



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

“REDUCCIÓN DE FALLAS EN BOMBAS CENTRÍFUGAS MEDIANTE TÉCNICAS PREDICTIVAS - PLANTA GOLD MILL - YANACOCCHA”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

AUTOR:

ROJAS VÁSQUEZ, Hemerson Omar

ASESOR:

SALAZAR MENDOZA, Aníbal

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

PERÚ-CHICLAYO

2018



ACTA DE SUSTENTACION

En la ciudad de Chiclayo, siendo las 09:00 horas del día 24 de noviembre de 2018, de acuerdo a los dispuesto por la resolución de dirección de investigación N° 2832 - 2018-UCV-CH, de fecha 21 de noviembre de 2018, se procedió a dar inicio al acto protocolar de sustentación de la tesis titulada: "REDUCCION DE FALLAS EN BOMBAS CENTRIFUGAS MEDIANTE TECNICAS PREDICTIVAS - PLANTA GOLD MILL YANACOCHA" presentado por el(la) (los) bachiller ROJAS VASQUEZ HEMERSON OMAR, con la finalidad de obtener el título de ingeniero mecánico electricista, ante el jurado evaluador conformado por los profesionales siguientes:


Presidente : Ing. Salazar Mendoza Aníbal Jesús
Secretario : Ing. Vega Calderón Edilbrando
Vocal : Ing. Reyes Tassara Pedro Demetrio

Concluida la sustentación y absueltas las preguntas efectuadas por los miembros del jurado se resuelve:

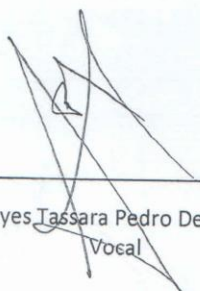
Por MAYORIA

Siendo las 7.00 pm del mismo día, se dio por concluido el acto de sustentación, procediendo a la firma de los miembros del jurado evaluador en señal de conformidad.

Chiclayo, 24 de noviembre de 2018


Ing. Salazar Mendoza Aníbal Jesús
Presidente


Ing. Vega Calderón Edilbrando
Secretario


Ing. Reyes Tassara Pedro Demetrio
Vocal

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a Dios, quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi esposa e hija; por siempre estar a mi lado, brindándome todo su amor, entrega, dedicación y sobre todo por tenerme mucha comprensión y paciencia durante estos años de mi vida. Ustedes siempre motivaron mi desarrollo profesional.

A mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento.

Hemerson Omar Rojas Vásquez

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradecer a Dios, por la vida y salud por guiarme en los momentos más difíciles de mi vida.

A mi Esposa por todo su apoyo y comprensión, por todos estos años de estudio que estuvo hay alentándome para que siguiera adelante hasta culminar la carrera.

A mis Padres, hermanos, suegros y cuñadas; por sus palabras de motivación, que me ayudaron a conseguir mi meta, la cual es terminar mi carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

Hemerson Omar Rojas Vasquez

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Hemerson Omar Rojas Vásquez, con DNI N° 44809434, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también, bajo juramento, que todos los datos e información que se presenta en la presente Tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Chiclayo, agosto del 2018



Hemerson Omar Rojas Vásquez

44809434

PRESENTACIÓN

SEÑOR DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA.

SEÑORES MIEMBROS DEL JURADO:

De conformidad con lo estipulado por el Reglamento de Grados y Títulos de la Escuela

Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Cesar Vallejo, presento a su

Consideración la presente tesis “Reducción de fallas en bombas centrífugas mediante técnicas predictivas - planta gold mill - yanacocha”

El presente estudio tuvo como finalidad elaborar una metodología para reducir fallas en bombas centrífugas a través de dos técnicas predictivas que son alineamiento laser y sistema vibracional.

