



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

TESIS

**“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
PARA LAS ELECTROBOMBAS CENTRÍFUGAS
INGERSOLL-RAND EN LA PLANTA DE PETROPERÚ
UNIDAD CERRO DE PASCO - 2016”**

Presentada por:

Bach. JHONY RAYMUNDO MARAVI

Para optar el título profesional de:

INGENIERO MECÁNICO

Cerro de Pasco - Perú

2017

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a mi madre Elvira Aurora Maravi Bustamante, por su apoyo, con sus consejos, por su ejemplo de perseverancia y constancia, por la motivación constante que me permitió ser una persona de bien.

A mi padre Sixto Celestino Raymundo Huanca, por llevarme la contraria y de esa forma servirme de aliciente durante todas las metas que me he propuesto. Los adoro, por brindarme todo el apoyo necesario para que culminara mi presente tesis.

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirme llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis hermanas, por estar a mi lado, brindándome todo su amor, entrega, dedicación y sobre todo por su comprensión y paciencia durante estos años de mi vida, ustedes siempre motivaron mi desarrollo profesional.

A los catedráticos de la, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Universidad Alas Peruanas, por haber contado con ustedes desde el día en que los conocí, gracias por todo su apoyo.

A mis amigos y compañeros de universidad, saben que les tengo un aprecio, sin ustedes hubiese sido una experiencia aburrida, gracias por todo lo que aprendí.

RESUMEN

En el presente estudio intitulado “Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para las electrobombas centrífugas Ingersoll-Rand en la planta de Petroperú unidad Cerro de Pasco - 2016”, se tomó como muestra de análisis las electrobombas centrífugas Ingersoll-Rand de la planta de Petroperú unidad Cerro de Pasco, y desarrollar los procedimientos utilizados en la elaboración del plan de mantenimiento preventivo para las electrobombas centrífugas en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco. El trabajo que se presenta es una investigación de tipo básico y el nivel es descriptivo, porque en el estudio se describe un plan de mantenimiento preventivo para las electrobombas centrífugas.

El objetivo del presente trabajo ha sido diseñar e implementar un plan de mantenimiento preventivo en el sistema de bombeo para las electrobombas centrífugas de la planta de Petroperú unidad Cerro de Pasco.

El plan estaba enfocado en integrar el mantenimiento preventivo a un sistema donde se trabaja de forma correctiva, además se centra en crear una herramienta que permita generar históricos de mantenimiento. Mediante guías de ciclos de mantenimiento, inspecciones periódicas, intervenciones programadas y un sistema generador de base de datos se obtuvo un método para generar históricos de mantenimiento (estadísticas). A partir de estos registros se puede conocer los índices de bienes y servicios utilizados para atender las necesidades de cada equipo.

Palabras Claves: Diseño. Plan de Mantenimineto Preventivo. Electro bomba Centrífuga.

ABSTRACT

The present investigation work entitled “Design of a preventive maintenance scheduled for the electropump Ingersoll-Rand centrifugal in the plant of Petroperú unit Cerro de Pasco - 2016, was taken a unit of analysis to the Petroperú plant unit Cerro of Pasco, to study the variables preventive scheduled maintenance y electric centrifugal pump and develop and developing the procedures used in the elaboration of the preventive scheduled maintenance for the centrifugal pumps in the plant of Petroperú Unidad Cerro of Pasco. The work that shows up is an investigation of basic rate and the level is descriptive, because in the study a scheduled maintenance is described for the electric pumps.

The objective of the present work has been designing a preventive scheduled maintenance in the pumping system for the electric pumps centrifugal of the plant of Petroperú unit Cerro de Pasco.

The plan was focused on integrating the preventive maintenance to a system where it is worked up of corrective way, besides he focuses on creating a tool that he allows to generate historic of maintenance. By means of guides of cycles of maintenance, periodic inspections, programmed interventions and a generating base system of data obtained a method to generate historic of maintenance itself (statistics). From these records can be acquainted the indexes of used goods and services to take care of the needs of every team.

Keywords: Design. Centrifugal electric pump. Scheduled maintenance.

INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT.....	v
INTRODUCCIÓN	xvi
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	17
1.1. Planteamiento del problema.....	17
1.2. Formulación del Problema.....	18
1.2.1 Problema principal.....	18
1.2.2 Problema específico.....	19
1.3. Objetivo de la Investigación	19
1.3.1 Objetivo general.....	19
1.3.2 Objetivos Específicos.....	19
1.4. Justificación e Importancia de la Investigación	20
1.4.1 Justificación teórica	20
1.4.2 Justificación metodológica.....	20
1.4.3 Justificación practica.....	20
1.4.4 Importancia de la investigación	20
1.5. Limitaciones de la Investigación	21
1.6. Delimitación de la investigación.....	21
1.6.1 Delimitación espacial.....	21
1.6.2 Delimitación social	21
1.6.3 Delimitación temporal	21
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	22
2.1. Antecedentes del problema	22

2.1.1 Antecedentes Internacionales.....	22
2.1.2 Antecedentes Nacionales.....	24
2.2. Bases teóricas y científicas	26
2.2.1 Antecedentes históricos	26
2.2.2 Conceptualización de la variable independiente: Plan de mantenimiento preventivo.....	31
2.2.3 Conceptualización de la variable dependiente: bomba centrífuga.....	34
2.3. Definición de términos.....	82
2.4. Hipótesis	84
2.4.1. Hipótesis General.....	84
2.4.2. Hipótesis Específicas	84
2.5. Variables	84
2.5.1 Definición conceptual	84
2.5.2 Definición operacional.....	85
2.6. Operacionalización de las variables.....	85
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	86
3.1. Tipo y Nivel de la Investigación.....	86
3.1.1 Tipo de investigación.....	86
3.1.2 Nivel de investigación.....	87
3.2. Diseño de la investigación	87
3.2.1 Método de la investigación.....	87
3.2.2 Diseño de la investigación.....	88
3.3. Población y muestra.....	88
3.3.1 Población.....	88
3.3.2 Muestra	88

3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información.....	90
3.4.1 Técnicas.	90
3.4.2 Instrumentos.....	90
3.5. Validez y confiabilidad del instrumento	91
3.5.1 Validez	91
3.5.2 Confiabilidad del instrumento.....	91
3.6. Técnica de recolección y procesamiento de datos	92
3.7. Procesamiento de datos.....	92
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	93
4.1. Diagnóstico de las electrobombas centrífugas.....	93
4.1.1 Cantidad de equipos en buenas condiciones.....	93
4.1.2 Manual de mantenimiento y operación.....	94
4.1.3 Fase de descripción de los componentes críticos de las electrobombas centrífugas.....	95
4.1.4 Situación actual del área de mantenimiento.....	97
4.1.5 Fase de diseño de plan de mantenimiento.....	99
4.1.6 Programa de mantenimiento.	101
4.1.7 Anomalías de funcionamiento – causas y soluciones.	103
4.1.8 Controles posteriores a un mantenimiento.....	106
4.1.9 Controles periódicos.	107
4.1.10 Análisis de resultados	107
CAPITULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	116
CONCLUSIONES	119
RECOMENDACIONES.....	120
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	121

ANEXO 1: Matriz de consistencia	123
ANEXO 2: Fichas de control propuesto para el mantenimiento preventivo de las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco - 2016	124
ANEXO 3: Ficha propuesto de identificación de equipo para electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco – 2016.	125
ANEXO 4: Ficha propuesto de historial de la electrobomba centrifugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco – 2016.....	126
ANEXO 5: Boleta propuesto de requisición de materiales y repuestos para el mantenimiento preventivo de las electrobombas centrifugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco - 2016.....	127
ANEXO 6: Ficha propuesto de préstamo de herramienta del plan de mantenimiento de las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco – 2016.	128
ANEXO 7: Ficha propuesto de revisión preventiva del plan de mantenimiento preventivo para las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco – 2016.....	129
ANEXO 8: Boleta propuesto de órdenes de trabajo del plan de mantenimiento preventivo para las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco - 2016.	130
ANEXO 9: Hoja propuesto de control de paros del plan de mantenimiento preventivo para las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco – 2016.....	131

ANEXO 10: Control propuesto de reparación externa del plan de mantenimiento preventivo para las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco – 2016.	132
ANEXO 11: Reporte mensual de mantenimiento propuesto del plan de mantenimiento preventivo para las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco – 2016.	133
ANEXO 12: Boleta de requisición de materiales para el departamento de bodega propuesto del plan de mantenimiento preventivo para las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco – 2016.	134
ANEXO 13: Ordenes de morosidad antes de implementar el plan de mantenimiento preventivo en las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco - 2016.....	135
ANEXO 14: Ordenes de morosidad después de la implementación del plan de mantenimiento preventivo para las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco – 2016.	136
ANEXO 15: Electrobomba centrífuga ingersoll-rand N° 1	137
ANEXO 16: Electrobomba centrífuga ingersoll-rand N° 2	137
ANEXO 17: Electrobomba centrífuga ingersoll-rand N° 3	138
ANEXO 18: Electrobomba centrífuga ingersoll-rand N° 4	138
ANEXO 19: Electrobomba centrífuga ingersoll-rand N° 5	139
ANEXO 20: Electrobomba de 35 hp	139
ANEXO 21: Pulsadores de las electrobombas ingersoll-rand	140
ANEXO 22: Tablero de las electrobombas ingersoll rand.	140
ANEXO 23: Plano de distribución de la planta de Petroperú unidad Cerro de Pasco – 2016.	141

ANEXO 24: Requerimiento de repuestos para las electrobombas de la planta de Petroperú unidad Cerro de Pasco – 2016.....	142
ANEXO 25: Programa de mantenimiento antes de aplicar el plan de mantenimiento preventivo de la planta de Petroperú unidad Cerro de Pasco 2016.....	143
ANEXO 26: Programa de mantenimiento después de aplicar el plan de mantenimiento preventivo de la planta de Petroperú unidad Cerro de Pasco 2016.....	144

INDICE DE TABLA

Tabla 1. Análisis de confiabilidad de organización y administración	92
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de una bomba centrífuga.....	35
Figura 2. Ejes desgastados por mala lubricación	37
Figura 3. Altura de elevación.....	42
Figura 4. Bomba tipo difusor	43
Figura 5. Flujo en impulsor de simple succión	45
Figura 6. Flujo en impulsor de doble succión.....	46
Figura 7. Diferentes tipos de impulsores	47
Figura 8. Anillos tipo plano	48
Figura 9. Anillos tipo “l”	48
Figura 10. Anillos de desgaste en laberinto	49
Figura 11. Flecha de la electrobomba centrífuga.....	50
Figura 12. Caja de empaque de electrobomba centrífuga.....	54
Figura 13. Diferentes tipos de sellos mecánicos	57
Figura 14. Sello mecánico tipo “U”	58
Figura 16. Rodamientos rígidos de bolas.....	63
Figura 17. Diferentes tipos de acoplamientos.....	66
Figura 18. Acoplamiento de abrazaderas.....	67
Figura 19. Acoplamiento de compresión	68
Figura 20. Acoplamiento de tuerca.....	69
Figura 21. Acoplamiento lovejoy o de estrella	70
Figura 22. Acoplamiento fast.....	71
Figura 23. Acoplamientos falk.....	72
Figura 24. Resorte acoplamiento falk.	73
Figura 25. Cubierta estacionaria.	74

Figura 26. Deterioro del rendimiento de bombas.	75
Figura 27. Efectos perjudiciales por desviaciones del punto óptimo de rendimiento (POR) ..	76
Figura 28. Curva característica correcta, pero bajo rendimiento y alta potencia absorbida. ...	78
Figura 29. Disminución altura manométrica y menor potencia absorbida en toda su gama de caudales, aunque no varía su rendimiento.....	79
Figura 30 La altura manométrica disminuye con rapidez con un aumento en el caudal	79
Figura 31. En cualquier punto de altura manométrica de la curva el caudal es menor en una cantidad constante para cualquier valor de caudal	80
Figura 32. Altura manométrica, caudal, rendimiento y potencia absorbida son bajos	80
Figura 33. Altura manométrica y rendimiento reducidos sin cambio en la potencia absorbida	81
Figura 34. La curva característica se interrumpe antes de lo especificado	81
Figura 38. Diagrama de mantenimiento no registrados	109
Figura 39. Diagrama de mantenimiento correctivo	110
Figura 40. Diagrama de compras de repuestos	112
Figura 41. Diagrama de mantenimiento preventivo	113
Figura 42. Diagrama de mantenimiento correctivo	115

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Operacionalización de las variables	85
Cuadro 2. Caudal de impulsión reducido.....	103
Cuadro 3. Sobrecarga del motor de accionamiento	104
Cuadro 4. Presión final excesiva de la electrobomba	105
Cuadro 5. La electrobomba tiene fugas	105
Cuadro 6. Los prensaestopas no hace buen cierre	105
Cuadro 7. Temperatura demasiado alta de los rodamientos.	106
Cuadro 8. Controles periódicos.....	107

INTRODUCCIÓN

Las prácticas de mantenimiento es la actividad más importante en la operación de elementos mecánicos, lo más trascendental es que un equipo cumpla con su labor para la cual fue diseñada con el menor costo posible de mantenimiento. La presente tesis titulado “Diseño de un plan mantenimiento preventivo para las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la Planta de Petroperú unidad Cerro de Pasco - 2016”, presenta en forma clara y sencilla las diferentes actividades. El objetivo principal es diseñar un plan de mantenimiento preventivo en el sistema de las electrobombas centrífugas para mejorar la disponibilidad operativa.

La tesis consta de 5 capítulos desarrollados de la siguiente manera:

El primer capítulo se desarrolla, la descripción de la realidad problemática, delimitaciones y definición del problema ¿Cómo diseñar un plan de mantenimiento preventivo para las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la Planta de Petroperú unidad Cerro de Pasco - 2016?, delimitaciones: delimitación espacial, delimitación temporal, delimitación social, delimitación conceptual; definición del problema, formulación del problema.

Nuestro objetivo de la investigación es Diseñar un plan de mantenimiento preventivo, para mejorar la disponibilidad operativa de las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú unidad Cerro de Pasco.

El segundo capítulo se trata del marco teórico donde se menciona los antecedentes de investigaciones similares, y se detalla todo sobre el marco conceptual de la investigación llevada a cabo. Nuestra hipótesis es el mantenimiento preventivo previene paradas imprevistas de las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú unidad Cerro de Pasco - 2016.

En el tercer capítulo se refiere a la parte metodológica para poder desarrollar la presente investigación, donde se definió, el tipo y nivel de la investigación, método y diseño de la investigación, técnicas e instrumentos de recolección de información, cobertura de estudio.

En el cuarto capítulo se describen el análisis e interpretación de los resultados de la investigación, análisis del sistema, diagrama causa y efecto de la situación actual, del área de mantenimiento, programa de mantenimiento preventivo.

En el quinto capítulo se detalla la discusión de los resultados con los antecedentes de la investigación y finalmente las conclusiones y recomendaciones, las referencias bibliográficas y anexos.

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a la empresa Petroperú Unidad Cerro de Pasco por haberme permitido realizar mi tesis, contribuyendo de esta manera con mi formación profesional.

El Autor

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Las electrobombas centrífugas horizontales para combustible que pertenecen a la planta de Petroperú unidad Cerro de Pasco, son las que se estudiaron debido a las diversas fallas (*la frecuencia de falla es de 36 horas*), para el periodo en estudio (enero de 2016 a diciembre de 2016), donde se generaron elevados costos, asociados a los fallos repetitivos ocurridos en los sistemas de bombeo. Durante este lapso se presentaron y registraron 153 de estos eventos. El incremento evidente en la frecuencia de fallas en 3 de las bombas, se tradujo en la ocurrencia de paros simultáneos en los trenes de bombeo. Estos sistemas constan de 5 electrobombas centrífugas horizontales que están instaladas en paralelo, contando con una sola electrobomba de respaldo, que presentan estas unidades como también inmersas en irregularidades que traen consecuencia para el sistema y para la conservación del mismo.

Es fundamental la vida útil de las electrobombas centrífugas horizontales para el proceso de distribución de combustible en una planta de Petroperú unidad Cerro de Pasco, pero estas máquinas hidráulicas presentan fallas a corto plazo (un año) debido a la

falta de una buena gestión de mantenimiento e incluso resaltando que se da el caso, en que los equipos presentan fallas correctivas que no son corregidas del todo, esto trae como problemática la corta vida útil de estas unidades de bombeo; reducción de la vida útil en un 15% a 20% y bajo nivel de conservación de las unidades de bombeo horizontales para combustible.

La Planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco, se encuentra ubicado en la carretera central Km 286 en el distrito de Tinyahuarco a 4275 msnm; en la localidad de Villa de Pasco, en el departamento de Cerro de Pasco. La planta de Petroperú unidad Cerro de Pasco, presenta problemas de fallas prematuras los cuales generaron elevados costos, asociados a las fallas repetitivas ocurridos en los sistemas de bombeo. Durante este lapso se presentaron y registraron 153 de estos eventos. El incremento evidente en la frecuencia de fallos en 3 de las electrobombas, se tradujo en la ocurrencia de paros simultáneos en los trenes de bombeo. Estos sistemas constan de 5 electrobombas centrífugas horizontales que están instaladas en paralelo, contando con una sola electrobomba de respaldo para las electrobombas centrífugas disminuyendo su vida útil en un 35% a 40%; ocasionando gastos imprevistos (incrementando un 40% al costo total del mantenimiento), a la empresa por mantenimiento correctivo; lo cual trae como consecuencia la reducción de la rentabilidad por la baja productividad en la empresa.

Para corregir estos inconvenientes se plantea diseñar un plan de mantenimiento preventivo para las electrobombas centrífugas ingersoll-rand de la planta de Petroperú unidad Cerro de Pasco -2016 para mejorar la disponibilidad operativa de las electrobombas centrífugas.

1.2 Formulación del Problema

1.2.1 Problema principal.

¿Cómo diseñar un plan de mantenimiento preventivo para las electrobombas

centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco - 2016?

1.2.2 Problema específico.

- a. ¿En qué condiciones técnicas se encuentran las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco - 2016?
- b. ¿Cómo planificar las actividades para el desarrollo de inspección y ejecución del programa de mantenimiento preventivo para las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco - 2016?

1.3 Objetivo de la Investigación

1.3.1 Objetivo general.

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo, para mejorar la disponibilidad operativa de las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco - 2016.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- a. Evaluar las condiciones técnicas de las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco - 2016 para determinar su estado actual.
- b. Elaborar y planificar el cronograma de actividades para la inspección del plan de mantenimiento preventivo de las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco – 2016.

1.4 Justificación e Importancia de la Investigación

1.4.1 Justificación teórica

Mediante el presente estudio se definirá ciertos conceptos que permitan conceptualizar y definir los parámetros que coadyuven en la metodología del presente estudio.

1.4.2 Justificación metodológica

Mediante el presente estudio se logró desarrollar un método adecuado para mejorar la disponibilidad operativa de las electrobombas centrífugas ingersoll-rand con características similares planteadas en el problema.

1.4.3 Justificación practica

El propósito que cumple el plan de mantenimiento preventivo es de poder anticipar y planificar con precisión sus requerimientos, buscando reducir los inventarios de repuestos innecesarios, el pago a personal por tiempos extras, pérdidas de producción.

El Plan de Mantenimiento Preventivo se va a implantar en la unidad de distribución de Petroperú Unidad Cerro de Pasco, con el fin de incrementar la disponibilidad operativa de las electrobombas centrífugas ingersoll-rand al momento en que la planta lo requiera para la distribución y almacenaje del combustible.

1.4.4 Importancia de la investigación

Reducción de la posibilidad de un paro durante el funcionamiento de las electrobombas centrífugas ingersoll-rand y de mantener la capacidad operacional de las mismas.

Las condiciones de disponibilidad operativa de las electrobombas centrífugas ingersoll-rand aumentarán significativamente con el plan de mantenimiento preventivo.

1.5 Limitaciones de la Investigación

En la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco, no se cuenta con: manuales de servicio, ni historial de mantenimiento de las electrobombas centrífugas ingersoll-rand; lo cual no nos ha permitido realizar con celeridad el presente estudio.

1.6 Delimitación de la investigación

1.6.1 Delimitación espacial

La presente tesis se desarrolló en la planta petrolera de Petroperú Unidad Cerro de Pasco.

1.6.2 Delimitación social

En la tesis, se involucra a todo el personal de la planta petrolera de Petroperú, Unidad Cerro de Pasco.

1.6.3 Delimitación temporal

La presente tesis se desarrolló; en un periodo de 12 meses en la planta petrolera de Petroperú, Unidad Cerro de Pasco, durante el periodo determinado por:

Fecha de Inicio: 12 de enero de 2016

Fecha de término: 12 de diciembre de 2016

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Solares (2006), realizo la tesis: *Mejora del programa de mantenimiento preventivo en las bombas impulsadoras de concreto*, el cual fue presentada a la biblioteca de la Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, quién presentó y sustentó para obtener el título de Ingeniero Mecánico Industrial; cuyo trabajo de investigación se deduce la siguiente conclusión final:

“Un equipo confiable y con buen mantenimiento proporciona un alto grado de disponibilidad y mejora la calidad y el cumplimiento de los horarios de servicio planificados. Un programa de mantenimiento preventivo busca mantener el equipo productivo en óptimas condiciones durante el mayor tiempo posible, es decir, busca aumentar la disponibilidad y confiabilidad del equipo con un costo mínimo. Por lo que queda claro que, para aumentar la disponibilidad y

confiabilidad del equipo, manteniendo los costos o incluso reducirlos, es necesario mejorar continuamente la eficiencia con que se realizan todas las actividades relacionadas con el programa de mantenimiento preventivo”.

Hernández (2013), quien realizó la tesis titulada: *Plan de mantenimiento preventivo para planta de tratamiento de aguas residuales Santa Rosa Jáuregui*. Quien presentó a la Universidad Tecnológica de Querétaro, México; quien presentó y sustentó para obtener el Título Técnico Superior Universitario en Mantenimiento Área Industrial; de cuyo trabajo de investigación se deduce la siguiente conclusión final: “Es muy importante que los equipos tengan un adecuado funcionamiento para que el proceso de tratamiento no se vea afectado por el mal funcionamiento de los equipos ya que puede ocasionar problemas debido a que el tratamiento de aguas residuales está estandarizado a normas oficiales mexicanas (NOM) por lo cual cada uso debe contar con estándares específicos dependiendo al uso en el que estará designada el agua tratada, y al no contar con las normas oficiales puede ocasionar problemas y de hacerse acreedor a multas la cual genera costos altos para CEA., al contar con un adecuado mantenimiento se reduce los costos por equipos dañados que pueden ocasionar paros afectando el tratamiento y al mismo tiempo se reduce drásticamente la vida útil de los equipos.

Cadena (2011) se encuentra la tesina titulada: *Descripción y análisis de fallas presentadas en sellos mecánicos de bombas centrífugas*. Presentada a la Universidad Veracruzana Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica zona Poza Rica – Tuxpan, México; quien presentó y sustentó para acreditar la experiencia

educativa de experiencia profesional; de cuyo trabajo de investigación se deduce la siguiente conclusión final: “En los diferentes tipos de sellos mecánicos, se encuentran las cuatro fallas recurrentes: fractura en las caras, desgaste del fuelle elastomérico, adherencia de partículas y desgaste o rayado de las caras. Las causas de la fractura en las caras del sello mecánico son: el ajuste o compresión incorrectos en la longitud operacional del resorte, durante la medición de sus dimensiones. Las causas del desgaste del fuelle elastomérico son: el uso de aditivos no apropiados durante su instalación. Las causas de la adherencia de partículas en el sello mecánico son: la mala selección del material del sello mecánico con respecto al flujo bombeado. Las causas del desgaste o rayado en las caras del sello mecánico son: mal montaje del sello mecánico y el uso de aditivos incorrectos al instalar el sello.

El bajo nivel de entrenamiento del personal de mantenimiento influye en las cuatro fallas analizadas”.

2.1.2 Antecedentes Nacionales.

Díaz (2009) tesis titulada: *Bombeo de crudo altamente viscoso en el Tramo I del O.N.P mediante bombas de tornillo*. Presentada a la Universidad de Piura Facultad de Ingeniería, Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica, quién presentó y sustentó para obtener el título de Ingeniero Mecánico – Eléctrico; de cuyo trabajo de investigación se deduce la siguiente conclusión final: “Se logró demostrar la necesidad de implementar este proyecto de tesis, el cual plantea el reemplazo de las bombas centrífugas actual por una de tres tornillos para una operación más efectiva. Se verificó que no es recomendable seguir utilizando el equipo de bombeo actual ya que no es conveniente desde el

punto de vista técnico ni desde el económico. La actual electrobomba centrífuga es ineficiente para el bombeo de crudos con viscosidad elevada, su eficiencia de funcionamiento es demasiado baja. Las bajas eficiencias se reflejan en un elevado requerimiento de potencia para el bombeo. Dicha situación limita a la bomba centrífuga actual a bombear caudales bajos, imposibilitando el incremento del “rate” de bombeo ante posibles aumentos de producción, debido al posible bombeo de crudos viscosos de los lotes pertenecientes a Perenco, Pluspetrol, Repsol y otros lotes en exploración, mediante este tramo. Las bombas de tornillo son las más idóneas para el bombeo de crudos viscosos ya que presentan un buen comportamiento ante fluidos viscosos y brindan una amplia operación de caudales y presiones. Presentan un mayor rendimiento ante este tipo de fluidos, requiriendo una menor potencia; esto implica menores gastos de consumo de combustible, mantenimiento y posibilidad de aumentar el “rate” de bombeo”.

Rojas (2007) quien presento la tesis titulada: *Análisis técnico de un programa de mantenimiento en una planta de harina de pescado de 60 ton/hr de capacidad*. Presentada a la Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Mecánica. Quien sustentó para obtener el título de Ingeniero Mecánico; cuyo trabajo de investigación se deduce la siguiente conclusión final: “El uso técnico y eficiente con el nuevo programa de mantenimiento preventivo y su correcto funcionamiento con las mejoras del caso, nos permitieron generar un beneficio económico anual de U.S. \$ 50,450; para el primer año de implementado el programa, pero que se perfeccionara, para los siguientes, años ese es el objetivo.

De acuerdo, a las estadísticas el gasto efectuado por mantenimiento, en la planta de harina, hasta antes de aplicado el programa en promedio era de

aproximadamente de U.S. \$ 86 000, anuales en mantenimiento, reduciéndose esta una vez aplicado el programa a un 40% menos, es decir los gastos serian del orden de U.S. \$ 51600, generándose un ahorro de U.S. \$ 34400 anual. Paralelamente, con una mejor predisposición de tener en el almacén central, solo los repuestos necesarios en stock, para el buen funcionamiento de la planta, es que se redujo, el manejo de estos, que inicialmente eran de U.S. \$ 3800 mensuales a U.S. \$ 2280, es decir un ahorro de U.S. \$ 1520 por mes. Durante el desarrollo de este plan se observó la reducción de los problemas que comúnmente se presentaban antes en las máquinas, en comparación con años atrás, que solo se detectaban en el momento que se presentaba la falla, pero que ahora no se puedes decir que no se presenta, sino que estas ya están controladas, por medio de revisiones periódicas, reduciéndolas a una mínima variable. La cantidad de fallas reportadas que no afectan el funcionamiento de la planta, en el año 2000 fue de 1054, reduciéndose estas después de aplicado el programa a 760 fallas reportadas, consiguiendo con esto una reducción del orden del 27,89%. Con esto no queremos pretender decir que las fallas vayan a desaparecer, todo lo contrario, estas desaparecerán, en el transcurrir del tiempo, y estas se empezaran a notar, ya para el periodo del año 2002, esperándose una reducción del orden de entre el 40% al 55 %, hasta llegar a un margen de que estas sean mínimas, que es lo que se pretende”.

