      |     |     |     |     |
|                           | 14 MBSKPAA-02 |        |        |       |        |      |       |       |      |     |     |     |     |
| SK 2 DE LA P.A.           | 15 MBSKPAB-01 |        |        |       |        |      |       |       |      |     |     |     |     |
|                           | 16 MBSKPAB-02 |        |        |       |        |      |       |       |      |     |     |     |     |
| MANIFUL DEL PINGUINOS     | 17 MBMPG-01   |        |        |       |        |      |       |       |      |     |     |     |     |
|                           | 18 MBMPG-02   |        |        |       |        |      |       |       |      |     |     |     |     |
|                           | 19 MBMPG-03   |        |        |       |        |      |       |       |      |     |     |     |     |
|                           | 20 MBMSKP-01  |        |        |       |        |      |       |       |      |     |     |     |     |
|                           | 21 MBMSKP-02  |        |        |       |        |      |       |       |      |     |     |     |     |
| CISTERNA DE PINGUINOS     | 22 MBCP-01    |        |        |       |        |      |       |       |      |     |     |     |     |
|                           | 23 MBCP-02    |        |        |       |        |      |       |       |      |     |     |     |     |
| SKIMER 1 Y 2 DE PINGUINOS | 24 MBSKP1-01  |        |        |       |        |      |       |       |      |     |     |     |     |
|                           | 25 MBSKP2-01  |        |        |       |        |      |       |       |      |     |     |     |     |
| PLANTA DE TRATAMIENTO     | 26 MBPTPG-01  |        |        |       |        |      |       |       |      |     |     |     |     |
|                           | 27 MBPTPG-02  |        |        |       |        |      |       |       |      |     |     |     |     |

mbas RK2

## 4.5 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. Luego se cambió a la marca alternativa manteniendo el mismo material, se cambió a Silicio vs Silicio partes húmedas acero inoxidable la marca alternativa y finalmente se cambió a la marca original manteniendo el sello de silicio vs silicio partes húmedas titanio.

Con el sello de marca alternativa de Silicio vs Silicio partes húmedas acero inoxidable 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.

En cuestión a los costos se tienen en consideración dos factores: el costo del sello, el costo de mano de obra.

#### **b) Bomba 02**

Esta bomba estuvo operando, empezó con el sello mecánico marca alternativa de material Silicio vs Silicio partes húmedas acero inoxidable el cual tuvo una duración inicial promedio de 1,536 horas de vida útil antes de su mantenimiento correctivo, existe un cambio de marca alternativa a la marca original, se tuvo dos mantenimientos correctivos en la marca alternativa teniendo un promedio de 2,868 horas de funcionamiento, se decide cambiar de material a silicio vs silicio partes húmedas titanio 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.

#### **c) Bomba 3**

Esta bomba estuvo operando, 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 alternativa en Silicio vs Silicio partes húmedas acero inoxidable de 1,568 horas de funcionamiento, se cambió a la marca original manteniendo el material obteniendo 3,048 horas de funcionamiento, se realiza el cambio de material a silicio vs silicio partes húmedas titanio 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.

#### **d) Bomba 04**

En el caso de esta bomba estuvo con el sello marca alternativa en material de Silicio vs Silicio partes húmedas acero inoxidable teniendo una duración de 0,864 horas, luego se cambió a la marca original con el mismo material, teniendo una duración de 3,048 horas, se cambió a la marca original con el material de silicio vs silicio partes húmedas titanio, 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.

### **4.6 Prueba estadística**

Para la prueba estadística Chi – Cuadrado se tendrá en cuenta las siguientes dos 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 aumenta su vida útil.

- Paso 02: 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.

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIÓN DEL PROYECTO, RECOMENDACIONES Y EXPERIENCIA PERSONAL ADQUIRIDA**

### **CONCLUSIÓN**

Se llegó a la conclusión que es posible implementar un plan de mantenimiento para aumentar la vida útil de bombas centrífugas, 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 silicio vs silicio titanio y Silicio vs silicio Acero Inoxidable. El sello mecánico de Silicio vs silicio Acero Inoxidable no era resistente a la vibración dado que su material es duro pero frágil a diferencia del silicio vs silicio titanio que es de material duro, pero si resiste vibraciones, esto es debido a que las bombas centrífugas al momento de entrar a su operación tiene demasiada vibración debido a la fuerza que genera haciendo que el agua circula. Dado que la bomba presenta vibraciones también puede ser por des-alineamiento al

momento de estar en operación o por tener algún rodamiento gastado, ya puede ser rodamiento de motor o el rodamiento de la bomba.

También se realizó el análisis de las principales fallas en componentes internos de bombas centrífugas de una bomba 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 todos los componentes críticos que tiene en funcionamiento la bomba.

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 y esto evitara que se quede descompuesta sin avisar y evitemos daños mayores.

Se realizaron modificaciones en la línea de lubricación de sellos y calibración de bombas al igual de observar el desgates de sus rodamientos y de más piezas, también que el técnico verifique que toda la bomba este en su funcionamiento correctamente y así la bomba centrífuga se forma de una mejora para evitar vibraciones tanto en el motor como en la bomba centrífuga.

## **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.

### **Experiencia personal adquirida.**

Mi experiencia adquirida en estos 6 meses de prácticas dentro del aquarium puerto de Veracruz, es muy buena ya que gracias a la ayuda de los técnicos de bombas, junto con un técnico de electricidad, aprendí desde lo más básico que es el conocimiento de los tipos de tornillos que lleva, hasta el punto de identificar cuando una bomba está en des-alineamiento.

También supe como alinear el motor de la bomba con el indicador de caratula ya que gracias a él se puede identificar si el motor está correctamente alineado o des-alineado, otras de las cosas que aprendí fue a identificar cuando un rodamiento se está empezando a deteriorar o en su caso de las electro bombas, que el rodamiento se amarraba de buenas a primeras y esta falla causaba que el motor se apagara.

Con ayuda del técnico de electricidad aprendí a verificar el arranque de la bomba que se encuentre bien instalada las líneas de corriente y apagadores.

### Fuentes de información.

- Acuario de Veracruz  
<https://acuariodeveracruz.com/quienes-somos-2/>
- Bombas centrifugas goulds 3196  
[https://www.gouldspumps.com/ittgp/medialibrary/goulds/website/Literature/Brochures/Product%20Bulletins/Numerical/3196\\_i\\_FRAME\\_bulletin\\_Spanish.pdf?ext=.pdf](https://www.gouldspumps.com/ittgp/medialibrary/goulds/website/Literature/Brochures/Product%20Bulletins/Numerical/3196_i_FRAME_bulletin_Spanish.pdf?ext=.pdf)
- Manual de mantenimiento bombas goulds  
[https://www.gouldspumps.com/ittgp/medialibrary/goulds/website/Literature/Instruction%20and%20Operation%20Manuals/Alphabetical/InstallationOperationMaintenance\\_IC\\_es\\_UY.pdf?ext=.pdf](https://www.gouldspumps.com/ittgp/medialibrary/goulds/website/Literature/Instruction%20and%20Operation%20Manuals/Alphabetical/InstallationOperationMaintenance_IC_es_UY.pdf?ext=.pdf)
- Página oficial Aquarium puerto Veracruz.  
<https://www.aquariumpuertodeveracruz.mx/>
- Plan de mantenimiento de una bomba centrifuga horizontal  
<https://www.inoxmim.com/blog-c/plan-de-mantenimiento-bomba-centrifuga>
- Tablas de rodamientos  
[https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000\\_1-ES\\_tcm\\_201-121486.pdf](https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000_1-ES_tcm_201-121486.pdf)