El presente estudio corresponde a la línea de investigación en. Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

PERU - 2018

Hemerson Omar Rojas Vasquez

ÍNDICE

PÁGINA DE JURADO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD.....	v
PRESENTACIÓN.....	vi
INDICE.....	vii
Tabla de Ilustraciones	ix
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
I.INTRODUCCION.....	xii
1.1. Realidad Problemática	13
1.1.1. A nivel Internacional.....	13
1.1.2. A nivel nacional	13
1.1.3. A nivel local.....	14
1.2. Antecedentes	14
1.2.1. A nivel Internacional.....	14
1.2.2. A nivel Nacional	15
1.2.3. A nivel Local	15
1.3. Bases Teóricas	16
1.3.1. Diagnóstico	16
1.3.2. Alineación Laser	16
1.3.3. Análisis de Vibraciones.....	17
1.3.4. Bombas Centrífugas.....	18
1.4. Formulación del Problema.....	34
1.5. Justificación del Estudio.....	34
1.5.1. Justificación Económica.....	34
1.5.2. Justificación Social	34
1.5.3. Justificación Media Ambiental.....	34
1.6. Hipótesis	34
1.7. Objetivos	35
1.7.1. Objetivo General.....	35
1.7.2. Objetivos Específicos	35
II.METODOS	35
2.1. Diseño de Investigación.....	35

2.1.1.	Según el fin que persigue	35
2.1.2.	Según los datos analizados	35
2.1.3.	Según su metodología	35
2.2.	Operacionalización de Variables	35
2.2.1.	Variable Independiente.....	35
2.2.2.	Variable Dependiente	36
2.3.	Población y Muestra	36
2.3.1.	Población	36
2.3.2.	Muestra.....	36
2.4.	Técnica de recolección de datos	36
2.4.1.	Técnicas de recolección de datos	36
2.4.2.	Instrumentos de recolección de datos.....	36
2.5.	Métodos de análisis de datos	37
2.6.	Aspectos Éticos.....	37
III.	RESULTADOS	38
3.1.	Elaboración de un sistema para detección de fallas en bombas centrífugas.....	38
3.1.1.	Identificación general para detección de fallas	38
3.1.2.	Diseño del sistema para identificación de fallas	38
3.1.3.	Uso e implementación del equipo en análisis de bombas centrífugas .45	
3.1.4.	Análisis estadísticos del diagnóstico de fallas en bombas centrífugas57	
IV.	CONCLUSIONES.....	64
V.	RECOMENDACIONES	65
VI.	REFERENCIAS.....	66
ANEXOS	68
Anexo N°01:	Vista de datos, análisis estadístico con SPSS	69
Anexo N°02:	Vista de variables, análisis estadístico con SPSS.....	70
Anexo N°03:	Reporte bomba de diafragma	71
Anexo N°04:	Reporte falla bomba Hazleton 100 HP	72
Anexo N°05:	Reporte falla bomba Tsurumi 100 HP.....	73
Anexo N°06:	Resultados del Sistema Turnitin	74
Anexo N°07:	Acta de Aprobación de Originalidad de Tesis	75
Anexo N°08:	Autorización de Publicación de Tesis	76

Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1. Tipo de Fallas en las vibraciones de equipos.....	18
Ilustración 2. Elementos de Bomba Centrífuga	19
Ilustración 3. Partes de una bomba centrífuga	19
Ilustración 4. Clasificación de bomba según el material	20
Ilustración 5. Clasificación de bombas según el flujo	21
Ilustración 6. Selección de una Bomba Centrífuga.....	22
Ilustración 7. Desfase de ondas sinusoidales.....	23
Ilustración 8. Comportamiento vibracional de una onda.....	24
Ilustración 9. Vibración Simple	25
Ilustración 10. Vibración Compuesta	26
Ilustración 11. Transformada de Fourier de las ondas de vibración	27
Ilustración 12. Espectro originado por un mal balanceo en la bomba centrífuga	28
Ilustración 13. Espectro producido por falla en rodamientos en bombas centrifugas.....	29
Ilustración 14. Señal de amplitud modulada y su espectro de frecuencia	30
Ilustración 15. Espectro por mal alineamiento en el eje de la bomba	30
Ilustración 16. Espectro por cavitación en bomba centrífuga.....	31
Ilustración 17. Norma ISO para análisis de vibraciones	32
Ilustración 18. Operacionalización de Variables	36
Ilustración 19. Easy Laser E720	39
Ilustración 20. Acople entre bomba y motor	39
Ilustración 21. Cuadrantes para medición de desalineamiento de ejes	40
Ilustración 22. Ajuste de soportes de fijación	40
Ilustración 23. Desajuste de patas en el equipo	41
Ilustración 24. EASYTURN Y MULTIPUNTO	41
Ilustración 25. Compensación de dilatación térmica.....	42
Ilustración 26. Alineamiento para poleas.....	42
Ilustración 27. Registro de vibraciones.....	43
Ilustración 28. Máquinas verticales con brida.....	43
Ilustración 29. Máquina con acoplamiento de cardán.....	43
Ilustración 30. Máquinas en serie.....	44
Ilustración 31. Análisis manual de Bomba Warman	45
Ilustración 32. Modo de Falla - Pernos Corroidos	46
Ilustración 33. Corrosión en los metales.....	46
Ilustración 34. Impulsor con desgaste y cavitación	47
Ilustración 35. Desgaste de discos de succión	47
Ilustración 36. Carcasa y volutas corroídas.....	47
Ilustración 37. Desalineamiento de botella y eje.....	48
Ilustración 38. Uso de comba de bronce para acople.....	49
Ilustración 39. Tolerancias de ejes	50
Ilustración 40. Panel View de Easy Laser	51