2.2 Bases teóricas y científicas

2.2.1 Antecedentes históricos

Mora (2016; p. 1-2). Señala qué desde el principio de los tiempos, el hombre siempre ha sentido la necesidad de mantener su equipo, aún las más rudimentarias herramientas o aparatos. La mayoría de las fallas que se experimentaban eran el

resultado del abuso y esto sigue sucediendo en la actualidad. Al principio solo se hacía mantenimiento cuando ya era imposible seguir usando el equipo. A eso se le llamaba "Mantenimiento de Ruptura o Reactivo".

Fue hasta 1950 que un grupo de ingenieros japoneses iniciaron un nuevo concepto en mantenimiento que simplemente seguía las recomendaciones de los fabricantes de equipo acerca de los cuidados que se debían tener en la operación y mantenimiento de máquinas y sus dispositivos.

Esta nueva tendencia se llamó "Mantenimiento Preventivo". Como resultado, los gerentes de planta se interesaron en hacer que sus supervisores, mecánicos, electricistas y otros técnicos, desarrollaran programas para lubricar y hacer observaciones clave para prevenir daños al equipo.

Aun cuando ayudó a reducir pérdidas de tiempo, el Mantenimiento Preventivo era una alternativa costosa. La razón: Muchas partes se reemplazaban basándose en el tiempo de operación, mientras podían haber durado más tiempo. También se aplicaban demasiadas horas de labor innecesariamente.

Los tiempos y necesidades cambiaron, en 1960 nuevos conceptos se establecieron, "Mantenimiento Productivo" fue la nueva tendencia que determinaba una perspectiva más profesional. Se asignaron más altas responsabilidades a la gente relacionada con el mantenimiento y se hacían consideraciones acerca de la confiabilidad y el diseño del equipo y de la planta. Fue un cambio profundo y se generó el término de "Ingeniería de la Planta" en vez de "Mantenimiento", las tareas a realizar incluían un más alto nivel de conocimiento de la confiabilidad de cada elemento de las máquinas y las instalaciones en general.

Diez años después, tomó lugar la globalización del mercado creando nuevas y más fuertes necesidades de excelencia en todas las actividades. Los estándares de "Clase Mundial" en términos de mantenimiento del equipo se comprendieron y un sistema más dinámico tomó lugar. TPM es un concepto de mejoramiento continuo que ha probado ser efectivo. Primero en Japón y luego de vuelta a América (donde el concepto fue inicialmente concebido, según algunos historiadores). Se trata de participación e involucramiento de todos y cada uno de los miembros de la organización hacia la optimización de cada máquina. Esta era una filosofía completamente nueva con un planteamiento diferente y que se mantendrá constantemente al día por su propia esencia. Implica un mejoramiento continuo en todos los aspectos y se le denominó TPM.

Tal como lo vimos en la definición, TPM son las siglas en inglés de "Mantenimiento Productivo Total", también se puede considerar como "Mantenimiento de Participación Total" o "Mantenimiento Total de la Productividad".

El propósito es transformar la actitud de todos los miembros de la comunidad industrial.

Toda clase y nivel de trabajadores, operadores, supervisores, ingenieros, administradores, quedan incluidos en esta gran responsabilidad. La "Implementación de TPM" es un objetivo que todos compartimos. También genera beneficios para todos nosotros. Mediante este esfuerzo, todos nos hacemos responsables de la conservación del equipo, el cual se vuelve más productivo, seguro y fácil de operar, aún su aspecto es mucho mejor. La participación de gente que no está familiarizada con el equipo enriquece los resultados pues en

muchos casos ellos ven detalles que pasan desapercibidos para quienes vivimos con el equipo todos los días.

El Mantenimiento es una profesión que se dedica a la conservación de equipo de producción, para asegurar que éste se encuentre constantemente y por el mayor tiempo posible, en óptimas condiciones de confiabilidad y que sea seguro de operar.

La función del mantenimiento ha sido históricamente considerada como un costo necesario en los negocios. Sin embargo, al paso del tiempo, nuevas tecnologías y prácticas innovadoras están colocando a la función del mantenimiento como una parte integral de la productividad total en muchos negocios. Las sólidas técnicas modernas de mantenimiento y su sentido práctico tienen el potencial para incrementar en forma significativa las ventajas en el mercado global.

En meses recientes, hemos visto un impresionante avance de estas técnicas asociadas con el mantenimiento industrial. En especial, como sabemos es tarea de todos en las empresas buscar oportunidades para hacer nuestro trabajo de una manera más eficiente cada día, y esto representa hacerlo con mayor calidad y a menor costo. Una de las tareas más críticas de mantenimiento es sin duda el Mantenimiento Preventivo. La optimización de esa tarea ha demostrado ser una fuente de grandes ahorros y aumento importante de la disponibilidad operativa y confiabilidad del equipo.

Tal como engranes finamente integrados en una pieza de maquinaria, Producción, Seguridad, Ingeniería, Mantenimiento y otros miembros de la organización tales como Administración, Mercadotecnia, Compras, Planeación, etc. deben trabajar en conjunto para alcanzar la excelencia.

El reto para los gerentes de hoy y para los profesionales de la confiabilidad y todos los que estamos involucrados en la profesión del mantenimiento, es descubrir estas nuevas oportunidades. Esto requiere que establezcamos estándares para las prácticas de mantenimiento y confiabilidad, creando un sistema adecuado de información para reunir los hechos y generar el entusiasmo, e iniciando planes que impulsen la acción.

Uno de los grandes factores en la optimización de este proceso es sin duda la implementación cada día más extendida del TPM. El TPM es Mantenimiento Productivo Total, o dicho de manera más precisa, Mantenimiento de la Productividad Total. La importancia de mantener nuestra planta en condiciones óptimas de operación no recae solamente en un pequeño grupo de técnicos o ingenieros. Todos nos beneficiamos de un equipo en condiciones óptimas y por lo tanto todos debemos buscar la oportunidad de participar en este proceso de conservación.

Es vital que se comprenda ampliamente la cobertura y significado del TPM. Es un compromiso de Toda la Organización o Empresa, incluidos los altos directivos. El asegurar que se Mantiene la Capacidad Productiva del Negocio es una tarea que asegura la competitividad y por tanto la estabilidad de nuestra fuente de trabajo. En los tiempos económicos que estamos viviendo este concepto cobra una muy alta relevancia.

Cualquiera que sea nuestra función en una empresa, todos debiéramos estar en busca de oportunidades para preservar el equipo que produce nuestros productos, así como toda clase de aparatos y mobiliarios que nos permite hacer nuestro trabajo.

Mamani (2014, p. 2). en su tesis “*Selección del Equipo de Bombeo del Papel Diluido para una Planta Papelera*”, encuentra que las primeras bombas es uno de los inventos más antiguos utilizados para convertir la energía mecánica en trabajo útil, sustituyendo el esfuerzo muscular para satisfacer las necesidades del hombre.

Las primeras bombas de las que se tiene conocimiento son conocidas de diversas formas, dependiendo de la manera en que se registró su descripción, así se tienen: las ruedas persas, ruedas de agua o norias. Todos estos dispositivos eran ruedas bajo el agua que contenían cubetas que se llenaban con agua cuando se sumergían en una corriente y que automáticamente se vaciaban en un colector a medida que se llevaban al punto más alto de la rueda en movimiento.

La más conocida de aquellas bombas, el tornillo de Arquímedes, aún persiste en estos tiempos. Todavía se manufactura para aplicaciones de baja carga, en donde el líquido se carga con basura u otros sólidos.

Sin embargo, es probablemente más interesante el hecho que con todo el desarrollo tecnológico que ha ocurrido desde los tiempos antiguos, incluyendo la transformación de la potencia del agua en otras formas de energía, hasta la fisión nuclear, la bomba queda como la segunda máquina de uso más común, excedida apenas por el motor eléctrico.

2.2.2 Conceptualización de la variable independiente: Plan de mantenimiento preventivo

Trejo (2010), en su tesis “*Implementación del Mantenimiento Preventivo Q-pumps S.A de C.V*”, señala que el Plan de Mantenimiento, es un servicio que agrupa una serie de actividades cuya ejecución permite alcanzar un mayor grado de confiabilidad en los equipos, máquinas, construcciones civiles, instalaciones.

La labor del departamento de mantenimiento, está relacionada muy estrechamente en la prevención de accidentes y lesiones en el trabajador ya que tiene la responsabilidad de mantener en buenas condiciones, la maquinaria y herramienta, equipo de trabajo, lo cual permite un mejor desenvolvimiento y seguridad evitando en parte riesgos en el área laboral.

Este tipo de mantenimiento surge de la necesidad de rebajar el correctivo y todo lo que representa. Se pretende reducir la reparación mediante una rutina de inspecciones periódicas y la renovación de los elementos dañados, si la segunda y tercera no se realizan, la cuarta es inevitable.

Ventajas:

- Se hace correctamente, exige un conocimiento de las máquinas y un tratamiento de los históricos que ayudará en gran medida a controlar la maquinaria e instalaciones.
- El cuidado periódico conlleva un estudio óptimo de conservación con la que es indispensable una aplicación eficaz para contribuir a un correcto sistema de calidad y a la mejora de los continuos.
- Reducción del correctivo representará una reducción de costos de producción y un aumento de la disponibilidad, esto posibilita una planificación de los trabajos del departamento de mantenimiento, así como una previsión de los recambios o medios necesarios.
- Se concreta de mutuo acuerdo el mejor momento para realizar el paro de las instalaciones con producción

Desventajas:

- Representa una inversión inicial en infraestructura y mano de obra. El desarrollo de planes de mantenimiento se debe realizar por técnicos especializados.
- Si no se hace un correcto análisis del nivel de mantenimiento preventivo, se puede sobrecargar el costo de mantenimiento sin mejoras sustanciales en la disponibilidad.
- Los trabajos rutinarios cuando se prolongan en el tiempo producen falta de motivación en el personal, por lo que se deberán crear sistemas imaginativos para convertir un trabajo repetitivo en un trabajo que genere satisfacción y compromiso, la implicación de los operarios de preventivo es indispensable para el éxito del plan.

2.2.2.1 Fases del mantenimiento preventivo

Gil (2006), en su tesis *“Diseño e implementación de un programa de mantenimiento preventivo, para el departamento de mantenimiento general de la refinería La Libertad Perenco Guatemala Limited”*, establece como fases del mantenimiento preventivo lo siguiente:

- Inventario técnico, con manuales, planos, características de cada equipo.
- Procedimientos técnicos, listados de trabajos a efectuar periódicamente.
- Control de frecuencias, indicación exacta de la fecha a efectuar el trabajo.
- Registro de reparaciones, repuestos y costos que ayuden a planificar

2.2.2.2 Pasos a seguir para el mantenimiento preventivo

Gil (2006), en su tesis *“Diseño e implementación de un programa de mantenimiento preventivo, para el departamento de mantenimiento general de la refinería La Libertad Perenco Guatemala Limited”*, también señala los pasos a seguir para el mantenimiento preventivo:

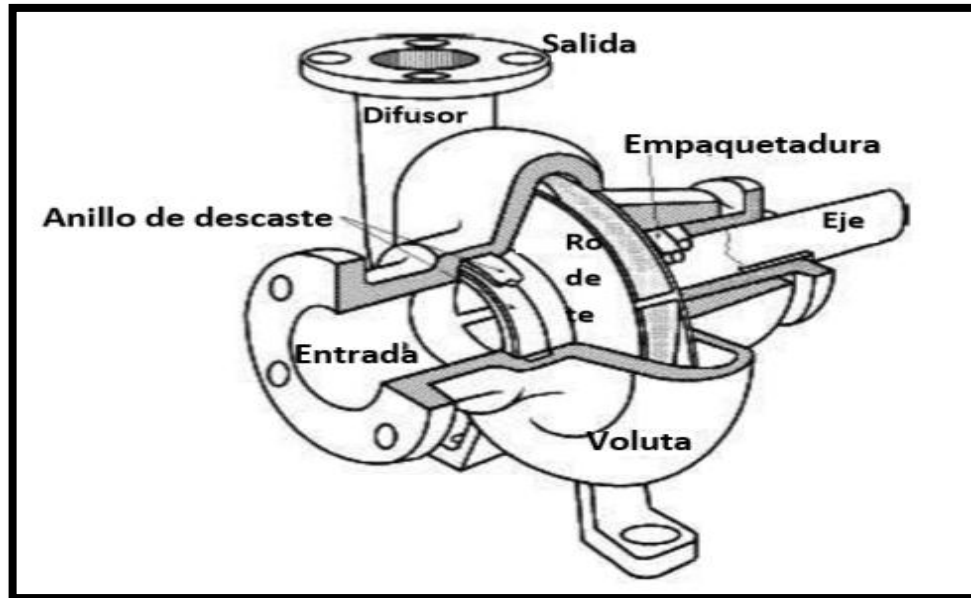
- Difusión del programa de trabajo
- Seleccionar los equipos.
- Recopilar información de los equipos seleccionados
- Análisis de la información recopilada
- Programas de mantenimiento
- Historial de equipo
- Protocolo de pruebas
- Métodos de trabajo
- Modificaciones
- Observar el funcionamiento de los equipos durante la operación
- Análisis de la información recopiladas

2.2.3 Conceptualización de la variable dependiente:

Electrobomba centrífuga

Cadena (2011). En su tesina titulada: *“Descripción y análisis de fallas presentadas en sellos mecánicos de bombas centrífugas”* describe a la electrobomba centrífuga como una máquina que consta de un conjunto de paletas rotatorias encerradas dentro de una caja comúnmente llamada carcaza. Las paletas le dan energía al líquido por medio de la fuerza centrífuga; por lo tanto, una bomba centrífuga en su forma más simple está formada por dos partes

principales: Una parte rotatoria que incluye un impulsor y una flecha y una parte estacionaria compuesta de una carcasa, estoperos y chumaceras, como se puede apreciar en la figura 1.



Fuente: Hugo Cadena. Tesis. Descripción y Análisis de Fallas Presentados en Sellos Mecánicos de Bomba Centrífuga. México 2011. 102 pp.

Figura 1. *Esquema de una bomba centrífuga*

El desarrollo obtenido en la maquina motriz (motor eléctrico, motor de combustión interna, turbina de vapor, turbina de gas) que le da movimiento a la bomba centrífuga, ha ocasionado un adelanto muy grande en los diseños, velocidades y tamaños de las bombas, así como también en su capacidad.

2.2.3.1 El mantenimiento de una electrobomba centrífuga

Henkel (2005) En su libro titulado “*Aditivos y Tecnologías SL*” Manifiesta que el mantenimiento de la electrobomba se basa en la lubricación verificación continua de sus componentes, para evitar los reemplazos de sus rodamientos, sellos, prensa estopas acoples y

componentes eléctricos. Eventualmente, puede ser necesario el reemplazo de los impulsores debido al desgaste excesivo.

Lubricación:

La lubricación en las electrobombas centrífugas se realiza mediante aceite, grasa y agua dependiendo el diseño y el caballaje de la electrobomba.

En electrobombas centrífugas de bajo caballaje (hasta 7.5 Hp) normalmente los rodamientos son libres de mantenimiento; es decir, están sellados y el fabricante coloca grasa que funcionará durante la vida útil del rodamiento.

Cuando estos rodamientos fallan se deben de cambiar.

En electrobombas centrífugas de mayor potencia pueden tener depósito de aceite en donde están montados los rodamientos que soportan al eje de la electrobomba.

Cuando se tiene una electrobomba con este mecanismo se debe verificar el nivel de aceite de manera diaria o semanal, dependiendo las horas de servicio de la electrobomba. El aceite debe de remplazar a las horas de servicio estipuladas por el fabricante por un aceite de la misma calidad. El no remplazar el aceite puede ocasionar serios daños a la electrobomba.

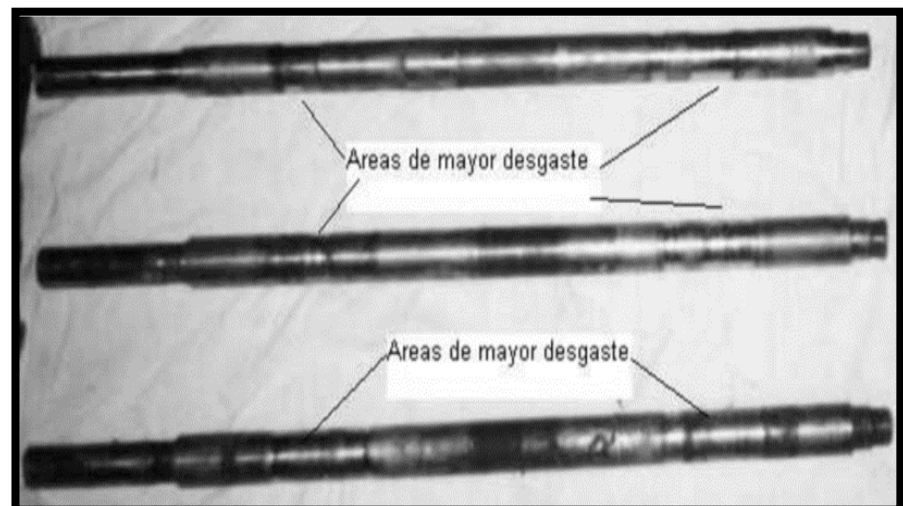
Las electrobombas que no cuentan con depósito de aceite cuentan con graseras en donde se reabastece de grasa a los rodamientos y se debe tener en cuenta no sobre llenar con grasa; ya que esto origina un calentamiento en el rodamiento que acorta su vida útil. Algunos

fabricantes de rodamientos recomiendan no lubricar el rodamiento a más de $\frac{3}{4}$ partes del espacio destinado para grasa o aceite.

El combustible es la responsable de lubricar las holguras que se encuentran entre los sellos de la carcasa y el eje del impulsor; al momento de instalar el sello se debe de verificar que exista goteo.

La lubricación que proporciona el combustible se caracteriza por un goteo continuo. La falta lubricación cuando el sello es de estopa ocasiona un desgaste excesivo del eje, por lo que al operar en estas condiciones el eje debe de ser reemplazado de manera prematura. Cuando se tiene un sello mecánico y existe una lubricación deficiente de combustible el sello tendrá una menor vida útil.

Cuando existe un desgaste excesivo (figura 2), por falta de lubricación en el eje debe de ser reemplazado, ya que esto origina que la electrobomba tenga fugas y desarrolle una potencia menor a la esperada.



Fuente: Reparación de Ejes, Guía de Mantenimiento y Reconstrucción Henkel Adhesivos y Tecnologías SL. 2005.

Figura 2. *Ejes desgastados por mala lubricación*

2.2.3.2 Tipos de electrobombas Centrífugas

Cadena (2011) se encuentra la tesina titulada: *Descripción y análisis de fallas presentadas en sellos mecánicos de bombas centrífugas*. Hace mención que la clasificación de las electrobombas centrífugas es necesario especificar sobre qué punto en especial está basada dicha clasificación, pues es posible hacer la clasificación en función de: el número de pasos, del diseño mecánico de la cubierta de la posición de la flecha, de la velocidad, del líquido bombeado, etc.; por lo tanto, pasamos a clasificar las bombas centrífugas que más se usan en la industria petrolera.

2.2.3.4 Clasificación de las electrobombas centrifugas en función del número de pasos.

- *De un paso.*

Es aquella bomba en la que la altura de elevación se alcanza con un solo impulsor.

- *De varios pasos.*

Cuando la altura de elevación no se alcanza con un solo impulsor, es necesario poner otro u otros impulsores de tal manera que la descarga del 1° sea la succión del 2°; la descarga del 2° sea la succión del 3°. Y así sucesivamente hasta alcanzar la altura deseada.

Clasificación de las bombas centrifugas en función del diseño mecánico de la cubierta.

- *Con cubierta de seccionamiento axial.*

Las electrobombas con cubierta o cuerpo de seccionamiento axial, son aquellas en las que dicho cuerpo esta seccionado a todo lo largo de la flecha.

- *Con cubierta de seccionamiento radial.*

Las electrobombas con cubierta o cuerpo de seccionamiento radial, son aquellas en las que dicho cuerpo esta seccionado radialmente a todo lo largo de la flecha.

Clasificación de las electrobombas centrifugas en función de la posición de la flecha.

- De flecha horizontal.
- De flecha vertical.

Clasificación de las electrobombas centrifugas en función del servicio.

- Bombas para agua.
- Bombas para aceite.
- Bombas para caldera.
- Bombas para extracción de condensados.
- Bombas de trasiego.
- Bombas de achique.
- Bombas para inyección de reactivos.

Clasificación de las electrobombas centrifugas en función de la altura de elevación.

- Electrobombas de baja presión.
- Electrobombas de presión media.
- Electrobombas de alta presión

2.2.3.5 Operación de las electrobombas centrífugas

En una electrobomba centrífuga, el líquido penetra al impulsor o rodete por el centro y es arrastrado por los álabes del impulsor aumentando su presión y su velocidad. En su movimiento de rotación el rodete impulsa al líquido en forma continua hacia la carcasa en tanto que una nueva cantidad de líquido penetra al rodete a través de la tubería de succión.

La mayor parte de la energía del líquido que abandona al rodete es energía cinética, por lo que en toda la electrobomba centrífuga se procura conservar esta energía para transformarla en energía de presión lo cual se logra disminuyendo la velocidad del líquido.

Para seleccionar una electrobomba centrífuga es necesario conocer: el gasto y la altura de elevación.

Altura de elevación

La carga total contra la cual debe operar una electrobomba está formada por los siguientes componentes:

Carga estática. La carga estática total de un sistema es la diferencia de nivel entre el nivel del líquido de descarga y el nivel del líquido de succión tal como se ve en la figura 3, en las que:

h_s = Carga estática de succión.

h_d = Carga estática de descarga.

h_t = Carga estática total.

Carga de fricción. La carga de fricción es la carga equivalente que es necesaria para vencer las pérdidas de fricción por el flujo del líquido a través de la tubería, válvulas, codos, etc. Esta carga varía con:

La cantidad de líquido bombeado.

El tamaño, tipo y condición de la tubería y accesorios.

El tipo de líquido bombeado.

Pérdidas de entrada y salida. Como su nombre lo indica, estas pérdidas se tienen al pasar el líquido del depósito que lo contiene a la tubería de succión de la electrobomba y de la tubería de descarga de la electrobomba al depósito de descarga. La magnitud de estas pérdidas depende del diseño de la entrada y salida del líquido siendo menores cuando en la entrada se tiene una boca acampanada y en la descarga un cono largo. Estas pérdidas algunas veces son consideradas como parte de las pérdidas de fricción de la tubería de succión y descarga; sin embargo, es preferible considerarlas separadas para no pasarlas por alto y poder ver claramente si una o ambas pérdidas son excesivas.

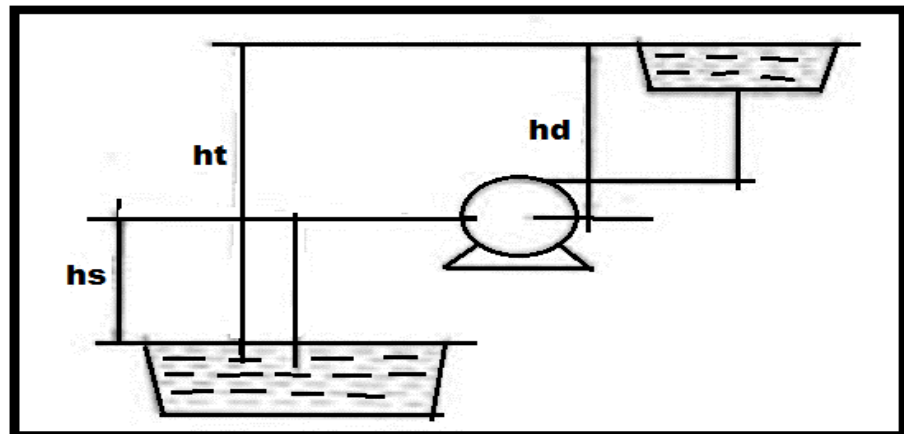
Elevación correspondiente a la velocidad. La elevación correspondiente a la velocidad es la energía cinética o de movimiento en un líquido en cualquier punto y se puede calcular por medio de la siguiente igualdad (ver figura 3):

$$h_t = V^2 / 2g \dots\dots\dots(1)$$

h_t : Elevación correspondiente a la velocidad y cuya unidad es el metro.

V : La velocidad en m/seg.

g : Aceleración debida a la gravedad e igual a 9.81 m/seg².



Fuente: Hugo Cadena. Tesis. Descripción y Análisis de Fallas Presentados en Sellos Mecánicos de Bomba Centrífuga. México 2011. 102 pp.

Figura 3. *Altura de elevación*

2.2.3.6 Funcionamiento de las cubiertas

El impulsor de una electrobomba centrífuga descarga líquida a una velocidad que dependerá del impulsor y generalmente es una velocidad alta. El objeto de la cubierta de la bomba es reducir esta velocidad y convertir la energía cinética en energía de presión ya sea por medio de una voluta o un conjunto de alabes difusores.

Las bombas de voluta reciben este nombre debido a la forma al envolver al impulsor.

Una bomba del tipo difusor se ilustra en la figura 4, y en ella se puede observar que tiene la ventaja de balancear las reacciones radiales en el rotor, cosa que no sucede en las electrobombas de voluta sencilla; sin embargo, cuando la electrobomba no trabaja a plena capacidad, el líquido en movimiento choca con los alabes fijos del difusor, ya que no corresponden al ángulo de los alabes y el ángulo por el cual sale el líquido del impulsor, lo que produce turbulencias que reducen la altura total de elevación generada.



Fuente: Copyright 2007, Autores y Colaboradores. Cite/attribute Resource

Figura 4. *Bomba tipo difusor*

Cubiertas divididas.

Una cubierta dividida es la que está hecha de dos o más partes, y podemos tener: cubierta dividida axialmente y cubierta dividida radialmente.

Cubierta dividida axialmente:

Si las cubiertas divididas axialmente se sujetan a altas presiones, tienden a “soplar” por la junta de la división, lo que provoca escurrimientos; esto es posible evitarlo disminuyendo el espesor del empaque a medida que la presión aumenta y reforzando con costillas interiores y exteriores a la cubierta, así como también aumentando el diámetro y número de los tornillos que sujetan a las tapas entre sí. Este tipo de cubiertas se usa para presiones máximas de $112/\text{kg}/\text{cm}^2$ basadas en una operación de 3600 r.p.m.

Estas cubiertas divididas axialmente deberán de tener unas guías cónicas para poder armarlas con precisión después de haberlas abierto.

Cubiertas divididas radialmente:

Las cubiertas divididas radialmente se usan desde hace muchos años en bombas de varios pasos y se conocen con el nombre de “cubierta de anillos” o tipo “dona” y en ellas dos o más impulsores se metían dentro de un cuerpo en cuyo interior estaban colocados los alabes del difusor y los conductos del líquido para pasar del primer impulsor al segundo, tercero, etc.

