



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

TESIS

**“MODIFICACIÓN DEL IMPULSOR Y EJE DE LA BOMBA
CENTRÍFUGA KSB – RPH 250 PARA INCREMENTAR
SU DISPONIBILIDAD EN LA EMPRESA
ADMINISTRADORA CERRO S.A.C.- 2017”**

Presentado por:

Bach. VICTOR FRANKLIN DUEÑAS MATOS

Para optar el título profesional de:

INGENIERO MECÁNICO

Cerro de Pasco - Perú

2017

DEDICATORIA

Dedico esta tesis principalmente a mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones.

Del mismo modo dedico a los docentes de la Universidad Alas Peruanas Filial Cerro de Pasco por habernos compartido sus conocimientos y sobre todo sus experiencias durante mi período de permanencia a ellos mi eterno agradecimiento.

A mi padre quien con sus consejos ha sabido guiarme para culminar mi carrera profesional.

Víctor Franklin DUEÑAS MATOS

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

A mis hermanos, 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 docentes de la Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica de la Universidad Alas Peruanas, por haber compartido conmigo sus conocimientos y sobre todo su amistad.

A mis amigos y compañeros de la universidad, por confiar y creer en mí y haber hecho de mi etapa universitaria un trayecto de vivencia que nunca olvidaré.

Víctor Franklin DUEÑAS MATOS

INDICE DE CONTENIDO

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Indice de contenido	iv
Indice de figuras	viii
Índice de tablas	ix
Indice de imagen	xi
Resumen	xii
Abstract	xiii
Introducción	xiv
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	16
1.1. Planteamiento del Problema	16
1.2. Formulación del Problema	17
1.2.1. Problema general.	17
1.2.2. Problema específico	18
1.3. Objetivo de la Investigación	18
1.3.1. Objetivo General	18
1.3.2. Objetivo específico	18
1.4. Justificación e importancia de la investigación	18
1.4.1. Justificación teórica.	19
1.4.2. Justificación práctica.	19
1.4.3. Importancia de la investigación.	19
1.5. Limitaciones de la Investigación	20
1.6. Delimitación de la investigación	20

1.6.1. Delimitación espacial	20
1.6.2. Delimitación social	20
1.6.3. Delimitación temporal	20
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	21
2.1. Antecedentes del problema	21
2.1.1. Antecedentes internacionales.	21
2.1.2. Antecedentes Nacionales.	23
2.2. Bases teóricas y científicas	24
2.2.1. Antecedentes históricos	24
2.2.2. Conceptualización de la variable independiente: Modificación del impulsor y eje de la bomba centrífuga KSB – RPH 250	26
2.2.3. Conceptualización de la variable dependiente: Disponibilidad	62
2.3. Definición de términos	65
2.4. Hipótesis	68
2.4.1. Hipótesis general	68
2.4.2. Hipótesis específica	68
2.5. Variables	68
2.5.1. Definición conceptual de la variable	68
2.5.2. Definición operacional de la variable	69
2.5.3. Operacionalización de la variable	69
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	71
3.1. Tipo y nivel de investigación	71
3.1.1. Tipo de investigación	71
3.1.2. Nivel de investigación	71
3.2. Diseño de la investigación	72

3.3. Población y muestra	72
3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	72
3.5. Validez y confiabilidad del instrumento	73
3.6. Técnicas de Recolección y Procesamiento de Datos	73
3.7. Procesamiento de datos	74
CAPÍTULO IV: RESULTADO	76
4.1. Resultado	76
4.1.1. Modificación del eje	76
4.1.2. Modificación del impulsor	77
4.2. Descripción estadística	78
4.3. Contratación de la hipótesis	80
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	87
CONCLUSIONES	89
RECOMENDACIONES.	90
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	91
ANEXOS 93	
ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA	93
ANEXO N°: 2: DISPONIBILIDAD DE BOMBA KSB – RPH 250 (ANTES)	94
ANEXO N° 3: DISPONIBILIDAD DE BOMBA KSB – RPH 250 (DESPUES)	94
ANEXO N° 4: CHECK LIST DESARMADO DE BOMBAS KSB- RPH 250	94
ANEXO N° 5: SISTEMA DE CONTROL DE REPUESTOS BOMBA- KSB RPH 250	97
ANEXO N° 6: MEMORIA DE CALCULOS DE LA BOMBA KSB – RPH 250	98
ANEXO N° 7 MEMORIA DE CÁLCULO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE BOMBEO	99
ANEXO N° 8: RESULTADOS DEL CALCULO HIDRAULICO DE LA BOMBA KSB	105
ANEXO N° 9: CURVAS RPH DE LA BOMBA KSB	106

ANEXO N° 10: BOMBA CENTRIFUGA KSB – RPH 250	107
ANEXO N° 11 FALLAS COMUNES BOMBA KSB – RPH 250	108
ANEXO N° 12: COSTOS DE LA MODIFICACION DE LA BOMB KSB – RPH 250	109
ANEXO N° 13: IMPULSOR ORIGINAL BOMBA KSB - RPH 250	110
ANEXO N° 14: IMPULSOR MODIFICADO BOMBA KSB - RPH 250	111
ANEXO N° 15: EJE ORIGINAL BOMBA KSB - RPH 250	112
ANEXO N° 16: EJE MODIFICADO BOMBA KSB - RPH 250	113
ANEXO N° 17: IMÁGENES DE LAS FALLAS DEL PERNO DE SUJECION DEL IMPULSOR	114
ANEXO N° 18: MANUAL DE LA BOMBA CENTRÍFUGA WARMAN	115

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fallas en ejes.	33
Figura 2. Elemento de barra sometido a torsión pura.	34
Figura 3: Esquema de una fractura frágil sin ninguna deformación plástica.	40
Figura 4: Esquema de una fractura muy dúctil (a) y una moderadamente dúctil después de una cierta estricción (b).	41
Figura 5: Geometría de grietas superficiales e internas.	42
Figura 6: Localización de la tensión máxima en la grieta.	43
Figura 7: Criterio convencional de diseño en un componente sin defectos.	45
Figura 8: Criterio convencional de diseño en un componente fisurado.	45
Figura 9: Modo I.	47
Figura 10: Modo II.	47
Figura 11: Modo III.	48
Figura 12: Zonas diferenciadas en la superficie de fractura de un eje por fatiga.	49
Figura 13: Formación de extrusiones, Intrusiones superficiales previas a la iniciación de una grieta.	51
Figura 14: Reorientación de la grieta al modo I en el estadio II de fatiga.	52
Figura 15: Estadios de fatiga sobre un diagrama de Paris.	53
Figura 16: Terminología de roscas de tornillo.	55
Figura 17: Perfil básico de roscas métricas.	55
Figura 18: Eje de la bomba centrífuga modificado.	77
Figura 19 Impulsor de la bomba centrífuga modificado.	77
Figura 20 Histograma de disponibilidad mecánica.	80
Figura 21: Sistema de control de existencia de repuestos de bomba KSB - RPH 250 y 200	97
Figura 22: Curvas RPH de la bomba KSB	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Diámetros y áreas de roscas métricas	56
Tabla 2: Prueba de Kolmogorov- Smirnov para una muestra	73
Tabla 3: Estadísticos descriptivos antes de la modificación	78
Tabla 4: Estadísticos descriptivos después de la modificación	79
Tabla 5: Disponibilidad de la bomba N° 3b después de la modificación	79
Tabla 6: Disponibilidad de la bomba n° 3b después de la modificación	79
Tabla 07. Pruebas de chi - cuadrado.	81
Tabla 08. Prueba de muestra única.	82
Tabla 09. Pruebas de chi - cuadrado.	83
Tabla 10. Prueba de muestra única.	83
Tabla 11. Pruebas de chi - cuadrado.	85
Tabla 12. Pruebas de muestra única.	85
Tabla 13: Disponibilidad de bombas KSB – RPH 250 antes. Empresa Administradora Cerro S.A.C	94
Tabla 14. Disponibilidad de la bomba KSB – RPH 250, después de la modificación. Empresa Administradora Cerro S.A.C	94
Tabla 15: Resultados del cálculo hidráulico de la bomba KSB	105
Tabla 16: Costos de la modificación de la bomba KSB	109

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Operacionalización de variables.	69
Cuadro 2: Fallas comunes de bomba KSB – RPH 250	108

INDICE DE IMAGEN

Imagen 1 Bomba centrífuga	28
Imagen 2 motores KSB Etanorm 30	30
Imagen 3 Etanorm con PumpDrive, PumpMeter y motor KSB SuPremE®	31
Imagen 4 Bombas centrífuga KSB	107

RESUMEN

El presente trabajo de investigación intitulado “Modificación del impulsor y eje de la bomba centrífuga KSB – RPH 250 para incrementar su disponibilidad en la empresa Administradora Cerro S.A.C. 2017”, se tomó como unidad de análisis a la Empresa Administradora Cerro S.A.C. para estudiar las variables bomba centrífuga y la disponibilidad para determinar el nivel de significancia desde el punto estadístico para corroborar en de manera empírica su eficacia traduciéndose en la productividad de la disponibilidad. Desde el punto de vista metodológico es una investigación de tipo tecnológico y el nivel es aplicativo, porque en el estudio se realizó una modificación al eje y el impulsor para dar solución a la baja disponibilidad de la bomba.

El objetivo del presente trabajo ha sido determinar la influencia de la modificación del impulsor y eje de la bomba centrífuga KSB - RPH 250 en su disponibilidad, en la Empresa Administradora Cerro SAC, para lograr este objetivo se desarrolló la investigación centrada en el diseño de soluciones de pre y post facto, primero se evaluó la disponibilidad mecánica antes del tratamiento, después de la modificación se tomaron datos para evaluar la disponibilidad mecánica. El procesamiento y análisis de datos se realizó mediante la estadística descriptiva e inferencial. Finalmente, se realizó la prueba de hipótesis utilizando el estadígrafo T Student.

Como resultado obtuvimos un incremento en la disponibilidad mecánica de la bomba centrífuga en la empresa Administradora Cerro SAC de un 25%; y por lo tanto una mejora en su vida útil.

Los resultados de la modificación realizada en la bomba centrífuga KSB – RPH 250, servirá para realizar modificaciones a las otras bombas las cuales presentan las fallas en el perno de sujeción del impulsor.

Palabras Claves: Disponibilidad. Falla. Modificación.

ABSTRACT

The present investigation work entitled "Modification of the impeller and shaft of the pump KSB – RPH 250 centrifugal to increase its availability in Management Company Cerro S.A.C.-2017", was taken as unit of analysis to the Management Company Cerro S.A.C. to study the variables pump centrifugal and the availability to determine the level of significance from the statistical point to corroborate in an empirical way its effectiveness translating into the productivity of the availability. From the methodological point of view it is a technological research and the level is applicative, because in the study a modification was made to the shaft and the impeller to give solution to the low availability of the pump.

The aim of this study was to determine the influence of the modification of the impeller and shaft of the pump KSB – RPH 250 centrifugal in its availability in the Management Company Cerro SAC, to achieve this goal, the research focused on the design of pre- and post-facto solutions was developed, first the mechanical availability before the treatment was evaluated, after the modification data were taken to evaluate the mechanical availability. The processing and analysis of data was done through descriptive and inferential statistics. At last, the hypothesis test was performed using the Student T statistic.

As a result, we got an increase in the mechanical availability of the centrifugal pump of the Management Company Cerro SAC by 25%; so, an improvement in its useful life.

The results of the modification made in the centrifugal pump KSB – RPH 250, it will help to make modifications to the other pumps which present the failures in the impeller holding bolt.

Keywords: Availability. Failure. Modification

INTRODUCCIÓN

Las prácticas de mantenimiento de una empresa están determinadas para obtener la máxima disponibilidad de los equipos al menor costo posible. Las fallas reducen la disponibilidad de los equipos y en consecuencia se reduce la producción, implicando una disminución en las ganancias; es aquí donde introducimos el término falla, según Knezevic, se define como: “suceso cuya ocurrencia provoca o bien la pérdida de capacidad para realizar las funciones requeridas, o bien la pérdida de la capacidad para satisfacer los requerimientos especificados”. Por tanto, en este trabajo se definirá falla al deterioro de cualquier componente o parte del sistema que evite o impida su funcionamiento normal.

La Empresa Administradora Cerro SAC, es un yacimiento minero localizado en la región central. Políticamente se encuentra entre los distritos de Chaupimarca, Yanacancha y Simón Bolívar, provincia de Pasco, Departamento de Pasco, a una altitud de 4380 metros sobre el nivel del mar.

El modo de extracción de mineral es subterráneo, y entre las diversas divisiones de operación interna de la mina se encuentra el de drenaje interno de la misma, el cual consta de todo un sistema de bombeo dividido por estaciones. Este sistema comprende múltiples unidades de bombeo. El sistema de drenaje de la mina es muy amplio y comprende tanto bombas estacionarias como sumergibles. El gran caudal de agua filtrado hace que se sobre exija el sistema completo, ocasionando problemas y apuros en cuanto a los trabajos de mantenimiento preventivo y de servicios, en consecuencia, los resultados operativos reflejan bajos índices de confiabilidad de los equipos. Vega

(2013), en la tesis se analiza el análisis de falla del perno de sujeción, del impulsor en las bombas KSB - RPH 250, que operan en el sistema de drenaje interior mina.

La presente tesis intitulada "Modificación del impulsor y eje de la bomba centrífuga KSB – RPH 250 para incrementar su disponibilidad en la Empresa Administradora Cerro S.A.C. 2017", presenta en forma clara y sencilla la aplicación de un sistema alternativo para la bomba centrífuga KSB – RPH 250 la cual, está instalada en el sistema de bombeo de interior mina en la Empresa Administradora Cerro SAC. El objetivo principal de la tesis es determinar la influencia de la modificación del impulsor y eje de la bomba centrífuga KSB – RPH 250 en su disponibilidad, en la Empresa Administradora Cerro SAC.

La tesis consta de 5 capítulos desarrollados de la siguiente manera: El primer capítulo se desarrolla el planteamiento de la realidad problemática, formulación del problema, nuestro problema general acotamos con la siguiente pregunta ¿Cómo influye la modificación del impulsor y eje de la Bomba Centrífuga KSB en su disponibilidad en la Empresa Administradora Cerro SAC?, el objetivo de la investigación es Determinar la influencia de la modificación del impulsor y eje de la Bomba Centrífuga KSB – RPH 250 en su disponibilidad en la Empresa Administradora Cerro SAC, justificación e Importancia de la investigación, limitaciones de la investigación, y limitaciones de la investigación.

El segundo capítulo se trata del marco teórico, antecedentes de la investigación, bases teóricas y científicas, antecedentes históricos, conceptualización de las variables, definición de términos. La hipótesis de la investigación es “La modificación del impulsor y eje de la Bomba Centrífuga KSB – RPH 250 influye en su disponibilidad en la Empresa Administradora Cerro S.A.C.” Asimismo, consideramos la definición conceptual y operacional de la variable y la Operacionalización de las variables.

En el tercer capítulo se describen la metodología aplicada en la presente investigación, donde se detalla el tipo y nivel de investigación, el diseño de investigación, la población y la muestra, las técnicas e instrumentos para la recolección de datos y el procesamiento de datos

En el cuarto capítulo se presenta los resultados de la investigación, de igual manera en este capítulo podrán encontrar la descripción estadística y la hipótesis.

En el quinto capítulo se presenta la discusión de los resultados con todos los antecedentes presentados en el capítulo dos. Finalmente doy a conocer las conclusiones, recomendaciones y las referencias bibliográficas. Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que colaboraron con la elaboración de la presente tesis.

Al concluir la investigación sentimos una sensación de satisfacción poniendo a consideración del público en general y los jurados calificadores de la presente investigación para su validación y aprobación respectivamente. Agradezco a los docentes de la Universidad Alas Peruanas Filial Pasco por su valiosa contribución en la presente investigación.

Víctor Franklin DUEÑAS MATOS

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

Las maquinas hidráulicas, obras elaboradas por el hombre para facilitar el trabajo, las cuales tienen como finalidad entregarle energía al fluido que se emplea como trabajo, se rigen bajo la primera ley de la termodinámica lo cual establece “La Transferencia de Energía” dado para un sistema. La bomba centrífuga es un equipo hidráulico que se encarga de convertir la energía mecánica (por consumo eléctrico) en presión y velocidad a un fluido. Estas unidades de bombeo trabajan bajo ciertas condiciones que exige un sistema. Para este caso, las bombas centrífugas horizontales para agua que pertenecen a la Empresa Administradora Cerro SAC. Son las que se estudiaron debido a las fallas que presentaban, estas unidades como también inmersas en irregularidades que traen consecuencia para el sistema y para la conservación del mismo.

Es fundamental la disponibilidad de las bombas centrífugas horizontales para agua, estas máquinas hidráulicas presentan fallas a corto plazo debido a la falta 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 reducción de la vida útil y bajo nivel de conservación de las unidades de bombeo

para agua la cual afecta el sistema de bombeo de la Empresa Administradora Cerro SAC.

La Empresa Administradora Cerro se encuentra ubicado en la ciudad de Cerro de Pasco a 4380 msnm; en el departamento de Pasco. Su actividad principal es la extracción de mineral de sus minas subterráneas. Para tal efecto la minera cuenta con equipos como son: Volquetes de alto tonelaje, scoops, jumbos, bombas centrífugas horizontales, bombas sumergibles, sistemas de ventilación entre otros.

Para drenar las aguas filtradas de interior mina de la empresa Administradora Cerro SAC, se utilizan bombas centrífugas horizontales KSB – RPH 250.

En el sistema de bombeo de interior mina presentaba constantemente fallas prematuras en las bombas centrífugas KSB - RPH-250, específicamente en unos de sus componentes que es el perno central de sujeción de impulsor.

Debido a las fallas prematuras se incrementó los costos por mantenimiento correctivo; la cual trajo como consecuencia la reducción de la productividad en el bombeo de las aguas filtradas en interior mina; la cual puede traer como consecuencia la inundación de la mina.

Para corregir estos inconvenientes se realizó la presente investigación el cual consiste en la modificación del impulsor y eje de la bomba centrífuga KSB - RPH 250, para incrementar su disponibilidad.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1 Problema general.

¿Cómo influye la modificación del impulsor y eje de la Bomba Centrífuga KSB – RPH 250, en su disponibilidad en la Empresa Administradora Cerro SAC?

1.2.2 Problema específico

- a) ¿De qué manera la falla de pernos influye en la disponibilidad de la bomba centrífuga KSB – RPH 250, en la Empresa Administradora Cerro S.A.C.?
- b) ¿En qué medida el rendimiento del sistema modificado influye en la disponibilidad de la bomba centrífuga KSB – RPH 250, en la Empresa Administradora Cerro S.A.C.?

1.3. Objetivo de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Determinar la influencia de la modificación del impulsor y eje de la bomba centrífuga KSB – RPH 250, en su disponibilidad en la Empresa Administradora Cerro S.A.C.

1.3.2. Objetivo específico

- a) Analizar de qué manera la falla de pernos influye en la disponibilidad de la bomba centrífuga KSB – RPH 250, en la Empresa Administradora Cerro S.A.C.
- b) Determinar en qué medida el rendimiento del sistema modificado, influye en la disponibilidad de la bomba centrífuga KSB – RPH 250, en la Empresa Administradora Cerro S.A.C.

1.4. Justificación e importancia de la investigación

La tesis se justifica por cuanto se determina, como influye la modificación del impulsor y eje de la Bomba Centrífuga KSB – RPH 250 en su disponibilidad; en la Empresa Administradora Cerro S.A.C. A través de la investigación deseo explorar la aplicabilidad de la modificación de la Bomba Centrífuga KSB – RPH

250 y su disponibilidad para buscar la eficiencia y eficacia en su uso. Asimismo, se justifica por las siguientes razones:

1.4.1. Justificación teórica.

Esta investigación se realiza con el propósito de aportar el conocimiento existente mediante la aplicación de la teoría y los conceptos básicos de las máquinas hidráulicas, en la solución de las fallas prematuras de los componentes de la bomba centrífuga KSB – RPH 250, específicamente en su componente el cual es el perno central de sujeción del impulsor, en la Empresa Administradora Cerro S.AC. Para su desarrollo utilizamos la teoría de turbo máquinas en lo que respecta al análisis de bombas.

1.4.2. Justificación práctica.

Este trabajo de investigación busca resolver las fallas prematuras que se están presentando en las bombas centrífugas KSB – RPH 250, y así no tener gastos imprevistos por reparaciones correctivas y una mejora en la productividad de las mismas.

1.4.3. Importancia de la investigación.

La relevancia de la investigación consiste en analizar e identificar las fallas prematuras que se presentan en las bombas centrífugas KSB – RPH 250, la cual ocasiona altos gastos innecesarios por reparaciones el aporte de la presente investigación se logrará mejorar la productividad en el funcionamiento de las bombas centrífugas KSB – RPH 250 y de mantener la capacidad operacional de las mismas. Las condiciones de operación de las bombas centrífugas aumentaran significativamente con el análisis de falla.

1.5. Limitaciones de la Investigación

Dado que el proyecto de investigación se realizó en el nivel 2125 de la Empresa Administradora CERRO S.A.C., en Pasco, y considerando que en la actualidad este sistema está en continua producción, la posibilidad de realizar múltiples pruebas y ensayos serán limitadas.

1.6. Delimitación de la investigación

1.6.1. Delimitación espacial

El trabajo de investigación se realizó en el Departamento de Pasco, Provincia Pasco, Distrito de Simón Bolívar.

1.6.2. Delimitación social

Este trabajo de investigación va servir a los colaboradores de la Empresa Administradora CERRO S.A.C.

1.6.3. Delimitación temporal

El trabajo de investigación se realizó el periodo 2017.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes internacionales.

Solares (2006) tesis titulada: *Mejora del programa de mantenimiento preventivo en las bombas impulsadoras de concreto*. Presentada a la Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, quien llega a la 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. Para aumentar los índices de confiabilidad y

disponibilidad de las bombas impulsadoras de concreto, es necesario tener un enfoque global, es decir involucrar a todas las personas que tienen un contacto directo o indirecto con las bombas.