Ilustración 41. Extracción del perno	51
Ilustración 42. Soldeo de reguladores en los lados de la bomba.....	51
Ilustración 43. Válvula Check con óxido y barro endurecido	52
Ilustración 44. Manifiesto del Supervisor	54
Ilustración 45. Programa IBM SPSS.....	57
Ilustración 46. Gráfico de torta: Análisis de frecuencia No bombea	58
Ilustración 47. Gráfico de torta: Análisis de frecuencias para modo de falla - Caudal insuficiente	59
Ilustración 48. Gráfico de torta: Análisis de frecuencias para modo de falla - Presión insuficiente	61
Ilustración 49. Gráfico de torta: Análisis de frecuencias para modo de falla - No arranca	62
Ilustración 50. Gráfico de torta: Análisis de frecuencias para modo de falla - La bomba presenta vibraciones	63

RESUMEN

En la presente tesis se presenta el desarrollo de un Sistema de Detección de Fallas para Bombas Centrífugas, que se basarán en el método del análisis vibracional y el método de alineamiento de ejes.

Los trabajos realizados incluyen el estudio de funcionamiento de la bomba centrífuga, la elección del método de detección de fallas y el diseño del Sistema de Diagnostico de Fallas que permita conocer el estado diseñado en la bomba centrífuga en la del Gold Mill – Minera Yanacocha, donde se realizan las pruebas de funcionamiento respectivas en base a la implementación del equipo adecuado.

El sistema de Diagnostico de Fallas para la Bomba Centrífuga desarrollado, detecta de manera correcta, fallas de desalineamiento en las bombas centrífugas estudiadas.

Palabras Claves:

Bombas Centrífugas, Técnicas Predictivas

ABSTRACT

In this thesis the development of a Fault Detection System for Centrifugal Pumps is presented, which will be based on the vibrational analysis method and the axis alignment method.

The work carried out includes the study of the operation of the centrifugal pump, the choice of the method of fault detection and the design of the Fault Diagnosis System that allows to know the state designed in the centrifugal pump in the Gold Mill - Minera Yanacocha, where the respective performance tests are carried out based on the implementation of the appropriate equipment.

The fault diagnosis system for the Centrifugal pump developed, correctly detects misalignment faults in the centrifugal pumps studied.

KEYWORD

Centrifugal Pumps, Predictive Techniques

I. INTRODUCCION

1.1. Realidad Problemática

1.1.1. A nivel Internacional

El uso y desarrollo de maquinaria industrial ha tenido un incuestionable papel en el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan al mundo optimizar sus procesos y desarrollar nuevas técnicas que conlleven a ser cada vez más rentables en el tiempo. La sociedad ha venido revelando en los últimos tiempos, iniciativa en lo que respecta a una toma de conciencia en relación con la importancia del mantenimiento y la economía de estas, este resultado se puede dar de forma rentable o puede originar pérdidas considerables, esto quiere decir que al intervenir una máquina en mal estado y no compensa su acción, conlleva a pérdidas económicas y técnicas irreversibles.