En diseños posteriores, las secciones de cada uno de los pasos, así como también las secciones de succión y descarga se mantenían unidas por medio de largos pernos que los atravesaban. En estas bombas se tiene problemas en el desarmado y armado ya que las secciones de succión y descarga tienen que abrirlas cada vez que se repara la bomba. Para resolver este problema se diseñó una bomba de doble cubierta, la cual mantuvo las ventajas del diseño de cubierta radialmente dividida y resolvió el problema de desarmarlas.

El principio básico de este diseño consiste en encerrar las partes móviles de una bomba centrífuga de varios pasos en una cubierta interior y construir una segunda cubierta alrededor de ella. El espacio entre las dos cubiertas se mantiene a la presión de descarga del último paso de la bomba.

El diseño de la cubierta interior puede ser axialmente dividida o radialmente dividida. Para evitar el escurrimiento, si la cubierta esta axialmente dividida, esta se encuentra encerrada en un barril sólido de

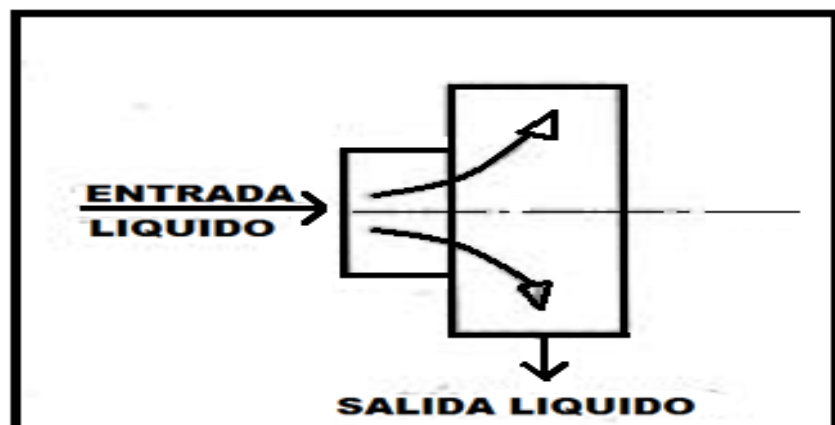
acero fundido o forjado en el que la presión del líquido es mayor que la presión interna promedio en la electrobomba, lo que hace que la cubierta interior esté sujeta a compresión y la unión axial permanezca apretada.

La electrobomba de doble cubierta, con la interior radialmente dividida, es una electrobomba con cubierta de anillos, la que después de armada se coloca dentro de una cubierta de forma cilíndrica de acero forjado, en la que la succión y descarga forman una sola unidad con dicha cubierta y el conjunto interior de la electrobomba se puede sacar sin tener que desembridarla de la tubería. Tiene la ventaja de tener todas las juntas de alta presión y entre pasos del tipo de anillo que es el que más fácilmente se mantiene apretado bajo altas presiones.

Impulsor:

El impulsor es la parte vital de una electrobomba centrífuga pues hace girar la masa del líquido con la velocidad periférica de los extremos de los alabes determinando así la presión de trabajo de la electrobomba. En función de la entrada del líquido al impulsor, este se divide en:

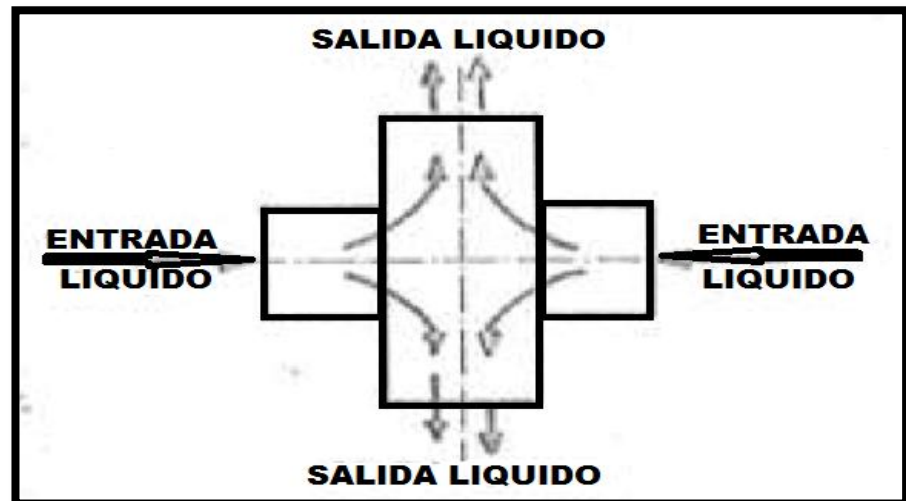
Simple succión. El líquido ingresa por un solo lado del impulsor se muestra en la figura 5.



Fuente: Copyright 2007, Autores y Colaboradores. Cite/attribute Resource.

Figura 5. Flujo en impulsor de simple succión

Doble succión. El líquido entra por dos lados o lo que es lo mismo son dos impulsores de una sola succión colocados uno contra el otro como se ve en figura 6.



Fuente: Copyright 2007, Autores y Colaboradores. Cite/attribute Resource.

Figura 6. *Flujo en impulsor de doble succión*

Para una electrobomba de un solo paso con cubierta axialmente dividida se prefiere un impulsor de doble succión ya que teóricamente se encontrará balanceado evitando la necesidad de utilizar un cojinete de carga axial.

Para electrobombas pequeñas con cubierta radialmente dividida, se prefiere un impulsor de una succión por ser más fácil de fabricar ya que es demasiado angosto y sería problemático, en un espacio tan pequeño, hacer dos entradas de líquido.

En función del diseño mecánico, los impulsores se dividen en: Abiertos, Semi-Abiertos y Cerrados.

Un impulsor abierto es aquel que consta únicamente de los alabes que están sujetos a un cubo central que sirve para montar en la flecha.

Un impulsor semi-abierto es aquel que además de los álabes tiene una pared, por un lado, lo que le da mayor resistencia.

El impulsor cerrado es aquel que consta de paredes laterales que encierran totalmente a los álabes, desde el ojo de la succión hasta la periferia. (Ver figura 7).



Fuente: Copyright 2007, Autores y Colaboradores. Cite/attribute Resource.

Figura 7. *Diferentes tipos de impulsores*

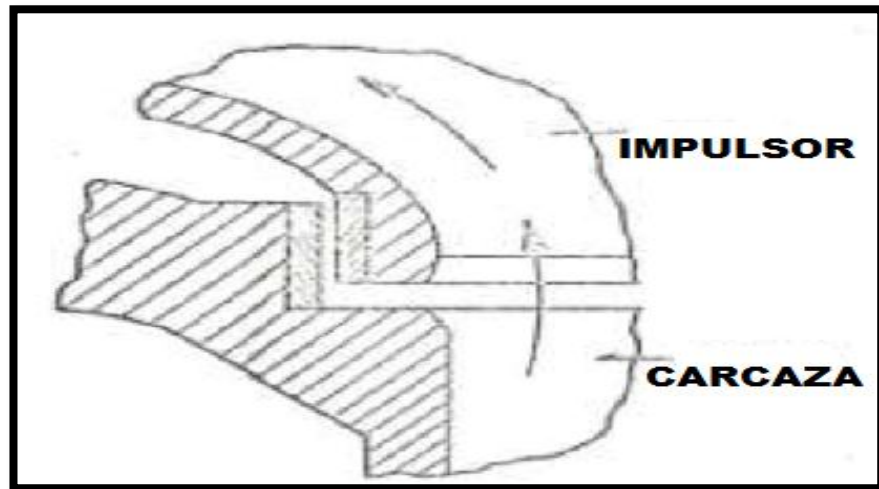
2.2.3.7 Anillos de desgaste

Los anillos de desgaste son una junta de escape entre el impulsor y la cubierta; dependiendo de la parte en que se encuentra instalado el anillo de desgaste se denominará: anillo de desgaste de la caja, carcasa o cubierta y anillo de desgaste del impulsor.

En las bombas, se puede tener anillos de desgaste de la caja, anillos de desgaste del impulsor o ambos anillos de desgaste.

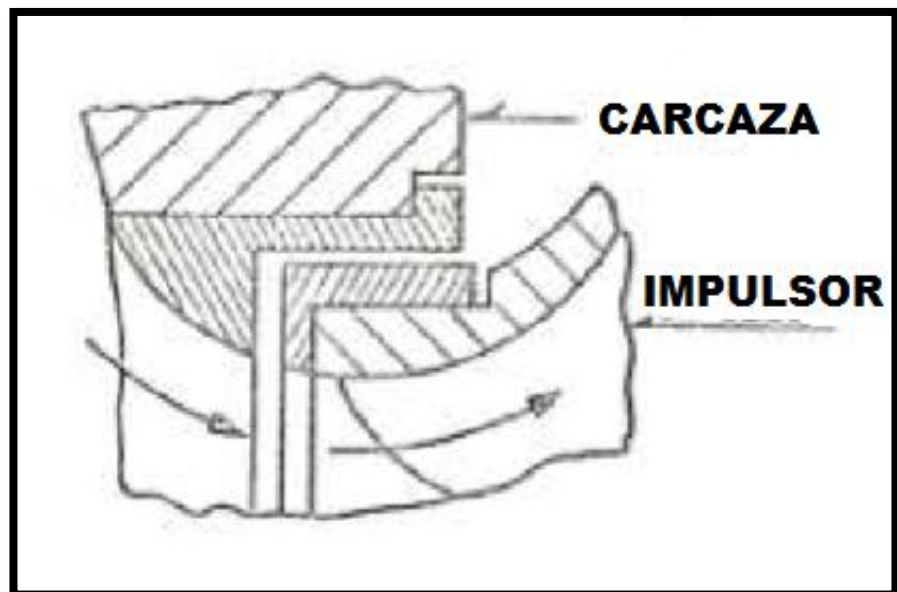
Existen varios diseños para los anillos de desgaste y la selección del tipo más apropiado dependerá del líquido por manejar, la diferencia de presiones entre la junta de escurrimientos y el diseño de cada electrobomba. Los anillos de desgaste más comúnmente usados son los

del tipo plano y los del tipo “L” ilustrados en la figura 8 y 9 respectivamente.



Fuente: Manuel Viejo Zubitacay; Javier Álvarez Fernández electrobombas, teoría, Diseño y aplicaciones. 3ra. Edición, 2003.

Figura 8. Anillos tipo plano



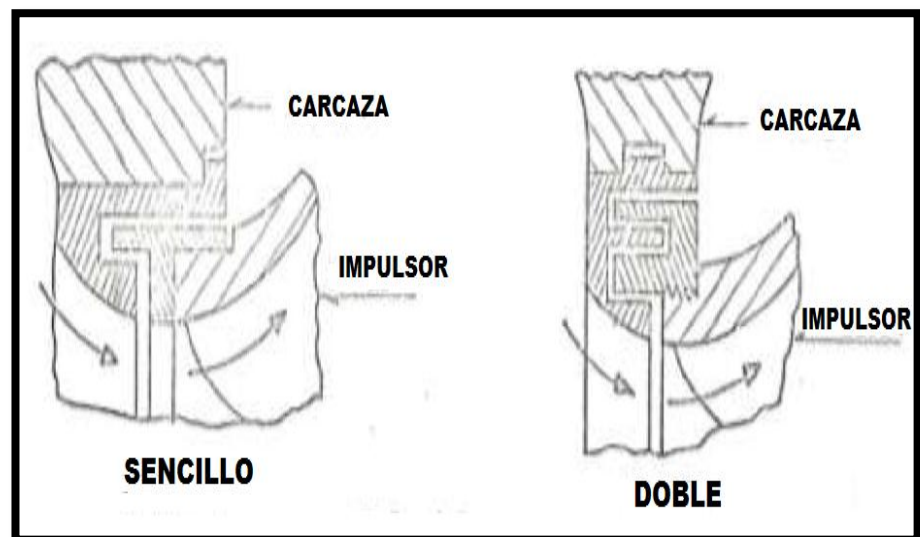
Fuente: Manuel Viejo Zubitacay; Javier Álvarez Fernández electrobombas, teoría, Diseño y aplicaciones. 3ra. Edición, 2003.

Figura 9. Anillos tipo “l”

Existen otros tipos de anillos de fricción cuyo uso es menos frecuente; ellos son los anillos del tipo de laberinto o también llamados

anillos de interferencia y los anillos de escalón, los cuales se encuentran representados en la figura 10.

La tolerancia o espacio libre entre anillos normalmente viene dado por el fabricante de la bomba, ya que dependerán del material de que están hechos los anillos del líquido manejado, la temperatura y la viscosidad del líquido. Sin embargo, podemos generalizar diciendo que el diámetro interior del anillo de rozamiento de la caja es igual al diámetro exterior del anillo del impulsor más 0.002 “por cada pulgada de diámetro.



Fuente: Manuel Viejo Zubitacay; Javier Álvarez Fernández. Bombas, teoría, Diseño y aplicaciones. 3ra. Edición, 2003.

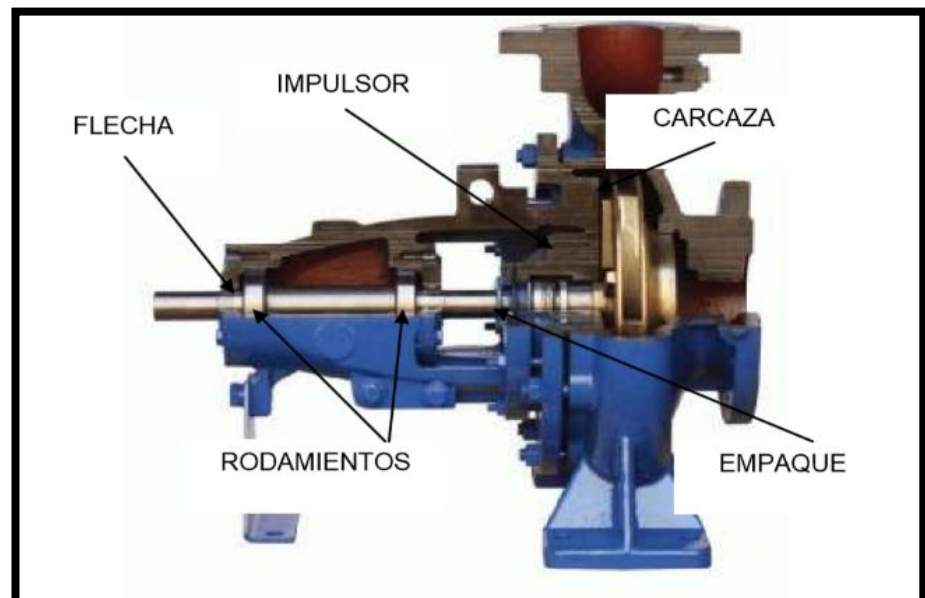
Figura 10. *Anillos de desgaste en laberinto*

Esto quiere decir que si el diámetro exterior del anillo rozante del impulsor es de 3” deben dar 3.006” de diámetro interior al anillo de la caja; si el diámetro exterior es de 4” el diámetro interior debe ser de 4,008” si el diámetro exterior es de 5”, el diámetro interior debe ser de 5,010” y así sucesivamente.

Flechas:

La función básica de la flecha (ver Figura 11), de una electrobomba centrífuga es transmitir los movimientos que se presentan al arrancar y durante la operación mientras sostiene al impulsor y a todas sus partes giratorias de la misma. Las fuerzas que actúan sobre las flechas son:

- La torsión debida al movimiento que le proporciona la maquina motriz.
- El peso de las partes que van unidas a la flecha.
- Las fuerzas hidráulicas tanto radiales como axiales.



Fuente: Ranald V. Giles; Jack B. Evett, Ph. D. Cheng Liu. Mecánica de los fluidos e hidráulica. 3ra. Edición, 2003.

Figura 11. Flecha de la electrobomba centrífuga

Todas estas fuerzas deben de tomarse en cuenta para el diseño de una flecha, ya que la deformación de la flecha siempre debe ser menor al espacio libre más pequeño que haya entre las partes giratorias y las estacionarias.

La mayoría de las flechas, se protegen contra la erosión, corrosión y desgaste por medio de mangas conocidas también con el nombre de lainas.

Como al meter estas mangas en flechas de electrobombas pequeñas se tienen varios problemas (entre los que destacan los de espacio insuficiente) en este tipo de unidades se utilizan flechas de un material resistente a la corrosión y al desgaste, tal como el acero inoxidable.

2.2.3.8 Mangas en las flechas (lainas)

La función más común de una manga de flecha es proteger a la flecha del desgaste producido por el empaque o en el sello mecánico. Es por esto que las mangas de flecha que tienen otras funciones reciben nombres específicos para indicar un propósito. Así, por ejemplo, una manga de flecha usada entre dos impulsores de una electrobomba de varios pasos, (junto con el casquillo o chumacera) para formar una junta de escurrimiento entre los pasos se llamará manga de entrepasos o manga reparadoras.

Existen varias maneras de fijar las mangas exteriores en las bombas centrífugas y son:

- Con tuerca en la flecha que aprisiona la manga. Se evita la rotación de la manga con cuña que generalmente es prolongación de la cuña del impulsor (contacto directo de impulsor y manga).
- En forma similar a la anterior, solo que entre el impulsor y la manga existe una tuerca que oprime al impulsor, por lo que la cuña de la manga será una cuña independiente y la manga estará en contacto con la tuerca del impulsor.

- Manga con rosca interior. La rosca interior de esta manga, está hecha de tal manera que, al rodar la electrobomba, la manga tendera a apretarse. Esta manga se enrosca en una cuerda que está hecha en la flecha.
- Manga con rosca exterior. Para fijar esta manga es necesario tener una tuerca fija en la flecha. Lo cual se hace por medio de un perno remachado que atraviesan tanto la tuerca como la flecha.

Con objeto de evitar el escurrimiento del líquido entre una manga exterior y la flecha es necesario colocar un empaque generalmente hecho de hule, teflón o aluminio.

Los materiales de que están hechas las mangas de flecha deben de admitir un acabado muy fino, de preferencia un pulimento de espejo, porque en caso contrario, al estar en contacto con el empaque generara una gran fricción y aumento de temperatura.

Generalmente se hacen mangas de bronce duro, acero al cromo o aceros inoxidable, pero tratándose de condiciones muy severas, las mangas llevan un tratamiento de endurecimiento en el exterior.

2.2.3.9 Estoperos o cajas de empaque

Los estoperos o cajas de empaque, tienen la función principal de proteger la electrobomba contra escurrimiento los puntos en que la flecha atraviesa la cubierta, cuando se trata de electrobombas cuya presión es superior a la atmosférica; y si la presión en el interior del sello mecánico es inferior a la atmosférica; evita la entrada de aire a la electrobomba centrífuga, tal como sucede en una bomba de vacío.

El sello mecánico es un hueco cilíndrico en cuyo interior se alojan varios anillos de empaque que van alrededor de la manga. Cuando el sello mecánico tiene un sello de líquido se utiliza un anillo perforado conocido con el nombre de “farol o jaula” que separa los anillos del empaque. Este empaque se comprime para dar el ajuste deseado por medio de una prensa estopas.

El fondo del sello mecánico puede formarlo la misma cubierta, un buje al fondo o un anillo conocido como “asiento del empaque” y están fabricados de una sola pieza y detenidos por medio de una junta amachimbrada que evita que gire.

El farol se usa en electrobombas que manejan líquidos inflamables o químicamente activos y peligrosos, ya que evita que el líquido bombeado salga al exterior.

Generalmente viene seccionado en dos mitades para facilitar su instalación. Algunas veces este farol es utilizado para introducir un lubricante que evitara el desgaste de la manga.

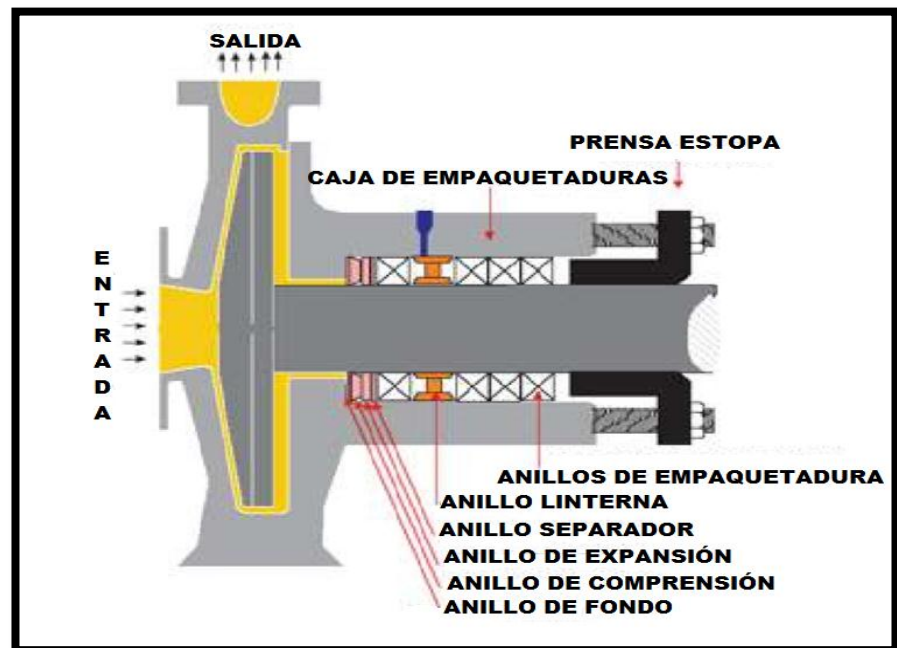
Con objeto de eliminar el calor generado por la fricción del empaque con la manga y obtener una vida más prolongada del empaque, las electrobombas tienen chaquetas de agua en los estoperos.

Existen empaques de distinto material cada uno de ellos se adapta a determinado servicio. Las más comúnmente usadas son: Empaque de asbesto y Empaque metálico.

El asbesto es el material de empaque más común, para servicio general en presiones inferiores de 14 kg/cm². La empaquetadura de asbesto este pre lubricada con grafito o un lubricante inerte.

La empaquetadura metálica está formada de cordones metálicos o lámina delgada alrededor de un alma de asbesto o plástico y está impregnada de un lubricante o grafito. Las láminas pueden ser de babbitt, aluminio o cobre.

Muchos otros tipos de empaquetadura se suministran de acuerdo con especificaciones del cliente, por ejemplo, empaquetadura de cáñamo en cuerda o trenza encebado o grafitado, empaquetaduras de teflón y otras muchas características con aplicaciones que vienen dadas en los catálogos de los fabricantes de los mismos (ver ubicación la Figura 12).



Fuente: Ranald V. Giles; Jack B. Evett, Ph. D. Cheng Liu. Mecánica de los fluidos e hidráulica. 3ra. Edición, 2003.

Figura 12. *Caja de empaque de electrobomba centrífuga*

Las empaquetaduras se suministran en forma de rollo continuo, en forma de espiral o en anillos preformados. Cuando se usa empaquetadura en forma de espiral o rollo continuo es necesario cortar los anillos un poco más chicos dejando un espacio libre entre los extremos, el cual es

llenado al momento de la expansión. El corte que se hace en estos anillos debe ser diagonal.

De ser posible, deben usarse anillos ya preformados que se meten al tamaño exacto y por juegos; con ellos se asegura un ajuste perfecto a la manga y a la caja de empaque, obteniéndose igual cantidad de empaque a todo lo largo del sello mecánico. Algunos juegos se suministran con dos o más diferentes clases de empaque, por ejemplo, alternando anillos suaves y duros.

Prensa – Estopas.

La función de la prensa–estopas, es apretar el empaque para hacer que selle tanto en la caja de empaques como en la manga.

La prensa–estopas pueden tener varias formas y se encuentran: Prensa – estopas sólidas y Prensa – estopas divididos.

Las prensa - estopas divididos están hechos en mitades de tal manera que se puede sacar de la flecha sin desmantelar la bomba, lo que proporciona un espacio mayor cuando se trata de reempacar. Las dos mitades se mantienen juntas con tornillos.

Cuando el líquido bombeado es un líquido inflamable, generalmente se utiliza una prensa – estopas conocido con el nombre de “sofocante” el cual consta de una cámara en la que se introduce agua que se mezcla íntimamente con el escurrimiento que tiene la caja de empaques, bajando su temperatura si el líquido es volátil, absorbiéndolo.

Generalmente los prensa – estopas se hacen de bronce, aunque también las hay de hierro colado o acero recubiertos con bronce.

2.2.3.9 Sellos Mecánicos

Al estudiar los estoperos o cajas de empaques, dijimos que los sellos en la manga y en la caja de empaque se obtiene por medio de anillos de empaques forzados entre las dos superficies y sostenidos por una prensa – estopas. También se vio que, para reducir el escurrimiento, bastara con aumentar la presión de la prensa – estopa, pero que era conveniente no suprimir en su totalidad el escurrimiento. Sin embargo, después de haber apretado el empaque hasta un punto determinado, el escurrimiento continúa sin importar que se apriete aún más. Este apriete, causa mayor fricción; el calor generado no se elimina tan rápidamente como se produce y el sello mecánico deja de funcionar. Aun antes de que se llegue a esta condición las mangas pueden rayarse que es imposible volver a empaclar si no se cambian dichas mangas.

Por este motivo, cuando se trata de evitar totalmente el escurrimiento por estar manejando un líquido inflamable, o se tengan presiones demasiado altas sencillamente que el líquido manejado actué como solvente de los lubricantes normalmente utilizados para lubricar la empaquetadura no es conveniente tener este tipo de sello totalmente y que en la actualidad se conoce como “Sello Mecánico”.

Aunque los sellos mecánicos pueden variar en su construcción según el fabricante, todos ellos están basados en el mismo principio: “todas las superficies que hacen el sello” se encuentran localizadas en un plano perpendicular a la flecha y constan de dos superficies pulidas a espejo una de las cuales gira junto con la flecha deslizando sobre la otra que es estacionaria”.

Las superficies que hace el sello son materiales distintos y se mantienen en contacto debido a la presión que ejercen uno o varios resortes; debe haber una película de líquido entre las dos superficies que les proporcionaran lubricación y enfriamiento, al mismo tiempo que reduce el desgaste.

Los sellos mecánicos no deben usarse en maquinaria que maneje aire o gas (por ejemplo, en sopladores o turbinas) ya que si trabajan “secos fallaran rápidamente.

Sin embargo, es posible utilizar este tipo de sello, en bombas que manejen líquidos que contienen sólidos en suspensión, Siempre y cuando estos se retengan para evitar que penetren entre las caras en contacto o vayan a obstruir el funcionamiento del resorte.

En la Figura 13 se muestran los diferentes tipos de sellos mecánicos.



Fuente: Ranald V. Giles; Jack B. Evett, Ph. D. Cheng Liu. Mecánica de los fluidos e hidráulica.3ra. Edición, 2003.