Cardozo & Pavón (2009) quien realizo la tesis titulada: *Análisis de falla de pozos de bombeo electrosumergible en el campo Cantagallo*. Presentada a la Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico Químicas, Escuela de Ingeniería de Petróleos. Cuyo trabajo de investigación se deduce la siguiente conclusión final: El análisis de falla permitió identificar elementos con averías con el objetivo de ser remplazados en futuras instalaciones; para los pozos de Cantagallo. La implementación de estos análisis permitirá incrementar los tiempos de vida y corrida de los sistemas BES presentes en el Campo Cantagallo.

Álvarez & Quezada (2008), quienes realizaron la monografía titulada: *Estado del arte, análisis y mantenimiento de bombas centrífugas*. Quien se encuentra en la biblioteca de la Universidad Tecnológica de Bolívar, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Mecánica. Quien concluye que: La realización de este documento brinda la oportunidad de conocer más a fondo la ingeniería de las bombas centrífugas, iniciando desde su construcción y terminando con la operación y técnicas de mantenimiento que garantizan el funcionamiento adecuado de estos equipos.

2.1.2. Antecedentes Nacionales.

Quincho (2015), quien realizo la tesis titulada: *Incremento de la Disponibilidad Mecánica para la reducción de costos operativos de las Excavadoras CAT 336 de la Empresa Stracon G y M S.A.*, presentada a la Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería Mecánica, Huancayo, Perú; quién presentó y sustentó para obtener el título de Ingeniero Mecánico, en el año 2015, de cuyo trabajo de investigación se deduce la siguiente conclusión final: Se verifica que la disponibilidad total de los equipos aumento en un 24.6% esto es porque se utilizó un enfoque sistemático y se programó los mantenimientos y monitoreos de manera oportuna. Se concluyó que los costos de las valorizaciones planeadas al 100% de la disponibilidad vs los costos reales tenia déficit que fue disminuyendo progresivamente pero aun así se tiene una pérdida de 92898.70 soles en los 6 meses analizados.

Pérez (2013), quien realizo la Tesis: *Diseño de plan de mantenimiento basado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad del tractor CAT-D8T de ICCGSA en Toromocho*. Presentada a la Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería Mecánica. Quién presentó y sustentó para obtener el título de Ingeniero Mecánico, en el año 2013; de cuyo trabajo de investigación se deduce la siguiente conclusión final: “Debido a la cuidadosa selección del uso de técnicas de mantenimiento a condición se alarga la vida útil de los componentes. El RCM es un tipo de mantenimiento, por el cual el trabajo de mantenimiento se hará más eficaz y a la vez planificado para obtener una mejor

disponibilidad de la flota de tractores CAT-DBT, sin que estos tengan fallas imprevistas y no planificadas.

2.2. Bases teóricas y científicas

2.2.1. Antecedentes históricos

Agua y aire son dos fluidos vitales, además de ser necesarios para la vida, han sido a lo largo de la historia compañeros inseparables del ser humano en su intento de aprovecharlos para desarrollar sus actividades. De hecho, la civilización humana se ha desarrollado en estrecha convivencia con los fluidos actuando desde un principio para intentar controlarlos.

La civilización sumeria nació aproximadamente hace 7500 años en la región de Sumer, también conocida como Mesopotamia, que hoy se corresponde con la República de Irak. Fueron también que por primera vez el ser humano intenta interactuar con los fluidos, agua y aire, para su propio provecho. De esta época son las primeras obras hidráulicas y fundamentalmente en la zona sur de Mesopotamia, el complejo sistema hidráulico de canales, diques y presas supuso, junto a la riqueza del suelo, el desarrollo de una floreciente agricultura.

En el campo del bombeo, hacia mediados del siglo XIX, las limitaciones y desventajas de las bombas hidráulicas reciprocantes se ponen ya en manifiesto y se empiezan a ensayar bombas de tipo centrífugo, aunque es difícil señalar el inventor o inventores de las mismas. Algún dibujo de Leonardo da Vinci en el siglo XV ya muestran cómo la fuerza centrífuga actuando sobre el agua podría aprovecharse para

evarla a una cierta altura. Sin embargo, el italiano Jordán dibuja en el siglo XVII el esquema claro de una bomba centrífuga y el francés Le Demour diseña en 1732 el primer aparato que eleva agua usando la fuerza centrífuga. Se basaba en una tubería inclinada girando en torno a un eje vertical en la que el agua ascendía por efecto de dicha fuerza. Sin embargo, no es hasta comienzos del siglo XVIII que el físico francés Papin construye la primera bomba centrífuga si bien con diseño primitivo, de la que se tiene constancia. En 1818, Andrews, en los EE.UU., construyó una bomba centrífuga de una etapa cuyo diseño mejoró notablemente en 1846. Hacia mediados del siglo, John Gwinne Works, en el Reino Unido, empleo los resultados de Andrews para manufacturar unas cuantas bombas centrífugas de doble succión. Otro resultado de los trabajos de Andrews fue la construcción de las primeras bombas multietapa, patentadas por primera vez en 1851, aún con un diseño imperfecto. Este diseño preliminar fue empleado por el famoso científico Reynolds en Gran Bretaña quien añadió el difusor y la pieza de parada para eliminar la rotación entre etapas y patentó el diseño, siendo básicamente igual que las actuales. En general, las bombas centrífugas requieren velocidades de rotación relativamente altas, por lo que sólo comenzó a extenderse su uso con la energía eléctrica y la introducción del motor trifásico desarrollado por el ingeniero ruso V.O. Dolivo-Dobrovolskiy en 1888-1889.

En el siglo XX conoce un desarrollo sin precedentes en todo el mundo con el empleo de turbinas hidráulicas en los aprovechamientos hidroeléctricos siendo la energía hidroeléctrica uno de los pilares junto a la

nuclear y termoeléctrica, en los que se asientan las políticas energéticas de prácticamente todos los países (Ibarra & Rodríguez, 1997).

2.2.2. Conceptualización de la variable independiente: Modificación del impulsor y eje de la bomba centrífuga KSB – RPH 250.

La pieza central del portafolio de producto KSB es la bomba centrífuga. Estos productos y servicios por parte de la empresa KSB, están diseñados para aplicaciones en industria, edificación, e ingeniería de procesos, así como para aplicaciones en los sectores del agua y aguas residuales, minería y energía.

La bomba centrífuga es un componente fundamental de la gama de productos de la empresa KSB. La bomba es adecuada para cada aplicación y requisito especial, siempre garantizando los mejores resultados. Sean cuales sean las distintas aplicaciones de ingeniería de procesos, edificación, abastecimiento de agua, aguas residuales, energía o minería, el completo programa de productos de la empresa KSB tiene la solución que busca.

La empresa KSB lanzó su primera bomba centrífuga al mercado en 1903. Desde entonces, la industria y, con ella, los requisitos exigidos a los equipos de bombeo de fluidos han experimentado un profundo cambio. Siempre hemos sido conscientes de que la bomba es muy importante para que un sistema arroje buenos resultados económicos. Por eso, la empresa KSB, siempre ha diseñado su tecnología teniendo su éxito muy presente. Por ejemplo, al comercializar Etachrom, la primera bomba centrífuga de acero inoxidable, en 1987, hicieron posible el bombeo higiénico tanto de

alimentos líquidos como de fluidos corrosivos. La empresa KSB, se asegura de que todas y cada una de sus bombas y demás productos den resultados óptimos en cuanto a eficiencia energética y fiabilidad operativa. Muchos de nuestros productos ya cumplen con la normativa comunitaria de 2015, y algunos incluso con la de 2017. En una época en la que los precios de la energía no dejan de subir, ahorrar energía sin duda reduce los costos operativos. A fin de impulsar la mejora continua en fiabilidad operativa, los ingenieros de la empresa KSB, nunca han dejado de optimizar la cartera de bombas. A principios de 2013, el este producto lanzó su última bomba centrífuga: MegaCPK. Esta bomba representa la competencia técnica de KSB. MegaCPK es la evolución de la exitosa serie de modelos CPK, CPKN y Megachem. Destaca por sus reducidos valores de NPSH, su elevada fiabilidad operativa, su ágil bombeo y su rendimiento estable. Gracias a que su cuerpo e interior son de acero inoxidable, esta bomba es idónea para las aplicaciones de bombeo de fluidos químicos agresivos. En el catálogo de Bombas y Automatización encontrarán modelos de bombas para prácticamente cualquier caudal y potencia nominal.

Síntesis del principio de las bombas centrífugas

El principio básico de la bomba centrífuga, inventado en el siglo XVII, continúa aplicándose hoy en día. En el interior de la bomba, un impulsor gira sobre un eje. El impulsor acelera el flujo del fluido bombeado. La fuerza centrífuga desplaza el fluido hacia el extremo exterior del impulsor de la bomba. Como resultado, el fluido es transportado hasta la salida de la bomba. Al mismo tiempo, se genera una zona de presión negativa en el

orificio de entrada que arrastra aún más el fluido, adentro de la bomba centrífuga. Este principio permite bombear incluso caudales extremadamente grandes de forma eficiente y constante en funcionamiento continuo. De ahí que las bombas centrífugas sean ampliamente utilizadas en los procesos industriales y continuos.

Tipos de bombas centrífugas:

Los siguientes tipos de bombas también se consideran bombas centrífugas:

- Bombas de flujo radial
- Bombas de flujo diagonal (también denominadas bombas centrífugas semiaxiales)
- Bombas de canal lateral
- Bombas de impulsor periférico
- Bombas de flujo axial (también denominadas bombas de hélice)



Fuente: KSB SuPremE®

Imagen 1: Bomba centrífuga

KSB SuPremE® – el motor para bombas sin imanes permanentes más eficiente.

Una dieta energética que es saludable para el medio ambiente y para su presupuesto: El motor KSB SuPremE® es una solución innovadora para bombas centrífugas que satisfacen los requisitos eco balance del día de mañana. Ningún otro motor puede trabajar en un sistema de una manera tan fina, permitiéndole al mismo tiempo reducir sus costos de energía en un 70%.

Muy por delante de su tiempo:

Los motores SuPremE de KSB, acordes al nivel de eficiencia IE4 (Según IEC (CD) 60034-30 Ed. 2), superan los requerimientos ErP exigidos en 2017. Especialmente en el rango de carga parcial, el motor tiene mayores ventajas de eficiencia sobre motores asíncronos.

Ahorros posibles de más del 70%:

El elevado aumento de la eficiencia de hasta el 60% debido a la velocidad de control se incrementa aún más mediante un ahorro energético de hasta un 30% solamente en el motor.

Respetuoso con el medio ambiente:

La huella ambiental total del motor es extremadamente pequeña. El no uso de los materiales magnéticos hace que sea mucho más sostenible que motores síncronos de imanes permanentes y motores asíncronos.

Duradero y robusto

Con la misma robustez y fiabilidad que cualquier motor asíncrono convencional, no presenta materiales o componentes críticos.

Compatible y silencioso

KSB Supreme[®] es compatible con el motor asíncrono IE2. Su patentado diseño de rotor asegura un nivel extremadamente bajo de la ondulación del par (1 a 2%) y el funcionamiento es silencioso.

Etanorm: Rendimiento por diseño cumple con una excelente eficiencia.

Etanorm es una bomba estándar



Fuente: KSB Etanorm, recuperado de https://www.ksb.com/ksb-es/Productos_y_Servicios/Industria/familia-etanorm/Etanorm/

Imagen 2: Motores KSB Etanorm

Etanorm es la bomba normalizada para aguas más vendida del mundo. Pero eso no ha impedido que la empresa KSB realice mejoras: los sistemas hidráulicos optimizados ahorran hasta 7.000 kW / h de energía al año - lo que significa un ahorro de varios miles de euros por bomba y emisiones de CO₂ notablemente reducidas

Las ventajas en un vistazo:

- Significativos ahorros de energía y mejora de la eficiencia
- Más que preparado para ErP 2015
- Junta del cuerpo confinado para variar las condiciones de funcionamiento

- Tamaños adicionales para caudales pequeños
- Montaje y desmontaje más sencillo gracias a una caja del cierre de mayor tamaño y a los tornillos de presión entre la tapa del cuerpo y el soporte de rodamientos.
- El diámetro del impulsor se recorta para conseguir un punto de trabajo óptimo

Etanorm combinado con PumpDrive, PumpMeter y un motor KSB Supreme[®], se muestra en la imagen 3.



Fuente: KSB SuPremE[®]

Imagen 3: Etanorm con PumpDrive, PumpMeter y motor KSB SuPremE[®]

Un motor de alta eficiencia como el de KSB Supreme[®], la regulación de velocidad variable con PumpDrive y el inteligente sistema de monitoreo de bombas PumpMeter hacen que el ahorro sea más grande con Etanorm.

Motores KSB Supreme[®] ya cumplen con los requisitos de rendimiento para motores eléctricos de acuerdo a la ErP (IE4 IEC (CD) 60034-30 Ed.

2) y, por tanto, va muy por delante a su tiempo. Gracias a la utilización de materiales no críticos y sostenibles, estos motores son extremadamente robustos y duraderos.

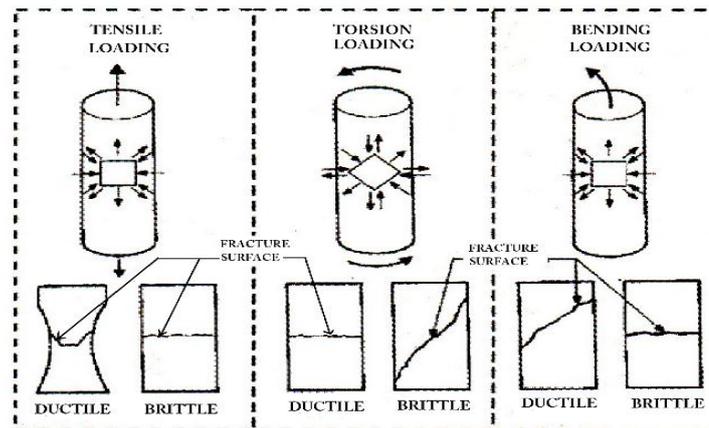
El sistema de variación de velocidad PumpDrive facilita aún más el incremento de la eficiencia de Etanorm. El principio: el variador de frecuencia PumpDrive permite un ajuste rápido, preciso y continuo de la velocidad del motor de la bomba a las necesidades reales.

2.2.2.1 Falla de ejes

Una ruptura o fractura en un eje casi siempre se inician en alguna imperfección en la superficie, como una grieta microscópica, acompañados de una concentración de esfuerzos. Con el esfuerzo aplicado (doblado de rotación, la carga radial, la carga cíclica, etc.) en la grieta, los enlaces entre las moléculas del acero y la grieta se propaga a través del eje. Dependiendo de la cantidad de estrés el proceso de propagación de grietas puede ser muy lento o muy rápido.

2.2.2.2 Dúctil vs frágil

En la figura 1, muestra las diferencias de fallas en ejes dúctiles y frágiles, dependiendo del tipo de carga: de tracción, de torsión, y de flexión. La superficie de la fractura normalmente le dará una idea de la magnitud de la carga lo que significa que si el aspecto es muy frágil, entonces el fallo se produjo muy rápidamente, y si el fallo es muy dúctil o suave, entonces la grieta se propago por algún tiempo (RENAME, 2014).



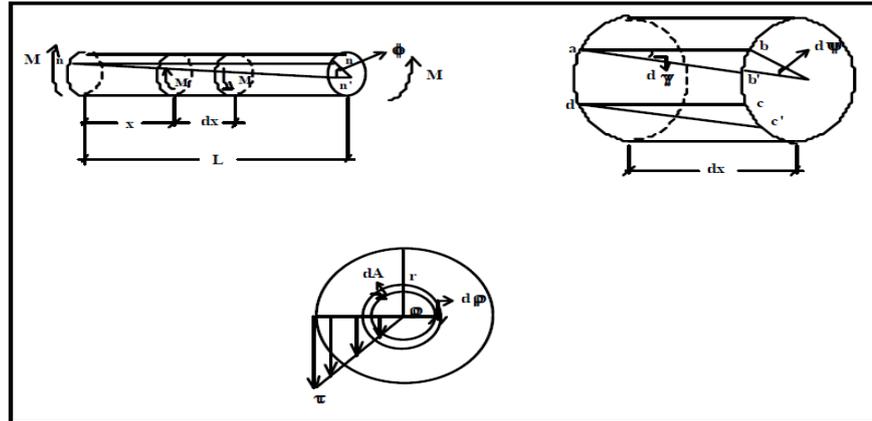
Fuente: RENAME. 2014. Entendiendo los ejes y causas de fallos.

Figura 1. Fallas en ejes.

2.2.2.3 Torsión de barras de sección circular

Sea una barra recta de sección circular de radio R empotrada en uno de sus extremos sometida en el extremo libre a una torsión generada por un par M . Una barra trabajando de esta forma se dice que está sometida a torsión pura. Si se analiza una sección transversal se observa que ha girado un ángulo, que los radios siguen rectos y que permanece plana y circular. Se puede considerar que la longitud de la barra y su radio, si el ángulo girado es pequeño, no varían.

Durante la torsión ocurre una rotación alrededor del eje longitudinal de un extremo de la barra respecto al otro. Si el ángulo girado es Φ , ángulo que se conoce como ángulo de torsión, una línea generatriz de la barra nn girará pasando a la posición nn' . Debido a la rotación un elemento de longitud infinitesimal dx en la barra girará un ángulo $d\psi$ y si se considera la superficie determinada por $abcd$ en el elemento de longitud pasará a ocupar la $ab^{\wedge}c^{\wedge}d$. Los vértices ya no miden 90° . como muestra la figura 2.



Fuente: RENAME. 2014. Entendiendo los ejes y causas de fallos.

Figura 2. Elemento de barra sometido a torsión pura.

La fórmula para calcular la torsión elástica está determinada por:

$$\tau_{max} = \frac{T\rho}{J}$$

Donde:

τ_{max} =Esfuerzo cortante máximo en la flecha el cual ocurre en la superficie exterior.

T =Par de torsión interno resultante que actúa en la sección transversal. Este valor se determina por el método de secciones y la ecuación de equilibrio de momentos con respecto al eje longitudinal de la flecha.

ρ =Radio de la flecha en un punto cualesquiera.

J =Momento polar de inercia del área de la sección transversal

2.2.2.4 Historia de servicio

Obtener la historia de servicio puede simplificar en gran medida el análisis de falla. La historia de servicio, especialmente debe tomar atención en las condiciones ambientales de servicio,

cargas normales ya normales, cargas cíclicas, variación en presión, temperatura y operación en ambientes corrosivos.

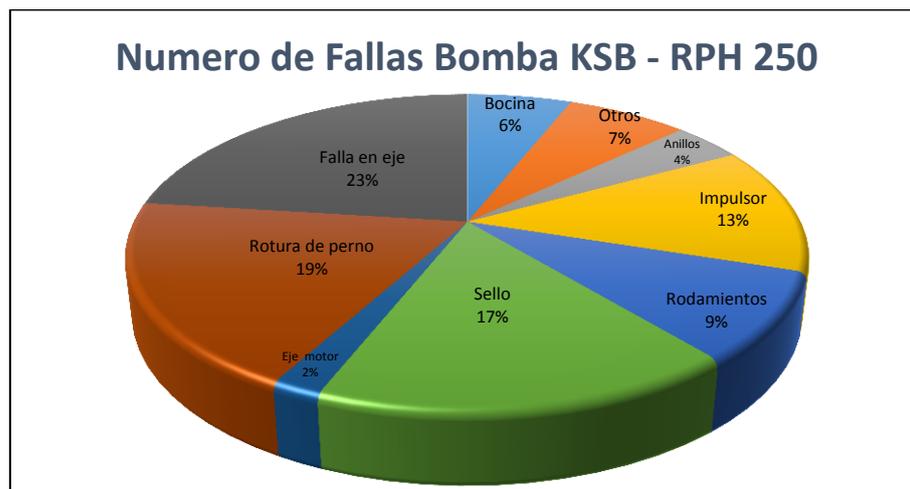
2.2.2.5 Fallas comunes

Las fallas en los sistemas de bombeo se dan principalmente en las bombas, las causas de paradas repentinas son muchas, a continuación, se enumera una lista de las más comunes:

- Rotura de ejes
- Rotura o desgaste excesivo de rodamientos.
- Rotura de anillos.
- Desgaste de bocinas.
- Desgaste de sellos.
- Rotura del acoplamiento motor-bomba.
- Fuga de aceite por el visor.
- Desgaste de impulsor.
- Rotura de perno de sujeción del impulsor.
- Desgaste prematuro en forros.
- Rotura de cilindro porta rodamiento.

Según Vega (2013) Del total de fallas en las cámaras de bombeo de interior de mina se obtiene que las de mayor frecuencia son las fallas en rodamientos, ejes, pernos de sujeción de impulsor, sellos, bocinas e impulsor, estas fallas analizadas en los últimos 2 años representan la proporción mostrada en el Gráfico 1.

Gráfico 1 Causas de mantenimiento reactivo bomba KSB – RPH 250



Fuente: Vega R. 2013. Tesis *Análisis de falla en pernos de bomba KSB de 800 HP*. PUCP. Lima-Perú.

2.2.2.6 Análisis de falla

El análisis de fallas en servicio tiene gran importancia, ya que permite alcanzar un conocimiento real de las posibilidades que presenta cada material para alcanzar determinadas aplicaciones. Analizar las fallas en servicio es muy complejo, pues en muchos casos las circunstancias por las que se producen son ajenas al componente en el que ha tenido lugar la falla e incluso al mecanismo por el que se ha producido.

2.2.2.7 Clasificación de las fallas

Existe una amplia gama de clasificaciones de fallas, de manera que todos entren dentro de algún grupo y eso ayude a analizarlos correctamente. A continuación, se presentan los que tienen que ver con los distintos tipos de sollicitaciones mecánicas que se dan durante el tiempo en servicio y con el tipo de fractura que se observa en el componente (Eva, 2010).

Según la sollicitación:

Los fallos se pueden clasificar según el modo de aplicación de la carga y el tipo de sollicitación que los provocan. La carga puede ser estática o variable principalmente:

En caso de carga estática, el componente puede encontrarse bajo tracción, compresión, torsión, cizalladura o cualquiera de las posibles combinaciones entre ellas. Las fracturas que se producen con este tipo de cargas también son estáticas, viéndose muy afectadas por la temperatura alcanzada y por el tiempo de servicio.