En los países de máximo desarrollo como Estados Unidos, Rusia y Japón se lleva un riguroso control de los principales parámetros de la maquinaria industrial, mediante técnicas de alineamiento láser y análisis vibracional, las cuales nos presentan un resultado detallado del estado del equipo permitiéndonos establecer diagramas y espectros comparativos basado en el monitoreo de condiciones.

1.1.2. A nivel nacional

El diagnóstico y eliminación de fallas en equipos industriales se ha convertido en una necesidad irremplazable en nuestro país, esto debido al uso de tecnologías cada vez más innovadoras y el requerimiento de llevar un control estricto del funcionamiento de nuestras plantas mecánicas mediante el estudio de los principales parámetros de operación de bombas centrífugas, bombas de vacío, motores eléctricos, fajas transportadoras, elementos rotativos, etc.

La minería ha sido uno de los procesos extractivos con más auge en los últimos tiempos, permitiendo la implementación de técnicas predictivas para el correcto funcionamiento de los equipos en las áreas de procesamiento de mineral. Dada esta necesidad es que nos centramos en el análisis de la operación de componentes dentro del flujo productivo que tengan un valor de criticidad muy alto, como lo son las bombas centrífugas, las cuales se

encargan de bombear solución barren para la captación del oro mediante el proceso de Merrill Crowe.

1.1.3. A nivel local

En la ciudad de Cajamarca vienen operando empresas mineras a tajo abierto que dado a su gran demanda de procesamiento de mineral necesitan mantener un grado de disponibilidad mecánica por encima del 98%, ello nos conduce a implementar un mecanismo de control riguroso y preciso que nos ayude a disminuir y eliminar las paradas de equipos por motivos de desalineamiento de ejes y consecuentemente vibraciones fuera de control, lo cual podría desencadenarse en una falla catastrófica y una posterior parada de planta, generando un riesgo a los trabajadores y cuantiosas pérdidas económicas a la empresa.

La falta de equipos y aplicación de estas técnicas predictivas son el motivo de este proyecto de tesis, cuya finalidad es diagnosticar las fallas producidas en bombas centrífugas que como explicamos, es un componente fundamental en el proceso de tratamiento del mineral.

1.2. Antecedentes

1.2.1. A nivel Internacional

Victoriano (2006); en su tesis: Análisis de Ingeniería Naval en el Sistema de Ejes de Propulsión plantea el proceso de alineamiento de la línea de ejes del sistema propulsor de buques, con la finalidad de encontrar problemas de desalineamiento en dichas líneas y plantear su respectiva solución mediante un conjunto de procedimientos. En conclusión, se determinan hechos que pueden ir desde tener un mayor consumo de combustible diario o producir vibraciones excesivas en la embarcación, hasta producir rotura del eje que puede dejar a la deriva la embarcación sin tener la capacidad de propulsión propia. Universidad Austral de Chile. Chile.

Piñazola (2012); en su tesis: Análisis Vibracional y Alineamiento Láser en los equipos de la industria plástica del Centro Implastic de la ciudad de Abanto implementa técnicas de análisis vibracional y alineamiento láser con la finalidad de descubrir en qué estado se encuentran los motores de las

máquinas de planta, para conocer su realidad operacional y aplicar sus respectivas correcciones con el fin de reducir costos y aumentar la producción. En conclusión la utilización de estas técnicas permite identificar equipos trabajando de manera irregular mediante la comparación e identificación de espectros que se encuentren en nivel inadmisibles según el ISO10816. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador.

1.2.2. A nivel Nacional

Palacios (2009); en su tesis: Métodos de Instalación del Sistema de Propulsión para Embarcaciones Pesqueras menores de Cerco identifica y propone solución a los defectos causados por un mal alineamiento del sistema de ejes, lo cual causa pérdida de potencia y aumenta las vibraciones y ruidos hasta llegar al punto de oscilación máxima lo que puede conllevar a una falla catastrófica. En conclusión, al realizar un buen manejo y una correcta alineación del sistema propulsor, y al saber que las instalaciones se han realizado con las técnicas adecuadas, la operación del buque se realizará sin fallas mecánicas. Universidad Nacional de Ingeniería. Perú.