Figura 13. *Diferentes tipos de sellos mecánicos*

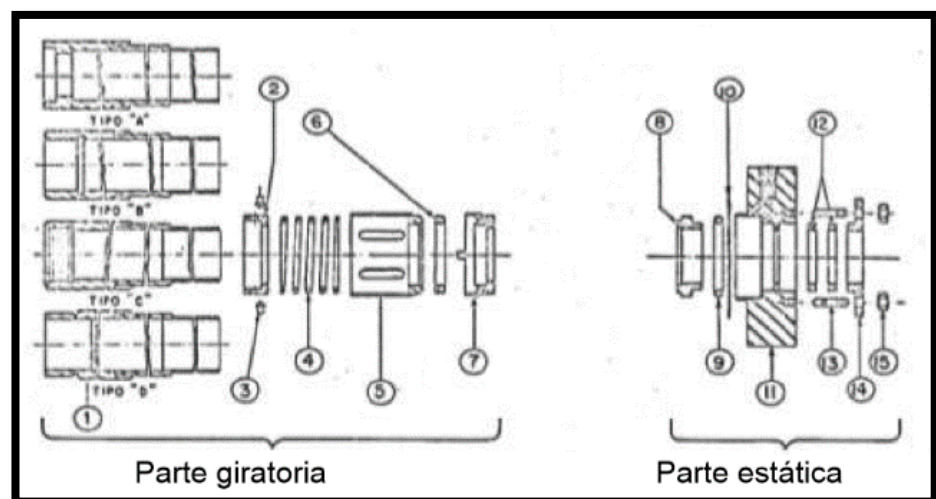
En un sello mecánico existen tres partes en donde debe existir un buen sello, de lo contrario, este sello mecánico no trabaja como tal y dejara salir líquido, estas partes son:

- Entre el elemento estacionario y la cubierta.
- Entre el elemento giratorio y la flecha o la manga de la flecha.
- Entre las caras giratorias y estáticas.

Para obtener el primer sello se usan anillos en forma de “U” de un material capaz de absorber y tomar todos los desperfectos de la superficie por sellar, por lo que generalmente son de hule, teflón o cualquier otro material similar. Para obtener el segundo sello, se usan anillo de hule fuelles de hule o empaques metálicos que generalmente son de aluminio.

Finalmente, el tercer sello se obtiene con un buen pulimento y apriete entre las caras en contacto que generalmente son de acero endurecido y carbón, acero endurecido y porcelana o bronce endurecido y porcelana.

Las partes de que consta un sello mecánico son: (Ver figura 14).



Fuente: Ranald V. Giles; Jack B. Evett, Ph. D. Cheng Liu. Mecánica de los fluidos e hidráulica. 3ra. Edición, 2003.

Figura 14. Sello mecánico tipo “U”.

Descripción de cada componente del sello mecánico, (ver figura 15).

Nº	DESCRIPCIÓN	Nº	DESCRIPCIÓN
1	Manga o lina.	2	Asiento del resorte.
3	Pernos.	4	Resorte.
5	Caja del resorte.	6	Empaque en “u”.
7	Caja giratoria.	8	Cara estacionaria (carbón).
9	Empaque del carbón.	10	Empaque de la brida.
11	Brida del sello.	12	Empaque auxiliar
13	Tornillo de la prensa estopas	14	Prensa estopas auxiliar
15	Tuercas de la prensa estopas		

Fuente: Ranald V. Giles; Jack B. Evett, Ph. D. Cheng Liu. Mecánica de los fluidos e hidráulica. 3ra. Edición, 2003.

Figura 15. *Detalla la descripción de cada componente del sello mecánico.*

2.2.3.10 Cojinetes

La función de los cojinetes en las electrobombas es mantener el rotor en correcto alineamiento con las partes estacionarias. Los cojinetes que le dan colocación radial al rotor se conocen con el nombre de cojinetes radiales o de alineación y los que fijan al rotor axialmente se les conoce con el nombre cojinetes axiales, de empuje o de aguante.

En las electrobombas horizontales, con cojinetes a cada lado, estos se designan por la colocación y tenemos: Cojinetes interiores o de lado cople. (L.C) y Cojinetes exteriores o del lado opuesto al cople. (L.O.C).

Este tipo de electrobombas generalmente el cojinete de aguanta va colocado del lado opuesto al cople (L.O.C) y el cojinete radial se coloca en el lado cople (L.C). Tratándose de bombas verticales se sigue la misma nomenclatura.

Los cojinetes están montados en una caja que se fija a la carcasa o formando parte de ella; esta caja además de soportar los cojinetes se utiliza para contener el aceite lubricante.

Al girar la flecha sobre el cojinete, se genera calor, el cual es disipado por radiación, por enfriamiento a través de un enfriado o por medio de una chaqueta de agua de enfriamiento colocada dentro de la misma caja del cojinete.

Los cojinetes pueden ser rígidos o autoalineables; estos últimos son aquellos que como su nombre lo indica, automáticamente se ajustan a un cambio en la posición de la flecha. En cojinetes de babbitt (conocidos con el nombre de chumaceras), el nombre de autoalineables se aplica a aquellos que tienen ajuste esférico en la caja. En cojinetes resistentes a la fricción (comúnmente conocidos con el nombre de baleros), los autoalineables son aquellos cuya pista exterior esta maquinada interiormente en forma esférica, permitiendo que la pista interior se mueva libremente.

Existe otro tipo dentro de los mismos baleros autoalineables en los que la pista exterior esta maquinada para que al entrar en la caja tenga un ajuste esférico.

Principios básicos de los cojinetes.

Como el coeficiente de fricción de rodamiento es menor que el coeficiente de fricción de deslizamiento, no es posible considerar un balero en la misma forma que una chumacera. En el balero, la carga se lleva en un punto de contacto de la bola con la pista, sin rozamiento o deslizamiento, sino que lo hace por rodamientos sobre la pista y además

el punto de contacto está cambiando constantemente por lo que el calor generado no es una cantidad apreciable. En la chumacera, hay un rozamiento constante de una superficie sobre otra y la fricción debe de reducirse por medio de un lubricante, ya que, de lo contrario, el calor generado aumentara hasta el grado de hacer que la chumacera quede inservible.

Cojinetes resistentes a la fricción (Baleros).

Teóricamente los baleros operados a una velocidad constante, no requieren lubricación. Sin embargo, no existe una velocidad absolutamente constante y cada variación por muy pequeña que sea, hace que las bolas de un balero se atrasen o adelanten en la pista causando un deslizamiento casi inapreciable pero existente. Además, debido a la carga que soporta los baleros, las bolas sufren una ligera deformación modificando su asiento de un punto a una pequeña superficie que ocasiona deslizamiento.

Es por esto que a los baleros hay que darle lubricación, los baleros de aguante se construyen para resistir cargas por puro movimiento rodante en un contacto angular. Como esta carga axial se repartirá en partes iguales, en cada una de las bolas, por lo que el espacio entre ellas debe de ser y permanecer exactamente igual; esto se logrará por medio de una jaula de reten o puente, la cual no recibe carga, pero al contacto entre ella y la bola produce fricción de deslizamiento generando calor. Esta es la razón por la que los baleros de empuje siempre están de una caja con chaqueta de agua.

Los baleros más comúnmente usados en bombas centrifugas son:

Rígidos de una o dos hileras de bolas. Que tienen gargantas profundas sin orificio para la entrada de las bolas. Debido a la profundidad de las gargantas, al tamaño de las bolas y al íntimo contacto entre bolas y gargantas, este tipo de rodamiento tiene gran capacidad de carga incluso en sentido axial; por consiguiente, este balero es muy adecuado para resistir cargas en todas direcciones. Su diseño le permite soportar un empuje axial considerable, aun funcionando a altas velocidades.

Doble hilera autoalineable. La bola tiene un camino esférico común en la pista exterior que lo hace auto – alineables por lo que resulta insensible a ligeras fallas de alineación en la flecha originadas por errores en la cimentación, montaje de los baleros, torceduras de la flecha, etc. Por el mismo motivo, el rodamiento no puede ocasionar flexiones en la flecha, lo cual es de gran importancia en bombas que requieren alta velocidad.

De contacto angular con una sola hilera de bolas. En el cual la presión ejercida por las bolas está dirigida en ángulo agudo con respecto al eje. Como consecuencia de esta disposición, el rodamiento es especialmente apropiado para resistir gran carga axial, debiendo montarse el mismo en contra posición con otro rodamiento que pueda recibir la carga axial existente en sentido contrario.

En la Figura 16, se muestran rodamientos rígidos de una sola hilera de bolas.



Fuente: Giles, Evett, Liu. Mecánica de los fluidos e hidráulica

Figura 16. *Rodamientos rígidos de una hilera de bolas*

Lubricación de baleros.

La mayoría de las electrobombas centrífugas para servicio en una refinería, se surten con cojinetes lubricados con aceite; sin embargo, en las bombas para uso marino, la preferencia es por bombas lubricadas por grasa.

En los baleros lubricados por grasa, la grasa empacada dentro del balero, es arrojada hacia afuera por el movimiento de rotación de las bolas creando una ligera succión en el carril interior. La grasa expulsada se enfría por el contacto con la caja y así es llevada nuevamente al carril interior formándose una corriente continua de grasa para lubricar y enfriar el balero. Este método de lubricación requiere mínima atención y ha probado ser muy satisfactorio.

Como las cajas de baleros en las electrobombas verticales requieren sellos para evitar el escape del lubricante generalmente se prefiere la grasa, porque disminuye la velocidad de escurrimiento.

Un balero completamente lleno de grasa evita la circulación apropiada en sí mismo y en su caja. Por lo tanto, se recomienda dejar un espacio vacío en la caja. Una cantidad excesiva de grasa hace que se caliente el balero y la grasa fluirá hacia afuera para aliviar la situación; a menos que el exceso de grasa pueda escapar el balero fallara muy pronto.

Los baleros lubricados con aceite, requieren un método adecuado para mantener un nivel apropiado en la caja. Este nivel debe estar cerca del centro la bola más baja, cuando la unidad esta parada. Algunas veces se utilizan anillos lubricadores para abastecer de aceite a los baleros desde el depósito en la caja, otras veces se utilizan aceiteras de nivel constante y otras veces los dos sistemas.

Cojinete de manga (chumacera).

Aunque los cojinetes sencillos de chumacera cilíndrica o de manga han sido substituidos por baleros, en la mayoría de los diseños de las bombas todavía tiene un gran campo de aplicación; algunas razones por las que se siguen usando son: su economía de construcción; en trabajo pesado con diámetro de flechas de tales proporciones no consideradas fácilmente baleros de esa medida; en bombas verticales sumergidas en el que el cojinete está en contacto con el combustible etc.

La mayor parte de las chumaceras se lubrican con aceite y el material de que están hechas pueden variar; sin embargo, las chumaceras de babbitt son las preferidas para el servicio de trabajo pesado. La chumacera consta de una capa de babbitt de 3,175 milímetros de espesor o más que está anclada en la concha de la chumacera (que es de fierro

fundido) por medio de ranuras de cola de pato. Para asegurar una adherencia perfecta, las conchas primeramente se estañan y posteriormente se vacía el babbitt a la temperatura de fusión del estaño.

Raras veces se usan chumaceras en bombas horizontales como impulsor volante; más bien se usan en aquellas diseñadas con cojines en ambos extremos. Para este tipo de bombas puede haber los siguientes arreglos de las chumaceras:

- Chumacera radial en un extremo, y chumacera radial axial en el otro.
- Dos chumaceras radiales, uno en cada extremo y un balero de carga axial en uno de los extremos.
- Dos chumaceras radiales con bordes o caras en los extremos actuando en combinaciones con topes.

La lubricación en las chumaceras puede ser de dos tipos: Por medio de anillo y Forzada por medio de la bomba.

En una chumacera lubricada por el sistema del anillo, el anillo corre sobre la flecha en una ranura cortada en la parte central de la mitad superior de la chumacera y al hacerlo levanta aceite que deposita en la caja de la chumacera. El aceite se separa en la parte superior de la flecha de la bomba, fluye entre el claro de la chumacera y la flecha se descarga en los extremos de la chumacera. Este sistema de lubricación es satisfactorio solamente velocidades de operación relativamente bajas.

La circulación forzada por medio de bomba puede ser ejecutada con una bomba de engrane, conectada directamente al extremo exterior de la flecha de la bomba, por medio de un acoplamiento flexible. La bomba toma el aceite de la caja de la chumacera o de un depósito independiente

y lo descarga a presión a través de un enfriador. Del enfriador al aceite fluye a las chumaceras y por gravedad regresa al depósito cerrando así el circuito.

2.2.3.11 Acoplamientos

Las bombas centrífugas están conectadas al motor eléctrico por medio de acoplamiento, excepto las bombas conectada en forma compacta en la que la flecha de la máquina motriz y de la bomba es la misma.

Los acoplamientos pueden ser: Rígidos y Flexibles, como se pueden apreciar en la Figura 17.



Fuente: <http://www.ferromaq.com.ar/>.

Figura 17. *Diferentes tipos de acoplamientos.*

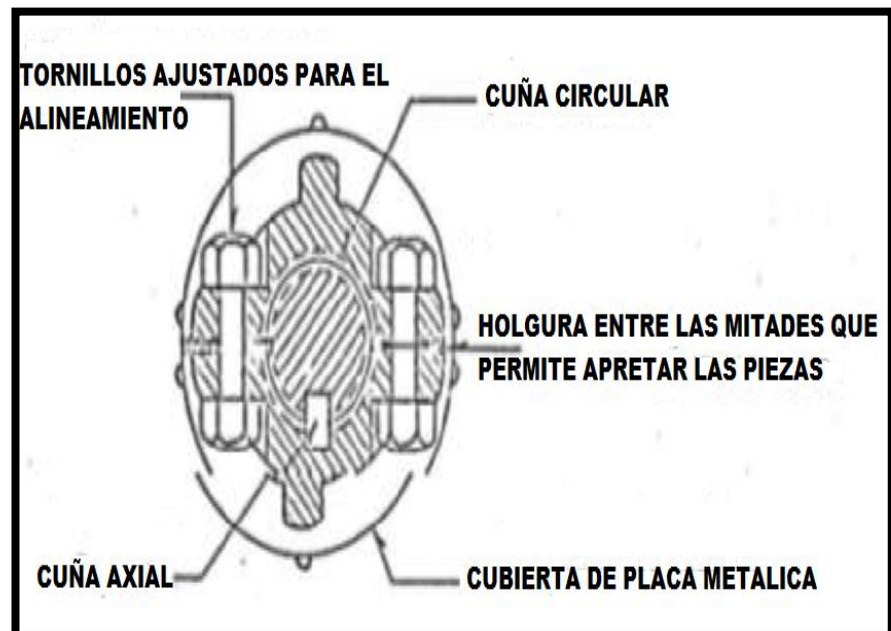
Acoplamientos rígidos.

Un acoplamiento que no permite movimiento axial o radial entre las flechas de la bomba y la maquina motriz se llama acoplamiento rígido. Conecta las dos flechas sólidamente y en efecto las convierte en una sola

flecha. Este tipo de acoplamiento es usado principalmente en bombas verticales.

De abrazaderas.

Que consiste básicamente en una manga dividida provista de tornillos, de manera que pueda presentarse en los extremos adjuntos de las dos flechas y formar una conexión sólida. Generalmente se incorporan cuñas axiales y circulares en el acoplamiento de abrazaderas para que la transmisión del torque y del empuje no se haga solamente dependiendo de la fricción de la sujeción, (figura 18).



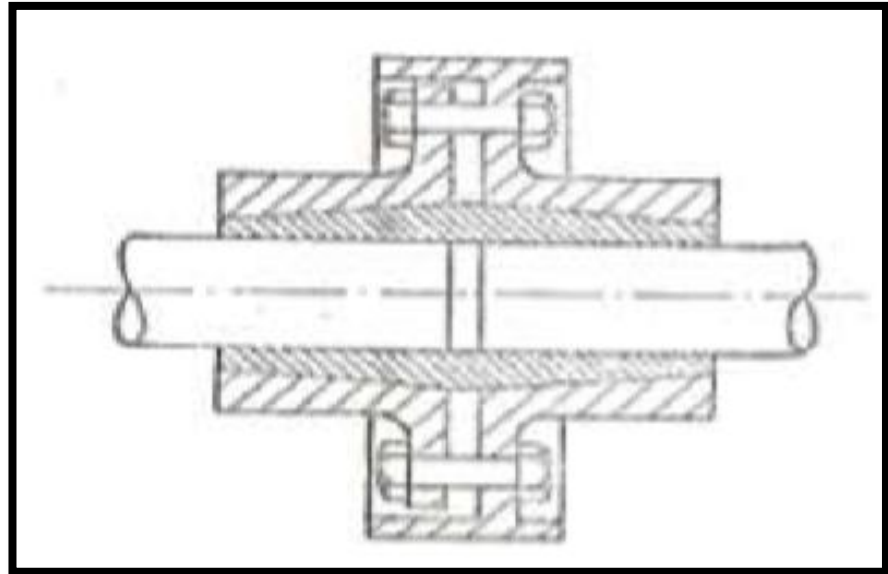
Fuente: Giles, Evett, Liu. Mecánica de los fluidos e hidráulica.

Figura 18. *Acoplamiento de abrazaderas*

De compresión.

En el que la porción central del acoplamiento está formada por una manga ranurada en cuyo interior se alojan las flechas de la maquina motriz y la bomba y el diámetro exterior es cónico del centro hacia ambos extremos. Las dos mitades del acoplamiento tienen un diámetro interior con la misma conicidad que la de la manga. Cuando se apriete

una a la otra con los tornillos, la manga ranurada se comprime contra las dos flechas y la sujeción por fricción transmite el movimiento sin el uso de cuñas, (figura 19).

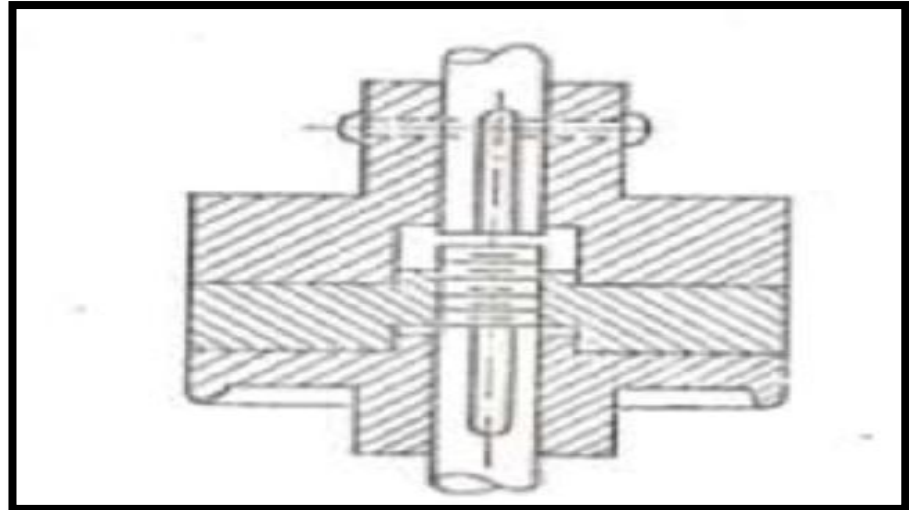


Fuente: Giles, Evett, Liu. Mecánica de los fluidos e hidráulica.

Figura 19. *Acoplamiento de compresión*

De tuerca.

En este tipo de acoplamiento el extremo de la flecha de la bomba lleva una cuerda en la que entra una tuerca que es el centro del acoplamiento. A ambos lados de esta tuerca se encuentran bridas, la de la bomba se fija por medio de una cuña y la de la maquina motriz se fija por cuña y pasador. Al acoplarse las bridas y la tuerca por medio de tornillos, queda rígida la unión, (figura 20).



Fuente: Giles, Evett, Liu. Mecánica de los fluidos e hidráulica

Figura 20. *Acoplamiento de tuerca*

Acoplamientos flexibles.

Un acoplamiento flexible es un dispositivo que conecta dos flechas y que transmite el movimiento de rotación de la maquina motriz a la maquina impulsada, en nuestro caso a la bomba, pero aceptando un pequeño desalineamiento que puede ser angular, paralelo a una combinación de ambos. Es por esto que falsamente se cree que no es necesario alinear perfectamente una bomba con su máquina motriz; sin embargo, el desalineamiento es siempre indeseable y no deberá tolerarse permanentemente, ya que causa chicoteo en las flechas aumenta el empuje en los cojinetes de la bomba y de la maquina motriz dando resultado un mantenimiento excesivo y falla del equipo. El acoplamiento flexible debe permitir un desplazamiento lateral de las flechas, para que sus extremos puedan acercarse o alejarse por aumento o disminución en la temperatura, o desplazamiento de los centros magnéticos de los

motores eléctricos, y moverse así sin aumentar el empuje en los cojinetes.

Acoplamiento de pasador y amortiguador. En un cople flexible con pasadores sujetos a una de sus mitades, las cuales atraviesan los amortiguadores que se montan en la otra mitad del acoplamiento en la otra flecha.

Los amortiguadores están hechos de hule o de otro material compresible para dar la flexibilidad necesaria. Los pernos impulsores tienen un ajuste de deslizamiento con los amortiguadores, por lo que las pequeñas variaciones longitudinales se contrarrestan, mientras los errores de angularidad se contrarrestan por la flexibilidad del hule.

Una modificación al acoplamiento de pasador, es el conocido con el nombre de acoplamiento LOVEJOX o de estrella, y consiste en dos cubos con bridas, montados en las flechas motriz y conducida con patas salientes o mordazas en las bridas. Estas mordazas encajan en un elemento central en forma de estrella generalmente hecho de hule que absorbe pequeños desalineamientos, (figura 21).



Fuente: Giles, Evett, Liu. Mecánica de los fluidos e hidráulica

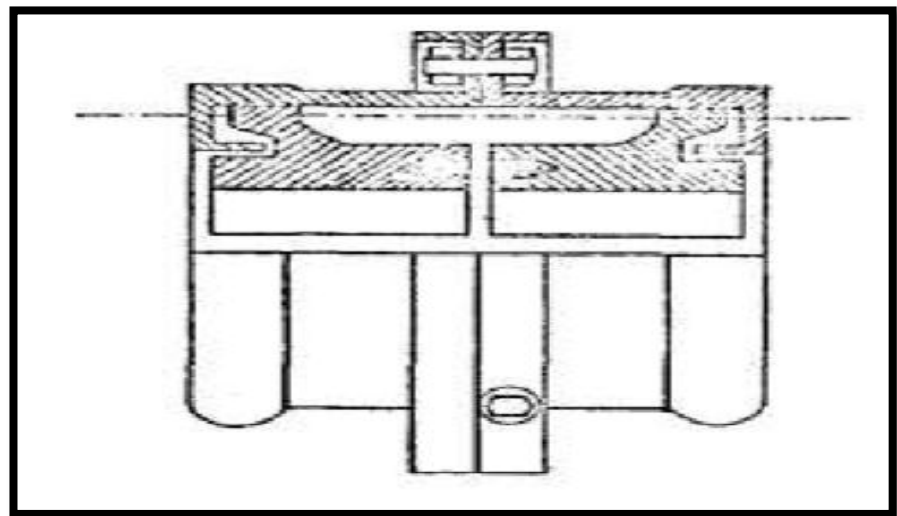
Figura 21. Acoplamiento lovejoy o de estrella

Acoplamiento flexible totalmente metálicos.

Un acoplamiento totalmente metálico es aquel que tiene todas sus partes de metal. La flexibilidad de estos acoplamientos depende de placas metálicas o de resorte, mientras que en otros acoplamientos dependen del desplazamiento angular que es posible hacer con dos estrías conectadas con una manga también estriada.

Un caso típico de acoplamiento metálico, es el acoplamiento "FAST" que se representa en la figura 22.

En la cubierta exterior del acoplamiento, se ve que cada uno de los extremos está provisto de unos engranes con dientes cortados en su interior, los cuales encajan con los engranes de las mitades motriz y conducida.



Fuente: Giles, Evett, Liu. Mecánica de los fluidos e hidráulica.

Figura 22. *Acoplamiento fast*

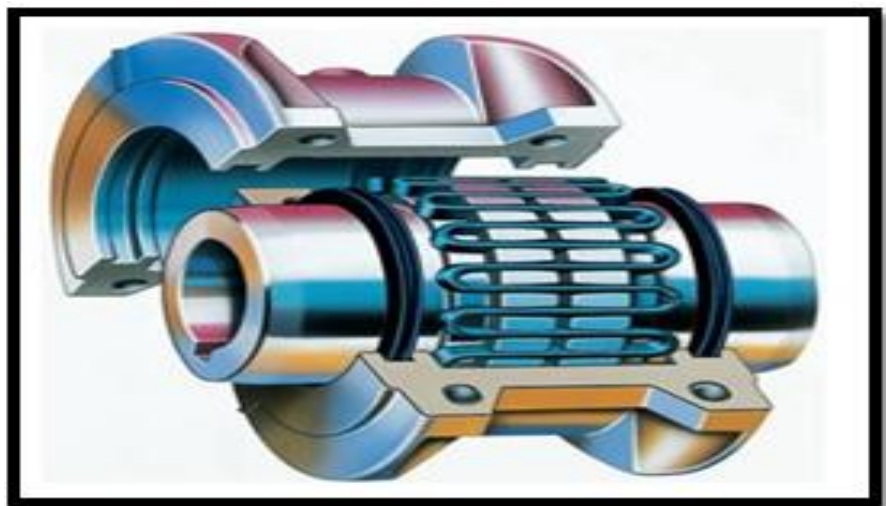
El movimiento se transmite a través de los dientes de los engranes, mientras que el movimiento por deslizamiento axial y la capacidad para ligeros ajustes de posición, se deriva de cierta libertad de acción que existe entre los dos juegos de dientes. Para evitar que los engranes se

peguen (lo que ocasionaría que trabajara como acoplamiento rígido) se les pone aceite, el cual, baña constantemente los engranes a la circular dentro de la cubierta exterior. Otro tipo de acoplamiento todo metálico, es el acoplamiento flexible "FALK"

El cual consiste de dos cubos de acero con bridas y un resorte especial de acero templado que forma una rejilla cilíndrica completa y una cubierta de acero como tapa. La periferia de los cubos está ranurada para que se introduzca el resorte. Las ranuras se ensanchan hacia el interior en forma de arco con la curvatura de tal forma que los puntos de apoyo se acercan.

De hecho, las ranuras están formadas de manera que el esfuerzo en el resorte permanece constante durante toda la acción de acoplamiento.

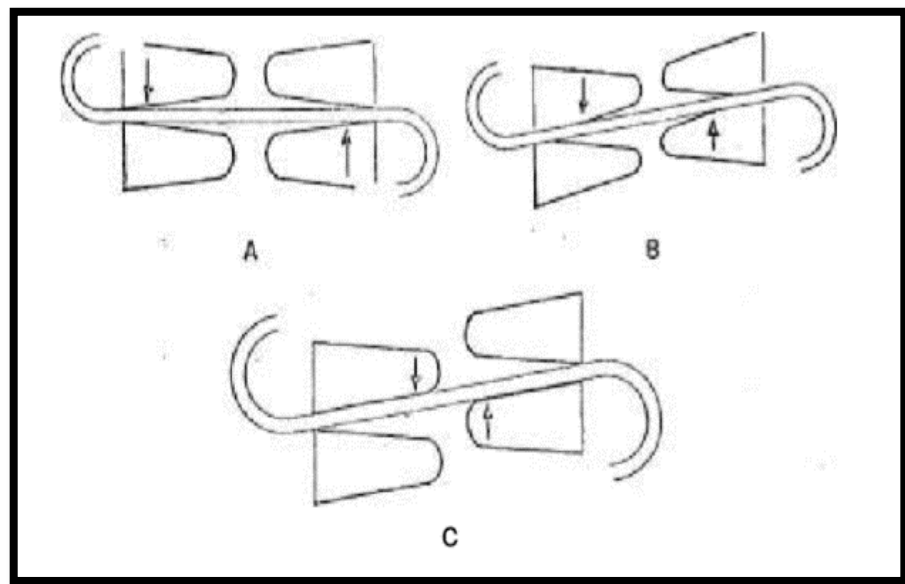
Para una carga ligera (figura 23), los resortes se acomodan en las ranuras en sus extremos exteriores con una pequeña superficie de contacto que es la que transmite el movimiento.