En caso de carga variable, si además esta se repite cíclicamente, la fractura será dinámica y se medirá el número de ciclos en el que varían las cargas. Si se combinan de manera necesaria la carga, el tiempo y la temperatura, se puede llegar a producir la fluencia del material.

Según el tipo de fractura

Otra posible clasificación corresponde al tipo de fractura, que puede presentar tres órdenes de magnitud diferentes: nivel atómico, nivel microscópico y nivel macroscópico.

A nivel atómico, el comportamiento del material se puede analizar mediante la teoría de dislocaciones para todos aquellos fenómenos de deformación. Desde el punto de vista del análisis de los fallos que se producen en servicio, apenas aporta algo a efectos prácticos, aunque es necesario conocer la existencia de los planos de deslizamiento y el papel que juegan en el desarrollo de

la deformación plástica, como consecuencia del deslizamiento de una parte del cristal sobre otra antes de alcanzar la fractura. Los planos de deslizamiento son los de mayor densidad atómica, existiendo direcciones preferenciales de deslizamiento, que son las más compactas del plano. Si la fractura se produce a través de las fronteras de grano, la influencia que ejercen los distintos tipos de partículas precipitadas sobre ellas tiene una gran trascendencia en el proceso de fractura (Eva, 2010).

A nivel microscópico, las fracturas se pueden clasificar en dos grandes grupos: transcristalinas e intercristalinas. La fractura intercristalina consiste básicamente en la descohesión entre granos a través de sus bordes; previamente a la fractura, además, los granos pueden experimentar micro deformaciones plásticas en sus superficies. Las fracturas transcristalinas, por su parte, se pueden dividir en una serie de grupos que dependen de los distintos mecanismos de fractura o del aspecto morfológico que presenta la propia superficie de rotura que, a su vez, también depende del tipo de esfuerzos experimentados o de las características intrínsecas del material.

A nivel macroscópico se pueden distinguir los siguientes grupos de fracturas.

Dúctil por carga estática: Este tipo de fractura implica deformación plástica por deslizamiento, produciéndose gran absorción de energía y elevado alargamiento. En función del tipo

de carga puede ser de tracción, de flexión, de cizalladura o de torsión.

Frágil por carga estática: Se produce por el crecimiento de grietas en planos normales a la dirección de la carga, caracterizándose por presentar escasa deformación plástica.

Frágil por carga estática mantenida: Se distingue entre corrosión-tensión, fragilización por hidrógeno, fragilización por metal líquido y fragilización por irradiación neutrónica.

Fatiga: Se dividen: en alto y bajo número de ciclos cuando sólo se tiene en cuenta el efecto mecánico; y en fatiga-corrosión y fatiga-temperatura, cuando se combinan los esfuerzos mecánicos que tienen lugar por fatiga con la corrosión o temperatura.

2.2.2.8 Mecanismos de fractura

En los materiales ingenieriles se estudian básicamente dos tipos de fractura: frágil y dúctil. Esta clasificación está basada en la capacidad del material para experimentar deformación plástica, como se puede apreciar líneas abajo.

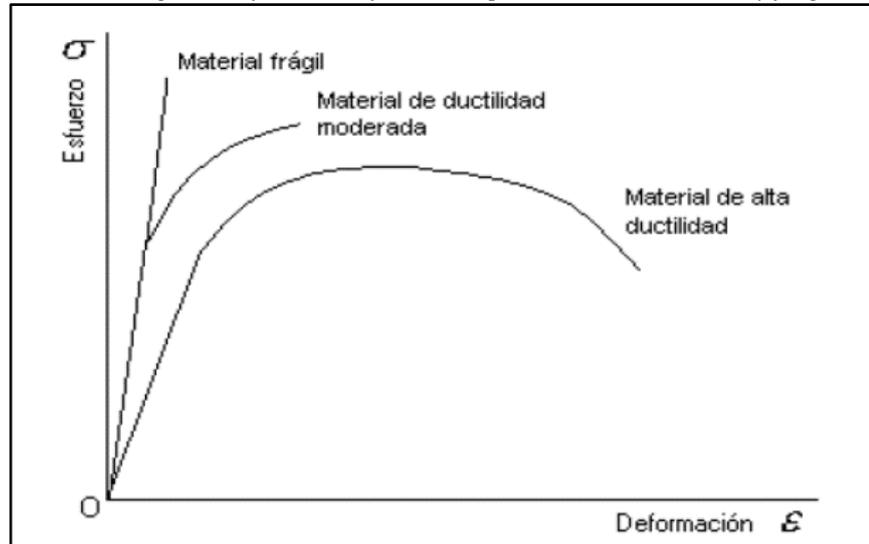
A continuación, se desarrollan las diferencias entre estos dos tipos de fractura.

Fractura frágil

La fractura frágil ocurre sin apreciable deformación plástica, y por propagación rápida de una grieta o fisura. La dirección del movimiento de la grieta es casi perpendicular a la dirección de la tensión aplicada y produce una superficie de fractura

relativamente plana, como el diagrama de esfuerzo como se muestra en el gráfico 2.

Gráfico 2: Diagrama esfuerzo – deformación para materiales dúctiles y frágiles.



Eva. M. (2010). Metodología para el análisis a fatiga mediante el código Pro Engineer

Fractura frágil

La fractura frágil ocurre sin apreciable deformación plástica, y por propagación rápida de una grieta o fisura. La dirección del movimiento de la grieta es casi perpendicular a la dirección de la tensión aplicada y produce una superficie de fractura relativamente plana como muestra la figura 3.

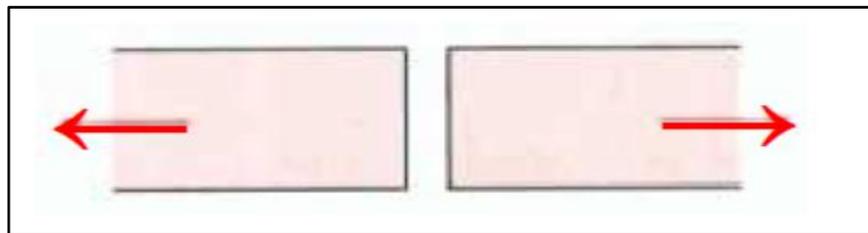
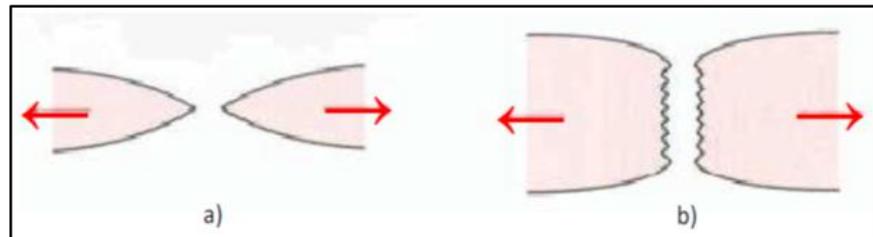


Figura 3: Esquema de una fractura frágil sin ninguna deformación plástica.

Eva. M. (2010). Metodología para el análisis a fatiga mediante el código Pro Engineer.

Fractura Dúctil

Las superficies de fracturas dúctiles tienen sus propios rasgos tanto a nivel macroscópico como microscópico. En la Figura 4 muestra esquemáticamente dos perfiles macroscópicos característicos de esta fractura.



Fuente: Eva. M. (2010). Metodología para el análisis a fatiga mediante el código Pro Engineer.

Figura 4 Esquema de una fractura muy dúctil (a) y una moderadamente dúctil después de una cierta estricción (b).

La configuración mostrada en las figuras mencionadas líneas abajo, se encuentra en metales muy blandos, tales como oro y plomo a temperatura ambiente, y en otros metales, polímeros y vidrios inorgánicos a temperaturas elevadas. Estos materiales son muy dúctiles y se rompen cuando la estricción se reduce prácticamente a un punto, presentando una reducción de área virtualmente igual al 100%.

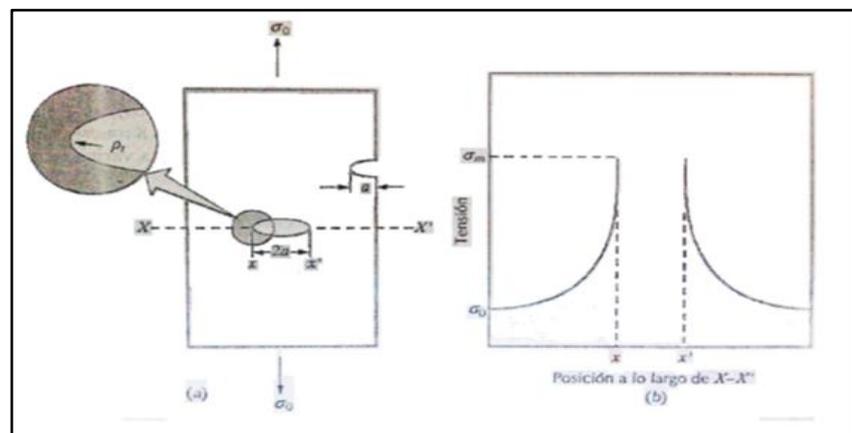
Sin embargo, el tipo más común de perfil de fractura a tracción en los materiales dúctiles es el representado, en la cual la fractura es precedida por sólo una cantidad moderada de estricción (Eva, 2010).

2.2.2.9 Defectos y concentración de tensiones:

Para hacer este análisis hay que cuantificar la relación entre las propiedades de los materiales, los niveles de tensión, la presencia de defectos que producen grietas y los mecanismos de propagación de estas.

Concentración de Tensiones

La resistencia a la fractura experimental de la mayoría de los materiales de ingeniería es normalmente entre 10 y 1000 veces menor que el valor teórico. En la década de los años veinte, A. A. Griffith propuso que esta discrepancia entre la resistencia cohesiva teórica y experimental podía ser explicada por la presencia de grietas microscópicas como muestra la figura 5 (Eva, 2010).



Fuente: Eva. M. (2010). Metodología para el análisis a fatiga mediante el código Pro Engineer.

Figura 5: a) Geometría de grietas superficiales e internas. b) Perfil esquemático de la tensión a lo largo de la línea $x-x'$

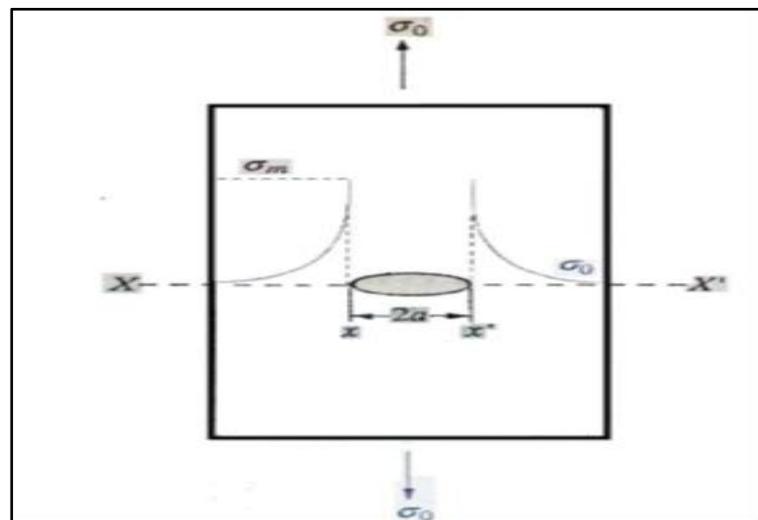
Estos defectos afectan a la resistencia a la fractura debido a que una tensión aplicada puede ser amplificada o centrada en la punta

del defecto, en un grado que depende de la orientación de la grieta y de la geometría. Este fenómeno donde se muestra el perfil de la tensión a través de la sección que contiene una grieta. Tal como se ilustra mediante este perfil, la magnitud de la tensión localizada disminuye con la distancia a la punta de la grieta.

Si se supone que la grieta tiene una forma elíptica y está orientada con su eje mayor perpendicular a la tensión aplicada (σ_0), la tensión máxima en el extremo de la grieta, σ_m , puede ser aproximada mediante la ecuación:

$$\sigma_m = 2 \cdot \sigma_0 \cdot \left(\frac{a}{\rho_t} \right)^{1/2}$$

Y se representa esta tensión en la figura 6.



Fuente: Eva. M. (2010). Metodología para el análisis a fatiga mediante el código

Pro Engineer:

Figura 6: Localización de la tensión máxima en la grieta.

Donde ρ_t es el radio de curvatura de la punta de la grieta, y a representa la longitud de una grieta superficial, o bien la mitad de la longitud de una grieta interna (Eva, 2010).

A menudo el cociente σ_m/σ_0 se denomina factor de concentración de tensiones K_t , el cual es simplemente una medida del grado con que una tensión externa es amplificada en el extremo de una grieta pequeña.

$$K_t = \frac{\sigma_m}{\sigma_t}$$

2.2.2.10 Mecánica de fractura

Criterio de diseño:

En el caso del estudio de componentes sin defectos, el criterio convencional dice que un componente resistirá a las cargas aplicadas siempre que la tensión aplicada, σ , sea menor que la resistencia del material σ_R .

Tensión media aplicada:

$$\sigma = \frac{P}{W \cdot B}$$

Criterio de diseño: $\sigma < \sigma_R$

Este criterio de diseño representado en la figura 7.

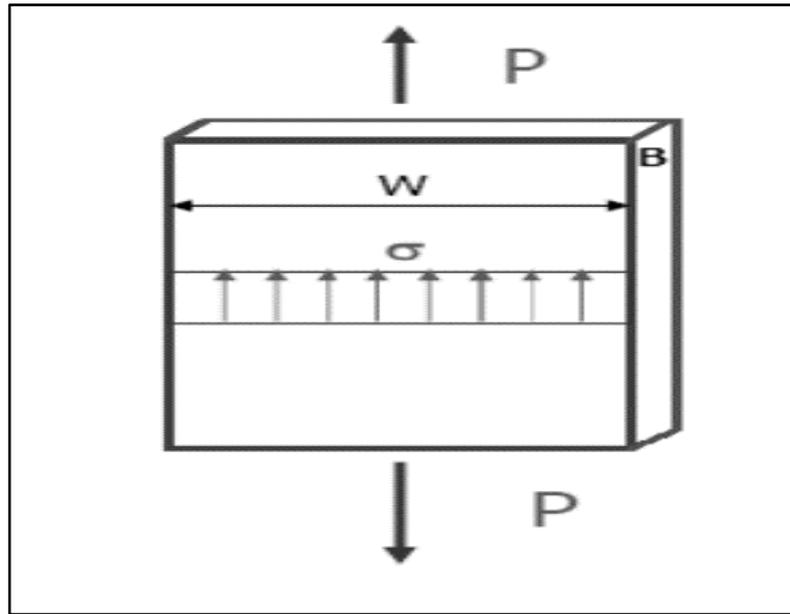


Figura 7: Criterio convencional de diseño en un componente sin defectos.

Fuente: Eva. M. (2010). Metodología para el análisis a fatiga mediante el código Pro Engineer:

Sin embargo, ésta hipótesis no tiene validez en un componente fisurado, como muestra la figura 8.

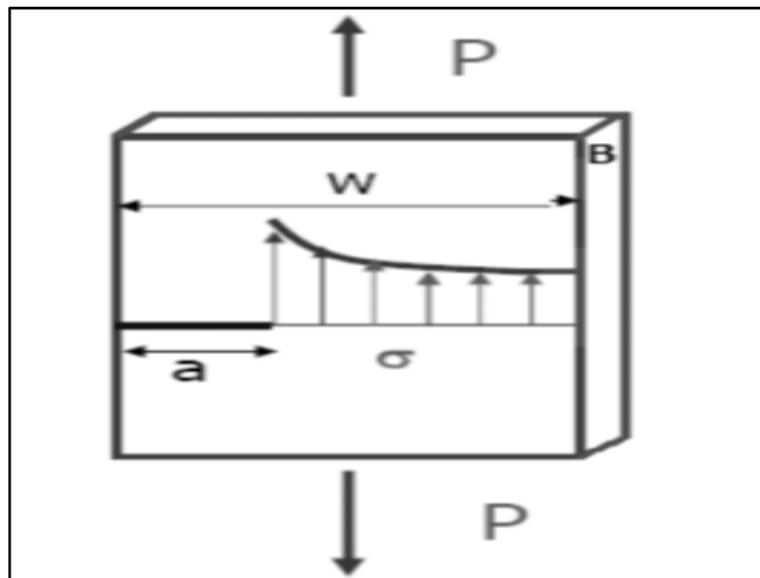


Figura 8: Criterio convencional de diseño en un componente fisurado.

Fuente: Eva. M. (2010). Metodología para el análisis a fatiga mediante el código Pro Engineer

Puesto que estos fallan bajo la aplicación de cargas inferiores a la tensión de rotura del material, fuente (Eva, 2010).

Tensión media aplicada como muestra la ecuación:

$$\sigma = \frac{P}{(W - a) \cdot B}$$

Criterio de diseño $K < K_c$:

Criterios de fractura

Como se ha visto en el apartado anterior, para el caso de piezas fisuradas el estudio se centra en el criterio de fractura: $K < K_c$. A continuación, se definen estos dos parámetros:

K representa el Factor de intensidad de tensiones, el cual depende de las sollicitaciones a las que está sometida la pieza, y la geometría de la misma y su fisura, como muestra la siguiente expresión:

$$K = \beta \cdot \sigma \sqrt{\pi a}$$

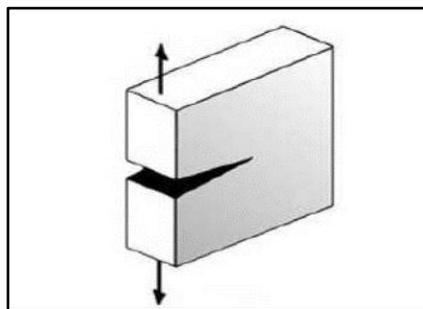
Donde β es un parámetro adimensional que depende de la geometría de la pieza y de la grieta, y a es la longitud de fisura (Eva, 2010).

Por otro lado, K_c representa la tenacidad de fractura del material, y mide la resistencia de un material a la fractura frágil cuando una grieta está presente. Este valor depende del espesor de la probeta, de la temperatura y de la velocidad de sollicitación durante el ensayo.

Modos de fractura

La propagación de fisuras puede producirse de tres modos diferentes.

El primero de ellos, Modo I, se denomina Modo de apertura y se caracteriza porque los labios de la fisura se desplazan en la dirección perpendicular al plano de la fisura en sentidos opuestos, como muestra la figura 9.



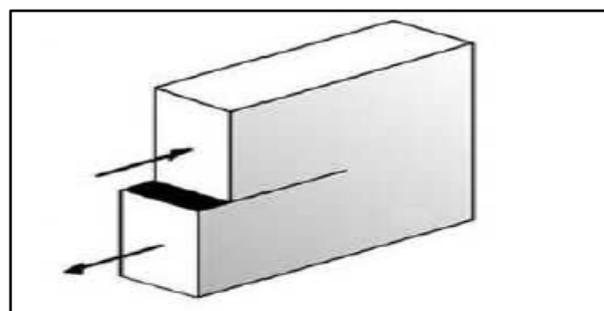
Fuente: Eva. M. (2010). Metodología

Figura 9: Modo I.

Para el análisis a fatiga mediante el código

Pro Engineer.

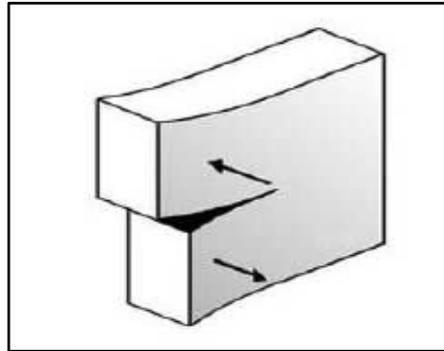
En el segundo modo de propagación de fisuras, Modo II, de deslizamiento, los labios de la fisura se desplazan por el plano de la misma en la dirección longitudinal y sentidos opuestos, tal y como se muestra en figura 10. (Eva, 2010)



Fuente: Eva. M. (2010). Metodología para el análisis a fatiga mediante el código Pro Engineer.

Figura 10: Modo II.

Por último, en el Modo III de desgarro, los labios de la fisura se desplazan por el plano de la misma en la dirección transversal y en sentidos opuestos como muestra la figura 11.



Fuente: Eva. M. (2010). Metodología para el análisis a fatiga mediante el código Pro Engineer.

Figura 11: Modo III.

En la práctica, un cuerpo fisurado puede estar sometido a cualquiera de estos tres modos, o combinación de dos o tres de ellos, siendo el Modo I el más habitual e importante, especialmente en los sólidos frágiles, ya que una grieta en un material de esta naturaleza tiende a buscar la orientación que minimiza la tensión de corte (Eva, 2010).

2.2.2.11 Fundamentos de fatiga

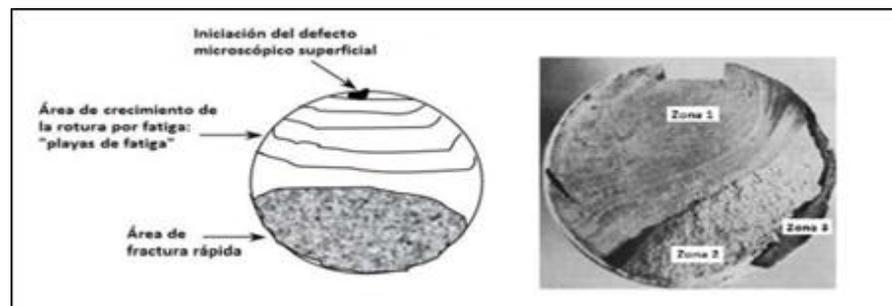
Cuando un componente estructural se encuentra sometido a tensiones variables con el tiempo, puede fracturarse a tensiones mucho menores que aquellas que podría soportar bajo la aplicación de una carga estática. Dado que los elementos de máquina están con frecuencia sometidos a este tipo de solicitaciones, y que en la práctica totalidad de los casos su efecto es más perjudicial que el de las solicitaciones estáticas, el análisis

del fenómeno de fatiga es de importancia decisiva para el diseño mecánico (Eva, 2010).