Barboza (2013), en su tesis: Sistema de Detección de Fallas para una Bomba Centrífuga diseña una manera de realizar un diagnóstico de errores para así conocer el comportamiento de bombas centrífugas mediante el método de análisis vibracional. En conclusión, el sistema de diagnóstico implementado identifica la manera óptima de encontrar el desalineamiento de los equipos estudiados. Pontificia Universidad Católica del Perú. Perú.

1.2.3. A nivel Local

Dentro del departamento de Cajamarca no se tiene rastros de trabajos de investigación o tesis relacionados con el análisis y eliminación de fallas en equipos de planta aplicando técnicas de confiabilidad mecánica.

1.3. Bases Teóricas

1.3.1. Diagnóstico

El diagnóstico se define al estudio que se realiza para comprobar algunas situaciones y que es la que las origina. Estos hechos o comprobaciones se realizan en base a datos obtenidos y ordenados sistemáticamente, que permite deliberar mejor cuales son las causas de lo ocurrido. (Wikipedia, 2017)

1.3.1.1. Falla mecánica

Se define por Falla mecánica a cualquier daño o cambio que tiene una máquina, que implique a no realizar sus funciones para las que fue diseñada.

Asimismo, podemos decir que un equipo está fallando cuando ya no nos ofrece el servicio o la actividad que realizaba regularmente, o también cuando aparecen efectos indeseables que no se especifican en su diseño. (Ríos Orozco, 2014)

1.3.1.2. Importancia del diagnóstico de fallas

La importancia de analizar los errores que suceden en ciertos dispositivos o elementos es que se pueden plantear soluciones para ciertos casos específicos, con el objetivo de lograr un buen óptimo funcionamiento. Este diagnóstico nos permite corroborar o descartar el origen de dichas fallas; en esta etapa, se evalúan las opiniones de gente capacitada.

1.3.2. Alineación Laser

A lo largo de la historia se originó un nuevo sistema de alineamiento para ejes, este mecanismo ha revolucionado la industria debido al fácil funcionamiento y exactitud de los resultados. El sistema mencionado es también llamado conjunto óptico de láser y estima el movimiento rotacional en función con un conocido trayecto axial.

En este tipo de alineación laser, el operador debe tener un gran conocimiento y experiencia para su manejo, ya que requiere de una gran precisión, rapidez y automatización. Estos alineadores poseen una pantalla digital que muestran las cifras de medición. El proceso de la alineación se basa en un emisor de rayo láser, un prisma que es la que recibe el rayo y un detector

digital, la persona que maneja este procedimiento recibirá la información correcta para poder alinear los ejes. En consecuencia, el detector electrónico permite el ingreso de las medidas de los ejes y descubre la inclinación de los mismos. Es así como en la pantalla se logra ver la diferencia paralela y angular de los ejes, logrando así la alineación correcta de los ejes, teniendo un margen de error insignificante y obteniendo resultados casi perfectos.

1.3.2.1. Alineación Laser en Bombas Centrífugas

La alineación láser mejora el uso y aumenta la vida de los rodamientos. Una alineación láser permite a las bombas centrífugas alargar el uso de los rodamientos, provoca también la reducción de la fuerza entre los sellados evitando el calentamiento. El consumo puede disminuir y consigue la prevención ante roturas. La alineación laser evita los movimientos vibratorios excesivos y disminuye la sensación sonora.