Fuente: Catalogo falk acoples, Acoplamientos Steelflex ® Instalación y Mantenimiento.

Figura 23. *Acoplamientos falk*

Durante la carga normal (B) la superficie en contacto aumenta y la distancia entre los soportes disminuye. Durante una carga excesiva o sobre-carga, los resortes se apoyan en toda la longitud de la ranura aumentando al máximo la superficie en contacto como se muestra en la parte C de la Figura 24. Este tipo de acoplamiento está lubricado con grasa.



Fuente: Catalogo falk acoples, Acoplamientos Steelflex ® Instalación y Mantenimiento.

Figura 24. *Resorte acoplamiento falk.*

Otro tipo de acoplamiento flexible puede ser el comúnmente conocido como "barra cardan" o flechas de transmisión flexible. Estas usan juntas universales en cada extremo de una flecha tubular con una punta ranurada que permite absorber las variaciones por temperatura que pueda haber entre las unidades motriz y conducida.

Cadena (2006) se encuentra la tesina titulada: *Descripción y análisis de fallas presentadas en sellos mecánicos de bombas centrífugas* manifiesta que todos los acoplamientos deben de estar protegidos por unas cubiertas estacionarias que rodean al acople y que se conocen con

el nombre GUARDAS de seguridad de aceros sujetos a la base de la bomba o a la cimentación de la misma y cuyo objeto es proteger al operador cuando la máquina se encuentra en servicio (ver Figura 25).



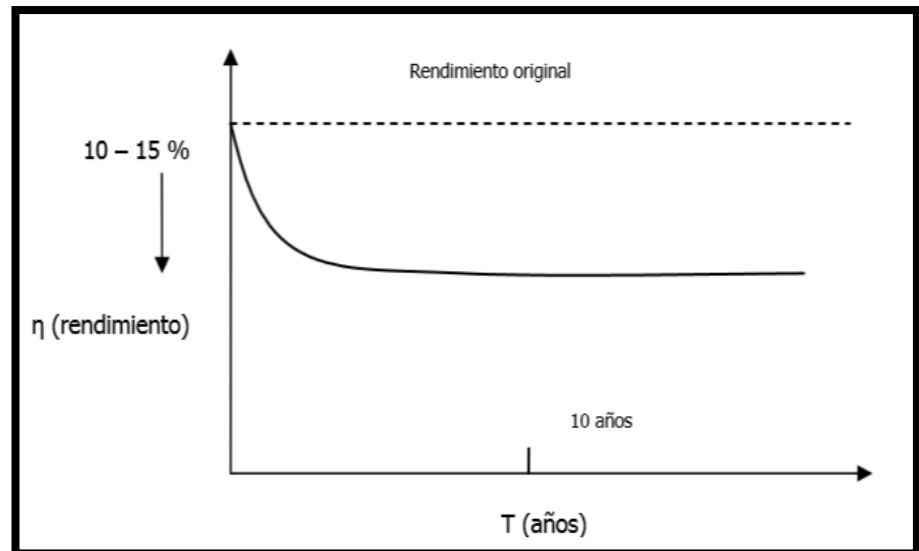
Fuente: <http://www.tromba-sa.com.ar/productos-horizontales-acopladas-rtl-s.html>.

Figura 25. *Guardas, de seguridad.*

2.2.3.12 Vida útil de las bombas centrífugas

A lo largo de su ciclo de vida útil el rendimiento de una bomba se deteriora principalmente debido a desgastes mecánicos y fenómenos de oxidación o incrustaciones, los rendimientos suelen disminuir entre un 10% - 15% en comparación con sus valores originales.

Se han dado casos en donde el rendimiento ha perdido hasta un 20% en los dos primeros años de operación (ver Figura 26).



Fuente: Deterioro del rendimiento en Bombas y su prevención; INEXA, Ingeniería y Exportación de Tecnología S.L. 2009

Figura 26. *Deterioro del rendimiento de bombas.*

Causas que afectan el deterioro de una bomba y las pérdidas en rendimiento.

Selección errónea de la bomba: la bomba no fue elegida para su punto óptimo de rendimiento (POR), ni con los materiales adecuados al fluido que maneja. Para el ajuste del punto de funcionamiento en un gran número de casos es necesario una válvula de regulación en la impulsión de la bomba con la consecuente pérdida energética.

Deficiencias en el montaje de la bomba: que afectan principalmente al alineamiento del eje.

Colector de aspiración mal dimensionado: No se deben crear vórtices en el flujo en la tubería de aspiración de la bomba. Diámetros de tubería inadecuadas pueden provocar el fenómeno de cavitación.

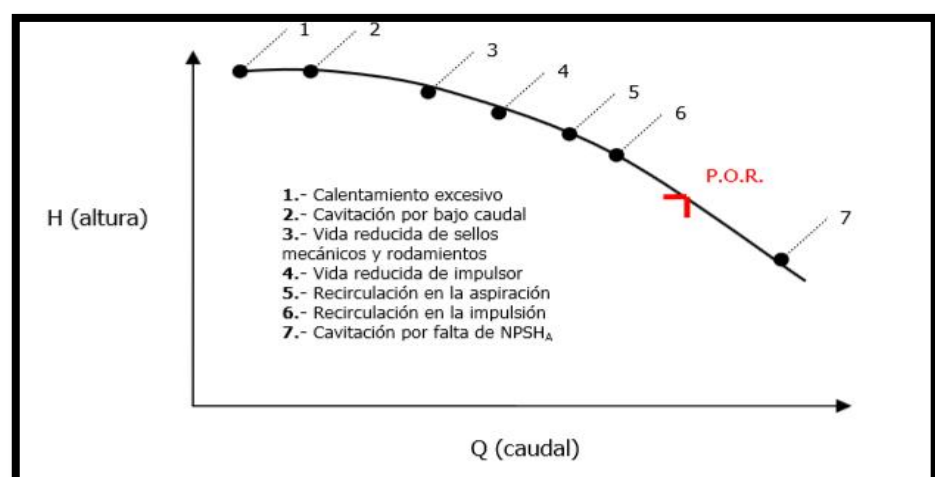
Purga de aire deficiente: Tan solo un 2% de aire en el fluido que se bombea puede afectar dramáticamente la operación de una bomba.

Funcionamiento en seco: Puede producir sobrecalentamientos y roturas.

Funcionamiento alejado del Punto Óptimo de Rendimiento (POR): En el POR el fluido se presuriza lo más eficientemente posible. Cuando el punto de trabajo se aleja del POR, se producen fenómenos de recirculación interna en la bomba que causan desequilibrios en los empujes que soporta. Este fenómeno incrementa la velocidad con que se deterioran los sellos mecánicos, aros de desgaste y rodamientos provocados a su vez por desalineamientos del eje.

Grasa de rodamientos contaminada: Ocasiona un desgaste más rápido de los rodamientos.

Aceite de lubricación de rodamientos contaminada: Para este tipo de rodamientos es imprescindible respetar los plazos de sustitución establecidos. Algunos ensayos han demostrado que apenas 20 ppm de agua en el aceite pueden reducir la vida media de los rodamientos de 24 000 a 2 200 horas, tal como se representa en la Figura 27.



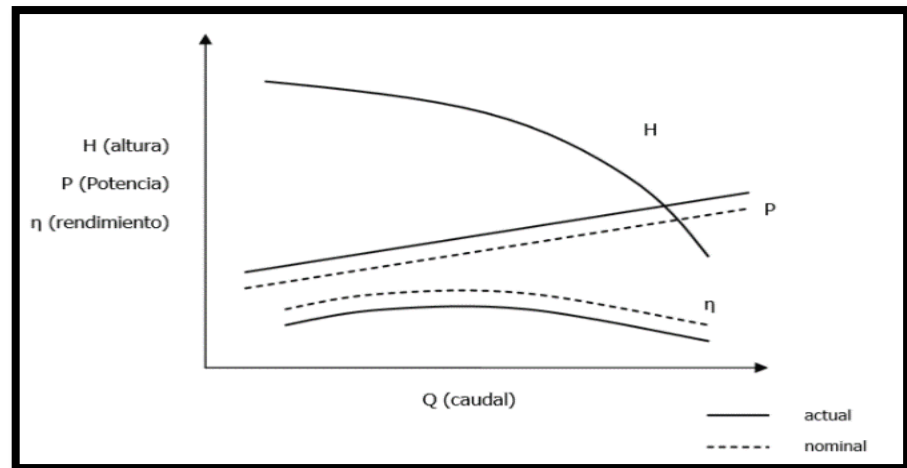
Fuente: Deterioro del rendimiento en Bombas y su prevención; INEXA, Ingeniería y Exportación de Tecnología S.L. 2009

Figura 27. *Efectos perjudiciales por desviaciones del punto óptimo de rendimiento (POR)*

Consecuencias de las pérdidas de rendimiento en bombas: Las consecuencias que se originan por la pérdida de rendimiento y mal funcionamiento de las bombas centrífugas. Se ilustrarán según las curvas características más representativas de una bomba y se relacionarán las causas más importantes que la originan, a saber:

- (H) Altura manométrica vs. Caudal
- (P) Curva potencia absorbida vs. Caudal
- (η) Rendimiento vs. Caudal
- Curva característica correcta, pero bajo rendimiento y alta potencia absorbida.
- Pérdidas mecánicas por empaquetaduras o sello mecánico apretados.
- Presión hidráulica excesiva contra un sello mecánico o empaquetadura.
- Rodamientos deficientes.
- Desalineación del eje.
- Funcionamiento cerca de la velocidad crítica.
- Deformación de la carcasa por esfuerzos producidos por las tuberías o la bancada.

Lo expuesto se representa gráficamente en la Figura 28.



Fuente: Deterioro del rendimiento en Bombas y su prevención; INEXA, Ingeniería y Exportación de Tecnología S.L. 2009

Figura 28. *Curva característica correcta, pero bajo rendimiento y alta potencia absorbida.*

Disminución altura manométrica y menor potencia absorbida en toda su gama de caudales, aunque no varía su rendimiento.

- Deformación del impulsor
- Velocidad de rotación inferior a la nominal
- Impulsor rectificado o menor que el original.

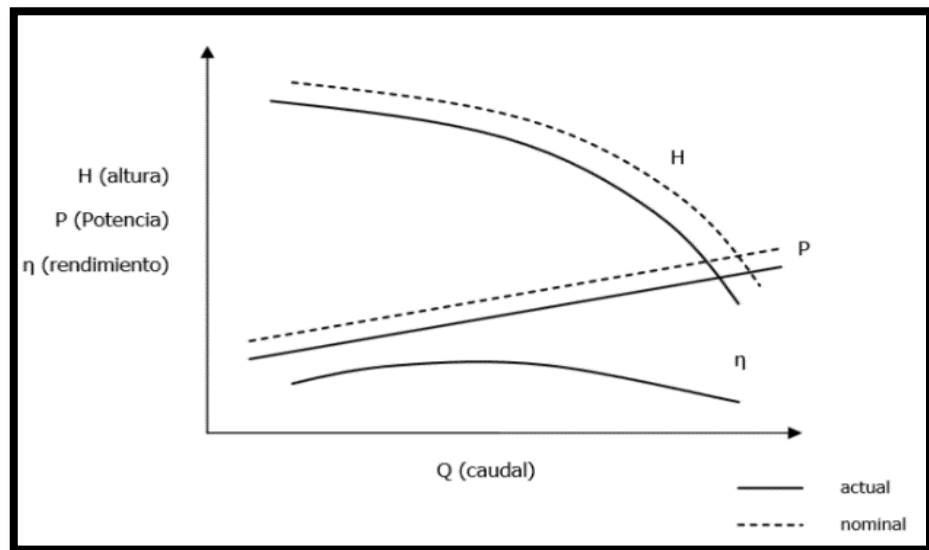
La altura manométrica disminuye con rapidez con un aumento en el caudal.

Superficie reducida en la garganta de la voluta o entre los álabes del impulsor.

Alguna obstrucción entre la salida del impulsor y el punto de toma de muestra de la presión en la impulsión.

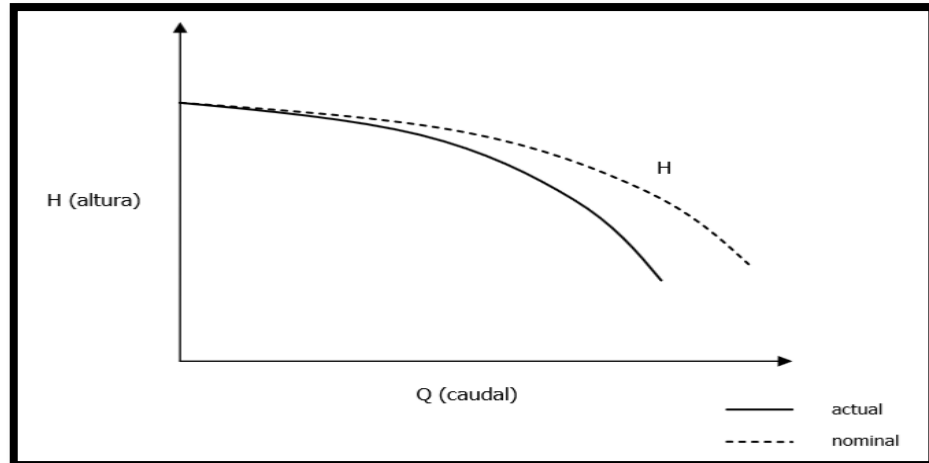
En cualquier punto de altura manométrica de la curva el caudal es menor en una cantidad constante para cualquier valor de caudal. fugas en los aros de desgaste.

Altura manométrica, caudal, rendimiento y potencia absorbida son bajos (ver Figura 29 y Figura 30).



Fuente: Deterioro del rendimiento en Bombas y su prevención; INEXA, Ingeniería y Exportación de Tecnología S.L. 2009.

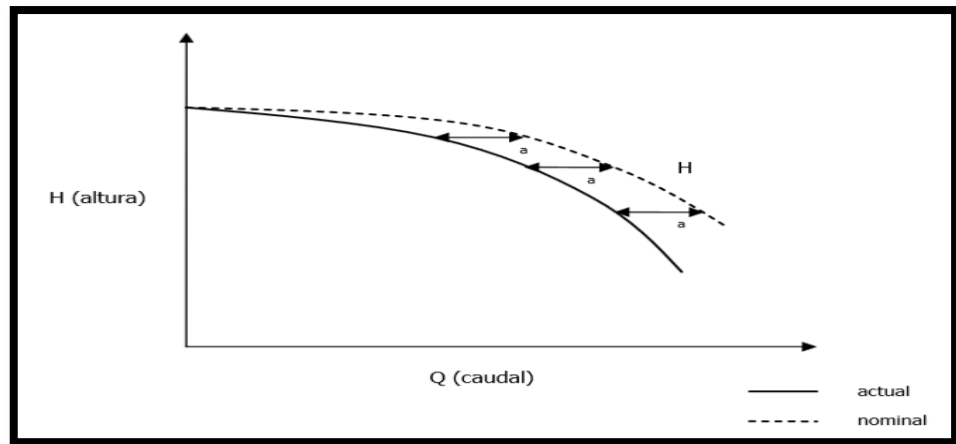
Figura 29: *Disminución altura manométrica y menor potencia absorbida en toda su gama de caudales, aunque no varía su rendimiento*



Fuente: Deterioro del rendimiento en Bombas y su prevención; INEXA, Ingeniería y Exportación de Tecnología S.L. 2009

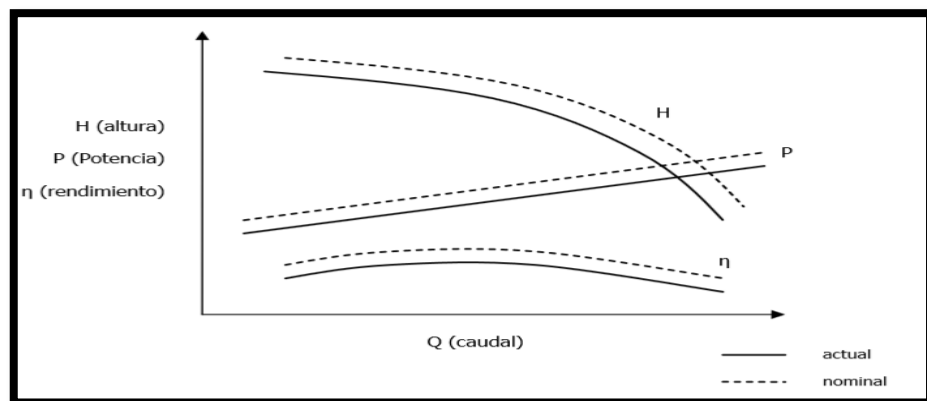
Figura 30. *La altura manométrica disminuye con rapidez con un aumento en el caudal*

Holguras excesivas en los aros de desgaste o entre los álabes del impulsor y las placas de desgaste (en los impulsores semiabiertos). También se producen por olvido en instalar alguno de los aros de desgaste en alguna reparación, como se muestra en la Figura 31 y 32.



Fuente: Deterioro del rendimiento en Bombas y su prevención; INEXA, Ingeniería y Exportación de Tecnología S.L. 2009

Figura 31. *En cualquier punto de altura manométrica de la curva el caudal es menor en una cantidad constante para cualquier valor de caudal*

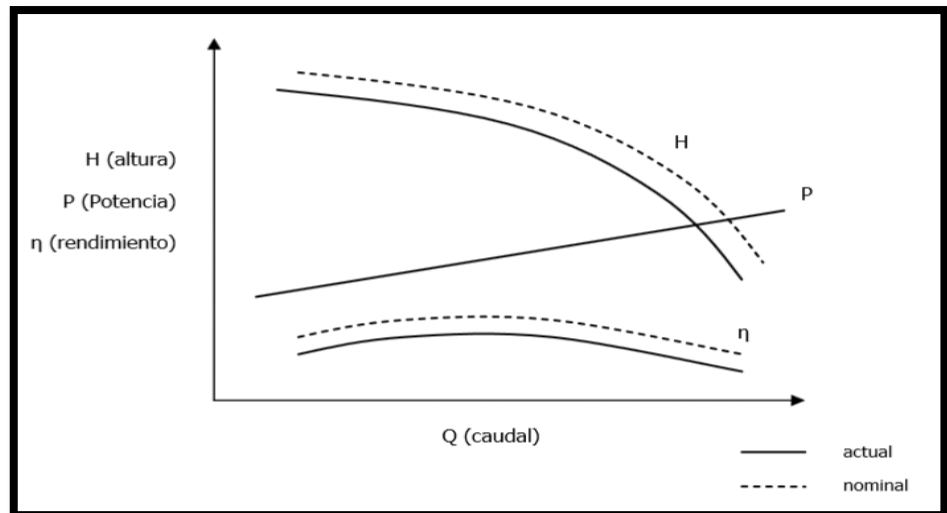


Fuente: Deterioro del rendimiento en Bombas y su prevención; INEXA, Ingeniería y Exportación de Tecnología S.L. 2009

Figura 32. *Altura manométrica, caudal, rendimiento y potencia absorbida son bajos*

Altura manométrica y rendimiento reducidos sin cambio en la potencia absorbida.

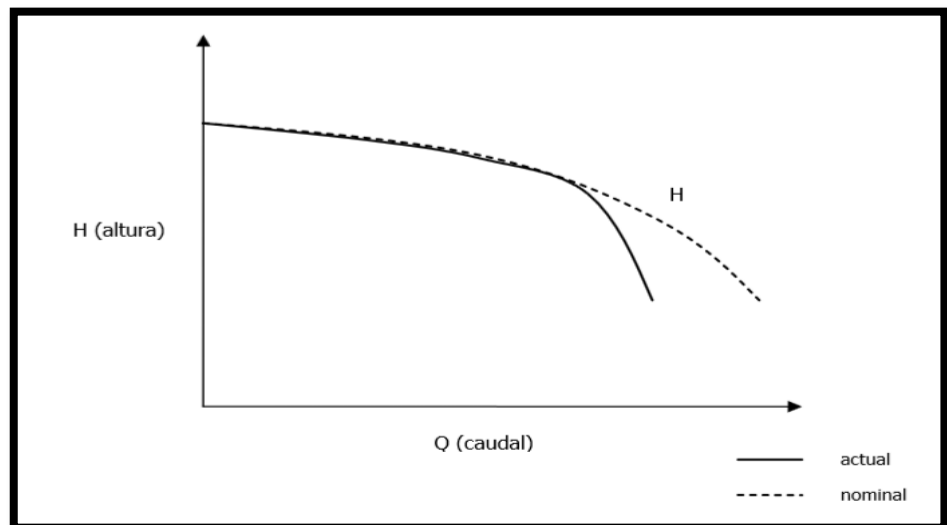
Superficie rugosa de la carcasa o impulsores por oxidación y/o incrustaciones. Influye el contenido en partículas sólidas en el fluido (arenas, coloides etc.), como se visualiza en la Figura 33.



Fuente: Deterioro del rendimiento en Bombas y su prevención; INEXA, Ingeniería y Exportación de Tecnología S.L. 2009.

Figura 33. *Altura manométrica y rendimiento reducidos sin cambio en la potencia absorbida*

La curva característica (Figura 34), se interrumpe antes de lo especificado. NPSH insuficiente.



Fuente: Deterioro del rendimiento en Bombas y su prevención; INEXA, Ingeniería y Exportación de Tecnología S.L. 2009 Recuperado de <http://www.inexa-tda.com>

Figura 34. *La curva característica se interrumpe antes de lo especificado*

2.3 Definición de términos

Electrobomba

Una electrobomba es una máquina que transforma energía mecánica en energía de presión y velocidad en un fluido. Toda electrobomba consta de tres elementos básicos: un motor eléctrico, mecanismo de transmisión y un mecanismo de impulsión.

Caudal

Es el volumen de líquido bombeado por unidad de tiempo y se puede expresar en litros por segundo (l/ seg.), metros cúbicos por segundo (m^3/s) o galones por minuto (GPM).

Cavitación

Se denomina cavitación a la formación y ruptura de burbujas de vapor en el medio líquido que está siendo bombeado. Podríamos describir el proceso de cavitación imaginando una burbuja que se adhiere a una parte metálica, al desprenderse la burbuja de la parte metálica ocasiona una presión de succión que desprende partículas de material.

Check list

Formato de inspección que contiene todos los datos y las partes a inspeccionar en donde el operador da el visto bueno con un cheque en la casilla que corresponde a la actividad.

Cojinete

Pieza o conjunto de piezas en que se apoya y gira el eje de un mecanismo.

Confiabledad

Confianza que se tiene de que un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica durante un periodo de tiempo.

Desgaste

Partes pequeñas de material que se han desprendido debido al uso o por el roce de dos superficies en contacto.

Disponibilidad

Se denomina disponibilidad a la posibilidad que un equipo este operativo para desempeñar su actividad cuando se lo requiera.

Impulsor

Elemento de máquina que tiene la función de impulsar un fluido dentro de una bomba. Comercialmente, es conocido como impeler (impulsor en inglés).

Lubricación

El propósito de la lubricación es reducir o, con mayor exactitud, controlar el desgaste.

Orden de trabajo

Fuente de datos relativos a las actividades desarrolladas por el personal de ejecución de mantenimiento, debe incluir el tipo de actividad, su prioridad, falla encontrada y como fue reparada, duración, recursos humanos, materiales, herramientas, etc.

Overhaul

Servicio de mantenimiento realizado a los motores de los generadores al alcanzar las 10000 horas de operación. Este servicio consiste en la reparación de las partes más importantes del motor.

Potencia

La potencia expresa la capacidad de efectuar un trabajo por unidad de tiempo. En el sistema inglés se expresa en caballos de fuerza (HP, y derivan del idioma inglés Horse Power) y en el sistema internacional Watt.

Stock de repuestos

Es un nivel de inventario que se utiliza para cubrir las diferencias de tiempo en la entrega de repuestos por parte de los proveedores.

2.4 Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

El plan de mantenimiento preventivo previene paradas imprevistas de las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco – 2016.

2.4.2. Hipótesis Específicas

- a.* El conocimiento de las condiciones técnicas de las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco - 2016, permite detectar las causas, de las fallas prematuras y el incremento de los costos por mantenimiento correctivo
- b.* La elaboración y planificación cronograma de actividades para la inspección del plan mantenimiento preventivo, coadyuva positivamente a incrementar la disponibilidad operativa de las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco - 2016.

2.5 Variables

2.5.1 Definición conceptual

Plan de Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo se diseñó con la idea de prever y anticiparse a las fallas de las máquinas y equipos, utilizando para ello una serie de datos sobre los distintos sistemas y sub-sistemas e inclusive partes de las electrobombas centrífugas.

Indicadores.

- Tiempo de disponibilidad operativa
- Aumentar la productividad

Electrobomba Centrífuga

Una bomba Hidraulica es una maquina generadora que transforma energía mecánica en energía hidráulica del fluido incompresible que desplaza combustible.

2.5.2 Definición operacional

Plan Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo se refiere a las acciones, tales como; Reemplazos, Adaptaciones, restauraciones, inspecciones, evaluaciones, etc. Hechas en períodos de tiempos por calendario o uso de los equipos. (Tiempos dirigidos).

Electrobomba Centrífuga

Es un equipo que tiene la función de elevar líquido de un nivel inferior a un nivel superior.

2.6 Operacionalización de las variables

Cuadro N° 1. *Operacionalización de las variables*

Variable independiente: Plan de mantenimiento preventivo		
Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
El plan de mantenimiento preventivo se diseñó para prever y anticiparse a las fallas de las máquinas y equipos, utilizando para ello una serie de datos sobre los distintos sistemas y sub-sistemas e inclusive partes de los equipos.	Elaboraciones de rutinas de chequeo de las electrobombas centrífugas, las cuales son: diaria, semanal, mensual, trimestral y anual.	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de disponibilidad operativa. • Aumentar la productividad.
Variable dependiente: Electrobomba Centrífuga		
Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
Es un equipo que tiene la función de trasportar, elevar líquido de un nivel inferior a un nivel superior.	Fallas Tolerancias	Frecuencias Mediciones

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 Tipo y Nivel de la Investigación

3.1.1 Tipo de investigación.

La presente investigación tuvo un enfoque: cuantitativo. Según Hernandez Sampieri, Fernandez Collado & Baptista Lucio, (2014) “los enfoques cuantitativos pueden dirigirse a: 1) explorar fenómenos, eventos, comunidades, hechos y conceptos o variables (su esencia es exploratoria); 2) describirlos (su naturaleza es descriptiva); 3) vincularlos (su esencia es correlacional o correlativa); y 4) considerar los efectos de unos en otros (su naturaleza es causal)”.

La finalidad de la investigación fue realizar una investigación básica. Sotelo (2015). Una investigación básica en la medida que el objetivo del estudio es analizar las variables en su misma condición sin buscar modificarla, se busca establecer una realidad en concordancia con el marco teórico considerando el periodo y secuencia la investigación se llevó a cabo considerando un corte transversal. Lo cual implicó la recolección de datos en un solo corte de tiempo, con el fin de medir las variables en un único momento, aplicando el instrumento por

única vez en las unidades de análisis, el resultado obtenido puede permitir dar respuestas a los objetivos planteados (Ñaupas, Mejía, Novoa, & Villagómez, 2013).