Características de la Rotura por Fatiga.

Es evidente que el origen de la rotura por fatiga es un punto de concentración de tensiones en la superficie de rotura.

La apariencia de la superficie de fractura de un elemento por fatiga aporta muchas veces información sobre las condiciones de trabajo y de la rotura del mismo. Examinándola se suelen distinguir varias partes más o menos claramente diferenciadas, un ejemplo clásico de la rotura por fatiga de un eje, mostrado en la figura 12.



Fuente: Eva. M. (2010). Metodología para el análisis a fatiga mediante el código Pro Engineer

Figura 12: Zonas diferenciadas en la superficie de fractura de un eje por fatiga.

En esta figura se observan tres zonas diferentes:

Zona 1: Es la zona con más sección, corresponde a la propagación lenta de la grieta (fuente de concentración de tensiones). Suele tener un aspecto liso y a veces es posible distinguir la propagación de la grieta ciclo a ciclo (cada línea o estría) una vez rota la pieza. La mayor o menor nitidez con las

que aparecen estas líneas o estrías dependen de la naturaleza del material.

Zona 2: Corresponde al crecimiento rápido de la grieta, presentando una superficie irregular, y cubre casi el resto de la sección del eje.

Zona 3: Finalmente, la sección neta de la pieza queda tan reducida que es incapaz de resistir la carga desde un punto de vista puramente estático, produciéndose la rotura final en un ciclo de carga.

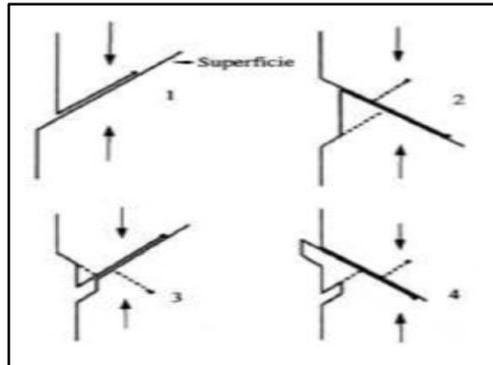
Estadios de Fatiga

La historia de una grieta que se desarrolla en un componente sometido a fatiga tiene típicamente tres etapas: una etapa de iniciación, una de propagación estable y finalmente una de propagación acelerada que conduce al fallo del componente.

Estadio I: Iniciación.

Habitualmente en la superficie se encuentran zonas con altas cargas alternadas que producen deformaciones plásticas en los granos próximos a la superficie. Esta deformación se localiza en bandas persistentes de deslizamiento.

Cuando un grano, situado en la superficie, deforma, se genera un escalón en dicha superficie, que inmediatamente se oxida, formando extrusiones e intrusiones como muestra la figura 13. (Eva, 2010).



Fuente: Eva. M. (2010). Metodología para el análisis a fatiga mediante el código Pro Engineer

Figura 13: Formación de extrusiones, Intrusiones superficiales previas a la iniciación de una grieta.

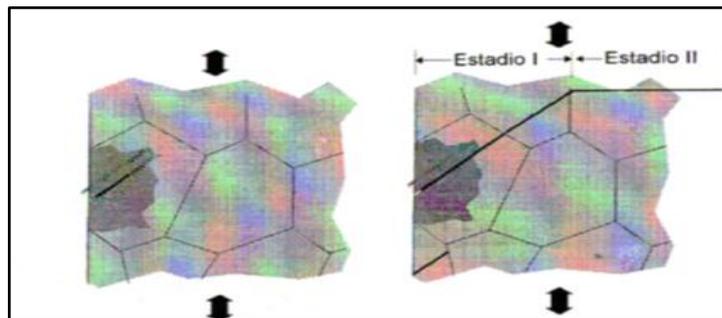
Una vez oxidada la superficie del escalón resulta imposible invertir la deformación en ese plano. La deformación en sentido contrario deberá acontecer en otro plano, que obviamente forma otro escalón que se oxida y se suprime la deformación en este nuevo plano.

La repetición de este ciclo de deformación, oxidación y bloqueo acaba por formar protuberancias o entrantes en la superficie original del sólido que concentra tensiones. La situación se agrava y termina por aparecer una microgrieta a partir de estos defectos superficiales que se propaga a lo largo de las bandas persistentes de deslizamiento (formando 45° con la dirección de tracción).

En este estadio la microgrieta tiene mucha dificultad para atravesar los bordes de grano, y a menudo, sólo consigue progresar un grano y ahí se detiene. Si la carga es algo más alta o con suficiente número de ciclos, reinicia la propagación en el grano adjunto.

Estadio II: Propagación Estable.

A medida que crece la grieta, pronto descubre que su dirección de crecimiento no es óptima y que su propagación requiere un menor trabajo si se orienta perpendicular al campo tractivo (modo I). Habitualmente la reorientación de la grieta ocurre cuando la microgrieta ha atravesado unos pocos granos en el material como muestra la (figura 14).



Fuente: Eva. M. (2010). Metodología para el análisis a fatiga mediante el código Pro Engineer

Figura 14: Reorientación de la grieta al modo I en el estadio II de fatiga.

A partir de este momento su propagación es estable y se ajusta a una ley potencial de intensidad de tensiones, de acuerdo a la ley empírica que propusieron Paris y Erdogan (1960):

$$\frac{da}{dN} = C \cdot \Delta K_I^m$$

Donde a es el tamaño de la fisura, N el número de ciclos y C y m son constantes que dependen del material y del medio ambiente. ΔK_I es el rango del factor de intensidad de tensiones, calculado como:

$$\Delta K = K_{max} - K_{min}$$

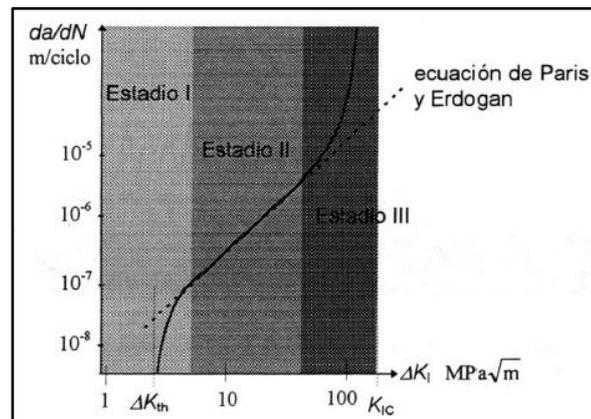
K_{max} y K_{min} son los valores máximo y mínimo respectivamente del factor de intensidad de tensiones durante un ciclo de tensión, dependen de la geometría de la probeta y de la longitud de la fisura.

A medida que crece el tamaño de la grieta, si las tensiones alternantes son constantes, aumenta ΔKI y en consecuencia su velocidad de crecimiento: da/dN .

Estadio III: Propagación Acelerada.

Cuando la fisura alcanza un valor determinado conocido como tamaño crítico de fisura, la propagación se convierte en catastrófica: la pieza rompe por clivaje o por coalescencia de microcavidades.

Este último estadio de la fatiga, en general, carece de interés: la velocidad de crecimiento es tan grande que el número de ciclos consumidos en el Estadio III apenas cuenta en la vida de la pieza, mostrada en la figura (15).



Fuente: Eva. M. (2010). Metodología para el análisis a fatiga mediante el código Pro Engineer.

Figura15: Estadios de fatiga sobre un diagrama de Paris.

2.2.2.12 Modificación de la bomba centrífuga KSB

Normas y definiciones de roscas

La terminología y La terminología de las roscas de tornillo, que se explica de la manera siguiente:

El paso es la distancia entre dos cuerdas adyacentes, medida en forma paralela al eje de la rosca. El paso en unidades inglesas es el recíproco del número de cuerdas por pulgada N .

El diámetro mayor d es el diámetro más grande de una rosca de tornillo.

El diámetro menor (o raíz) d_r es el diámetro más pequeño de una rosca de tornillo (Dubynay, 2008).

El diámetro de paso d_p es un diámetro teórico entre los diámetros mayor y menor.

El avance l , que no se muestra, es la distancia que se desplaza una tuerca en forma paralela al eje del tornillo cuando a ésta se le da una vuelta. En el caso de una rosca simple, como en la Figura 15, el avance es igual al paso.

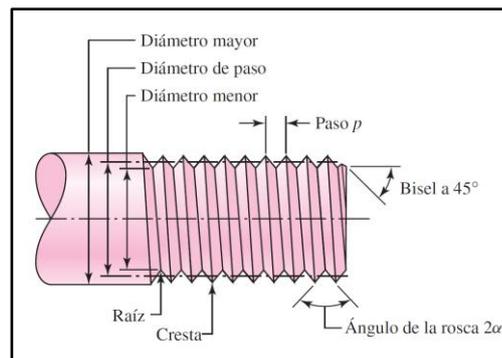
Un producto con rosca múltiple es el que tiene dos o más roscas cortadas lado a lado (imagine dos o más cuerdas enrolladas juntas alrededor de un lápiz). Los productos estandarizados como tornillos, pernos y tuercas tienen roscas sencillas: un tornillo de rosca doble tiene un avance igual al doble del paso, el avance de un tornillo de rosca triple es igual a 3 veces el paso, y así sucesivamente.

Todas las roscas se hacen de acuerdo con la regla de la mano derecha, a menos que se indique otra cosa.

La norma para roscas American National (Unified) ha sido aprobada en Estados Unidos y Gran Bretaña para su empleo en todos los productos roscados estandarizados. El ángulo de la

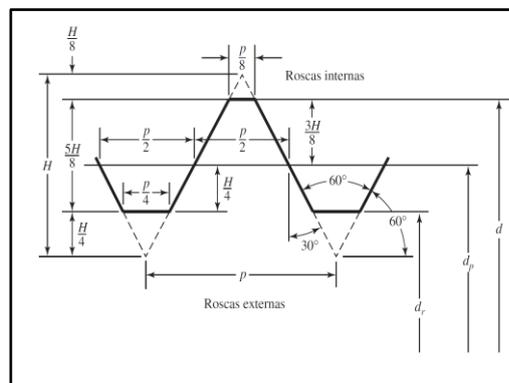
rosca es 60° y sus crestas pueden ser aplanadas o redondas (Dubynay, 2008).

Se muestra la geometría de la rosca de los perfiles métricos M y MJ. El perfil M reemplaza la clase de pulgadas y es el perfil básico ISO 68 con roscas simétricas a 60° . El MJ tiene un filete redondeado en la raíz de la rosca externa y un diámetro menor más grande en las roscas interna y externa. Dicho perfil resulta especialmente útil cuando se requiere alta resistencia a la fatiga como se muestra en la figura 16 y perfil bajo mostrado en la figura 17.



Fuente: Dubynay y Keith. (2008). Diseño en ingeniería mecánica

Figura 16: Terminología de roscas de tornillo.



Fuente: Dubynay y Keith. (2008).

Figura 17: Perfil básico de roscas métricas.

Diseño en ingeniería mecánica

La tabla 1 será útil cuando se deba especificar y diseñar partes roscadas. Observe que el tamaño de la rosca se determina dando el paso p para tamaños métricos y por el número N de roscas por pulgada para los tamaños unificados.

Las roscas métricas se especifican mediante el diámetro y el paso en milímetros, en ese orden. Así, $M12 \times 1.75$ mm es una rosca que tiene un diámetro mayor nominal de 12 mm y un paso de 1.75 mm. Observe que la letra M, que precede al diámetro, es la clave de la designación métrica (Dubynay, 2008).

Tabla 1: Diámetros y áreas de roscas métricas

Diámetro mayor nominal d , mm	Serie de paso grueso			Serie de paso fino		
	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3.5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4.5	1 120	1 050	2	1 260	1 230
48	5	1 470	1 380	2	1 670	1 630
56	5.5	2 030	1 910	2	2 300	2 250
64	6	2 680	2 520	2	3 030	2 980
72	6	3 460	3 280	2	3 860	3 800
80	6	4 340	4 140	1.5	4 850	4 800
90	6	5 590	5 360	2	6 100	6 020
100	6	6 990	6 740	2	7 560	7 470
110				2	9 180	9 080

*Las ecuaciones y los datos utilizados para elaborar esta tabla se obtuvieron de la norma ANSI B1.1-1974 y B18.3.1-1978. El diámetro menor se determinó mediante la ecuación $d_r = d - 1.226869p$, y el diámetro de paso a partir de $d_p = d - 0.649519p$. La media del diámetro de paso y el diámetro menor se usaron para calcular el área de esfuerzo de tensión.

Fuente: Dubynay y Keith. (2008). Diseño en ingeniería mecánica

Historia

A través del tiempo se han desarrollado muchos tipos de roscas. Durante el Renacimiento las roscas comienzan a emplearse como elementos de fijación en relojes, máquinas de guerra y otras construcciones mecánicas. Leonardo da Vinci desarrolla entonces métodos para el tallado de roscas. Sin embargo, estas seguirán fabricándose a mano y sin ninguna clase de normalización hasta bien entrada la Revolución industrial. En el siglo XIX los fabricantes de maquinaria fabricaban sus propias roscas, lo cual representaba un serio problema de compatibilidad

En 1841 el ingeniero inglés Joseph Whitworth ideó un sistema de roscas que superaba las dificultades de compatibilidad. La forma de esa rosca Withworth se basa en una rosca de sección triangular con un ángulo isósceles de 55° y con cresta y raíces redondeadas.

En 1846 el instituto Franklin intentó instaurar un sistema de roscas compatibles en Norteamérica. Este sistema fue ideado por William Sellers y fue utilizado al principio por los fabricantes de relojes. La rosca Sellers tiene una sección triangular de 60° . Este sistema fue útil solo hasta que apareció el automóvil, el aeroplano y otros equipos modernos. En 1918 fue autorizada la Comisión Norte Americana de Roscas de Tornillos por ley, que introdujo los estándares que se usan actualmente en los EE.UU. Este nuevo sistema de roscas recibe el nombre de Rosca Norte Americana Unificada en sus vertientes UNC para paso normal, UNF para paso fino y UNEF para paso extrafino. ANSI y varios comités estadounidenses han unificado las roscas. Las

normas de la rosca se convirtieron después en el American National Standard y fue empleado por la Sociedad de Ingenieros de Automoción, conocido como rosca SAE.

Ya en 1946, la ISO definió el sistema de rosca métrica, adoptado actualmente en prácticamente todos los países. La rosca métrica tiene una sección triangular formando un ángulo de 60° y cabeza un poco truncada para facilitar el engrase.

Clasificación de las roscas

Según la forma del filete, las roscas pueden clasificarse en:

Rosca triangular: recibe este nombre cuando el prisma que engendra la rosca tiene sección parecida a un triángulo. Es la más utilizada en la industria, por destinarse a la sujeción de piezas.

Rosca cuadrada: es la engendrada por un filete de sección cuadrada. No está normalizada, por lo que en la actualidad tiende a desaparecer.

Rosca trapecial: es la engendrada por un filete cuya sección es un trapecio isósceles. Se emplea mucho en husillos de máquinas herramientas, para conseguir movimientos de translación.

Rosca redonda: esta rosca es utilizada en husillos que tengan que soportar esfuerzos grandes o bruscos. Es la rosca de mejores condiciones mecánicas, pero de difícil elaboración.

Rosca en diente de sierra: Es la engendrada por un filete cuya sección es aproximadamente un trapecio rectángulo. Rosca de difícil elaboración, pero muy resistente a los esfuerzos axiales en un solo sentido. Es muy utilizada en artillería y prensas.

Rosca a derechas o a izquierdas

Una rosca es a derechas cuando penetra al girar hacia la derecha y es a izquierdas cuando penetra a girar hacia la izquierda.

Para distinguir si un tornillo presenta su rosca a derechas o a izquierdas, se coloca el eje del tornillo en un plano inferior y perpendicular al observador. Si la hélice o filete se aleja hacia la derecha, el tornillo es a derechas, pero si se aleja hacia la izquierda, entonces el tornillo es a izquierdas.

Para distinguir el sentido de rosca en las tuercas, se procede como en el tornillo, pero ha de tenerse en cuenta que los hilos visibles son los de la parte inferior; por lo tanto, cuando se alejan hacia la izquierda la rosca es a derechas.

Perfil de una rosca

En toda rosca hay que distinguir unos elementos que la caracterizan:

Los más importantes son:

Núcleo: Es el volumen ideal sobre el que se encuentra la rosca o cuerpo del elemento roscado.

Flancos: Son las superficies teóricas de contacto.

Cresta: Es la superficie exterior de unión de los flancos.

Fondo: Es la superficie interior de unión de los flancos.

Hilo: Es cada uno de los vértices o crestas.

Paso: Es la distancia medida paralelamente al eje entre dos hilos consecutivos.

Avance: Es el desplazamiento medido paralelamente al eje del elemento de unión roscado - el móvil sobre el fijo - para una vuelta completa. En la rosca o de una sola entrada, el avance es igual al paso.

Rosca triangular

Ya se ha dicho que la rosca triangular esta engendrada por un triángulo.

Si el triángulo base del perfil de una rosca es un triángulo equilátero y sus medidas se expresan en milímetros, la rosca es Métrica.

Si la rosca esta engendrada por un triángulo isósceles, con un ángulo en el vértice de 55° , la rosca es triangular Whitworth. Y todas sus medidas se expresan en pulgadas.

Rosca métrica ISO

En la figura 17, se observa el perfil de esta rosca, y observaremos como los achaflamientos dan lugar a las crestas y los redondeamientos que dan lugar a los fondos.

Otras dimensiones son:

- Angulo entre flancos = 60°
- Profundidad de rosca del tornillo $h_3 = 0,613p$. (Paso expresado en mm.)
- Diámetro del núcleo del tornillo $d_3 = d - 1,226p$.
- Diámetro del núcleo de la tuerca $D_1 = d - 1,08p$.
- Diámetro medio común a tornillo y tuerca $d_2 = D_2 = d - 0,65p$.

Rosca Whitworth

Debe su nombre al inglés Jorge Whitworth, propuesta por él en el año 1841.

Como se observa esta rosca no tiene juegos ni holguras y tanto sus crestas como sus fondos están redondeados.

Otras dimensiones son:

- Angulo entre flancos = 55°
- Profundidad de rosca de tornillo y tuerca $h_3 = 0,64p$. (Paso expresado en pulgadas)
- Diámetro del núcleo de tornillo y tuerca $d_1 = D_1 = d - 1,28p$.
- Diámetro medido común a tornillo y tuerca $d_2 = D_2 = d - 0,64p$.

2.2.2.13. Gestión de Mantenimiento.

Es un servicio que agrupa una serie de actividades cuya ejecución permite alcanzar un mayor grado de confiabilidad en los equipos y máquinas.

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.

2.2.2.14 El mantenimiento de una bomba centrífuga

Se basa en la lubricación y reemplazo de sus rodamientos, sellos, acoples, y componentes eléctricos. Eventualmente, puede

ser necesario el reemplazo de los impulsores debido al desgaste excesivo.

2.2.3. Conceptualización de la variable dependiente: Disponibilidad

Disponibilidad es simplemente una manera de cuantificar cuanto tiempo esta su equipo funcionando como debe. A mayor disponibilidad se debe producir más y mayor es el rendimiento. Por lo tanto, su meta es minimizar el tiempo muerto, mediante el mejoramiento de la confiabilidad del proceso y del equipo.

El desgaste del equipo puede degradar el rendimiento y, por lo tanto, la producción. Llevar a cabo mantenimiento normal y reparaciones durante los paros programados permite la planeación adecuada y una mínima pérdida de tiempo mientras se restablece el rendimiento del equipo.

La pérdida es mayor, sin embargo, cuando una unidad se para inesperadamente – especialmente porque a menudo se tiene que encontrar el problema antes de corregirlo.

No sólo se pierde tiempo de producción; en muchos casos el problema también afecta la calidad y la tasa de producción antes y después del paro.

Comprender con qué frecuencia fallan los elementos del equipo es clave para prevenir el tiempo muerto no programado. Se puede mejorar la disponibilidad de componentes a través de la detección temprana de variantes o irregularidades en el equipo, y proporcionando mantenimiento en tiempo real basado en las condiciones que se encuentre.

La disponibilidad del equipo no sólo es la duración del turno en el que se opera. Se basa en el tiempo de operación real como un porcentaje del tiempo de producción posible (EPM, 2002).

$$\%Disponibilidad = \frac{\textit{Tiempo de producción real}}{\textit{Tiempo de producción posible}}$$

Fórmulas de cálculo de indicadores de disponibilidad

La disponibilidad de los equipos es sin duda el principal indicador de mantenimiento es el principal indicador de mantenimiento, junto con el costo. No obstante, es el indicador más manipulable, el que más posibilidades brinda de ofrecer los resultados que quien los calcula pretende mostrar porque más le favorecen.

Los indicadores relacionados con la disponibilidad son al menos seis:

- Disponibilidad (propia mente dicha)
- Confiabilidad.

Tiempo medio entre paradas (se conoce a menudo como MTBF, Mid Time Between failures, aunque con este nombre haría solo referencia a paradas por fallas y no a paradas en general sea cual sea el motivo)

Duración de las paradas (se conoce a menudo como MTTR, o Mid Time To Repair, aunque con este nombre haría solo referencia a paradas por fallas y no a paradas en general sea cual sea el motivo)

- Número de paradas por mantenimiento
- Tiempo total perdido por mantenimiento.
- Para su cálculo es necesario previamente elaborar una tabla con los siguientes datos, del equipo del que se pretenda obtener resultados:
- Número de paradas registradas.