Es una investigación aplicada, en razón que utilizará conocimientos existentes en las ciencias administrativas, para utilidad práctica de interés de los pliegos, instituciones públicas y entidades de la región Pasco.

3.1.2 Nivel de investigación.

El nivel que se ha definido para el trabajo de investigación es descriptivo.

3.2 Diseño de la investigación

3.2.1 Método de la investigación.

Para el desarrollo de la presente tesis se ha utilizado el método científico por brindar un planteamiento ordenado que empieza desde diseñar, formular planes de investigación y ejecutarlos.

Se utilizarán técnicas para la obtención de la información, herramientas como la estadística para el análisis de la información y su posterior comprobación.

El concepto de **método** proviene del griego métodos (“camino” o “vía”) y hace referencia al medio que se utiliza para llegar a una cierta meta.

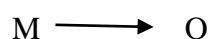
Científico, por su parte, es el adjetivo que menciona lo vinculado a la ciencia (un conjunto de técnicas y procedimientos que se emplean para producir conocimientos).

El método científico, por lo tanto, se refiere a la serie de etapas que hay que recorrer para obtener un conocimiento válido desde el punto de vista científico, utilizando para esto instrumentos que resulten fiables. Lo que hace este método es minimizar la influencia de la subjetividad del científico en su trabajo.

3.2.2 Diseño de la investigación.

El diseño de la investigación es Descriptivo Simple, pues recoge información actualizada sobre el objeto de investigación y trata de encontrar una relación de la gestión de mantenimiento para implementar el plan de mantenimiento de las electrobombas centrífugas en la planta de Petroperú, Unidad Cerro de Pasco - 2016.

Diagrama:



Donde:

M : Muestras de las electrobombas centrífugas horizontales.

O : Observación de las muestras para recoger características del mantenimiento de las electrobombas centrífugas horizontales.

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

Para el desarrollo de la presente tesis se ha tomado como muestra, el objeto de estudio de tal forma que la población sean las electrobombas centrífugas ubicadas en la Planta de Petroperú unidad Cerro de Pasco - 2016.

Según (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado , & Baptista Lucio, 2014) la población “es el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones”. (p.174).

3.3.2 Muestra

Como muestra se considera las 5 electrobombas centrífugas ubicadas en la planta de Petroperú unidad Cerro de Pasco - 2016.

Mejía (2005) “En este tipo de muestras, también llamadas muestras dirigidas o intencionales, la elección de los elementos no depende de la probabilidad sino de las condiciones que permiten hacer el muestreo, acceso o disponibilidad, conveniencia” (p. 48); son seleccionadas con mecanismos informales y no aseguran la total representación de la población.

Esto implica que no es posible calcular con precisión el error estándar de estimación, es decir no podemos determinar el nivel de confianza con que hacemos la estimación. “Lo anterior se explica porque no todos los sujetos tienen la misma probabilidad de ser seleccionados, por lo que es esperable la no representatividad de todos los miembros de la población” (Mejía, 2005).

El cálculo de la muestra se expone en el siguiente acápite.

$$n = \frac{N * Z\alpha^2 * p * q}{d^2 * (N-1) + Z\alpha^2 * p * q}$$

Donde:

N = Total de la población

$Z\alpha^2$ = (si la seguridad es del 95%)

P = Proporción esperada (en este caso 5 % = 0.05)

q = 1- p (en este caso 1 – 0.05 = 0.95)

d = Precisión (en este caso deseamos un 3 %)

Muestra ajustada

$$no = n / (1 + (n - 1 / n))$$

$n =$ valor de la muestra inicial

$n_o =$ muestra ajustada o corregida

$N =$ Población

Reemplazando datos

$n = 5 = 5$ Electrobombas

3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información

3.4.1 Técnicas.

Las principales técnicas que se han utilizado para el levantamiento de la información son los siguientes:

- A. Entrevistas.** es una conversación entre una persona (el entrevistador) y otra (el entrevistado) u otras (entrevistados) basándose en una guía de preguntas específicas.
- B. Encuestas.** es un método de recolección de datos que usa un cuestionario de preguntas que se imprime en formularios o cédulas.
- C. Observación.** consiste en el registro sistemático, válido y confiable del comportamiento de las electrobombas centrífugas.

3.4.2 Instrumentos

Los instrumentos utilizados son: fichas bibliográficas, ficha de trabajo y registros de sistemas del plan de mantenimiento preventivo de las electrobombas centrífugas Ingersoll-Rand en la planta de Petroperú unidad Cerro de Pasco -2016.

3.5 Validez y confiabilidad del instrumento

La validez de los instrumentos utilizados en esta investigación se determinó por la gerencia de la planta de Petroperú unidad de Cerro de Pasco.

El instrumento cumple con los requisitos de validez y confiabilidad para la variable Organización y administración, los análisis correspondientes se realizó a través de la aplicación de una lista de comparación del tipo escalar. Las categorías de análisis, más usuales en el desarrollo de una investigación cuantitativa, son modelos que guían el proceso de investigación.

3.5.1 Validez

La validez de constructo

Este requisito del instrumento se evaluó en base a tres aspectos cualitativos: a) Revisión y análisis de la literatura técnica relacionado con el problema de investigación, b) Juicios de expertos sobre el cuestionario (instrumento de medición) realizado por expertos investigadores en el campo gerencia de la planta de Petroperú unidad de Cerro de Pasco y c) Observaciones y recomendaciones de profesionales dedicados a la gestión de proyectos de gestión de mantenimiento; sobre la base de estos aspectos se realizaron los ajustes y mejoras al cuestionario.

3.5.2 Confiabilidad del instrumento

Para la evaluación de la confiabilidad del instrumento, es decir, la evaluación de la confiabilidad interna del instrumento se realizó mediante la prueba de Kolmogorov – Smirnov para una muestra. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 1. *Análisis de confiabilidad de organización y administración*

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra		
		Organización y administración
N		76
Parámetros normales ^{a,b}	Media	35,82
	Desviación estándar	12,959
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,131
	Positivo	,067
	Negativo	-,131
Estadístico de prueba		,131
Sig. asintótica (bilateral)		,004 ^c

a. La distribución de prueba es normal.

b. Se calcula a partir de datos.

c. Corrección de significación de Lilliefors.

3.6 Técnica de recolección y procesamiento de datos

- Operacionalización de variable
- Formulación de la matriz de recolección de datos.
- Identificación de instrumentos a utilizar.
- Definición de procedimientos de medición y observación.
- Organización de datos en tablas y figuras.

3.7 Procesamiento de datos

El procesamiento de análisis de muestra se desarrolló utilizando la estadística descriptiva con tal de determinar parámetros de tendencia central y de variación. Estadística descriptiva porque la descripción de los datos obtenidos de las variables se describe mediante la distribución de frecuencias las medidas de tendencia central y las medidas de dispersión. La distribución de frecuencias es un conjunto de datos ordenados en sus respectivas categorías que muestra el número de respuestas obtenidas para cada categoría.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 Diagnóstico de las electrobombas centrífugas

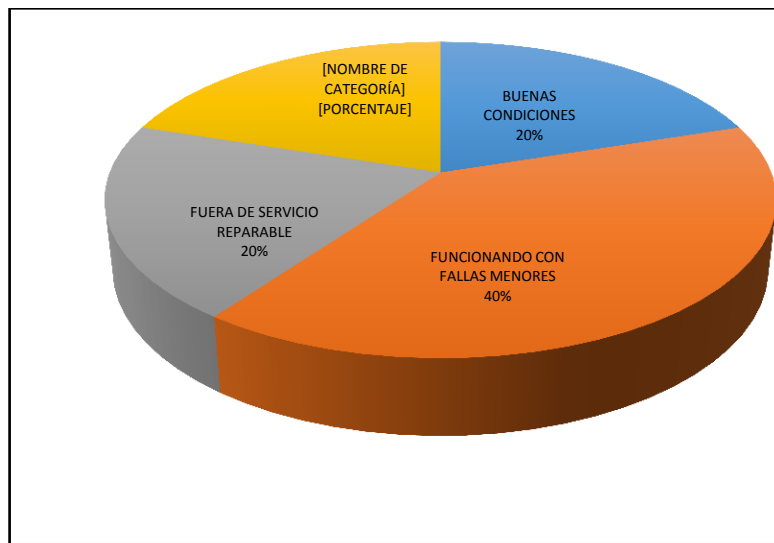
Se recopiló e investigó los diferentes manuales de las electrobombas centrífugas, ya que la empresa no contaba con estos datos. Las electrobombas tienen puntos que necesitan de mantenimiento preventivo, por el trabajo continuo que realizan en la planta de Petroperú unidad Cerro de Pasco - 2016 ya que trabajan aproximadamente seis horas diarias, a La evaluación de las condiciones técnicas de las electrobombas centrífugas de Petroperú planta Cerro de Pasco - 2016, nos ha permitido determinar, entre otros, que las causas del desgaste o rayado en las caras del sello mecánico son: mal montaje del sello mecánico y el uso de aditivos incorrectos al instalar el sello. Ello es acorde con lo que en este estudio se halló adicionalmente, como este sistema de bombeo de combustible tienen filtros de malla en la succión de las electrobombas, hay que realizar la limpieza o cambiar cuando sea necesario

4.1.1 Cantidad de equipos en buenas condiciones.

El total de las electrobombas que fueron encontradas es de 5; de estas, se determinó que 1 se encontraban en buenas condiciones, lo que representa un 20%; 2 en funcionamiento con fallas menores es decir un 40%; 1 fuera de servicio siendo

reparables (20%) y 1 fuera de servicio sin posibilidades de ser reparadas (20%).

(Ver Figura 35)



Fuente: Elaboración propia

Figura 35. Condiciones de las bombas centrífugas

4.1.2 Manual de mantenimiento y operación.

Hay 5 electrobombas centrífugas Ingersoll-rand que no poseen su manual de operación ni de mantenimiento.

La Planta Cerro de Pasco no desempeñan sus actividades de mantenimiento basados en el cumplimiento de un plan elaborado formalmente debido a que no se ha realizado este estudio que permita establecer el mantenimiento programado de los equipos de la planta, mientras que un 20 por ciento respondieron que la empresa cuenta con un documento para realizar los mantenimientos de las electrobombas centrífugas cuando estas presentan anomalías y otro 20 por ciento que no saben.

El gran aporte una buena gestión para realizar el mantenimiento preventivo fortaleciendo la capacidad de gestión de cada uno de los diversos estratos

organizativos y empleados, ubicando las responsabilidades para asegurar el cumplimiento, esperando con ello evitar los paros y obtener una alta efectividad de la planta. Cuando los trabajos se realizan con eficiencia y el programa se cumple fielmente se podrá aumentar la vida útil de las electrobombas centrífugas, esto tiene relación directa con el plan de mantenimiento preventivo de las electrobombas centrífugas en la planta de Petroperú unidad Cerro de Pasco - 2016.

4.1.3 Fase de descripción de los componentes críticos de las electrobombas centrífugas.

En la planta de Petroperú unidad Cerro de Pasco las electrobombas han venido presentado fallas continuas originándose que se paren las maquinarias imprevistamente para realizar mantenimientos correctivos durante varias horas ocasionando pérdidas de tiempo para la planta, por otra parte el resto de los trabajadores representados por el 40% infirieron que en la planta las actividades diarias no se ven afectadas por las interrupciones de algunos equipos, que son sólo correctivos que se le hacen a las maquinarias durante su funcionamiento.

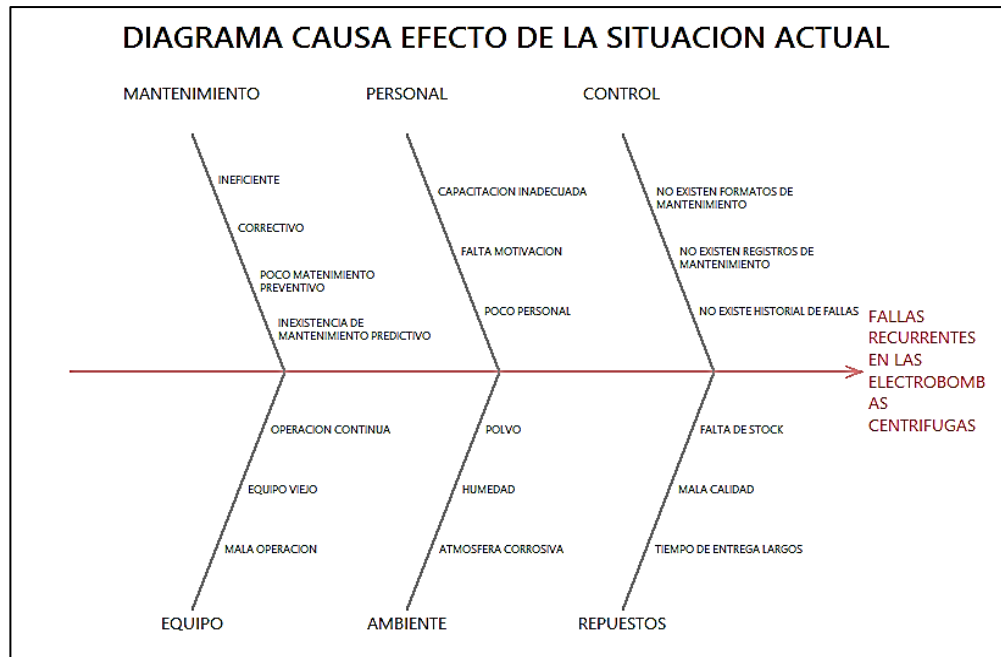
Es importante resaltar que los programas de mantenimientos pautados para las electrobombas centrífugas no se pueden ejecutar por falta de repuestos, es muy importante que se cuente con un buen sistema de inventario de los repuestos necesarios para realizar los mantenimientos preventivos de las electrobombas centrífugas. La mala planificación del inventario afecta la efectividad del mantenimiento preventivo, originándose deficiencias para el desempeño de las actividades.

La carencia de un plan de mantenimiento preventivo, por medio del cual se evidencien los procesos que lo componen y la relación entre cada uno, dan origen al deterioro de las electrobombas centrífugas de la planta de Petroperú Cerro de Pasco.- 2016 La falta de registros y documentos formales que permitan al personal minimizar los datos necesarios para el desarrollo de las actividades de mantenimiento como son: Historiales del equipo, partes, repuestos, reparaciones críticas, entre otras.), originan pérdida de tiempo para realizar los mantenimientos preventivos. El resto de los entrevistados 40% respondieron que no influyen en los problemas que se presentan en las maquinarias y equipos debido a que no se les hace su mantenimiento cuando estas las requieran por estos originan pérdidas de tiempo y costos elevados en la planta de Petroperú unidad Cerro de Pasco - 2016.

Un mantenimiento a tiempo es menos costoso que cuando se daña un equipo. La mayoría de los costos son recurrentes; por ejemplo: Los almacenes deben ser reaprovisionados, se necesita personal adicional entrenado con sus herramientas especiales, capacitación constante en el programa, y se inició con una parte limitada de su operación general, probablemente se requiera expandir el programa hasta que se abarque la totalidad del proceso.

Diagrama causa y efecto de la situación actual.

Para poder entender mejor la situación actual del área de mantenimiento, con respecto a las fallas recurrentes en las electrobombas centrífugas se representará en forma gráfica en un diagrama de causa y efecto, representado en la Figura 36.



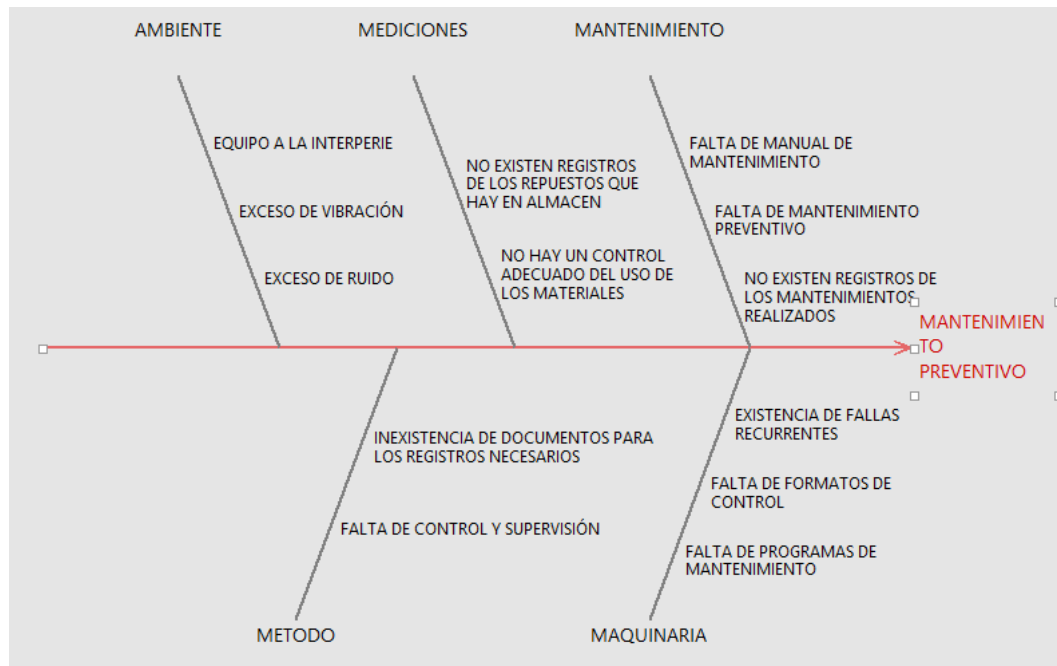
Fuente: Elaboración propia

Figura 36. *Fallas recurrentes en la electrobomba centrífuga*

4.1.4 Situación actual del área de mantenimiento.

El área de mantenimiento realiza las actividades de mantenimiento correctivo de las electrobombas centrífugas de la planta Cerro de Pasco, de manera aleatoria entre los equipos debido a que existe poco personal para realizar todas las actividades de mantenimiento, la capacitación que recibe el personal en algunos casos no es adecuada ya que no hay una capacitación específica para el personal que realiza el mantenimiento, con el plan de mantenimiento preventivo se busca minimizar el mantenimiento correctivo progresivamente.

En la mayor parte de los casos el mantenimiento que se realiza es de tipo correctivo de fallas, situación que viene minimizando ya que al ocurrir una falla significaría un paro indeseado perdiéndose la continuidad del proceso, representado en la Figura 37.



Fuente: Elaboración propio.

Figura 37. Diagrama de operaciones de mantenimiento

hay un archivo para colocar los formatos de servicios de mantenimiento en forma separada por equipos las cuales en muchas ocasiones se extravían y se pierde la información sobre qué tipo de mantenimiento se realizó, que parte del equipo falló o la fecha en que ocurrió la misma, información que es valiosísima para poder determinar el tiempo promedio entre fallas.

La información que existe sobre el mantenimiento de los equipos está en manos de los mecánicos, electricistas, ayudantes, etc. quienes en algunas ocasiones anotan este tipo de información en pequeñas bitácoras personales, pero cuando se requiere esta información no es posible obtenerla ya que se están fuera de su plan de trabajo o no la tienen consigo.

Los formatos existentes para la recolección son llenados por la persona que realiza el mantenimiento quien en muchas ocasiones no especifica el tipo de servicio realizado y a que parte del equipo, o en ocasiones el reporte de las

reparaciones efectuadas se hace verbalmente al supervisor o al operador del equipo.

El supervisor del área es el encargado de realizar las tareas administrativas del área, así como de supervisar los trabajos que se están realizando dentro de la planta, situación que provoca que algunas veces el tiempo de la jornada de trabajo no le sea suficiente y le permita llevar un mejor registro y control del plan de mantenimiento preventivo en la planta de Petroperú unidad Cerro de Pasco - 2016.

El medio ambiente actual como un factor que acelera el deterioro de las electrobombas centrífugas ya que la atmósfera contiene gases que se producen en la planta de hidrocarburos los cuales son altamente corrosivos y afectan todos los equipos que contengan partes metálicas, también el polvo y la humedad influyen en el funcionamiento del equipo.

Los repuestos o partes de intercambio del equipo en algunos casos deben ser comprados en el extranjero y tienen tiempos de entrega regularmente largos y esto demora el reemplazo de piezas dañadas cuando éstas no están en stock.

4.1.5 Fase de diseño de plan de mantenimiento.

4.1.5.1 Mecanismos de recolección de información.

Las técnicas utilizadas para el desarrollo del plan de mantenimiento preventivo consisten básicamente en la búsqueda de fuentes de información ya sea de forma escrita o verbal que permitan conocer y entender el funcionamiento básico de las electrobombas centrífugas para luego definir los medios a utilizar y profundizar en los temas en los que se tiene previsto trabajar. (Anexo N° 2)

Formatos. Los formatos se diseñaron con la finalidad de recolectar información de los equipos y poder archivarlos de manera que la información sobre las rutinas de inspección diaria, servicios de mantenimiento semanal y quincenal. El control de medidores eléctricos de generadores esté disponible y pueda servir como referencia en análisis del comportamiento de cada uno de las electrobombas centrífugas ingersoll.

Bases de datos. Las bases de datos tienen como objetivo guardar la información que se considere necesaria de manera que esta pueda ser compartida vía correo u otro medio electrónico, además, la información puede ser graficada fácilmente lo que significa un ahorro de tiempo en la elaboración de informes.

Bitácoras de fallas y reparaciones de electrobombas centrífugas. Servirá para anotar todas las fallas y reparaciones de las electrobombas centrífugas, es muy importante que haya una bitácora para cada electrobomba ya que de lo contrario sería difícil clasificar la información sobre un equipo en específico. Estas bitácoras pueden realizarse ya sea en una base de datos en Excel u otro medio de cómputo o de forma escrita.

Bodega. El encargado de bodega es quien debe encargarse de mantener un stock de repuestos para los distintos equipos de manera que en ningún momento se queden a cero ya que esto representaría una demora en la reparación de algún equipo. El área de mantenimiento debe de realizar un listado de todos los equipos y clasificarlos para luego determinar en base al número total de los mismos cual sería el mínimo de repuestos en stock para cada tipo de equipo.

El procedimiento para la obtención de repuestos se puede realizar de dos maneras:

Repuestos para stock. El encargado de bodega realiza una requisición de bodega para la compra de repuestos y la envía al supervisor quien la revisa, da su aprobación y la envía al gerente quien da la autorización final.

Repuestos para mantenimiento o reparación. La compra de los repuestos puede realizarse localmente, es decir, dentro del país, o en el exterior en el caso de los equipos especiales.

Las requisiciones. Pueden hacerse tanto para la compra de repuestos, como para solicitar un servicio de una empresa especializada en algún tipo de equipo.

Inventario de repuestos en stock. Es importante que se realice un inventario de los repuestos que están en la bodega, para verificar su existencia de forma periódica ya que en algunos casos se cambia equipo por uno más reciente por lo que estos repuestos ya no tendrán ningún movimiento y solo ocuparán espacio y aumentarán los costos en inventarios ya que todas las empresas deben pagar impuestos sobre activos fijos.

4.1.6 Programa de mantenimiento.

El programa de mantenimiento preventivo para las electrobombas centrífugas ingersoll-rand de la planta de Petroperú unidad Cerro de Pasco - 2016 incluye los siguientes tipos de inspecciones:

Mantenimiento de rutina.

Realice las siguientes tareas:

- Lubrique los cojinetes.
- Inspeccione la prensa estopas.

Inspecciones de rutina.

- Realice las siguientes tareas:
- Compruebe el nivel y el estado del aceite a través del visor del bastidor del cojinete.
- Compruebe los ruidos inusuales, la vibración y las temperaturas de los cojinetes.
- Compruebe si la electrobomba y las tuberías tienen fugas.
- Analice la vibración.
- Inspeccione la presión de descarga.
- Compruebe si la cámara de selladura y la caja de empaquetadura tienen fugas.
- Asegúrese de que no haya fugas en el sello mecánico.
- Ajuste o reemplace la empaquetadura en la caja de empaquetadura si observa fugas excesivas.

Inspecciones trimestrales.

Realice las siguientes tareas cada tres meses:

- Compruebe que la cimentación y los pernos de sujeción estén ajustados.
- Compruebe el sello mecánico si la electrobomba ha estado sin funcionar y reemplácelo si es necesario.
- Cambie el aceite cada tres meses (2000 horas de funcionamiento) como mínimo.

- Cambie el aceite con más frecuencia si hay condiciones atmosféricas adversas u otras condiciones que puedan contaminar o descomponer el aceite.
- Compruebe la alineación del eje y vuelva a alinearlos si es necesario.

Inspecciones anuales.

Realice las siguientes inspecciones una vez al año:

- Compruebe la capacidad de la electrobomba.
- Compruebe la presión de la electrobomba.
- Compruebe la potencia de la electrobomba.

Acorte los intervalos de inspección adecuadamente si el fluido bombeado es abrasivo o corrosivo, o si el entorno está clasificado como potencialmente explosivo.

Si el rendimiento de la electrobomba no cumple los requisitos del proceso, y si éstos no han cambiado, haga lo siguiente:

- Desmunte la electrobomba.
- Inspeccione las partes de la electrobomba.
- Reemplace las piezas desgastadas.

4.1.7 Anomalías de funcionamiento – causas y soluciones.

Cuadro 2. *Caudal de impulsión reducido*

ANOMALIAS DE FUNCIONAMIENTO	CAUSAS	POSIBLES SOLUCIONES
CAUDAL DE IMPULSION REDUCIDO	Contrapresión excesiva	Aumentar la velocidad de giro. Si en el accionamiento eléctrico no fuera posible, deberá considerarse el montaje de impulsores de mayor diámetro.
	Cebado o aireación insuficiente de las electrobombas o de las tuberías.	Cebado de nuevo la electrobomba y las tuberías y airearlas cuidadosamente. En caso que sea necesario se cambiará el trazado de las tuberías, o se montarán válvulas o tuberías de aireación.

	Taponamiento de la tubería de entrada o del impulsor	Limpiar la tubería de entrada o si es preciso desmontar y limpiar el impulsor y filtro de succión.
	Presión (o altura) de carga demasiado pequeña	Controlar la presión de carga (o nivel del líquido en la fuente de suministro), verificando la tubería para comprobar si no existe una configuración desfavorable o ejecución defectuosa de la misma que provoquen resistencias demasiado grandes. Controlar si están completamente abiertos los elementos de cierre de la tubería de carga. Limpiar los filtros coladores que se hallan montados dentro de las tuberías.
	Aspiración de aire por el prensa-estopa	Aumentar la presión del líquido de cierre. Comprobar que no esté taponada la tubería de entrada del líquido de cierre.
	Dirección de giro cambiada	Corregir la dirección de giro. Cuando el accionamiento es por motor eléctrico se cambiarán las conexiones del mismo. Antes de dar arranque verificar el apriete de la tuerca punta de eje.
	Velocidad de giro demasiado pequeña	En las bombas accionadas por motor eléctrico no es fácil aumentar el número de revoluciones, salvo que se adicione al equipo un variador de velocidad. De cualquier manera, se nos debe comunicar el número de revoluciones existente, porque el mismo puede ser inferior al normal y esto deberse, por ejemplo, a baja tensión o alguna causa mecánica del motor o de la Bomba. Cuando el accionamiento es por correa, la velocidad puede disminuir por resbalamiento de la correa. En ese caso será necesario tensar la correa o bien emplear otra.
	Fuerte desgaste de las piezas interiores	Abrir la electrobomba y cambiar aquellas piezas que han sufrido desgaste.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3. *Sobrecarga del motor de accionamiento*

ANOMALIAS DE FUNCIONAMIENTO	CAUSAS	POSIBLES SOLUCIONES
SOBRECARGA DEL MOTOR DE ACCIONAMIENTO	La contrapresión de la electrobomba es más pequeña que la prevista en el pedido	Cerrar el elemento de cierre de la tubería de impulsión hasta que se haya conseguido que la presión en la boca de impulsión sea tan grande como la indicada en el pedido. En caso que la sobrecarga se produzca constantemente, deberá reducirse -si es posible- la velocidad de giro o disminuir el diámetro del impulsor después de consultarnos.

	La electrobomba impulsa un fluido que tiene un peso específico superior al que se indicó al hacer el pedido (También las reducciones de la temperatura ocasionan el aumento del peso específico del líquido de impulsión)	Si no es posible mantener la temperatura de impulsión, o el peso específico del líquido de impulsión previsto, y si las condiciones particulares del servicio lo permiten, puede estrangularse el caudal de impulsión hasta que se alcance la carga admisible por la máquina. También se podrá desmontar el impulsor y reducir el diámetro del mismo. Si estas medidas no fueran posibles, será preciso emplear una máquina de accionamiento más potente. En cualquier caso, deberá consultarnos, indicando con exactitud las condiciones de servicio.
--	---	--

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4. *Presión final excesiva de la electrobomba*

ANOMALIAS DE FUNCIONAMIENTO	CAUSAS	POSIBLES SOLUCIONES
PRESION FINAL EXCESIVA DE LA ELECTROBOMBA	Velocidad de giro demasiado alta	Controlar exactamente la velocidad de giro. Cuando no sea posible su reducción, deberá desmontarse el impulsor y disminuir su diámetro, previa consulta.
	El peso específico es demasiado alto (por ejemplo, la temperatura de impulsión es demasiado baja)	Si la electrobomba tiene que funcionar durante largo tiempo a bajas temperaturas o con peso específico demasiado alto, deberán tomarse las medidas indicadas.
	La Presión de carga es excesiva	Controlar la presión de carga.

Fuente: Elaborado por el investigador

Cuadro 5. *La electrobomba tiene fugas*

ANOMALIAS DE FUNCIONAMIENTO	CAUSAS	POSIBLES SOLUCIONES
LA ELECTROBOMBA TIENE FUGAS (juntas del cuerpo - tapa)	Las juntas están dañadas	Si no se consigue mejoría apretando los espárragos, se montarán juntas nuevas
	Los espárragos de unión no están apretados.	Parar la electrobomba y dejarla sin presión. Una vez que se enfríe se apretarán los espárragos por igual.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 6. *Las prensa estopas no hace buen cierre*

ANOMALIAS DE FUNCIONAMIENTO	CAUSAS	POSIBLES SOLUCIONES
EL PRENSA ESTOPA NO HACE BUEN CIERRE	La empaquetadura está desgastada, no es la adecuada o está mal colocada	Empaquetar de nuevo la caja prensa-estopa. Observar las instrucciones de montaje en la "sección empaquetadura".
	El eje o la camisa protectora del mismo si la posee tiene estrías,	Será preciso rectificar o cambiar el eje o camisa protectora del mismo. Después de empaquetar la caja prensa-estopa se apretará la brida

	ocasionadas por un apriete excesivo o torcido de la prensa-estopa o por desgaste natural.	prensa-estopa, con cuidado y uniformemente.
	La marcha de la electrobomba es "intranquila", es decir, el eje golpea	Si el giro del eje es intranquilo no hay caja prensa-estopa que dure con buen cierre. Primero se deben controlar los rodamientos y, si es preciso, montar rodamientos nuevos. Si no se consigue mejoría se procederá a abrir la electrobomba, se controlará el giro concéntrico del eje y se equilibrará el conjunto eje impulsor.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 7. *Temperatura demasiado alta de los rodamientos.*

ANOMALIAS DE FUNCIONAMIENTO	CAUSAS	POSIBLES SOLUCIONES
TEMPERATURA DEMASIADO ALTA DE LOS RODAMIENTOS	La electrobomba está sometida a tensiones por tuberías.	Tratar de conseguir una conexión libre de tensiones de la tubería, si fuera necesario, cambiando el trazado de la misma. Corregir la nivelación del conjunto.
	Falta de lubricante o el mismo no es el adecuado.	Reponer el nivel del lubricante. Dado el caso se cambiará el tipo de lubricante

Fuente: Elaboración propia

4.1.8 Controles posteriores a un mantenimiento.

- Controlar alineación acople, motor y bomba
- Controlar conexión de cañerías, que no estén forzando el equipo.
- Si los rodamientos no se reemplazaron, controlar el estado en que se encuentran los mismos.
- Controlar la temperatura en el soporte de rodamientos, no debe ser mayor a 40° C de la temperatura ambiente.

4.1.9 Controles periódicos.

Cuadro 8. *Controles periódicos*

CONTROLES	SEMANTAL	MENSUAL	SEMESTRAL	ANUAL
Ajuste de bolones varios (bridas/cañerías, fijación del equipo).				
Ajuste prensa estopa.				
Alineación del acoplamiento.				
Amperaje del motor.				
Cambio de aceite (si lo requiere).				
Control de juntas.				
Control de la empaquetadura.				
Control de rodamientos y caja.				
Control del acople				
Control del sello mecánico.				
Control prisioneros de eje postizo.				
Limpieza total del equipo.				
Nivel de aceite (si lo requiere)				
Presión de aspiración.				
Punto de operación.				
Ruidos y vibraciones.				
Temperatura de los rodamientos.				
Tensión de red.				

Fuente: Elaboración propia

4.2.10 Análisis de resultados

Las electrobombas centrifugas en la empresa Petroperú Planta Cerro de Pasco - 2016. Es necesario resaltar que con la implementación del plan de Mantenimiento Preventivo se originó mejoras a nivel de la empresa.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la prueba de campo realizado a las variables dependientes, aplicando las métricas correspondientes a los indicadores seleccionados. Dichos resultados son

sometidos a un análisis para extraer las principales características de su comportamiento y, de este modo tener elementos de juicio para interpretar el comportamiento de las variables involucradas.

En la figura N°38 se tiene un total de 8 fechas con 42 mantenimientos No Registrados (que para el estudio representan un 100% de mantenimientos No Registrados), las 6 fechas con 34 mantenimientos NO REGISTRADOS que se encuentran a lado izquierdo de la gráfica representa el 75%. Total, de la muestra

Entonces considerando el 80-20 de acuerdo al diagrama de Pareto tenemos:

A= (15% se considera de Alta Criticidad)

B= (25% se considera de Mediana Criticidad).

C= porcentaje restante (se considera Baja Criticidad)

Reemplazando los cálculos respectivos tenemos:

Si las ocho fechas con 42 mantenimientos NO REGISTRADOS representan el 100% del total de la población.

El 15% representa por la fecha 20/07/2015 con 7 mantenimientos No Registrados que es un registro “Alta Criticidad”.

A su vez el 25% representado por las fechas 20/04/2015, 20/11/2015 con 12 mantenimientos No Registrados que es un registro de “Mediana Criticidad”.

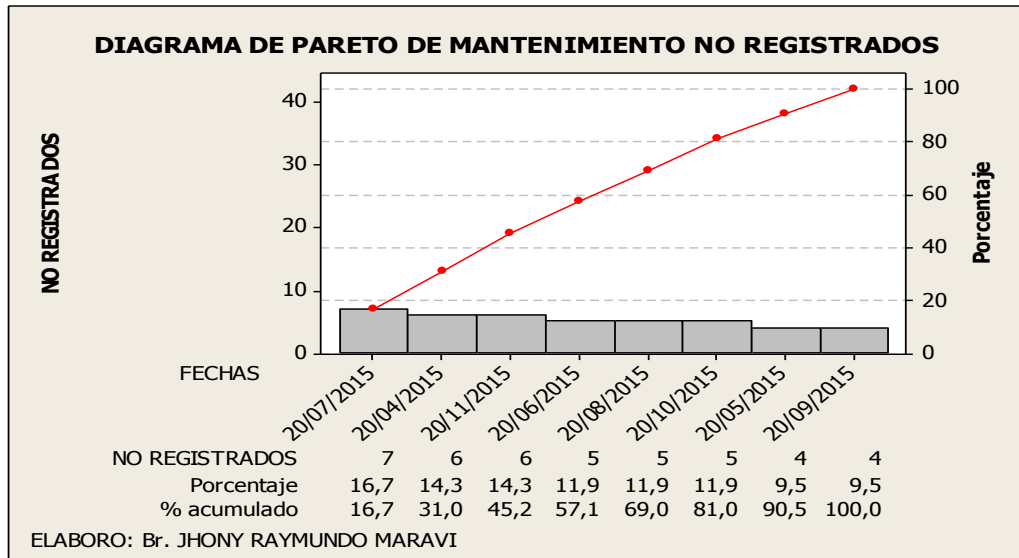
Los demás no Registrados que son en cinco fechas con 23 mantenimientos corresponden a “Baja Criticidad”.

De allí que, tenemos que enfocar la acción preventiva en esos 7 mantenimientos NO REGISTRADOS, más que en el grupo total de 8 fechas. Este método es una estrategia muy eficiente para la reducción del problema.

Grupo de control.

Para el indicador Programas de mantenimiento

Índice: ordenes de trabajo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 38. *Diagrama de mantenimiento no registrados*

En la figura N°39 se tiene un total de 8 fechas con 51 mantenimientos CORRECTIVOS (que para el estudio representan un 100% de mantenimientos CORRECTIVOS), las 6 fechas con 42 mantenimientos CORRECTIVOS que se encuentran a lado izquierdo de la gráfica representa el 75%. Del total de la muestra.

Entonces considerando el 80-20 de acuerdo al diagrama de Pareto tenemos:

A= (15% se considera de Alta Criticidad)

B= (25% se considera de Mediana Criticidad).

C= porcentaje restante (se considera Baja Criticidad)

Reemplazando los cálculos respectivos tenemos:

Si las 8 fechas con 51 mantenimientos Correctivos representan el 100% del total de la población.

El 15% representa por la fecha 20/04/2015 con 9 mantenimientos Correctivos que es un registro “Alta Criticidad”.

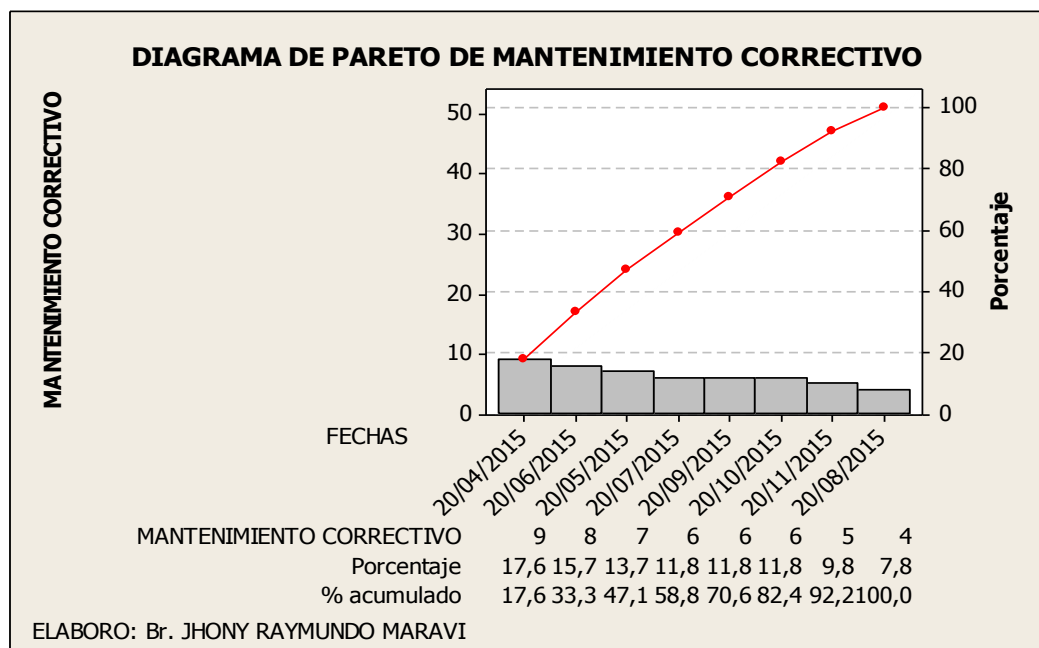
A su vez el 25% representado por las fechas 20/06/2015,20/05/2015 con 15 mantenimientos correctivos que es un registró de “Mediana Criticidad”.

Los Registros restantes que son en cinco fechas con 27 mantenimientos correctivos corresponden a “Baja Criticidad”

Este tipo de cálculos es de gran ayuda en la fase de la búsqueda para dirigir el esfuerzo preventivo.

Así en el diagrama dado se tiene el 20/04/2015 con 9 mantenimientos correctivos que representa más de la mitad de los problemas e incidentes significativos en la planta de Petroperú.

De allí que, tenemos que enfocar la acción preventiva en esos nueve mantenimientos correctivos, más que en el grupo de ocho fechas de mantenimiento correctivo. Este método es una estrategia muy eficiente para la reducción del problema.



Fuente: Elaboración propia

Figura 39. *Diagrama de mantenimiento correctivo*

En la figura N°40 se tiene un total de 8 fechas con 28 compras de repuestos de acuerdo al anexo 13 (que para el estudio representan un 100% de compras de repuestos), las 6 fechas con 23 compras de repuestos que se encuentran a lado izquierdo de la gráfica representa el 63%. Del total de la muestra.

Entonces considerando el 80-20 de acuerdo al diagrama de Pareto tenemos:

A= (15% se considera de Alta Criticidad)

B= (25% se considera de Mediana Criticidad).

C= porcentaje restante (se considera Baja Criticidad)

Reemplazando los cálculos respectivos tenemos:

Si las ocho fechas con 28 compras de repuestos representan el 100% del total de la población.

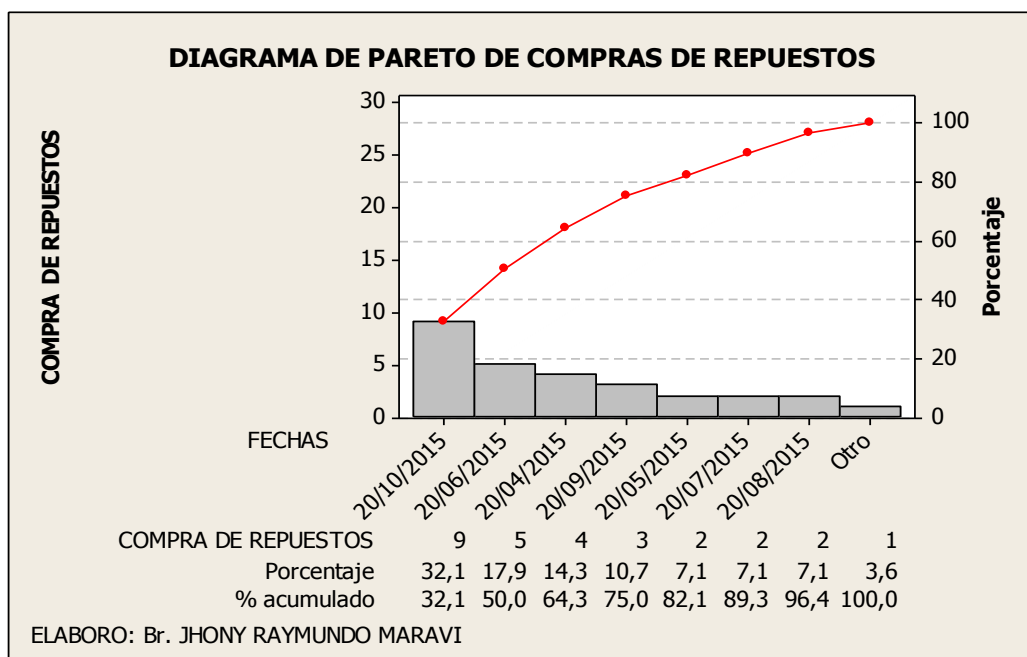
El 15% representada por la fecha 21/10/2015 con nueve compras de repuestos que es un registro “Alta Criticidad”.

A su vez el 25% representado por las fechas 20/06/2015, 20/05/2015 con nueve compras de repuestos que es un registró de “Mediana Criticidad”.

Los Registros restantes que son en cinco fechas con 10 compras de repuestos corresponden a “Baja Criticidad”

Este tipo de cálculos es de gran ayuda en la fase de la búsqueda para dirigir el esfuerzo preventivo.

De allí que, tenemos que enfocar la acción preventiva en esas nueve compras de repuestos, más que en el grupo total de ocho fechas de compra de repuestos, Este método es una estrategia muy eficiente para la reducción del problema.



Fuente: Elaboración propia

Figura 40. *Diagrama de compras de repuestos*

En la figura N°41 se tiene un total de 8 fechas con 209 mantenimientos preventivos aplicados al anexo 14 (que para el estudio representan un 100% de mantenimientos preventivos), las 6 fechas con 165 mantenimientos preventivos que se encuentran a lado izquierdo de la gráfica representa el 75%. Del total de la muestra.

Entonces considerando el 80-20 de acuerdo al diagrama de Pareto tenemos:

A= (15% se considera de Alta Criticidad)

B= (25% se considera de Mediana Criticidad).

C= porcentaje restante (se considera Baja Criticidad)

Reemplazando los cálculos respectivos tenemos:

Si las ocho fechas con 209 mantenimientos preventivos representan el 100% del total de la población.

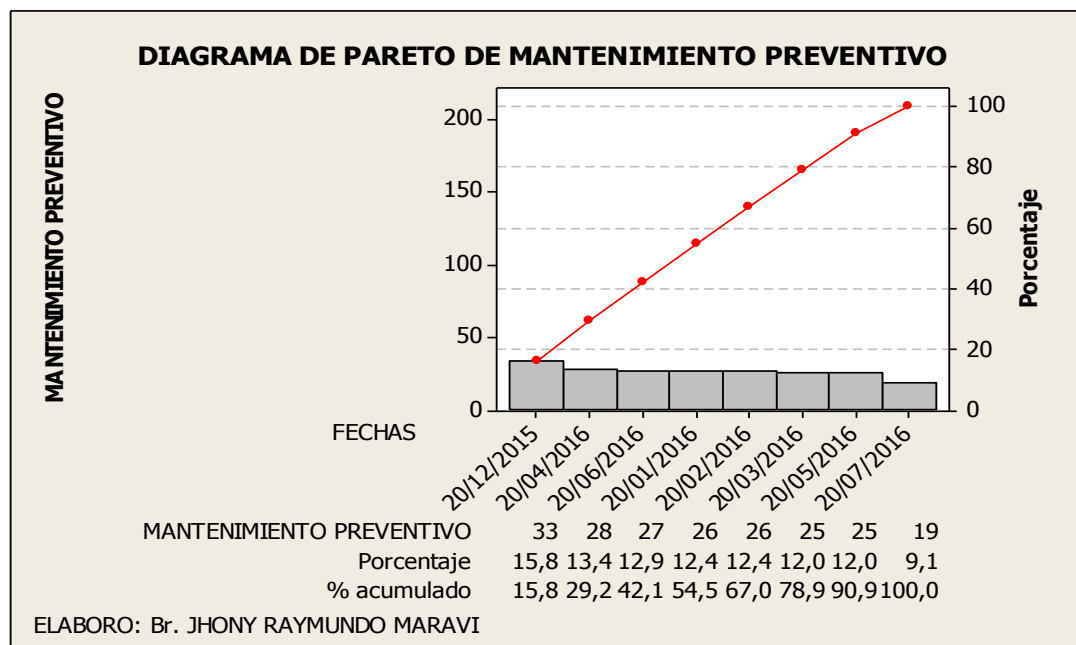
El 15% representa por la fecha 20/12/2016 con 33 mantenimientos preventivos que es un registro “Alta Criticidad”.

A su vez el 25% representado por las fechas 20/04/2016, 20/06/2016 con cincuenta y cinco mantenimientos preventivos que es un registró de “Mediana Criticidad”.

Los Registros restantes que son en cinco fechas con 121 mantenimientos preventivos corresponden a “Baja Criticidad”

Este tipo de cálculos es de gran ayuda en la fase de la búsqueda para dirigir el esfuerzo preventivo.

De allí que, tenemos que enfocar la acción preventiva en esos treinta y tres mantenimientos preventivos, más que en el grupo total ocho fechas de mantenimientos preventivos, Este método es una estrategia muy eficiente para la reducción del problema.



Fuente: elaboración propia

Figura 41. *Diagrama de mantenimiento preventivo*

En la figura N°42 se tiene un total de 8 fechas con 27 mantenimientos correctivos aplicados después del mantenimiento preventivo de acuerdo al anexo 14 (que para el estudio representan un 100% de mantenimientos

correctivo), las 6 fechas con 21 mantenimientos correctivos que se encuentran a lado izquierdo de la gráfica representa el 50%. Del total de la muestra.

Entonces considerando el 80-20 de acuerdo al diagrama de Pareto tenemos:

A= (15% se considera de Alta Criticidad)

B= (25% se considera de Mediana Criticidad).

C= porcentaje restante (se considera Baja Criticidad)

Reemplazando los cálculos respectivos tenemos:

Si las ocho fechas con 27 mantenimientos correctivos representan el 100% del total de la población.

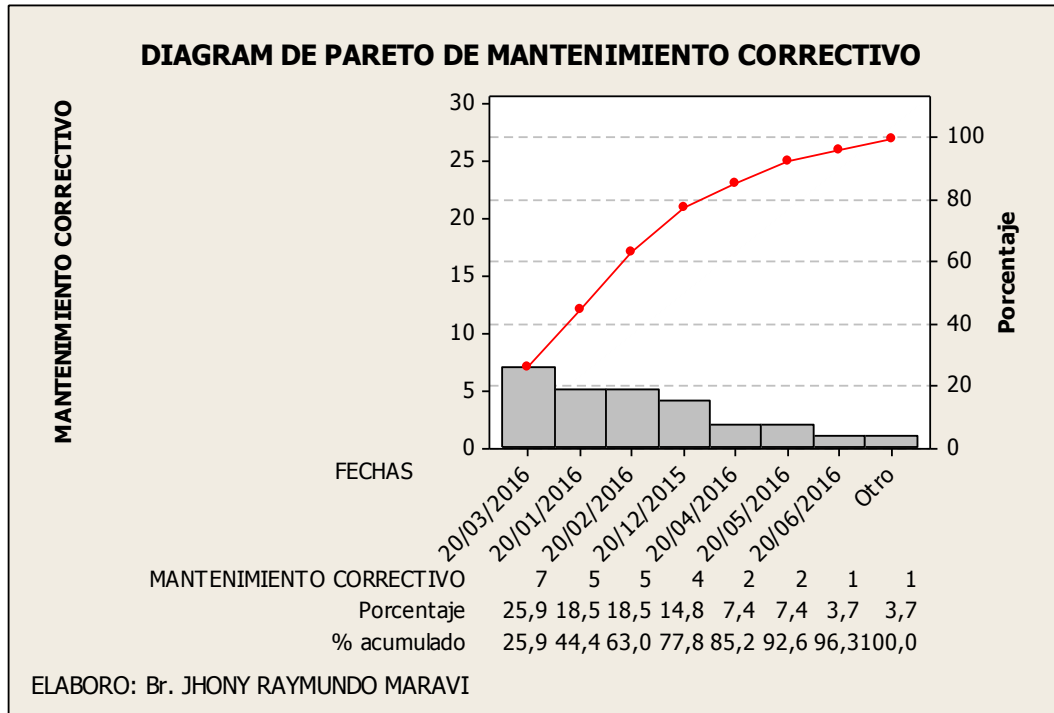
El 15% representa por la fecha 20/03/2016 con 07 mantenimientos correctivos que es un registro “Alta Criticidad”.

A su vez el 25% representado por las fechas 20/01/2016, 20/02/2016 con diez mantenimientos correctivos que es un registró de “Mediana Criticidad”.

Los Registros restantes que son en cinco fechas con 10 mantenimientos correctivos corresponden a “Baja Criticidad”

Este tipo de cálculos es de gran ayuda en la fase de la búsqueda para dirigir el esfuerzo preventivo.

De allí que, tenemos que enfocar la acción preventiva en esos siete mantenimientos correctivos, más que en el grupo total ocho fechas de mantenimientos correctivos, Este método es una estrategia muy eficiente para la reducción del problema.



Fuente: elaboración propia

Figura 42. Diagrama de mantenimiento correctivo

CAPITULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A partir de los hallazgos encontrados, aceptamos la hipótesis principal, que establece, si se describen las características principales de la gestión de mantenimiento, entonces se podrá obtener programas de mantenimiento para las electrobombas centrífugas, en Petroperú en la Planta Cerro de Pasco - 2016.

Estos resultados guardan relación con, lo que sostienen Solares (2006) en “Mejora del programa de mantenimiento preventivo en las bombas impulsadoras de concreto”, Cadena (2011) en “Descripción y análisis de fallas presentadas en sellos mecánicos de electrobombas centrífugas”, quienes señalan que un equipo confiable y con buen mantenimiento proporciona un alto grado de disponibilidad y mejora la calidad y el cumplimiento de los horarios de servicio planificados. Estos autores expresan que, en los diferentes tipos de sellos mecánicos, se encuentran fallas recurrentes: adherencia de partículas y desgaste o rayado de las caras. Las causas de la adherencia de partículas en el sello mecánico son: la mala selección del material del sello mecánico con respecto al flujo bombeado.

En lo que concuerda el estudio de los autores referidos con el presente, es que ellos mencionan que un programa de mantenimiento preventivo busca mantener el equipo

productivo en óptimas condiciones durante el mayor tiempo posible, es decir, busca aumentar la disponibilidad y confiabilidad del equipo con un costo mínimo. En este estudio se encuentran esos resultados.

Contrariamente Rojas (2007) y Cadena (2011) encontraron en sus respectivos estudios que son las causas del desgaste o rayado en las caras del sello mecánico son: mal montaje del sello mecánico y el uso de aditivos incorrectos al instalar el sello. El bajo nivel de entrenamiento del personal de mantenimiento influye en las fallas analizadas. Y, por otro Díaz (2009) opina que las bajas eficiencias se reflejan en un elevado requerimiento de potencia para el bombeo. Dicha situación limita a la electrobomba centrífuga actual a bombear caudales bajos, imposibilitando el incremento del “rate” de bombeo ante posibles aumentos de producción, debido al posible bombeo de crudos viscosos de los lotes pertenecientes a Perenco, Pluspetrol, Repsol y Rojas (2007) opina que la cantidad de fallas reportadas no afectan el funcionamiento de la planta, ni tienen mayor relevancia

Mediante el estudio de observación y análisis del funcionamiento de la planta de Petroperú por un periodo de un año se obtuvieron las tablas del anexo 13 donde encontramos datos de mantenimientos no registrados, mantenimientos correctivos, y compra de repuestos.