- Motivo de cada parada (mantenimiento programado, mantenimiento no programado, modificación, etc.).
- Duración de cada parada, preferiblemente en minutos.
- Con estos datos y aplicando las fórmulas que se describen, ya pueden obtenerse los valores de la disponibilidad.
- La disponibilidad propiamente dicha es el cociente entre el tiempo disponible para producir y el tiempo total de parada. Para calcularlo, es necesario obtener el tiempo disponible, como resta entre el tiempo total, el tiempo total, el tiempo por paradas de mantenimiento programado y el tiempo por parada no programada. Una vez obtenido se divide el resultado entre el tiempo total del período considerado.

$$\textit{Disponibilidad} = \frac{\textit{Horas Totales} - \textit{Horas parada por mantenimiento}}{\textit{Horas Totales}}$$

Las horas de parada por mantenimiento que deben computarse son tanto las horas debidas a paradas originadas por mantenimiento programado como el no programado

Fiabilidad; la fórmula de cálculo es muy parecida a la anterior, pero sustituyendo en el numerador las horas de parada por mantenimiento por horas de parada por mantenimiento no programado:

$$\textit{Confiabilidad} = \frac{\textit{Horas Totales} - \textit{Horas parada por mantenimiento no programado}}{\textit{Horas Totales}}$$

Tiempo medio entre paradas (TMEP), es el tiempo medio que ha transcurrido entre dos paradas de mantenimiento, y se requiere para su cálculo en el numerador las horas totales del período, y en el denominador, el número de paradas:

$$TMEP = \frac{\text{Horas Totales del período}}{\text{Número de paradas}}$$

Tiempo medio hasta puesta en marcha (TMPM), representa el tiempo medio de duración de las diversas paradas ocurridas en el período analizado:

$$TMPM = \frac{\text{Horas totales de parada}}{\text{Número de paradas}}$$

Número de paradas, sin ninguna fórmula representa el número total de eventos que han provocado paradas debidos a mantenimiento, y representa un indicador en sí mismo.

Horas totales de parada, es la suma de todas las horas de parada que ha sufrido un determinado equipo en el período analizado (Mantenimiento, 2016).

2.3. Definición de términos

Disponibilidad

La disponibilidad de los equipos está determinada por los fabricantes de los mismos, para la disminución de la vida útil de los equipos hay dos agentes importantes que generan fallas o desgastes en los equipos; los seres humanos (usa, abusa, no usa, destruye y no mantiene), el medio ambiente (contamina, oxida, corroe, acaba y deteriora).

Bomba centrífuga.

Una bomba centrífuga es una máquina que consta de un conjunto de paletas rotatorias encerradas dentro de una caja comúnmente llamada carcasa. 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. Una parte estacionaria compuesta de una carcasa, estoperos y chumaceras (Cadena, 2011).

Impulsor.

El impulsor es la parte vital de una bomba 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 bomba. En función de la entrada del líquido al impulsor, este se divide en: simple y doble succión.

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.

Flechas

La función básica de la flecha de una bomba 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. La torsión debida al movimiento que le proporciona la máquina motriz.

Estoperos o cajas de empaque.

Los estoperos o cajas de empaque, tienen la función principal de proteger la bomba contra el escurrimiento en los puntos en que la flecha atraviesa la cubierta, cuando se trata de bombas 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 bomba, tal como sucede en una bomba de vacío.

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.

Cojinetes.

La función de los cojinetes en las bombas es mantener el rotor en correcto alineamiento con las partes estacionarias. Los cojinetes que le dan colocación radial al rotor se conoce 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.

Acoplamientos

Las bombas centrifugas 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.

Falla

En el ámbito internacional las fallas se clasifican como críticas, degradantes, incipientes y desconocidas dependiendo del efecto que generan sobre el cuerpo o la función del equipo.

Confiabilidad

La medida de la confiabilidad de un equipo es la frecuencia con la cual ocurren las fallas en el tiempo. Si no hay fallas, el equipo es 100% confiable; si la frecuencia de fallas es muy baja, la confiabilidad del equipo es aún aceptable, pero si es muy alta, el equipo es poco confiable.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Sí se modifica el impulsor y eje de la bomba centrífuga KSB – RPH 250, entonces se incrementará su disponibilidad en la Empresa Administradora Cerro SAC.

2.4.2. Hipótesis específica

- a) La falla de pernos influye en la disponibilidad de la bomba centrífuga KSB – RPH 250, en la Empresa Administradora Cerro S.A.C.
- b) El rendimiento del sistema modificado, influye positivamente en la disponibilidad de la bomba centrífuga KSB – RPH 250, en la Empresa Administradora Cerro S.A.C.

2.5. Variables

2.5.1. Definición conceptual de la variable

Modificación de la bomba centrífuga

Es cambiar algún elemento de la bomba centrífuga, y siga realizando su trabajo para el cual fue diseñado en este caso elevar el agua de un nivel inferior a otro superior.

Disponibilidad

Como disponibilidad se define la probabilidad de que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa en condiciones estables, donde el tiempo total considerado incluye el tiempo de operación, el tiempo activo de reparación, el tiempo inactivo, el tiempo en

mantenimiento preventivo (en algunos casos), el tiempo administrativo, el tiempo de funcionamiento sin producir y el tiempo logístico.

2.5.2. Definición operacional de la variable

Modificación de la bomba centrífuga

Se entiende operacionalmente que la modificación de la bomba centrífuga servirá para que siga realizando su función para la cual fue diseñada, en el caso de la presente investigación se realizó esta modificación, para incrementar las horas de operación de la bomba centrífuga KSB – RPH 250.

Disponibilidad

Se refiere a tener el mayor tiempo posible sin fallas para realizar su función operacional, la cual es elevar agua entre dos niveles diferentes.

2.5.3. Operacionalización de la variable

La operacionalización de variables, se detalla en el Cuadro 1.

Cuadro 2: Operacionalización de variables.

Problema	¿Cómo influye la modificación de la bomba centrífuga KSB en su disponibilidad en la Empresa Administradora Cerro SAC?	
	Independiente	Dependiente
VARIABLES	Modificación del impulsor y eje de la bomba centrífuga	Disponibilidad
Definición conceptual	Es cambiar algún elemento de la bomba centrífuga, y siga realizando su trabajo para el cual fue diseñado en este caso elevar el agua de un nivel inferior a otro superior.	Tiempo en que el equipo está predispuesto para realizar sus funciones para la cual fue diseñada.

Definición operacional	Se entiende operacionalmente que la modificación de la bomba centrífuga servirá para que siga realizando su función para la cual fue diseñada, en el caso de la presente investigación se realizó esta modificación, para incrementar las horas de operación de la bomba centrífuga KSB.	Se refiere a tener el mayor tiempo posible sin fallas para realizar su función operacional, la cual es elevar agua entre dos niveles diferentes.
Hipótesis	Si se modifica la bomba centrífuga KSB entonces se incrementará su disponibilidad en la Empresa Administradora Cerro SAC	
Variable Independiente	Modificación del impulsor y eje de la bomba centrífuga KSB	
Dimensiones	Indicadores	Actividades de investigación o tratamiento
Fallas	Frecuencias	Permite establecer cuando un equipo está fallando frecuentemente, para construir una estructura que facilita una visión amplia para la toma de decisiones con el apoyo del historial de mantenimiento.
Tolerancias	Mediciones	
Variable dependiente	Disponibilidad	
Dimensiones	Indicadores	Instrumento o ítems
Tiempo de operación	Horas	Horómetro
Tiempo de paradas	Horas	Cronómetro

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo y nivel de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación del presente estudio es tecnológica. Porque en el trabajo de investigación realizado se ha utilizado teorías existentes para el caso de bomba centrífuga. La investigación tecnológica tiene como propósito aplicar el conocimiento científico para solucionar los diferentes problemas que beneficien a la sociedad.

3.1.2. Nivel de investigación

El nivel que se ha definido para el trabajo de investigación es aplicado. Porque tiene como propósito aplicar los resultados de la investigación experimental para diseñar tecnologías de aplicación inmediata en la solución de los problemas de la sociedad, buscando eficiencia y productividad.

3.2. Diseño de la investigación

El diseño de investigación es una organización esquematizada para relacionar y controlar las variables de investigación.

El diseño que se utilizó en la presente investigación es el Diseño solución pre post facto esto implica hacer mediciones antes y después de la aplicación del tratamiento.

Diagrama: Diseño solución pre y post facto.

GE O₁ X O₂

Donde:

GE: Bombas Centrifugas KSB – RPH 250

X: Modificación en el diseño de la bomba.

O₁: Observación de la disponibilidad antes del tratamiento.

O₂: Observación de la disponibilidad después del tratamiento

3.3. Población y muestra

Para el desarrollo de la presente tesis se ha tomado como población 10 bombas centrifugas KSB - RPH 250 ubicadas en el nivel 2125 de la Empresa Administradora Cerro SAC. Como muestra para realizar la investigación se realizó en una de las bombas centrifugas KSB – RPH 250.

3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

Técnica Documental; permite la recopilación de evidencias de las bombas centrifugas KSB – RPH 250, para demostrar la hipótesis de investigación. Con los siguientes pasos:

- Determinar la forma en que se van a registrar los datos.
- Relacionar cuidadosamente y críticamente los fenómenos.

- Relacionar los datos.
- Analizar e interpretar los datos.
- Elaborar conclusiones.

Los instrumentos utilizados son: fichas bibliográficas, ficha de trabajo y registros de sistemas de gestión.

3.5. Validez y confiabilidad del instrumento

La validez de los instrumentos utilizados en esta investigación, 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 tabla 2.

Tabla 3: Prueba de Kolmogorov- Smirnov para una muestra

		Bomba
N		76
Parámetros normales ^{a,b}	Media	65,82
	Desviación estándar	12,959
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,131
	Positivo	,067
	Negativo	-,131
Estadístico de prueba		,131
Sig. asintótica (bilateral)		,003 ^c

a. La distribución de prueba es normal.

b. Se calcula a partir de datos.

c. Corrección de significación de Lilliefors.

3.6. Técnicas de Recolección y Procesamiento de Datos

- Operacionalización de variable; con fines de identificar los indicadores.
- 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. Existen las frecuencias absolutas y las frecuencias relativas además se pueden encontrar las frecuencias acumuladas en cada una de las anteriores. Las frecuencias se representan gráficamente en histogramas y polígonos de frecuencia.

Las medidas de tendencia central son los puntos centrales en una distribución. Las principales medidas de tendencia central son la moda, la mediana y la media. La moda es la puntuación que más se repite. La mediana es el valor que divide a la distribución por la mitad. La media es el promedio aritmético de una distribución.

Las medidas de dispersión nos indican la forma como están diseminados los datos de la distribución. Las principales medidas de dispersión son el rango la varianza y la desviación estándar. El rango es la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de la medición. Cuanto más grande es el rango mayor es la

dispersión de los datos. La varianza es el promedio del alejamiento de las puntuaciones respecto a la media. La desviación estándar es la raíz cuadrada de la varianza.

La estadística inferencial se ha utilizado para la prueba de hipótesis; y la inferencia de estadígrafo a parámetros; para todo ello se utilizó el estadístico T Student la cual hace la comparación de dos medias.

En términos generales el análisis estadístico de la información y el arribo a las conclusiones de la investigación se realizó a través de los siguientes pasos:

1. Se utilizó una matriz de datos en Excel para tabular y organizar los datos recolectados.
2. Se utilizó el software estadístico IBM SPSS Statistics Versión 24, para procesar los datos y mostrar los resultados a través de tablas y gráficos.
3. Se procedió al análisis y evaluación de los resultados para arribar a las conclusiones de la investigación.
4. Finalmente se validó a las conclusiones a través de juicio de expertos

CAPÍTULO IV: RESULTADO

4.1. Resultado

4.1.1 Modificación del eje

El rediseño de la bomba centrífuga KSB se realizó tomando como referencia las bombas centrífugas Warman modelo MCC-150, utilizadas en la planta concentradora de la empresa Administradora Cerro SAC. Se trabajó en el eje de la bomba centrífuga KSB – RPH 250, realizándole un roscado; maquinado del diámetro exterior del eje a 94 mm; el paso se la rosca 2 hilos por pulgada, altura del filete del hilo (tallado de rosca) 4 mm al radio, altura 8 mm. Para el rellenado del eje se utilizó electrodo INOX BW-ELC, las cuales son similares a las características el eje. (Ver figura 18).



Fuente: Empresa Cerro SAC.

Figura 18: Eje de la bomba centrifuga modificado.

4.1.2 Modificación del impulsor

El diámetro interior del impulsor se modificó, con mecanizado de 84 mm, la longitud del área roscada es de 137 mm. Para el relleno del impulsor también se utilizó electrodo INOX BW-ELC; una característica que tiene este electrodo es que se puede mecanizar con las maquinas herramientas. (Ver Figura 19)



Fuente: Empresa Cerro SAC

Figura 19 Impulsor de la bomba centrifuga modificado.

4.2. Descripción estadística

La Disponibilidad Mecánica antes de la modificación para las bombas centrífugas son demasiado bajas en promedio como se puede apreciar en la tabla 3, es de 71.24%, esto sacando el promedio de los datos que se obtuvieron del historial de las bombas que son diez meses de enero a setiembre del año 2016; como se puede observar este valor se encuentra por debajo del valor establecido del target mundial que es 92%.

Tabla 4: Estadísticos descriptivos antes de la modificación

	DISPONIBILIDAD ANTES DE LA MODIFICACION (MES)								
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE
N Válido	10	10	10	10	10	10	10	10	10
N perdidos	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Media	69.70	73.00	71.60	67.80	72.80	70.90	70.60	74.10	70.90
Error estándar de la media	1.764	1.571	1.897	0.929	1.459	1.792	1.352	1.696	1.929
Desviación estándar	5.579	4.967	5.967	2.936	4.614	5.666	4.274	5.363	6.100
Mínimo	62	67	65	65	66	65	66	66	63
Máximo	79	79	79	75	79	79	78	79	79

Fuente: Elaboración propia

La Disponibilidad Mecánica después de la modificación de la bomba N° 3 se incrementaron en un porcentaje considerable, ya que la disponibilidad mecánica promedio de dicha bomba 88.22%, con una variación de 2.11. La frecuencia de la disponibilidad mecánica esta entre 86% y 88%. El promedio de la disponibilidad mecánica después de la modificación está acercándose al valor establecido del target mundial que es 92%, como se muestra en la tabla 4, 5, 6 y figura 20.

Tabla 5: Estadísticos descriptivos después de la modificación

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
DISPONIBILIDAD DE LA BOMBA N° 3B DESPUES DE LA MODIFICACION N válido (por lista)	9 9	86	92	88,22	2,108

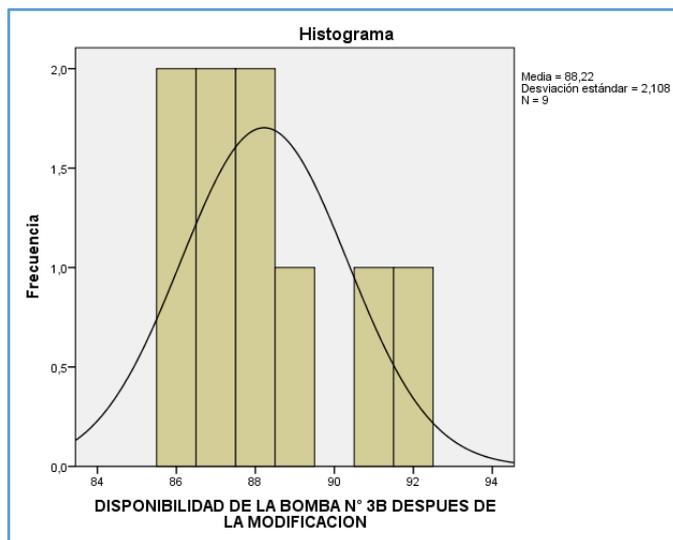
Tabla 6: Disponibilidad de la bomba N° 3b después de la modificación

N	Válido	9
	Perdidos	0
Media		88,22
Mediana		88,00
Moda		86 ^a
Desviación estándar		2,108
Asimetría		,861
Error estándar de asimetría		,717
Curtosis		-,275
Error estándar de curtosis		1,400
Mínimo		86
Máximo		92
Percentiles	25	86,50
	75	90,00

Tabla 6: Disponibilidad de la bomba n° 3b después de la modificación

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
86	2	22,2	22,2	22,2
87	2	22,2	22,2	44,4
88	2	22,2	22,2	66,7
89	1	11,1	11,1	77,8
91	1	11,1	11,1	88,9
92	1	11,1	11,1	100,0
Total	9	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia.

Figura 20 Histograma de disponibilidad mecánica.

4.3. Contrastación de la hipótesis

Para contrastar la hipótesis planteada se utilizó la prueba t student, esta prueba es adecuada para muestras inferiores a 30, como es el caso del trabajo de investigación.

Hipótesis General

Prueba de significancia

PRIMERO formulación de hipótesis

H₀: Sí se modifica el impulsor y eje de la bomba centrífuga KSB – RPH 250, entonces no se incrementará su disponibilidad en la Empresa Administradora Cerro SAC.

H₁: Sí se modifica el impulsor y eje de la bomba centrífuga KSB – RPH 250, entonces se incrementará su disponibilidad en la Empresa Administradora Cerro SAC.

SEGUNDO: establecer el nivel de significancia.

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$ ($X^2_{\text{tabla}} = 43,77$)

TERCERO: Elección de la prueba estadística

$$X^2 = \frac{\sum(O_i - E_i)^2}{E_i} = 52,25$$

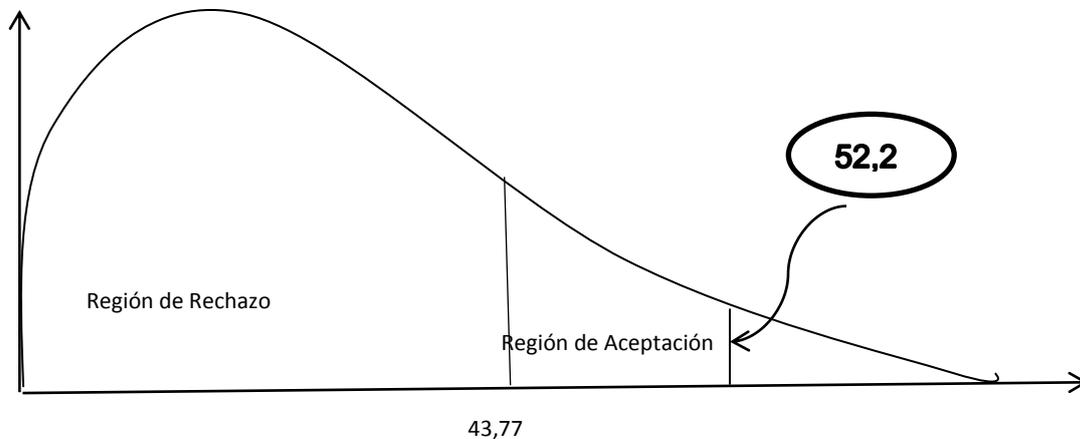
Como se demuestra en la tabla 7. Grafico 03.

Tabla 07. Pruebas de chi - cuadrado.

Pruebas de chi-cuadrado			
	Valor	df	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	52,250 ^a	30	,007
Razón de verosimilitud	39,147	30	,122
Asociación lineal por lineal	13,218	1	,000
N de casos válidos	15		

Fuente: Elaboración propia.

Grafico 03 Histograma de disponibilidad mecánica.



Fuente: Elaboración propia.

CUARTO: Comprobar el valor calculado, con el valor que puede ocurrir al azar. Como se demuestra en la tabla 8.

Tabla 08. Prueba de muestra única.

Prueba de muestra única						
	t	gl	Sig. (bilateral)	Valor de prueba = 0		
				Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Calidad de servicio	15,4	14	,000	9,53333	8,2118	10,8549
	72					
Satisfacción de colaboradores	11,7	14	,000	6,46667	5,2851	7,6482
	38					

Fuente: Elaboración propia.

Toma de decisión.

De acuerdo a los resultados, como el Chi-cuadrado estimado es $x^2 = 52,25 > x^2_{\alpha} = 43,77$ Chi-cuadrado de tabla, afirmamos que 52,25 cae en la región de rechazo, por tanto, se rechaza H_0 : aceptamos la hipótesis alterna H_1 :

Conclusión: Existe suficiente evidencia estadística a un nivel de $\alpha=0,05$, para concluir que la modificación del impulsor y el eje de la bomba centrífuga KSB – RPH 250, posibilita el incremento en su disponibilidad de la Empresa Administradora Cerro SAC. Es decir que en H_0 : Las filas y las columnas de la tabla son independientes; mientras que en H_a : Hay una dependencia entre las filas y las columnas de la tabla. Como el p-valor computado es 0,01 menor que el nivel de significación $\alpha=0,05$, se debe rechazar la hipótesis nula H_0 : y aceptar la hipótesis alternativa H_1 .

Hipótesis específica 1**Prueba de significancia**

PRIMERO formulación de hipótesis

H_0 : La falla de pernos no influye en la disponibilidad de la bomba centrífuga KSB –RPH 250, de la Empresa Administradora Cerro S.A.C.

H_1 : La falla de pernos influye en la disponibilidad de la bomba centrífuga KSB – RPH 250, de la Empresa Administradora Cerro S.A.C.

SEGUNDO: establecer el nivel de significancia.

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$ ($X^2_{\text{tabla}} = 43,7$)

TERCERO: Elección de la prueba estadística

$$X^2 = \frac{\sum(O_i - E_i)^2}{E_i} = 49,50$$

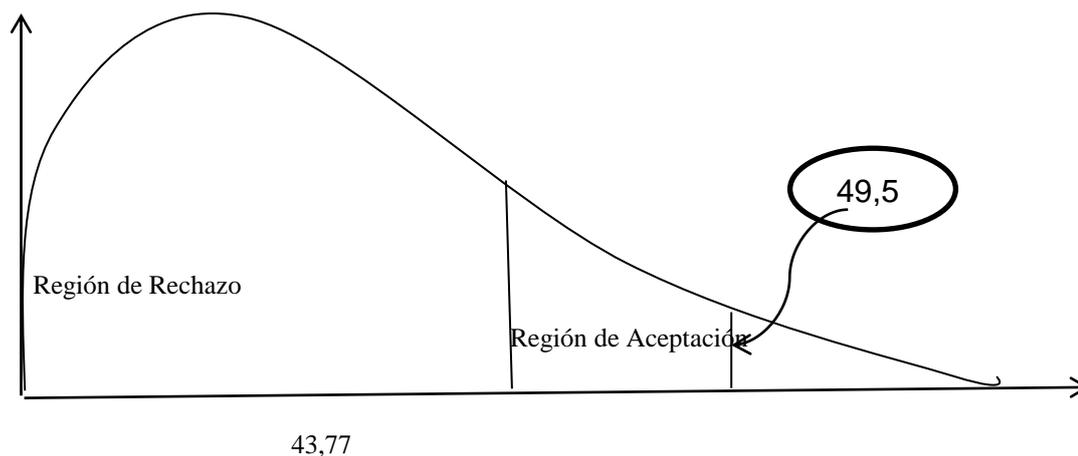
Como se demuestra en la tabla 9. Grafico 04.