De acuerdo a esta tabla se realizó el diagrama de Pareto ilustrados en las figuras 38, 39, 40 podemos priorizar y señalar la importancia de cada uno de las áreas de oportunidad. Así tenemos en la figura 38 que nos muestra objetivamente que se llega a la máxima criticidad cuando se tiene siete mantenimientos no registrados.

De igual manera en la figura 39 nos muestra objetivamente que se llega a la mayor criticidad cuando se tiene 9 a más mantenimientos correctivos, concluyendo esta parte

se tiene en la figura 40 nos muestra que se llega a la mayor criticidad cuando se tiene 9 a más compras de repuestos.

Finalizando nuestro estudio tenemos la tabla del anexo 14 que nos permite la comparación entre antes y después, nos ayuda a cuantificar el impacto de las acciones tomados con el plan de mantenimiento preventivo para lograr las mejoras. Mostramos en la figura 41 y 42 que con un promedio de 26 preventivos se tienen nuevos mantenimientos correctivos, desaparecen los mantenimientos no registrados, reducen las compras de repuestos, y se nos permite mantener el equipo productivo en óptimas condiciones durante el mayor tiempo posible aumentando la disponibilidad y confiabilidad de las electrobombas centrífugas con costo mínimo.

CONCLUSIONES

Con el plan de mantenimiento preventivo implantado en la planta de Petroperú unidad Cerro de Pasco -2016, se logró prevenir paradas imprevistas de las electrobombas centrífugas; el cual generaba pérdidas económicas y malestar en los clientes; por ser estos equipos los que dan funcionamiento a la planta.

Partiendo como referencia del mantenimiento correctivo, el cual no generaba ninguna mejora en la disponibilidad de las electrobombas y el costo se incrementaba; aplicando el plan de mantenimiento preventivo, que se muestra en el presente trabajo, se redujeron los costos designados para el mantenimiento correctivo, incrementándose a su vez la disponibilidad operativa de las electrobombas centrífugas.

Los 5 equipos electrobombas con mantenimiento correctivo se encontraban en un margen del 20 % en condiciones óptimas, sin embargo, con el mantenimiento preventivo ha aumentado a 60% dichas condiciones óptimas, reduciéndose considerablemente el costo generado por el mantenimiento correctivo.

En el plan de mantenimiento propuesto, se presenta una estructura administrativa técnica; planificación y programación del mantenimiento: ordenes de trabajo, solicitud de materiales, hoja de inventarios, cartillas de mantenimiento, check list, etc; las cuales han permitido realizar el plan de mantenimiento de las electrobombas centrífugas de manera preventiva.

Las fichas técnicas de las electrobombas centrífugas han permitido tener acceso a las características técnicas, de las mismas, las cuales son importantes tenerlas en cuenta en el momento de ejecutar el plan de mantenimiento.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda cumplir el plan de mantenimiento preventivo; para obtener una verdadera organización administrativa y funcional, a la vez incrementar la disponibilidad operativa; productividad de las electrobombas centrífugas.
2. Efectuar un diagnóstico de las actividades del plan de mantenimiento para obtener información actualizada de las electrobombas centrífugas.
3. Usar las fichas técnicas como base de datos y antecedentes de las electrobombas centrífugas ingersoll- rand, que son importantes en el momento de ejecutar el mantenimiento preventivo.
4. Supervisar constantemente el cumplimiento de la implementación del plan de mantenimiento preventivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barboza, A. (2013). Sistema de Detección de Falla para una Bomba Centrífuga (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Cadena, H. (2011). Descripción y Análisis de Fallas presentados en Sellos Mecánicos de Bomba Centrífuga (tesis de pregrado). Universidad Veracruzana, Veracruz, México.
- Gil, L. (2006). Diseño e implementación de un programa de mantenimiento preventivo para el departamento de mantenimiento general de la refinería la libertad Perenco Guatemala limited (tesis de pregrado). Universidad de San Carlos, Guatemala
- Henkel Adhesivos y Tecnologías SL. (2005). Reparación de Ejes, Guía de Mantenimiento y Reconstrucción.
- Mamani, R. (2014). Selección del Equipo de Bombeo de Pasta de Papel Diluido para una Planta Papelera (tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Pesántez, A. (2007). Elaboración de un Plan de Mantenimiento Predictivo y Preventivo en Función de la Criticidad de los Equipos del Proceso Productivo de una Empresa Empacadora de Camarón. (tesis de grado). Escuela Superior Politecnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Rosa, M. Miles, L. y Pérez, J. (2009). Manual de Aplicaciones de Herramientas y Técnicas de Mantenimiento Preventivo (tesis de pregrado). Universidad de El Salvador, El Salvador.
- Tamariz, M. (2014). Diseño Del Plan de Mantenimiento Preventivo y Correctivo para los Equipos Móviles y Fijos de la Empresa de Mirasol. S.A (tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

Trejo J. (2010). Implementación del Mantenimiento Preventivo Q-Pumps S.A de C.V.

(tesis de pregrado). Universidad Tecnológica de Querétaro, Querétaro, México.

Henkel Adhesivos y Tecnologías SL. (2005). Reparación de Ejes, Guía de Mantenimiento

y Reconstrucción.


ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de consistencia

TITULO: “DISEÑO DE UN PLAN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LAS ELECTROBOMBAS CENTRINFUGAS INGERSOLL RAND EN LA PLANTA DE PETROPERÚ UNIDAD CERRO DE PASCO – 2016”

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLE	METODOLOGIA
<p>PROBLEMA PRINCIPAL ¿Cómo diseñar un plan de mantenimiento preventivo para las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco - 2016?</p> <p>PROBLEMAS ESPECIFICOS</p> <p>A) ¿En qué condiciones técnicas se encuentran las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco - 2016?</p> <p>B) ¿Cómo planificar las actividades para el desarrollo de inspección y ejecución del programa de mantenimiento preventivo para las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco - 2016?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL Diseñar un plan de mantenimiento preventivo, para mejorar la disponibilidad operativa de las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco - 2016.</p> <p>OBJETIVOS ESPECIFICOS</p> <p>A) Evaluar las condiciones técnicas de las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco – 2016, para determinar su estado actual.</p> <p>B) Elaborar y planificar el cronograma de actividades para la inspección del plan de mantenimiento preventivo de las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco - 2016.</p>	<p>HIPÒTESIS GENERAL El plan de mantenimiento preventivo previene paradas imprevistas de las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco - 2016.</p> <p>HIPOTESIS ESPECIFICAS</p> <p>A) El conocimiento de las condiciones técnicas de las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco 2016 permite detectar las causas, de las fallas prematuras y el incremento de los costos por mantenimiento correctivo.</p> <p>B) La elaboración y planificación del cronograma de actividades para la inspección del plan de mantenimiento preventivo, coadyuva positivamente a incrementar la disponibilidad operativa de las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco - 2016.</p>	<p>VARIABLES DE ESTUDIO:</p> <p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <p>Plan de mantenimiento preventivo.</p> <p>✓ Tiempo de disponibilidad operativa.</p> <p>✓ Aumentar la productividad</p> <p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>Electrobombas Centrífugas Ingersoll Rand</p>	<p>TIPO DE INVESTIGACION: Básica</p> <p>NIVEL DE INVESTIGACION: Descriptivo</p> <p>DISEÑO</p> <ul style="list-style-type: none"> • Descriptivo simple. <p>TECNICAS E INSTRUMENTOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Técnicas de Observación, Elaboración de Cuadros Estadísticos. • Técnicas de Revisión Bibliográfica (tesis de investigaciones similares), manuales de las Electrobombas, registros de mantenimientos. • Los instrumentos de medición a utilizar serán: <ul style="list-style-type: none"> - Calendarización - Cotizaciones. - Las 5 Electrobombas. <p>TECNICAS DE ANALISIS DE DATOS Estadística Descriptiva</p> <ul style="list-style-type: none"> • Distribución de frecuencias, las medidas de tendencia central y las medidas de dispersión


ANEXO 3: Ficha propuesta de identificación de equipo para las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco – 2016.

		PETROPERÚ PLANTA CERRO DE PASCO		ÁREA DE MANTENIMIENTO	
IDENTIFICACIÓN DE MAQUINARIA					
Máquina:					
Marca:					
Modelo:					
Número de serie:					
Fabricante:					
Representante comercial:					
Dirección:					
Teléfono:					
Mecanismos a	Período de	Período de	Descripción de Mantenimiento		
revisar	Limpieza	Mantenimiento	Recomendada		
	Recomendado	Rutinario			
Revisión eléctrica:					
Lubricación rutinaria:					
Observaciones:					

ANEXO 4: Ficha propuesto de historial para las electrobombas centrifugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco – 2016.

		PETROPERÚ PLANTA CERRO DE PASCO		ÁREA DE MANTENIMIENTO	
FICHA DE HISTORIAL DE MAQUINARIA					
Nº		Máquina:		Modelo:	
Partes y Componentes Principales	1.				
	2.				
	3.				
	4.				
	5.				
	6.				
	7.				
	8.				
Fecha		Componentes reparados	Descripción de la Reparación	Tiempo utilizado Para la reparación	
Observaciones:					


ANEXO 5: Boleta propuesta de requisición de materiales y repuestos para el mantenimiento preventivo de las electrobombas centrifugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco - 2016

				PETROPERÚ PLANTA CERRO DE PASCO				ÁREA DE MANTENIMIENTO			
Requisición de materiales y repuestos para área de mantenimiento											
Fecha				Autorizado:				Firma			
Descripción de repuestos:											
Descripción de materiales:											
Observaciones:											
Firma: _____ Técnico mecánico o electricista						Firma: _____ Encargado de bodega					

ANEXO 7: Ficha propuesto de revisión preventiva del plan de mantenimiento preventivo para las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco – 2016.

		PETROPERÚ PLANTA CERRO DE PASCO					ÁREA DE MANTENIMIENTO			
		Ficha de revisión y control de maquinaria		Tipo de Revisión		Mecánico	Fecha			
Eléctrico										
Elementos a revisar	Inspecciones					Observaciones				
	1	2	3	4	5					
Nombre de responsable						Firma				


ANEXO 8: Boleta propuesto de órdenes de trabajo del plan de mantenimiento preventivo para las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco - 2016.

		PETROPERÚ			ÁREA DE										
		PLANTA CERRO DE PASCO			MANTENIMIENTO										
Orden de trabajo Nº				Fecha de orden											
Prioridad	Normal		Máquina:	Fecha		Hora									
	Urgente														
<p>Tareas a efectuar:</p> <table border="1" style="width: 100%; height: 100px;"> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> </table>															
<p>Materiales o repuestos utilizados:</p> <table border="1" style="width: 100%; height: 100px;"> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> </table>															
<p>Observaciones:</p> <table border="1" style="width: 100%; height: 100px;"> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> </table>															
<p>Firma y sello de autorización: _____</p>															

ANEXO 11: Reporte mensual de mantenimiento propuesto del plan de mantenimiento preventivo para las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco – 2016.

		PETROPERÚ PLANTA CERRO DE PASCO		ÁREA DE MANTENIMIENTO			
Fallas encontradas		Causas		Procedimiento Seguido			
Trabajos planificados		Trabajos realizados		Índice de planificación			
Órdenes de trabajo y trabajos planificados TP		Trabajos planificados y no TR		TP/TR %			
Nombre: _____ Firma: _____							

**ANEXO 12: Boleta de requisición de materiales para el departamento de bodega
propuesto del plan de mantenimiento preventivo para las electrobombas centrífugas
ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco – 2016.**

		PETROPERÚ PLANTA CERRO DE PASCO			ÁREA DE MANTENIMIENTO																																																										
		Requisición de materiales		Fecha			Nº																																																								
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td colspan="8">Material Solicitado</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Cantidad</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">Descripción</td> </tr> <tr><td colspan="4"> </td><td colspan="4"> </td></tr> <tr><td colspan="4"> </td><td colspan="4"> </td></tr> <tr><td colspan="4"> </td><td colspan="4"> </td></tr> <tr><td colspan="4"> </td><td colspan="4"> </td></tr> <tr><td colspan="4"> </td><td colspan="4"> </td></tr> </table>								Material Solicitado								Cantidad				Descripción																																											
Material Solicitado																																																															
Cantidad				Descripción																																																											
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td colspan="8">Utilizado para:</td> </tr> <tr><td colspan="8"> </td></tr> <tr><td colspan="8"> </td></tr> <tr><td colspan="8"> </td></tr> <tr><td colspan="8"> </td></tr> </table>								Utilizado para:																																																							
Utilizado para:																																																															
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td colspan="8">Observaciones:</td> </tr> <tr><td colspan="8"> </td></tr> <tr><td colspan="8"> </td></tr> <tr><td colspan="8"> </td></tr> </table>								Observaciones:																																																							
Observaciones:																																																															
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td colspan="4"> Autoriza: _____ </td> <td colspan="4"> Entrega: _____ </td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Firma</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">Firma</td> </tr> </table>								Autoriza: _____				Entrega: _____				Firma				Firma																																											
Autoriza: _____				Entrega: _____																																																											
Firma				Firma																																																											

ANEXO 13: Ordenes de morosidad antes de implementar el plan de mantenimiento preventivo para las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco - 2016.

MOROSIDAD DE ORDENES DE TRABAJO EN EL ÁREA DE MANTENIMIENTO ANTES DE IMPLEMENTAR EL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LAS ELECTROBOMBAS CENTRIFUGAS INGERSOLL-RAND EN LA PLANTA DE PETROPERÚ UNIDAD CERRO DE PASCO - 2016														
Fechas	<15 días	No registrados	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento correctivo	Compra de repuestos	Entre 15 y 30 días	No registrados	Mantenimiento correctivo	Compra de repuestos	>30 días	No registrados	Mantenimiento correctivo	Compra de repuestos	TOTAL
20/04/2015	20	06	01	09	04	10	04	01	05	08	03	02	03	38
20/05/2015	14	04	01	07	02	07	03	01	03	10	04	02	04	31
20/06/2015	19	05	01	08	05	08	02	01	05	05	02	01	02	32
20/07/2015	16	07	01	06	02	12	05	01	06	07	03	01	03	35
20/08/2015	13	05	02	04	02	10	04	01	05	07	02	01	04	30
20/09/2015	14	04	01	06	03	07	02	01	04	08	02	02	04	29
20/10/2015	21	05	01	06	09	04	01	01	02	04	01	01	02	29
20/11/2015	13	06	01	05	01	04	01	01	02	04	01	01	02	21
TOTAL	130	42	09	51	28	62	22	08	32	53	18	11	24	245

ANEXO 14: Ordenes de morosidad después de la implementación del plan de mantenimiento preventivo para las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú Unidad Cerro de Pasco – 2016.

MOROSIDAD DE ORDENES DE TRABAJO EN EL ÁREA DE MANTENIMIENTO DESPUÉS DE IMPLEMENTAR EL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LAS ELECTROBOMBAS CENTRIFUGAS INGERSOLL-RAN EN LA PLANTA DE PETROPERÚ UNIDAD CERRO DE PASCO – 2016														
Fechas	<15 días	No registrados	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento correctivo	Compra de repuestos	Entre 15 y 30 días	No registrados	Mantenimiento correctivo	Compra de repuestos	>30 días	No registrados	Mantenimiento correctivo	Compra de repuestos	TOTAL
20/12/2015	37	00	33	04	00	00	00	00	00	01	01	00	00	38
20/01/2016	31	00	26	05	00	00	00	00	00	00	00	00	00	31
20/02/2016	31	00	26	05	00	00	00	00	00	01	00	00	01	32
20/03/2016	33	00	25	07	01	01	00	01	00	01	00	01	00	35
20/04/2016	30	00	28	02	00	00	00	00	00	00	00	00	00	30
20/05/2016	28	00	25	02	01	00	00	00	00	01	00	01	00	29
20/06/2016	28	00	27	01	00	01	00	00	01	00	00	00	00	29
20/07/2016	20	00	19	01	00	01	00	00	01	00	00	00	00	21
TOTAL	238	00	209	27	02	03	00	01	02	04	01	02	01	245

ANEXO 15: Electrobomba centrífuga ingersoll-rand N° 1



ANEXO 16: Electrobomba centrífuga ingersoll-rand N° 2



ANEXO 17: Electrobomba centrifuga ingersoll-rand N° 3



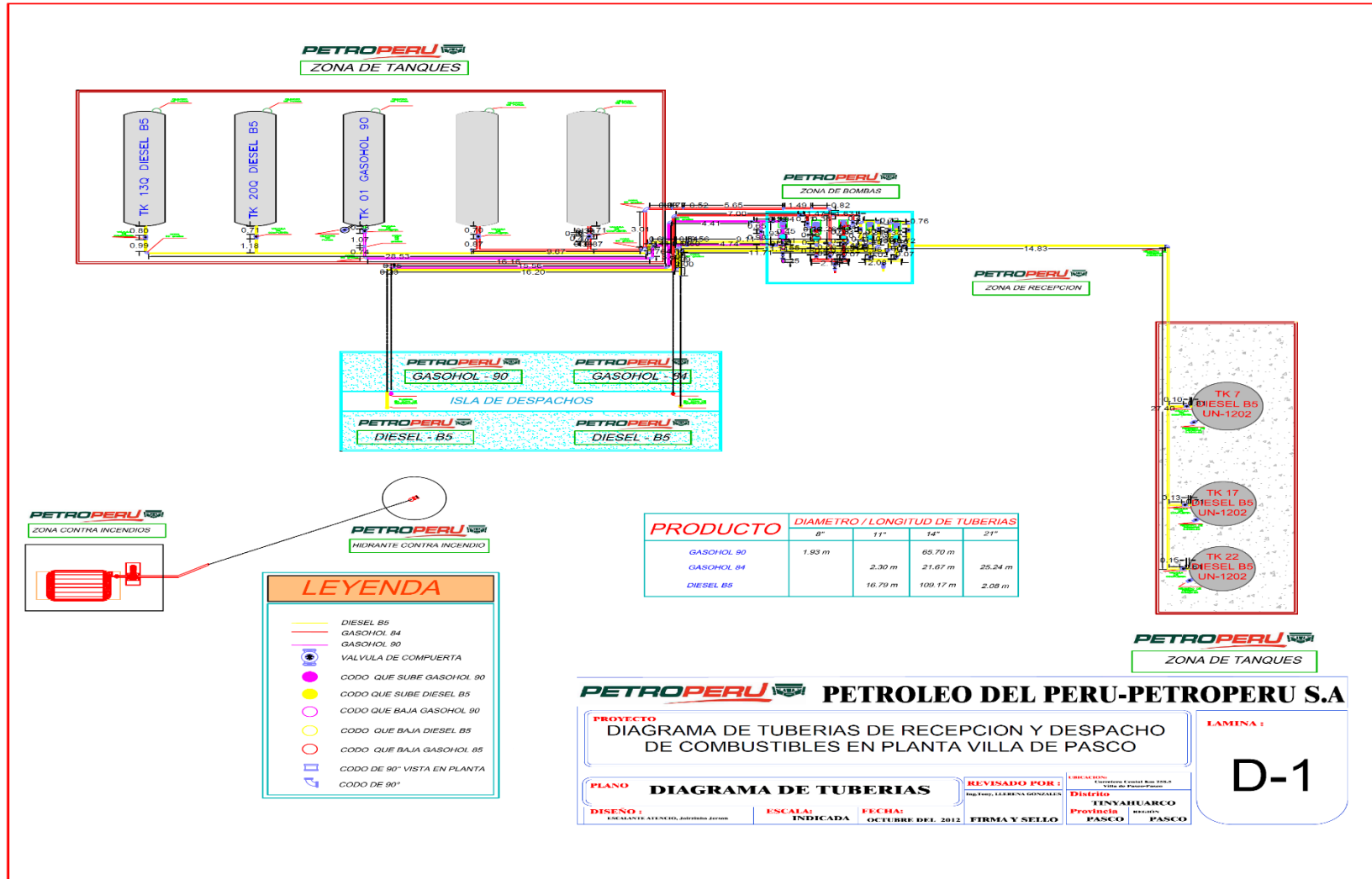
ANEXO 18: Electrobomba centrifuga ingersoll-rand N° 4



ANEXO 19: Electrobomba centrífuga ingersoll-rand N° 5**ANEXO 20: Electrobomba de 35 hp**

ANEXO 21: Pulsadores de las electrobombas ingersoll-rand**ANEXO 22: Tablero de las electrobombas ingersoll rand.**

ANEXO 23: Plano de distribución de la planta de Petroperú unidad Cerro de Pasco – 2016.




ANEXO 24: Requerimiento de repuestos para las electrobombas centrifugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú unidad Cerro de Pasco – 2016.

**PETRÓLEOS DEL PERÚ
GERENCIA COMERCIAL, ABASTECIMIENTO Y DISTRIBUCION
SUB GERENCIA DISTRIBUCION
UNIDAD PLANTAS CENTRO
PLANTA CERRO DE PASCO**

**PROGRAMA DE SEGURIDAD AÑO 2016
PLANTA CERRO DE PASCO - 5204**

REQUERIMIENTO POR MES DE REPUESTOS PARA LA REPARACIÓN DE UNA ELECTROBOMBA EN LA PLANTA DE VENTAS CERRO DE PASCO

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	MEDIDAS	MARCA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL X 5 ELECTROBOMBAS	EMPRESA PROVEEDORA DE MATERIAL
1	T21	Sello mecánico monoresorte, cara de carbon/silicio. Elasto metro de vitón.	1"	MADISON	5	S/.400	S/.2,000	DETECIN S.A.C
2	ICP 925	Empaquetadura cuadrada Trenzada con sistema intertrenzado a base de cintas de grafito expandido de alta pureza y bajo contenido en cloruro e inhibidor de corrosión.	1/4"	ICP	1 ROLLO 7.5METROS	S/.200	S/.1,000	DETECIN S.A.C
3	ICP 9400	EMPAQUETADURA ICP 9400. Juntas fabricada a partir de fibras minerales para alta temperatura y fibras de aramida,mezcladas con elastómero sintético de NBR de alta calidad. Fabricadas con superficies antiadherentes, libres de grafito.	1/8"	ICP	Una placa de 2x2 metros	S/.700	S/.3,500	DETECIN S.A.C
4	6300B-2RS1	Rodamientos rígidos de bolas	40X68X21mm	SKF	2	S/.300	S/.2,000	DIRECT INDUSTRI S.A.C
5		Ejes fabricado a las medidas requeridas	1'x50cm		1	S/.250	S/.1,250	IMPROMEC S.A.C
6		Impeler de bronce grafitado, fundido con las características solicitadas. Cada 6 meses.	15x3cm		1	S/.1,000	S/.5,000	ALIBABA S.A.C
PREPARADO POR:		REVISADO POR:		APROBADO POR:				
FIRMA:		FIRMA:		FIRMA: 				
NOMBRE:		NOMBRE:		NOMBRE: TONY REY LLERENA GONZALES				
FECHA:		FECHA:		FECHA: Supervisor Planta Cerro de Pasco Ficha. 55596				

ANEXO 25: Programa de mantenimiento antes de aplicar el plan de mantenimiento para las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú unidad Cerro de Pasco – 2016.

PETRÓLEO S DEL PERÚ
 GERENCIA COMERCIAL, ABASTECIMIENTO Y DISTRIBUCION
 SUB GERENCIA DISTRIBUCION
 UNIDAD PLANTAS CENTRO
 PLANTA CERRO DE PASCO

**PROGRAMA DE MANTENIMIENTO
 PLANTA CERRO DE PASCO - 5204** 2015


OBJETIVO	ACTIVIDAD	DETALLE	CRONOGRAMA																								EJECUTADO												
			ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC		TOTAL		%										
			P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	M	A											
REPARACIÓN DE ELECTROBOMBAS	Reparación de electrobomba 3.5HP	3 Mensual	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	48	48	100%	100%						
	Reparación de electrobomba 7HP	4 Mensual	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	48	48	100%	100%				
	Reparación de electrobomba 3.5HP	3 Mensual	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	48	48	100%	100%				
	Reparación de electrobomba 7HP	4 Mensual	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	48	48	100%	100%			
	Reparación de electrobomba 2HP	3 Mensual	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	48	48	100%	100%			
PREVENCIÓN INCENDIOS	Prácticas C.I.	1 semestral																		1	1									1	1	2	2	0%	100%				
	Evaluación de Planta.	1 Anual																													1	0	0%	0%					
	Pruebas de Alarma.	4 Mensual	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	48	48	100%	100%		
	Inspección Camiones Tanques.	1 Mensual	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	12	100%	100%		
	Inspección Equipos Despatchadores.	1 Mensual	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	12	100%	100%		
HIGIENE INDUSTRIAL	Inspección Higiene Industrial	1 Trimestral																																		4	4	0%	100%
	Charlas de Protección Industrial	1 Trimestral	1	1																															4	4	100%	100%	
	Divulgación Planes Contingencias	1 Trimestral	1	1																															4	4	100%	100%	
PREPARADO POR FIRMA			REVISADO POR:												APROBADO POR:																								
NOMBRE			NOMBRE												NOMBRE																								
FECHA	30/12/2015		FECHA												FECHA																								

[Firma]
 YOHANNEY LEBLANC GONZALES
 Supervisor
 Planta Cerro de Pasco
 Fono: 95590

ANEXO 26: Programa de mantenimiento después de aplicar el plan de mantenimiento preventivo para las electrobombas centrífugas ingersoll-rand en la planta de Petroperú unidad Cerro de Pasco – 2016.

PETRÓLEO S DEL PERÚ
 GERENCIA COMERCIAL, ABASTECIMIENTO Y DISTRIBUCION
 SUB GERENCIA DISTRIBUCION
 UNIDAD PLANTAS CENTRO
 PLANTA CERRO DE PASCO

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO 2016
PLANTA CERRO DE PASCO - 5204

OBJETIVO	ACTIVIDAD	DETALLE	CRONOGRAMA												EJECUTADO																			
			ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC		TOTAL		%					
			P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	M	A						
REPARACIÓN DE ELECTROBOMBAS	Reparación de electrobomba 3.5HP	3 Mensual	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24	22	0%	92%					
	Reparación de electrobomba 7HP	4 Mensual	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24	22	0%	92%					
	Reparación de electrobomba 3.5HP	3 Mensual	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24	22	0%	92%					
	Reparación de electrobomba 7HP	4 Mensual	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24	22	0%	92%					
	Reparación de electrobomba 2HP	3 Mensual	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	11	0%	92%					
PREVENCIÓN INCENDIOS	Práctica C.I.L.	1 semestral																1	1							1	1	2	2	100%	100%			
	Evaluación de Planta.	1 Anual																								1	1	0%	100%					
	Pruebas de Alarma.	4 Mensual	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	100%	100%	
	Inspección Camiones Tanques.	1 Mensual	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	100%	100%
	Inspección Equipos Despechadores.	1 Mensual	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	100%
HIGIENE INDUSTRIAL	Inspección Higiene Industrial	1 Trimestral					1	1					1	1					1	1							1	1	4	4	100%	100%		
	Charla de Protección Industrial	1 Trimestral	1	1					1	1					1	1					1	1							4	4	0%	100%		
	Divulgación Planes Contingencias	1 Trimestral	1	1					1	1					1	1					1	1							4	4	0%	100%		
PREPARADO POR: FIRMA:			REVISADO POR: FIRMA:			APROBADO POR: FIRMA:			 TONY REY LLERENA GONZALES Supervisor Planta Cerro de Pasco Ficha: 55595																									
NOMBRE FECHA:	17/11/2016		NOMBRE FECHA:	17/11/2016		NOMBRE FECHA:																												