Tabla 09. Pruebas de chi - cuadrado.

Pruebas de chi-cuadrado			
	Valor	df	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	49,500 ^a	30	,014
Razón de verosimilitud	36,375	30	,196
Asociación lineal por lineal	12,659	1	,000
N de casos válidos	15		

3.8. 42 casillas (100,0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es ,07.

Grafico 04 Histograma de disponibilidad mecánica.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Prueba de muestra única.

	Prueba de muestra única					
	Valor de prueba = 0				95% de intervalo de confianza de la diferencia	
	T	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Inferior	Superior
Desempeño	11,651	14	,000	7,86667	6,4185	9,3148
Compromiso	17,559	14	,000	9,33333	8,1933	10,4734

Fuente: Elaboración propia

Toma de decisión.

De acuerdo a los resultados, como el Chi-cuadrado estimado es $x^2 = 49,50 > x^2_t = 43,77$ Chi-cuadrado de tabla, afirmamos que 49,50 cae en la región de rechazo, por tanto, se rechaza H_0 : aceptamos la hipótesis alterna H_a :

Conclusión: Existe suficiente evidencia estadística a un nivel de $\alpha=0,05$, para concluir que la falla de pernos influye en la disponibilidad de la bomba centrífuga KSB de la Empresa Administradora Cerro S.A.C. Es decir que en H_0 : Las filas y las columnas de la tabla son independientes; mientras que en H_1 : Hay una dependencia entre las filas y las columnas de la tabla. Como el p-valor computado es 0,01 menor que el nivel de significación $\alpha=0,05$, se debe rechazar la hipótesis nula H_0 : y aceptar la hipótesis alternativa H_1 .

Hipótesis específica 2

Prueba de significancia

PRIMERO formulación de hipótesis

H_0 : El rendimiento del sistema modificado, no influye positivamente en la disponibilidad de la bomba centrífuga KSB – RPH 250, en la Empresa Administradora Cerro S.A.C.

H_1 : El rendimiento del sistema modificado, influye positivamente en la disponibilidad de la bomba centrífuga KSB – RPH 250, en la Empresa Administradora Cerro S.A.C.

SEGUNDO: establecer el nivel de significancia.

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$ ($X^2_{\text{tabla}} = 50,9$)

TERCERO: Elección de la prueba estadística

$$X^2 = \frac{\sum(O_i - E_i)}{E_i} = 54,0$$

Como muestra y detalla la tabla 11. Grafico 5.

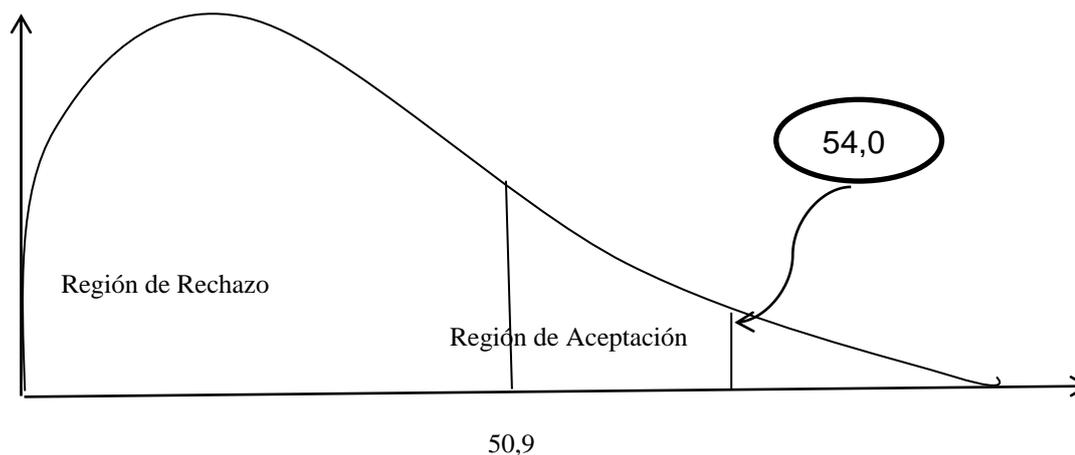
Tabla 11. Pruebas de chi - cuadrado.

Pruebas de chi-cuadrado

	Valor	df	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	54,000 ^a	36	,027
Razón de verosimilitud	42,966	36	,197
Asociación lineal por lineal	13,076	1	,000
N de casos válidos	15		

- a. 49 casillas (100,0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es ,07.

Grafico 05 Histograma de disponibilidad mecánica.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Pruebas de muestra única.

Prueba de muestra única

	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Adapta	10,212	14	,000	7,20000	5,6877	8,7123
Competitividad	12,192	14	,000	7,60000	6,2630	8,9370

Fuente: Elaboración propia.

Toma de decisión.

De acuerdo a los resultados, como el Chi-cuadrado estimado es $x^2 = 54,00 > x^2_t = 50,9$ Chi-cuadrado de la tabla 12 , afirmamos que 54,00 cae en la región de rechazo, por tanto, se rechaza H_0 : aceptamos la hipótesis alterna H_1 :

Conclusión: Existe suficiente evidencia estadística a un nivel de $\alpha=0,05$, para concluir que el rendimiento del sistema modificado, influye positivamente en la disponibilidad de la bomba centrífuga KSB – RPH 250, en la Empresa Administradora Cerro S.A.C. Es decir que en H_0 : Las filas y las columnas de la tabla son independientes; mientras que en H_1 : Hay una dependencia entre las filas y las columnas de la tabla. Como el p-valor computado es 0,01 menor que el nivel de significación $\alpha=0,05$, se debe rechazar la hipótesis nula H_0 : y aceptar la hipótesis alternativa H_1 .

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A partir de los hallazgos encontrados, aceptamos la hipótesis alternativa general, que establece, si se modifica la bomba centrífuga KSB - RPH 250, entonces se incrementará su disponibilidad, en la empresa Administradora Cerro SAC, ya que, según los datos obtenidos de la estadística descriptiva hay un incremento de 18.34%; eso comparando los promedios de la disponibilidad del antes y después.

Estos resultados guardan relación con, lo que sostiene Solares (2006) en “Mejora del programa de mantenimiento preventivo en las bombas impulsadoras de concreto”, quien señala 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.

Además Cardozo y Pabon (2009) en “Análisis de falla de pozos de bombeo electro sumergible en el campo de Cantagallo”, Estas autoras expresan que el análisis de falla permitió identificar elementos con averías con el objetivo de ser reemplazados en futuras instalaciones; para los pozos de Cantagallo. La implementación de estos análisis permitirá incrementar los tiempos de vida y corrida de sistemas BES presentes en el campo Cantagallo. Ello guarda relación con los resultados obtenidos durante el proceso

de investigación, el incremento de la vida, debido a que la disponibilidad se ha incrementado en 18%.

Además, concuerda el estudio de las autoras referidas 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 no se encuentran esos resultados.

En lo que respecta a la relación entre la gestión de mantenimiento y la variable dependiente bombas horizontales en este estudio no se encuentra relación alguna. En cambio, Quincho (2015), Pérez (2013), mencionan que implementado este proyecto de tesis, lograron incrementar la disponibilidad de sus equipos. Quincho (2015) recomienda implementar el Mantenimiento Basado en la Confiabilidad para mejorar su disponibilidad. Pérez (2013), con la implementación de frecuencias de mantenimiento permitió lograr un incremento de disponibilidad en un 95%, lo cual disminuyó los costos operativos, elevándose la rentabilidad en promedio de meses de \$ 1,165.7 dólares.

El investigador contrasta diferencias entre los datos encontrados por Álvarez y Quesada (2008) encontraron en su estudio la realización de este documento brinda la oportunidad de conocer a fondo la ingeniería de las bombas centrífugas, iniciando desde su construcción y terminando con la operación y técnicas de mantenimiento que garantizan el funcionamiento adecuado de estos equipos.

CONCLUSIONES

1. Realizando una adecuada modificación en el impulsor y eje de la bomba centrífuga KSB – RPH 250, se logró incrementar su disponibilidad mecánica llegando a un 89% en promedio, por ende, también se incrementó la vida útil de las mismas en la Empresa Administradora Cerro SAC.
2. Al incrementar la disponibilidad en 18.34%, reducimos costos por operación y mantenimiento de las bombas centrífugas KSB – RPH 250, en la Empresa Administradora Cerro SAC.
3. Los indicadores de gestión de mantenimiento son de vital importancia, porque ellos nos orientan de cómo se está realizando la gestión de mantenimiento en nuestro caso de las bombas centrífugas KSB - RPH250.

RECOMENDACIONES.

1. Se recomienda realizar modificaciones a todas las bombas centrífugas KSB - RPH 250, ya que al observar los resultados de la modificación que se realizó incrementamos la disponibilidad mecánica de la bomba en un promedio de 18.34%.
2. Mejorar con el programa de capacitación de mantenimiento, con la finalidad de establecer una cultura de información de mantenimiento y lograr los mejores resultados en la gestión de mantenimiento, para así obtener el incremento de la vida útil de las bombas centrífugas.
3. Es recomendable hacer uso de los índices de gestión y los valores de clase mundial para la disponibilidad mecánica (92%), para llevar una buena gestión de mantenimiento de las bombas centrífugas KSB – RPH 250, en la Empresa Administradora Cerro SAC.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Álvarez, S., & Quezada, M. (2008). *Monografía titulada: Estado del arte, análisis y mantenimiento de bombas centrífugas*. . Universidad Tecnológica de Bolívar, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Mecánica.
- Cadena, H. (2011). *Descripción y Análisis de Fallas presentados en Sellos Mecánicos de Bomba Centrífuga*. México.: Universidad Veracruzana, Veracruz. pp.23.
- Cardozo, N., & Pavón, L. (2009). *Tesis titulada: Análisis de falla de pozos de bombeo electrosumergible en el campo Cantagallo*. Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico Químicas, Escuela de Ingeniería de petróleo.
- Dubynay, K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica*. . México.: Mc Graw Hill. pp. 396.
- EPM. (2002). *Emerso Process Management*. Obtenido de Recuperado de <http://www.emersonprocess.com>
- Eva, M. (2010). *Metodología para el análisis a fatiga mediante el código Pro Engineer: Aplicación a un eje ferroviario*. T.A. Madrid, España.: Pp. 11. Recuperado: <http://hdl.handle.net/10016/10852>.
- Ibarra, & Rodríguez. (1997). *Las maquinas hidráulicas y de fluidos a lo largo de la historia*. . Lima, Perú.: Art. DYNA, pp.1-6.

- Mantenimiento. (2016). *Mantenimiento*. Obtenido de reporteroindustrial:
<http://www.reporteroindustrial.com./blogs>.
- Pérez, E. (2013). *Tesis: Diseño de plan de mantenimiento basado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad del tractor CAT-D8T de ICCGSA en Toromocho*. Huancayo, Perú.: Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería Mecánica.
- Quincho, R. (2015). *Tesis titulada: Incremento de la Disponibilidad Mecánica para la reducción de costos operativos de las Excavadoras CAT 336 de la Empresa Stracon G y M S.A.* Huancayo, Perú.: Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería Mecánica.
- RENAME. (2014). *Entendiendo los ejes y causas de fallos*. . Recuperado:
<http://www.rename.com.pe>.
- Solares, B. (2006). *tesis titulada: Mejora del programa de mantenimiento preventivo en las bombas impulsadoras de concreto*. Guatemala.: Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial.
- Vega, R. (2013). *Tesis Análisis de falla en pernos de bomba KSB de 800 HP*. . Lima-Perú.: PUCP. .

ANEXOS

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO: MODIFICACION DEL IMPULSOR Y EJE DE LA BOMBA CENTRIFUGA RPH-250 KSB PARA INCREMENTAR SU DISPONIBILIDAD EN LA EMPRESA ADMINISTRADORA CERRO SAC

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLE	METODOLOGIA
<p>PROBLEMA GENERAL:</p> <p>¿Cómo influye la modificación del impulsor y eje de la Bomba Centrífuga KSB – RPH 250, en su disponibilidad en la Empresa Administradora Cerro SAC?</p> <p>a) ¿De qué manera la falla de pernos influye en la disponibilidad de la bomba centrífuga KSB – RPH 250 en la Empresa Administradora Cerro S.A.C.?</p> <p>b) ¿En qué medida el rendimiento del nuevo sistema influye en la disponibilidad de la bomba centrífuga KSB – RPH 250 en la Empresa Administradora Cerro S.A.C.?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL:</p> <p>Determinar la influencia de la Modificación del impulsor y eje de la Bomba Centrífuga KSB – RPH 250, en su disponibilidad en la Empresa Administradora Cerro SAC.</p> <p>a) Analizar de qué manera la falla de pernos influye en la disponibilidad de la bomba centrífuga KSB – RPH 250, en la Empresa Administradora Cerro S.A.C.</p> <p>b) Determinar en qué medida el rendimiento del nuevo sistema influye en la disponibilidad de la bomba centrífuga KSB – RPH 250, en la Empresa Administradora Cerro S.A.C.</p>	<p>HIPOTESIS GENERAL:</p> <p>Si se modifica el impulsor y eje de la bomba centrífuga KSB – RPH 250, entonces se incrementará la disponibilidad en la Empresa Administradora Cerro SAC.</p> <p>a) La falla de pernos influye en la disponibilidad de la bomba centrífuga KSB – RPH 250 en la Empresa Administradora Cerro S.A.C.</p> <p>b) El rendimiento del nuevo sistema influye en la disponibilidad de la bomba centrífuga KSB – RPH 250, en la Empresa Administradora Cerro S.A.C.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE:</p> <p>Modificación del impulsor y eje de la bomba centrífuga KSB – RPH 250.</p> <p>VARIABLE DEPENDIENTE:</p> <p>Disponibilidad</p>	<p>TIPO DE INVESTIGACION:</p> <p>Tecnológica.</p> <p>NIVEL DE INVESTIGACION:</p> <p>Aplicado.</p> <p>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN:</p> <p>Diseño solución pre y post facto</p> <p>GE O₁ X O₂</p> <p>Donde:</p> <p>GE: Bomba Centrífuga KSB – RPH 250. X: Modificación en el diseño de la bomba. O₁: Observación de la disponibilidad antes del tratamiento. O₂: Observación de la disponibilidad después del tratamiento</p> <p>POBLACION Y MUESTRA:</p> <p>La población y muestra es 10 bombas centrífugas KSB – RPH 250, en la Empresa Administradora Cerro SAC. Muestra una bomba centrífuga KSB – RPH 250</p>

ANEXO N° 2: DISPONIBILIDAD DE BOMBAS CENTRIFUGAS KSB – RPH 250 (ANTES)

Tabla 13: Disponibilidad de bombas KSB – RPH 250 antes. Empresa Administradora Cerro S.A.C

DISPONIBILIDAD DE BOMBAS KSB - RPH 250 ANTES DE LA MODIFICACION, EMPRESA ADMINISTRADORA CERRO SAC									
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
BOMBA N° 1B	65	78	65	68	79	76	67	66	79
BOMBA N° 2B	75	68	69	70	79	78	75	67	66
BOMBA N° 3B	66	69	79	65	66	70	73	74	79
BOMBA N° 4B	75	79	66	67	69	65	66	79	75
BOMBA N° 5B	74	68	70	65	68	70	75	73	63
BOMBA N° 6B	79	67	79	67	76	65	69	79	75
BOMBA N° 7B	66	70	67	66	75	65	69	77	67
BOMBA N° 8B	67	78	66	68	74	79	67	68	65
BOMBA N° 9B	68	77	79	75	69	66	67	79	74
BOMBA N° 10	62	76	76	67	73	75	78	79	66

Fuente: Empresa Administradora Cerro SAC

ANEXO N° 3: DISPONIBILIDAD DE BOMBA KSB – RPH 250 (DESPUES)

Tabla 14. Disponibilidad de la bomba KSB – RPH 250, después de la modificación. Empresa Administradora Cerro S.A.C

DISPONIBILIDAD DE BOMBAS KSB - RPH 250 DESPUES DE LA MODIFICACION, EMPRESA ADMINISTRADORA CERRO SAC									
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
BOMBA N° 3B	88	89	91	90	89	87	89	91	92

Fuente: Empresa Administradora Cerro SAC .

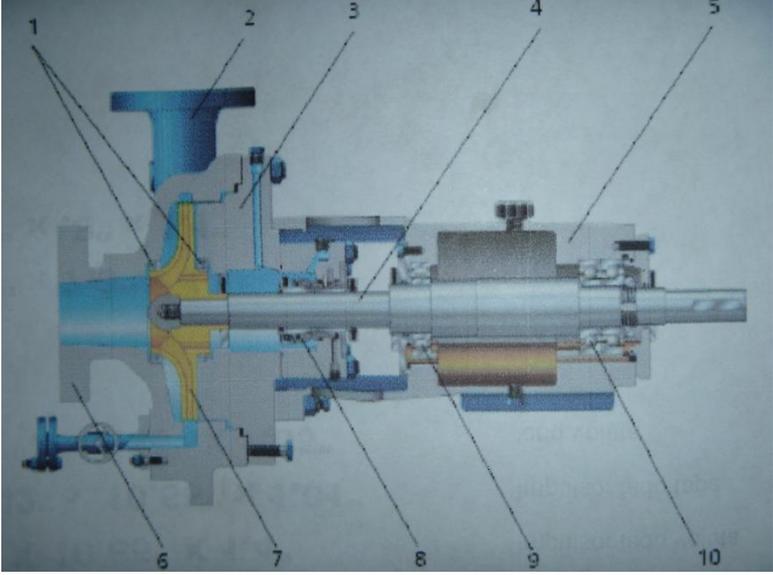
ANEXO N° 4: CHECK LIST DESARMADO DE BOMBAS KSB – RPH 250

Fecha:	
Mantenedor:	Modelo Bomba:
Supervisor:	Cámara de bombeo:

Indicaciones:

Complete con una “✓” en los recuadros según corresponda en cada actividad.

Identificación de los componentes principales

Diagrama ilustrativo Bombas KSB - RPH 250	Componentes Principales
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Luces de anillos 0.030" (estándar) 2. Tapa de descarga 3. Tapa de voluta 4. Eje de bomba 5. Caja de rodamientos 6. Tubo de succión 7. Impulsor 8. Reten lado impulsor 9. Rodaje NU324- Ajuste +0.001" 10. Rodaje 7224BCBM – Ajuste +0.001"

⚠ Si necesita hacer mayores comentarios use otra hoja

Actividades para el Desarmado de Bombas KSB – RPH 250	Si	No	Comentarios
Colocar bomba en forma horizontal con ayuda de puente grúa y sobre apoyos de madera.			
Retirar el acoplamiento con ayuda del extractor y/o bomba hidráulica.			
Retirar tapa de protección del perno impulsor-utilizar llave mixta 1-1/8"			
Desajustar y retirar el perno de 30mmx1.5 que sujeta el impulsor, utilizar dado 1 7/8".			
Quitar el impulsor y sus chavetas del eje, con ayuda del extractor y/o bomba hidráulica.			
Aflojar y retirar los cuatro pernos M24 que sujetan la tapa de voluta lado gland (casing cover) con la caja de rodamiento (bearing bracket) con ayuda de llaves mixtas de 35mm (1 7/16").			
Colocar la eslinga para posicionar en forma horizontal la caja de rodamiento, proceder a retirar el anillo de unión (joint ring), la bocina, el separador y el anillo de bronce (thower) desajustando el prisionero lateral con llave Allen de 4mm.			
Desajustar y quitar los seis (06) pernos M12 usando llave mixta de 3/4", para poder retirar la tapa de rodamiento (bearing cover) del lado gland.			
Quitar el anillo de bronce (thower) desajustando el prisionero lateral con llave Allen de 4mm, luego desajustar y quitar los ocho (08) pernos M16 usando llave mixta de 24mm, para poder retirar la tapa de rodamientos (bearing cover) del lado acople.			
Posicionar en forma vertical la caja de rodamientos con ayuda de puente grúa con lado gland hacia abajo.			
Se procede a extraer el eje con los rodamientos de la caja, con ayuda del puente grúa, eslinga y cáncamo montado en el eje.			

Una vez libre el eje, en la parte de los rodamientos 7224 (lado acople) antes de desmontar usando extractor, retirar primero la tuerca de fijación (keywayed nut), usando llave de gancho y luego quitar la arandela de seguridad (lockwasher).			
Retirar rodamiento NU 324 (lado gland) del eje con ayuda de extractor.			
El eje tiene que ser llevado al torno para verificación de su alineamiento, además se le realizaran ensayos no destructivos (liquido penetrante) para descartar fisuras. Si se encontrara fisuras dar de baja el eje.			
Realizar el lavado de los componentes con desengrasante y brocha.			

 Firma del Sobrestante

 Firma del Supervisor

ANEXO N° 5: SISTEMA DE CONTROL DE REPUESTOS BOMBA KSB

INFORMACION DE BUSQUEDA					STOCK ALMACEN			
TI	MAQUINAR	DESCRIPCION DEL EQUIPO	COD SAI	DESCRIPCION DEL MATERIAL	DIS	C	OJ	TOTAL
1	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	101007346	ANILLO D/DESGASTE 502.1 KSB RPH 250-710		4	0	4
2	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	101007347	ANILLO DE DESGASTE 502.2 KSB RPH 250-710		3	0	3
3	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	101007348	IMPULSOR 230 BOMBA KSB MOD RPH 250-710		4	0	4
4	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	101007349	ANILLO DE DESGASTE 503.1 KSB RPH 250-710		4	0	4
5	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	101007350	ANILLO DE DESGASTE 503.2 KSB RPH 250-710		4	0	4
6	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	101007351	JUNTA ESPIRAL 411.1 AISI316/GARFITO		2	0	2
7	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	101007352	ANILLO DE SELLADO 411.3 KINGLER SIL		8	0	8
8	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	101007353	ANILLO DE SELLADO 411.4 KINGLER SIL		5	0	5
9	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	101007354	ANILLO DE SELLADO 411.25 KINGLER SIL		4	0	4
10	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	101007355	EJE 210 BOMBA KSB MOD RPH 250-710		4	0	4
11	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	101007358	JUNTA PLANA 400.1 KINGLER SIL RPH250-710		4	0	4
12	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	101007359	12 NB70 RPH250-710		2	0	2
13	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	101007360	VASO ACEITE 642 ALUM/VIDRO RPH250-710		2	0	2
14	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	101007361	BUJE DE FONDO 456 AISI316 RPH250-710		2	0	2
15	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	101007362	BOCINA PROTEC. EJE 524 KSB RPH 250-710 (USAR EL CODIGO 101007393)		0	0	0
16	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	101020342	RODAMIENTO 7224-B MP UA		1	0	1
17	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	101002174	RODAMIENTO NU324/C3		0	0	0
18	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	201016960	PERNO AC HEX 30X92MM		5	0	5
19	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	101023853	BOLT 11134381		28	0	28
20	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	101023857	KEY 117D6317		2	0	2
21	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	101023855	LOCKWASHER MB24 11604304		11	0	11
22	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	101023856	LOCKWASHER 31/63/1 11634383		28	0	28
23	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	101023854	INSERT B M30X1.5X30 11653743		10	0	10
24	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	201013120	EMPAQUETADURA CUADRADA, 1" ESTILO 1461		58	0	58
25	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	101007389	ANILLO DE DESGASTE 502.1 A890CD4MCU		1	0	1
26	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	101007390	ANILLO DE DESGASTE 502.2 A890CD4MCU		6	0	6
27	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	101007380	IMPULSOR 230 A890CD4MCU RPH200-670		3	0	3
28	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	101007391	ANILLO DE DESGASTE 503.1 A890CD4MCU		0	0	0
29	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	101007392	ANILLO DE DESGASTE 503.2 A890CD4MCU		6	0	6
30	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	101007384	JUNTA ESPIRAL 411.1 AISI 316 / GARFITO		1	0	1
31	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	101007385	ANILLO DE SELLADO 411.3 KINGLER SIL		2	0	2
32	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	101007386	ANILLO DE SELLADO 411.4 KINGLER SIL		3	0	3
33	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	101007394	ANILLO DE FONDO 542 A890CD4MCU RPH200-67		6	0	6
34	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	101007379	EJE 210 DIN 1.4462 RPH200-670 (perno)		1	0	1
35	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	101007381	RODAMIENTO 320 ACERO RPH250-670		3	0	3
36	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	101007382	RODAMIENTO 322 ACERO RPH250-670		4	0	4
37	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	101007383	JUNTA PLANA 400.1 KINGLER SIL RPH200-670		5	0	5
38	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	101007387	ORING 412 NB70 RPH200-670		3	0	3
39	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	101007395	VASO DE ACEITE 642 ALUMINIO/VIDRIO RPH200		4	0	4
40	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	101007393	BOCINA PROTEC. EJE 524 DIN 1.4462 RPH200		0	0	0
41	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	101007388	EMPAQUETADURA 461 TEFLON RPH200-670		2	0	2
42	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	101020342	RODAMIENTO 7224-B MP UA		1	0	1
43	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	101002174	RODAMIENTO NU324/C3		0	0	0
44	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	201013120	EMPAQUETADURA CUADRADA 1" ESTILO 1461		58	0	58
45	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	100001079	REJILLA PARA ACOPLAMIENTO 1090T10		0	0	0
46	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	100002810	GASKET M 4C5300 (1U8846)		0	0	0
47	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	100011849	RETEN ACEITE CR44968		7	0	7
48	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	100014854	TORNILLO HEX. SFS 2063 M16 X 50,		128	0	128
49	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	100025870	ARANDELA TRABA MB24		11	0	11
50	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	101005660	OIL SEAL 120.65X146.08X12.70 MM CR-47395		16	0	16
51	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	101007926	REJILLA PARA ACOPLAMIENT 1100T (100T10)		1	0	1
52	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	101012859	TORNILLO HEXAG M12X40-10.9 7001532200		0	0	0
53	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	101020739	TAPA PARA ACOPLAMIENTO 1110T10		2	0	2
54	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	101020740	TAPA PARA ACOPLAMIENTO 1100T10		3	0	3
55	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	101021306	ACOPLAMIENTO DE REJILLA 1100T31		1	0	1
56	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	101023857	KEY 117D6317		2	0	2
57	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	101024279	CAJA PORTA RODAMIENTO KSB 200-670 (COSTO MUY ELEVADO)		0	0	0
58	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	101025377	VISOR ACEITE 3/4 NPT		4	0	4
59	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	201004527	VALVULA CHECK 10" AISI 316L FL		1	0	1
60	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	201017404	O-RING CR 100MMX3.5MM -N70		0	0	0
61	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	200003164	SILICONA DOW CORNING 736 305ML		1	0	1
62	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	100011849	RETEN ACEITE CR44968		7	0	7
63	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	100014854	TORNILLO HEX. SFS 2063 M16 X 50,		128	0	128
64	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	100025870	ARANDELA TRABA MB24		11	0	11
65	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	101005660	OIL SEAL 120.65X146.08X12.70 MM CR-47395		16	0	16
66	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	101012207	SEAL OIL MS 115x12x140MM B19.1 582939		5	0	5
67	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	101012859	TORNILLO HEXAG M12X40-10.9 7001532200		0	0	0
68	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	101021307	ACOPLAMIENTO DE REJILLA 1110T31		1	0	1
69	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	101025377	VISOR ACEITE 3/4 NPT		4	0	4
70	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	201017404	O-RING CR 100MMX3.5MM -N70		0	0	0
71	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	101021518	RODAMIENTO 1208C02J30X		4	0	4
72	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	101026830	SOPORTE COJINETE 2108D6319		0	0	0
73	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	101012859	TORNILLO HEXAG M12X40-10.9 7001532200		0	0	0
74	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	100014853	TORNILLO HEX. SFS 2063 M12 X 40,		60	0	60
75	BOMBAS	BOMBA KSB MODELO RPH 200-670	100014854	TORNILLO HEX. SFS 2063 M16 X 50,		128	0	128

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 21: Sistema de control de existencia de repuestos de bomba KSB - RPH 250 y 200

ANEXO N° 7 MEMORIA DE CÁLCULO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE BOMBEO

GENERALIDADES

1.1. Descripción del Sistema de Bombeo.

El sistema de bombeo estudiado consta de dos tipos de agua:

a) **Aguas Neutras.** El bombeo de este tipo de aguas involucra las siguientes estaciones:

- Estación de Bombeo N° 8212 : 4100 m s.n.m.
- Estación de Bombeo N° 1640 : 3860 m s.n.m.

b) **Aguas Acidas o Barren.** El bombeo de este tipo de aguas involucra las siguientes estaciones:

- Estación de Bombeo N° 2125 : 3710 m s.n.m.
- Estación de Bombeo N° 1400 : 3920 m s.n.m.
- Estación de Bombeo N° 1281 : 3980 m s.n.m.

1.2. Datos del Fluido

Fluido	:	Aguas Neutras
Temperatura	:	20 °C
Peso específico	:	1.00 kg/dm ³
Sólidos en suspensión	:	0.017 – 4.1 g/l
Caudal	:	2600 GPM
PH	:	6.3 – 7.7

Fluido	:	Aguas Acidas
Temperatura	:	20 °C
Peso específico	:	1.00 kg/dm ³
Sólidos en suspensión	:	0.445 – 33.0 g/l
Caudal	:	2600 GPM
PH	:	1.35 – 3.42

1.3. Condiciones Ambientales

Altura	:	4320 m s.n.m.
Temperatura	:	10 °C – 30 °C
Humedad	:	Entre 50% - 90%

DETERMINACIÓN DE LOS DIÁMETROS INTERIORES DE TUBERÍAS

1.1. Diámetro de la descarga

La adopción del diámetro para la tubería en el tramo de impulsión admite en principio tantas soluciones como se quieran, siempre y cuando se disponga de la potencia necesaria y de bombas adecuadas, ya que cualquier diámetro puede ser factible de conducir el caudal que se desee; sin embargo, esta indeterminación desaparece si se pretende encontrar la solución más económica posible, bajo todos los aspectos.

A medida que se adopte un menor diámetro la pérdida de carga continua será mayor y se precisará mayor potencia de motor; e inversamente, a mayor diámetro corresponderá menor potencia pero mayor costo de materiales. Por consiguiente el problema estará en elegir el diámetro de los tubos que haga la instalación más económica. A tal fin, a continuación se realiza el cálculo teórico siguiente.

Sea, p el costo del motor por hp y sea K , el costo de la tubería por unidad de diámetro y longitud.

El costo total c , utilizando un motor de potencia N y tubos de diámetro D , cuando la longitud de la tubería es L , es:

$$C = p \cdot N_b + K \cdot D \cdot L$$

Y como la potencia de la bomba P_B según se ha obtenido anteriormente viene determinada por la expresión:

$$P_B = \frac{\gamma Q (H_g + H_p)}{75 \eta_b}$$

Donde H_g es la altura geométrica y H_p la correspondiente a pérdidas de carga, si se valora esta última mediante la siguiente expresión:

$$H_p = \delta \frac{Q^2}{D^5} L$$

Siendo δ un coeficiente empírico.

Sustituyendo se obtendrá:

$$c = \frac{p \gamma Q (H_g + \delta \frac{Q^2}{D^5} L)}{75 \eta_b} + KDL$$

Para que esta ecuación tenga un mínimo, se requiere que se anule su primera derivada respecto a D , luego:

$$\frac{dc}{dD} = -\frac{\gamma Q \delta Q^2}{75 \eta_b D^6} pL + KL = 0$$

De donde:

$$D = \sqrt[6]{\frac{\gamma p \delta}{15 \eta_b K}} * \sqrt{Q}$$

Valor que no depende de la longitud de la tubería, sino del caudal.

Fijando los valores de los parámetros que figuran en la ecuación, Bress ha dado la siguiente fórmula:

$$D = 1,5 * \sqrt{Q}$$

En la cual Q viene en m³/s y D en m, obteniéndose como vemos una velocidad muy baja.

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4Q}{\pi 1,5^2 Q} = 0,57 \text{ m/s}$$

Esta fórmula de Bress, al establecer de antemano unos valores que no en todos los casos se ajustan a la realidad tiene un valor relativo, sin embargo, servirá de orientación para elegir aquel diámetro comercial que más se ajuste al determinado y con él valorar con la mayor precisión posible las diferentes pérdidas de carga.

1.2. Diámetro de la succión

El diámetro de la tubería de succión debe ser idéntico o superior a la brida de succión de la bomba, de tal manera que nos produzca la menor cantidad de pérdidas de carga con la finalidad de aprovechar al máximo el límite teórico de aspiración total de una bomba, que es aproximadamente de 5.90m de columna de agua a 4320 m s.n.m.

DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS

2.1 Pérdidas por fricción en las paredes de las tuberías

Para determinar las pérdidas de energía por fricción en las paredes interiores de las tuberías se empleará la ecuación de Hazen – Williams, la cual se recomienda para calcular pérdidas en tuberías con diámetros superiores a 2", entre otras ventajas puede ser aplicada tanto en las tuberías forzadas, como a los conductores libres:

$$\Delta P = 10,643 \cdot L \cdot \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,85} \cdot D^{-4,87}$$

Donde:

- ΔP : pérdida de presión del fluido, m.
- C : coeficiente que depende de la naturaleza de las paredes de los tubos.
- L : longitud de tubería, m.
- V : velocidad del fluido, m/s.
- D : diámetro interno, m.
- Q : caudal, m³/s.

El factor C se obtiene de acuerdo al material y al estado de la tubería, por tanto para tuberías de acero con uniones en uso, es $C = 90$ y para tuberías de plástico en uso, es $C = 140$.

Los resultados se muestran en las hojas de cálculo que se adjuntan al informe.

2.2 Pérdidas en los accesorios

Estas pérdidas serán determinadas por la siguiente expresión:

$$h_a = \frac{K_a.V^2}{2g}$$

Donde:

h_a : Altura de pérdidas en los accesorios, m.

K_a : Factor de pérdidas en los accesorios.

V : Velocidad del fluido, m/s.

g : Gravedad, m/s^2

Los factores de pérdidas se determinarán del anexo A-1.

Los resultados se muestran en las hojas de cálculo que se adjuntan al informe.

2.3 Pérdidas en las válvulas

$$h_v = \frac{K_v.V^2}{2g}$$

Donde:

h_v : Altura de pérdidas en las válvulas, m.

K_v : Factor de pérdidas en las válvulas.

V : Velocidad del fluido, m/s.

g : Gravedad, m/s^2 .

Los factores de pérdidas se obtienen del anexo A-2.

Los resultados se muestran en las hojas de cálculo que se adjuntan al informe.

LÍNEA DE GRADIENTE HIDRÁULICA

La gráfica de la variación de presión manométrica a lo largo de un conducto se denomina "línea piezométrica"; esta se gráfica sobre el perfil del conducto por encima de un plano horizontal arbitrario fijado como referencia.

La línea piezométrica nos permitirá determinar el espesor de la tubería a emplear así como evaluar las posibilidades de cavitación, fenómeno que además de producir resistencia al paso del agua, o sea reducir el caudal, produce erosión o desgaste de la tubería.

Es conveniente un perfil topográfico tal que no haya punto de la tubería que quede por encima de la línea piezométrica y si no hubiera otra solución, habría que colocar en los puntos altos válvulas de venteo.

CALCULO DEL ESPESOR DE DISEÑO

El material de las tuberías será de acero inoxidable sin costura AISI 316 L; el cálculo del espesor será determinado de acuerdo a la norma ASME B 31.3, la expresión que permite determinar el espesor de diseño es la siguiente:

$$t = \frac{PD}{2(SE + PY)}$$

Donde:

- t : espesor de diseño para presión interna (pulg)
 P : presión de diseño interna (psi)
 D : Diámetro exterior de la tubería (pulg)
 S : Esfuerzo permisible del material
 Y : Coeficiente
 E : Factor de calidad

Asimismo el espesor mínimo requerido (t_m) debe ser igual al espesor de diseño más la suma de los espesores debidos a las tolerancias mecánicas, de erosión y corrosión (c).

$$t_m = t + c$$

El esfuerzo admisible del material de la tubería se determinará del anexo A-3.

El factor de calidad del material de la tubería se determinará del anexo A-4.

El valor del coeficiente Y se determinará del anexo A-5.

Los resultados se muestran en las hojas de resultados en formato Excel.

SELECCIÓN DE LA BOMBA

1.1. Determinación del NPSH

Para determinar el NPSH disponible de la bomba se empleará la siguiente expresión:

$$NPSH_d = P_a + P_m - P_v - hp_s$$

Donde:

- NPSH_d : Altura de succión positiva neta, m.
 P_a : presión atmosférica, m.
 P_m : presión manométrica, m.
 P_v : presión de vapor, m.
 hp_s : altura de pérdidas de succión, m.

Los resultados se pueden apreciar en las hojas de cálculo adjuntas.

1.2. Determinación de la potencia de la bomba y motor

Para determinar la potencia consumida por la bomba se empleará la siguiente expresión:

$$P_B = \frac{Q(H_{des} + H_{suc})\gamma}{3960n_b}$$

Donde:

- P_B : Potencia absorbida por la bomba, hp.
 Q : Caudal de bombeo, gpm.
 H_{des} : Altura de descarga de la bomba, pies.
 Altura estática descarga + altura de pérdidas en la descarga.
 H_{suc} : Altura de succión de la bomba, pies.
 Altura estática succión + altura de pérdidas en la succión.
 γ : Peso específico del agua, lbf/in³.
 η_b : Eficiencia de la bomba.

Los resultados se pueden apreciar en las hojas de cálculo adjuntas.

Para obtener la potencia consumida por el motor se empleará la siguiente expresión:

$$P_m = \frac{P_B \cdot f_s}{\eta_m}$$

Donde:

- P_m : Potencia absorbida por el motor (hp)
 P_b : Potencia absorbida por la bomba (hp)
 f_s : Factor de servicio
 η_m : Eficiencia del motor

Los resultados se pueden apreciar en las hojas de cálculo adjuntas.

**ANEXO N° 8: RESULTADOS DEL CALCULO HIDRAULICO DE LA BOMBA
KSB – RPH 250**

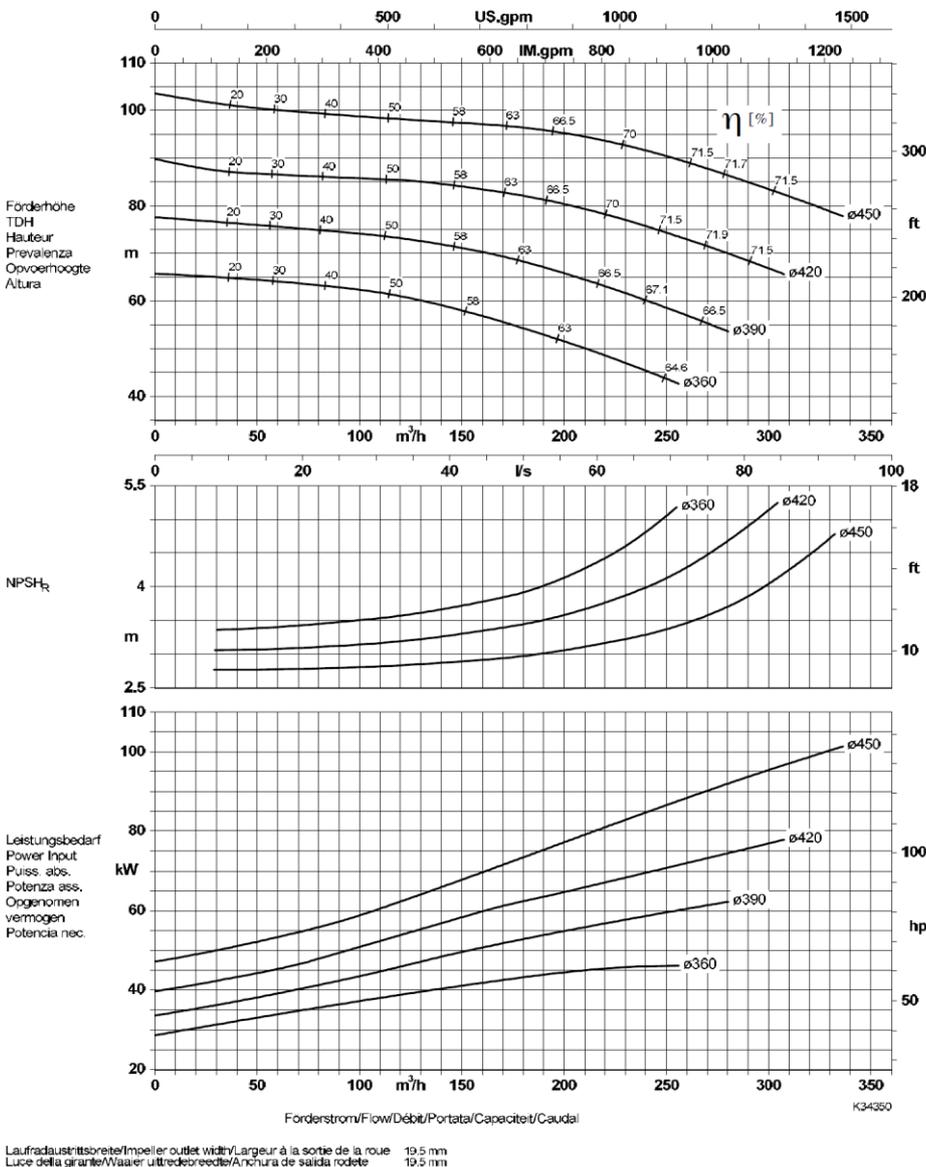
Tabla 15: Resultados del cálculo hidráulico de la bomba KSB

Calculo Hidráulico		
Linea de Succion 1281		
Caudal	2700	gpm
Caudal	0.17	m3/s
Diametro 1	10	pulg
Diametro 1	0.254	m
Longitud 1	3.0	m
Area 1	0.05	m2
Velocidad 1	3.36	m/s
Reynolds 1	1061937	
Coefficiente C	140	
Perdidas 1	0.10	m
Diametro 2	10	pulg
Diametro 2	0.254	m
Longitud 2	2.0	m
Area 2	0.05	m2
Velocidad 2	3.36	m/s
Reynolds 2	1061937	
Coefficiente C	140	
Perdidas 2	0.07	m
Presion Atmosferica	59984	Pa
Presión de vapor del agua	2337	Pa
Altura Manometrica Succion	3.0	m
N.P.S.H Disp	8.72	m

Fuente: Csesel Ingenieros.

ANEXO N° 9: CURVAS RPH DE LA BOMBA KSB

Baureihe-Größe Type-Size Modèle	Tipo Serie Tipo	Nenn-drehzahl Nom. speed Vitesse nom.	Velocità di rotazione nom. Nominaal toerental Revoluciones nom.	Laufrad-ø Impeller Dia. Diamètre de roue	ø Girante ø Waaler ø Rodete	 <p>KSB Aktiengesellschaft Industrie- und Wassertechnik Postfach 1361, 91253 Pegnitz Bahnhofplatz 1, 91267 Pegnitz</p>
RPH 150-450A A-Rad		1750 1/min				
Projekt Project Projet	Progetto Project Proyecto	Angebots-Nr. Project No. No. de l'offre	Offerta-No. Offertanr. Offerta-No.	Pos.-Nr. Item No. No. de pos.	Pos.-Nr. Positlanr. Pos.-Nr.	



Laufradaustrittsbreite/Impeller outlet width/Largeur à la sortie de la roue 19.5 mm
 Luce della girante/Waaler uitredebreeds/Ancorura de salida rodete 19.5 mm

Fuente: Manual de bomba KSB

Figura 22: Curvas RPH de la bomba KSB

ANEXO N° 10: BOMBA CENTRIFUGA KSB

Imagem 4 Bombas centrífuga KSB

Manual de Serviço
N° A1770.8B/2

KSB WKL

ANEXO N° 11 FALLAS COMUNES BOMBA KSB - RPH 250*Cuadro 2: Fallas comunes de bomba KSB – RPH 250*

N°	FALLA
1	Rotura de ejes
2	Rotura o desgaste excesivo de rodamientos
3	Rotura de anillos
4	Desgaste de bocinas
5	Desgaste de sellos
6	Rotura del acoplamiento motor-bomba
7	Fuga de aceite por el visor
8	Desgaste de impulsor
9	Rotura de perno de sujeción del impulsor
10	Desgaste prematuro en forros
11	Rotura de cilindro porta rodamiento

Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO N° 12: COSTOS DE LA MODIFICACION DE LA BOMB KSB – RPH 250

Tabla 16: Costos de la modificación de la bomba KSB

COSTOS DE LA MODIFICACION DE LA BOMBA						
BIENES						
DESCRIPCION DEL EQUIPO	DESCRIPCION DEL MATERIAL	UNID	CANTIDAD X EQUIPO	C/UNIT \$	C/ TOTAL \$	COMP/ MODIFICADOS
BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	EJE 210 BOMBA KSB MOD RPH 250 -710	UN	1	2,448.21	2,448.21	EJE
BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	RODAMIENTO NU324/C3	UN	1	422.89	422.89	
BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	LOCKWASHER MB24 11604304	UN	1	45.36	45.36	
BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	EMPAQUETADURA CUADRADA, 1" ESTILO 1461	LB	20	25.86	517.14	
BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	RETEN ACEITE CR44968	UN	2	13.47	26.94	
BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	OIL SEAL 120.65X146.08X12.70 MM CR-47395	UN	2	12.34	24.68	
BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	TORNILLO HEXAG M12X40-10.9 7001532200	UN	6	2.27	13.63	
BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	IMPULSOR 230 BOMBA KSB MOD RPH 250-710	UN	1	14,605.64	14,605.64	IMPULSOR
BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	BUJE DE FONDO 456 AISI316 RPH250-710	UN	1	75.00	75.00	
BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	BOCINA PROTEC. EJE 524 KSB RPH 250-710	UN	1	385.71	385.71	
BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	PERNO AC HEX 30X92MM	UN	6	42.17	253.01	PERNO
BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	BOLT 11134381	UN	6	169.85	1,019.12	
BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	INSERT B M30X1.5X30 11653743	UN	1	9.66	9.66	
BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	RODAMIENTO 7224-B MP UA	UN	2	318.68	637.36	
BOMBA KSB MODELO RPH 250-710	TORNILLO HEX. SFS 2063 M16 X 50,	UN	8	0.42	3.34	

Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO N° 13: IMPULSOR ORIGINAL BOMBA RPH 250 KSB

ANEXO N° 14: IMPULSOR MODIFICADO BOMBA RPH 250 KSB

ANEXO N° 15: EJE ORIGINAL BOMBA RPH 250 KSB

ANEXO N° 16: EJE MODIFICADO BOMBA RPH 250 KSB

**ANEXO N° 17: IMÁGENES DE LAS FALLAS DEL PERNO DE SUJECION
DEL IMPULSOR**



ANEXO N° 18: MANUAL DE LA BOMBA CENTRÍFUGA WARMAN

Weir Minerals Latin America

Vulco Perú S.A.
Manual de Operaciones y Mantenimiento

Excellent
Minerals
Solutions



BOMBA WARMAN

150 MCC

**VOLCAN COMPAÑÍA MINERA
S.A.A.**

BOMBA A PRUEBA

OF: 57153

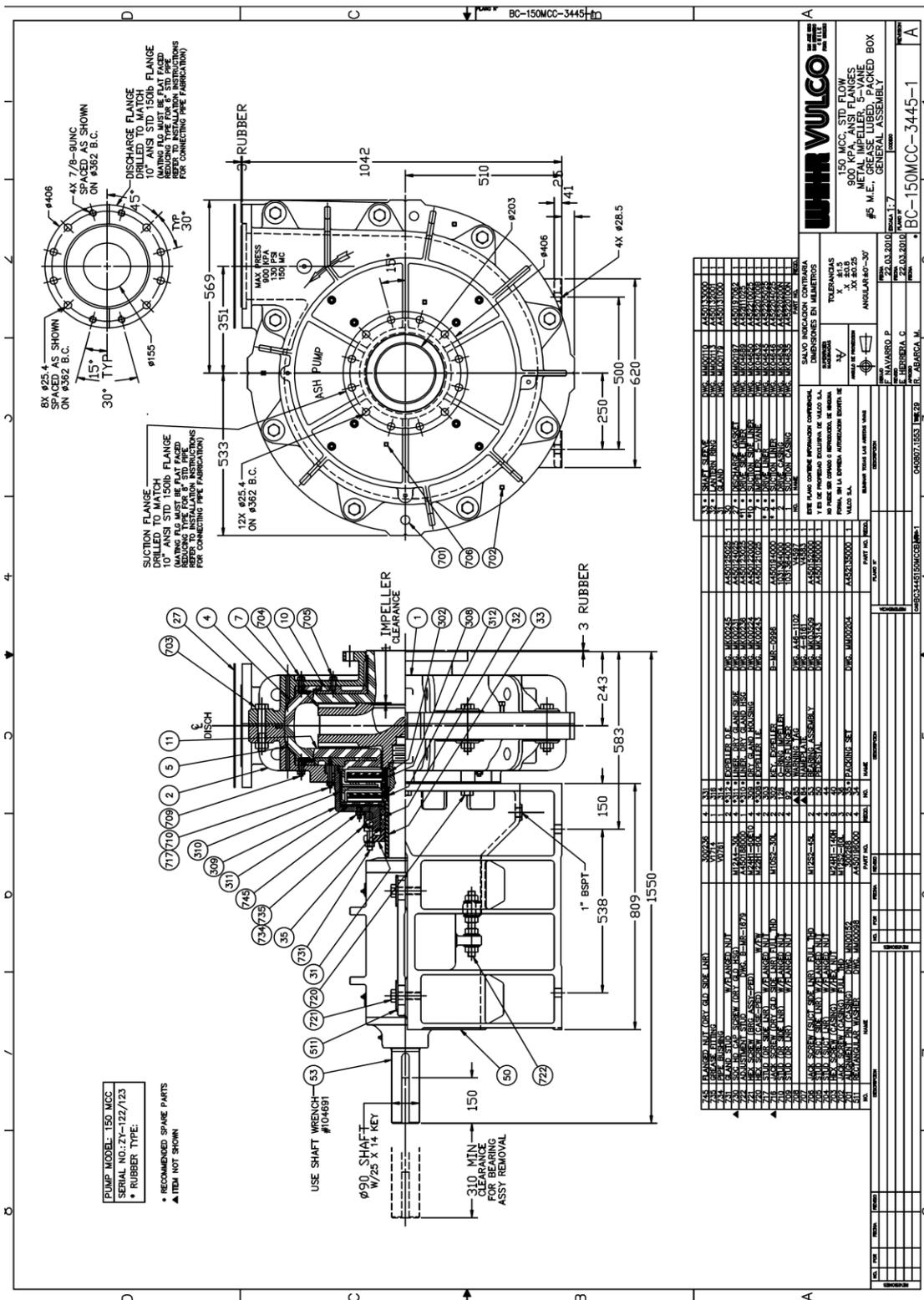


Av. Separadora Industrial 2201
Ate – Lima, Perú
T: +51 (1) 6187575
E: ventas@weirminerals.com.pe
W: www.weirminerals.com

Contenidos

1.0	LISTADO DE PLANOS	3
1.0	Plano de Arreglo General.....	3
2.0	Curva.....	4
3.0	Diagrama de Componentes	5
4.0	Plano de Portarodamiento	6
5.0	Listado de Partes	7
2.0	CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO	9
3.0	INSPECCIÓN Y ALMACENAMIENTO	12
3.1	Inspección	12
3.2	Procedimientos y Recomendaciones para Almacenamiento	12
3.3	Almacenamiento por Periodos Largos Interiores con Medio Ambiente Controlado para: Temperatura, Humedad, Polvo y Vibración.....	12
3.4	Interiores/ exteriores con ambiente no controlado.....	13
3.5	Bajo Todo Tipo de Condiciones.....	13
3.6	Almacenamiento de Motores Eléctricos.....	14
4.0	INSTRUCCIONES DE BOMBA	19
4.1	Generalidades.....	19
4.2	Apertura de Wet-end.....	20
4.3	Retiro del Revestimiento de la Carcasa Lado Succión y del Disco Lado de Succión.....	21
4.4	Retiro del Impulsor	24
4.5	Retiro del Revestimiento de Carcasa del Lado Prensa y del Disco Lado Prensa.....	26
4.6	Retiro de la Caja Prensa estopa	28
4.7	Inspección de repuestos usados	28
5.0	MONTAJE DE LA BOMBA	30
5.1	Generalidades.....	30
5.2	Montaje de Camisa de Eje/ Anillo Hidráulico / Caja Prensa Estopa.....	30
5.3	Montaje del Disco Prensa	31
5.4	Montaje del revestimiento de la carcasa prensa.....	32
5.5	Alineamiento de la Caja Prensa Estopa	32
5.6	Montaje del Impulsor.....	33
5.7	Montaje del disco y del Revestimiento Lado Succión.....	35
5.8	Montaje de Carcasas Revestidas	36
5.9	Ajuste del Espacio del Disco Succión e Impulsor.....	37
5.10	Montaje del Flange Sello Succión.....	38
5.11	Montaje de las Empaquetaduras	38
6.0	INSTRUCCIONES DE OPERACIÓN PARA BOMBAS MODELO MCC, MCH y MCR	39
6.1	Generalidades.....	39
6.2	Inspección	39
6.3	Almacenamiento	40
6.4	Instalación	40

6.5	Tuberías de Succión	40
6.6	Tubería de Descarga	41
6.7	Empaquetaduras	41
6.8	Giro de la bomba	41
6.9	Ajuste de prensa estopa y Cantidad de Agua de Sello	41
6.10	Lubricación de los Rodamientos	42
7.0	MANTENIMIENTO DE SERVICIO PERIÓDICO	43
7.1	Ajuste de disco Succión con Equipo en Movimiento	43
7.2	Mantenimiento del Prensa Estopa	47
8.0	DETECCIÓN DE PROBLEMAS	48
8.1	No Hay Caudal	48
8.2	Aplicaciones con Succión de Aire u Operación en Vacío	48
8.3	Material Entrampado	49
8.4	Caudal Insuficiente	49
8.5	No hay Suficiente Presión de Descarga	49
8.6	Rotura o Daño en el Eje	50
8.7	El Motor Trabaja con Temperatura o Se Detiene	50
8.8	Fuga de pulpa por pernos de amarre u orificios de escape de pulpa	50
8.9	Guía Rápida de Problemas	51
	8.9.1 Operacionales	51
	8.9.2 Síntomas Instrumentales	53
8.10	Advertencia para el Operador	55
9.0	PUESTA EN MARCHA	56
9.1	Chequeos Previos a la realización de Puesta en Marcha	56
9.2	Chequeos Durante Puesta en Marcha	57
9.3	Procedimiento de Parada	59



PUMP MODEL: 150 MCC
 SERIAL NO.:ZY-122/123
 * RUBBER TYPE:
 • RECOMMENDED SPARE PARTS
 ▲ ITEM NOT SHOWN

USE SHAFT WRENCH #104691

Ø90 SHAFT W/25 X 14 KEY

310 MIN CLEARANCE FOR BEARING ASST REMOVAL

VULCO
 150 MCC, STD FLOW METER
 METAL IMPELLER, 5-WAVE
 #5 M.E., GREASE LUBED, PACKED BOX
 GENERAL ASSEMBLY

ITEM NO.	QTY	DESCRIPTION	UNIT	REMARKS
1	1	IMPELLER		
2	1	IMPELLER NUT		
3	1	IMPELLER WASHER		
4	1	IMPELLER KEY		
5	1	IMPELLER SHAFT		
6	1	IMPELLER ASSEMBLY		
7	1	IMPELLER SET		
8	1	IMPELLER		
9	1	IMPELLER NUT		
10	1	IMPELLER WASHER		
11	1	IMPELLER KEY		
12	1	IMPELLER SHAFT		
13	1	IMPELLER ASSEMBLY		
14	1	IMPELLER SET		
15	1	IMPELLER		
16	1	IMPELLER NUT		
17	1	IMPELLER WASHER		
18	1	IMPELLER KEY		
19	1	IMPELLER SHAFT		
20	1	IMPELLER ASSEMBLY		
21	1	IMPELLER SET		
22	1	IMPELLER		
23	1	IMPELLER NUT		
24	1	IMPELLER WASHER		
25	1	IMPELLER KEY		
26	1	IMPELLER SHAFT		
27	1	IMPELLER ASSEMBLY		
28	1	IMPELLER SET		
29	1	IMPELLER		
30	1	IMPELLER NUT		
31	1	IMPELLER WASHER		
32	1	IMPELLER KEY		
33	1	IMPELLER SHAFT		
34	1	IMPELLER ASSEMBLY		
35	1	IMPELLER SET		
36	1	IMPELLER		
37	1	IMPELLER NUT		
38	1	IMPELLER WASHER		
39	1	IMPELLER KEY		
40	1	IMPELLER SHAFT		
41	1	IMPELLER ASSEMBLY		
42	1	IMPELLER SET		
43	1	IMPELLER		
44	1	IMPELLER NUT		
45	1	IMPELLER WASHER		
46	1	IMPELLER KEY		
47	1	IMPELLER SHAFT		
48	1	IMPELLER ASSEMBLY		
49	1	IMPELLER SET		
50	1	IMPELLER		
51	1	IMPELLER NUT		
52	1	IMPELLER WASHER		
53	1	IMPELLER KEY		
54	1	IMPELLER SHAFT		
55	1	IMPELLER ASSEMBLY		
56	1	IMPELLER SET		
57	1	IMPELLER		
58	1	IMPELLER NUT		
59	1	IMPELLER WASHER		
60	1	IMPELLER KEY		
61	1	IMPELLER SHAFT		
62	1	IMPELLER ASSEMBLY		
63	1	IMPELLER SET		
64	1	IMPELLER		
65	1	IMPELLER NUT		
66	1	IMPELLER WASHER		
67	1	IMPELLER KEY		
68	1	IMPELLER SHAFT		
69	1	IMPELLER ASSEMBLY		
70	1	IMPELLER SET		
71	1	IMPELLER		
72	1	IMPELLER NUT		

BC-150MCC-3445-1

WARMAN 150 MCC

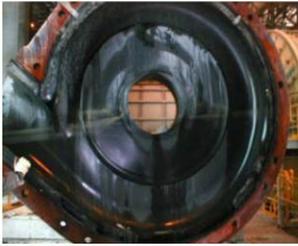
BC-150MCC-3445-1

TIPO SELLO CENTRIFUGO		REVESTIMIENTO EN CAUCHO	
ITEM	DESCRIPCION	CANT	CODIGO VULCO
1	CASING,SUCTION HALF	1	A45220100N
2	CASING,DRIVE HALF	1	A45220200N
4	LINER,SUCTION HALF	1	A452204025
5	LINER,DRIVE HALF	1	A452205025
7	IMPELLER	1	A45220700B
10	SUCTION SIDE LINER	1	A452210025
11	DRIVE SIDE LINER	1	A452111025
27	GASKET,DISCHARGE	1	A450197062
31	GLAND	1	A450131000
32	LANTERN RING	1	A450132001
33	SLEEVE SHAFT	1	A450133000
35	PACKING SET	1	A452135000
50	PEDESTAL	1	A450150000
84	NAME PLATE	1	
85	WARING TAG.	1	
92	O'RING,FLINGER	1	1031364000
128	O'RING IMPELLER	1	1031364000
302	CHAVETA EXPULSORES	1	A450194000
308	EXPULSOR LADO IMPULSOR	1	A450121025
309	CAJA EXPULSORA	1	A450122000
310	REVESTIMIENTO CAJA EXPULSORA	1	A450123025
311	PLATO TRASERO	1	A450124025
312	EXPULSOR LADO POLEA	1	A450125025
511	RECTANGULAR WASHER	4	A450196000
701	ALIGMENT PIN CASING	2	EMCR15489E22
702	JACK SCREW CASING	3	M12S2-60L
703	HEX. SCREW CASING	9	M24H1-140H
704	STUD,SUCTION LINER	4	
705	STUD,SUCTION SIDE LINER	4	
706	JACK SCREW,SUCT. SIDE LINER	2	M12S2-45L
709	STUD DRIVE LINER	4	
710	STUD DRIVE SIDE LINER	2	
716	JACK SCREW, DR. SIDE LINER	2	M10S2-30L
717	STUD DRIVE SIDE LINER	2	-
720	HEX. SCREW CASING/PEDESTAL	4	M22H1-60L
721	HEX. SCREW BEARING ASSEMBLY	4	M24H1-60E10
722	AJUSTMENT STUD	1	A450188000
730	SCREW SOCKET HEAD CAP	4	M12A4-30L
731	GLAND STUD	2	-
734	PIPE BUSHING	1	
735	GREASE FITTING	1	
745	FLANGED NUT (DRY GLD SIDE LNR)	4	

WARMAN 150 MCC

BEARING ASSEMBLY N° 05			MK03509
ITEM	DESCRIPCION	CANT	CODIGO VULCO
53	CONJUNTO PORTA-RODAMIENTOS	1	A450152000
51	BEARING HOUSING	1	A450151000
55	COVER, BEARING HOUSING IMPELLER END	1	A450155000
56	COVER, BEARING HOUSING DRIVE END	1	A450156000
59	SHAFT	1	A450159000
60	BEARING IMPELLER END	1	1160067000
61	BERAING,DRIVE END	1	1160164000
62	LOCKNUT,BEARING	1	1130711000
63	LOCKWASHER,BEARING	1	1070367000
65	FLINGER	1	A450165000
66	SEAL,OIL	1	1010462000
67	SEAL,OIL	1	1010393000
86	KEY	1	A450195000
92	O'RING	1	1031364000
501	BEARING WASHER	1	1070130000
507	O'RING,COVER IMPELLER END	1	1031365000
510	V-RING, IMPELLER END	1	A450193070
512	V-RING, DRIVE END	1	A450194070
513	O'RING,COVER DRIVE END	1	1031365000
750	GREASE FITTING	3	1061318000
751	CAP SCREW	8	1100759000
761	ROTATION TAG	1	
770	GREASE RELIEF FITTING	1	
780	O'RING,COVER DRIVE END	1	

2.0 CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO



Revestimientos lado succión

El desarrollo del diseño de la bomba Warman MCR-C esta dirigido a la solicitud de bombas ubicadas bajo molino, este se realizo pensando en otorgar menores costos operacionales a nuestros clientes, a través de:

- Reducción de tiempos de detención.
- Reducción de horas de mantención.
- Reducción de costos de repuestos.

Estas mejoras comprenden las siguientes características de diseño:

1. Diseño Hidráulico

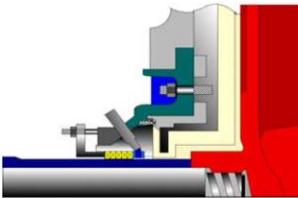
Diseño hidráulico basado en el principio de flujo a baja velocidad para las partículas que se transportan al interior de la bomba. Gracias a esto el desgaste de las partes internas disminuye considerablemente, ya que la abrasión es una función de la velocidad de las partículas dentro del sistema.

2. Stuffing box flotante

Stuffing box flotante con anillo linterna especial para circuito de molienda. Esta característica permite mantener el stuffing box perfectamente centrado con respecto a la camisa de eje; dicha condición sumada al anillo hidráulico interno asegura la entrada del agua de lavado al interior de la bomba logrando que los sólidos no avancen hacia el sector del packing, lo cual es la causa del desgaste de la camisa.

3. Impulsor

Impulsor con expulsores efectivos. El diseño de estos elementos expulsará el sólido de mayor tamaño que intentan fluir desde la periferia hacia los sectores de baja presión del impulsor, este efecto ayuda a mejorar considerablemente la vida útil de los discos de succión y prensa.



Stuffing box



Impulsor

4. Disco de succión y prensa, ajustables.

Disco de succión ajustable, lo que permite mantener el disco ajustado hacia el impulsor sin la necesidad de soltar ni desplazar el porta-rodamiento. Lo que permite mantener alineados los componentes de transmisión eléctrica-mecánica (poleas o acoples-reductor).

Los ajustes se realizan con el equipo en funcionamiento lo que evita tener que realizar paradas intermedias del equipo.

Esta ventaja de diseño en conjunto con las modificaciones realizadas al impulsor permite tener un menor desgaste abrasivo sobre los discos y las piezas intercambiables de la bomba.



Disco succión



Disco prensa

5. Revestimientos

Elastómeros de última generación que permiten reemplazar costosas aleaciones metálicas utilizadas en manejos de sólidos de gran tamaño. Estos novedosos polímeros son aplicables a condiciones de descarga de molino gracias a su alta resistencia al corte y gran residencia, condiciones fundamentales para el manejo de materiales duros.

Las modificaciones de diseño mencionadas anteriormente nos permiten obtener con la bomba ASH MCR-C las siguientes ventajas:

Disco succión

- Menor desgaste para mismo periodo de operación
- No requiere realizar giro de disco succión
- Se puede ajustar con el equipo en movimiento

Disco prensa

- Menor desgaste para mismo periodo de operación
- Se puede ajustar con el equipo en movimiento



Revestimientos

Impulsor

- Mayor eficiencia en su funcionamiento
- Igual desgaste, sin pérdida de eficiencia en funcionamiento para igual duración

Revestimientos

- Menor desgaste
- Desgaste uniforme en zona cercana a cut water

Nomenclatura

Ejemplo 250 MCC

M	=	Mill (Molino)
C	=	Circuit (Circuito)
C	=	Sello centrifugo
250	=	Ø 250 [mm] Descarga

Tamaños de Bombas MCC

- 100 (5X4)
- 125 (6X5)
- 150 (8X6)
- 200 (10X8)
- 250 (12X10)
- 300 (14X12)
- 350 (16X14)
- 400 (18X16)
- 450 (20X18)
- 500 (22X20)
- 550 (26X22)
- 650 (30X26)