1.3.3. Análisis de Vibraciones

Según Energiza (2014) el estudio vibracional es una de las tecnologías más utilizadas, debido a que permite diagnosticar el estado de las máquinas mientras estas están funcionando. El análisis de vibraciones es considerado como un mantenimiento predictivo, ya que aplica técnicas que no afectan a las máquinas y predice cuándo se requiere de una reparación o mantenimiento sin afectar el desarrollo de la producción de la planta. Las

fallas más comunes que se pueden identificar en las máquinas por medio de sus vibraciones son las siguientes:

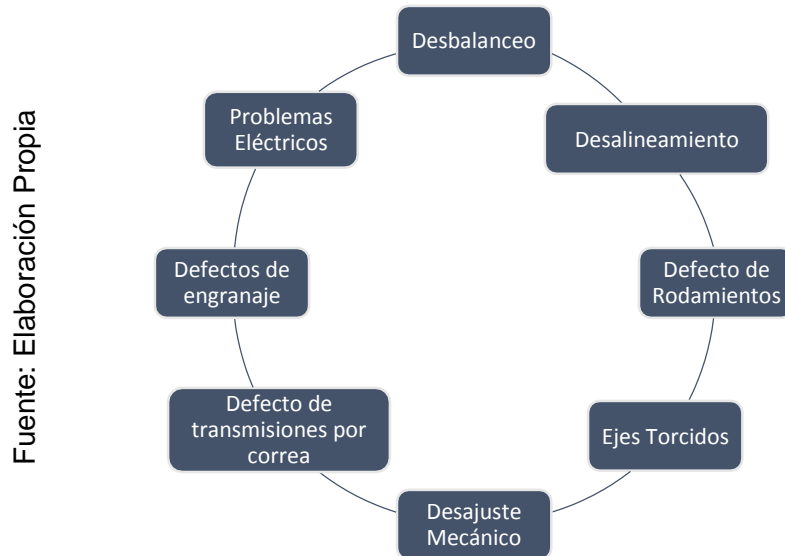


Ilustración 1. Tipo de Fallas en las vibraciones de equipos

1.3.3.1. Análisis de vibraciones en bombas centrífugas

Los análisis de vibraciones en las bombas centrífugas poseen una excitación apreciable en la frecuencia de arribo en álabes. Es muy común que, si la amplitud aumenta significativamente, es porque existe un problema interno de la bomba, como mal alineamiento y posiblemente problemas en los álabes. Las frecuencias armónicas en los álabes son comunes en las bombas.

1.3.4. Bombas Centrífugas

Se define a bomba centrífuga, como un artefacto que utiliza un esfuerzo centrífugo que logra un aumento en la presión del desplazamiento de fluidos según sea requerido. Por ejemplo, en la aplicación de una bomba de tipo hidráulica en refrigeración o calefacción tendrá la tarea de recircular al fluido desde un generador hasta la zona de trabajo. Si queremos lograr ello, debemos suministrar un caudal de fluido desde la bomba, donde la presión debe ser suficiente para vencer las oposiciones que existen a lo largo de sistema de distribución.

1.3.4.1. Elementos de Bombas Centrífugas

Los elementos que la conforman son:

Fuente: Elaboración Propia

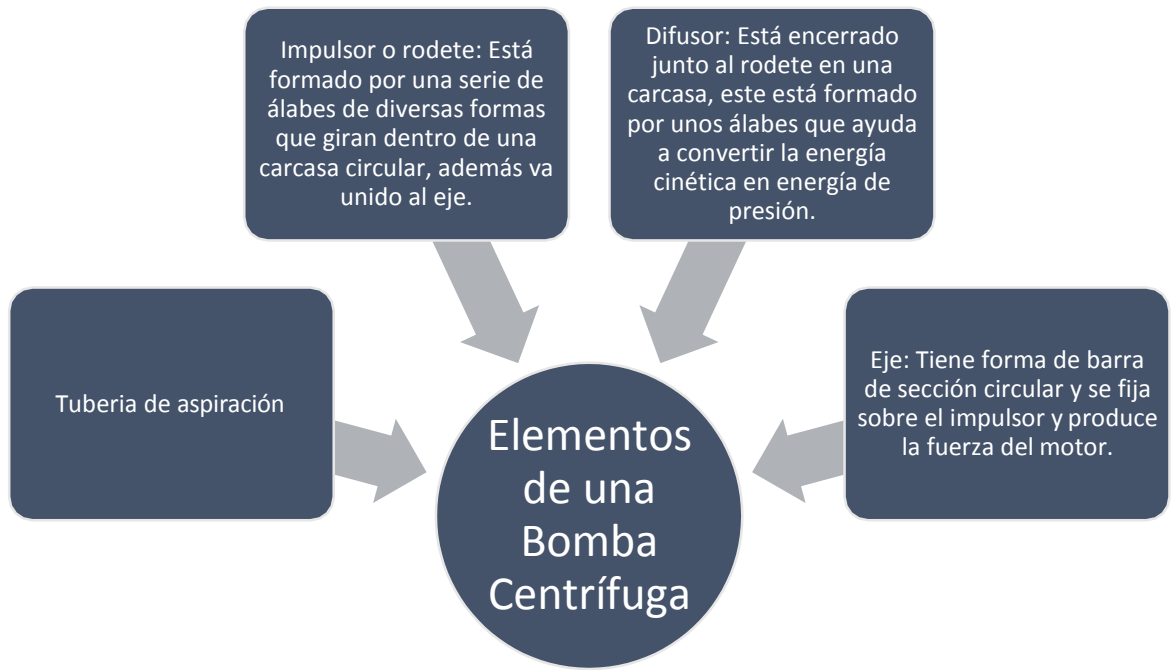


Ilustración 2. Elementos de Bomba Centrífuga

Fuente: (YUBASOLAR, 2017)

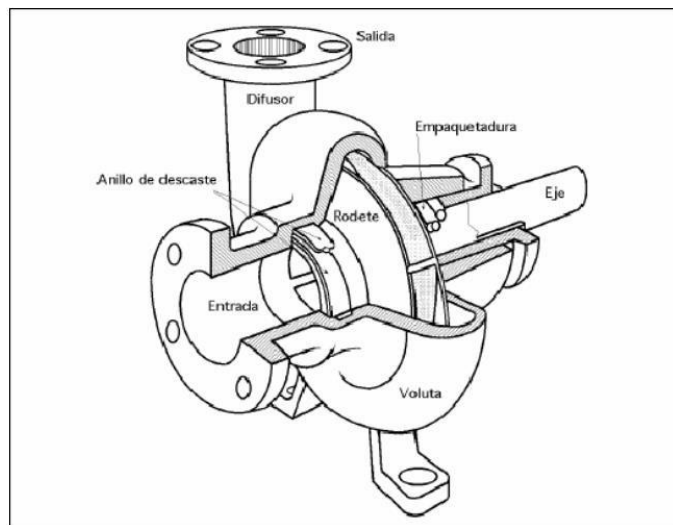


Ilustración 3. Partes de una bomba centrífuga

1.3.4.2. Clasificación de Bombas Centrífugas

Se clasifican en tres grupos:

1.3.4.2.1. Según el tipo de material

El tipo de material que se utilizará se determinará a partir de las condiciones de servicio y la naturaleza del líquido manejado. Los materiales usados para las bombas son:



Ilustración 4. Clasificación de bomba según el material

1.3.4.2.2. Según el tipo de Succión

Las bombas según su tipo de succión se pueden clasificar en:

- Succión simple
- Succión doble
- Succión Negativa
- Succión Positiva
- Succión a presión (desde una cámara hermética el líquido es succionado por una bomba, entonces llega el líquido a una presión determinada)

1.3.4.2.3. Según la dirección del flujo

De acuerdo con la dirección del flujo las bombas se pueden clasificar en:

Bomba de flujo radial: Poseen impulsores angostos y de baja velocidad, la presión que desarrolla es originado por la fuerza centrífuga.

Bomba de flujo axial: Su flujo es axial y tienen una alta velocidad, estas bombas mayormente se usan para gastos grandes.

Bomba de flujo mixto: Se le llama así ya que el flujo cambia de axial a radial, usualmente son bombas de gastos intermedios, debido a que su velocidad de los impulsores es mayor que la radial.

Ilustración 5. Clasificación de bombas según el flujo

1.3.4.3. Selección de Bombas Centrífugas

Al seleccionar una bomba se deben conocer los siguientes datos:

- a) Caudal
- b) Altura manométrica que vencer por la bomba o pérdida de presión del circuito
- c) Valor de $NPSH_d$

Es por eso, que se mostrará un diagrama de flujo para la selección de una bomba:

Fuente: Creación propia

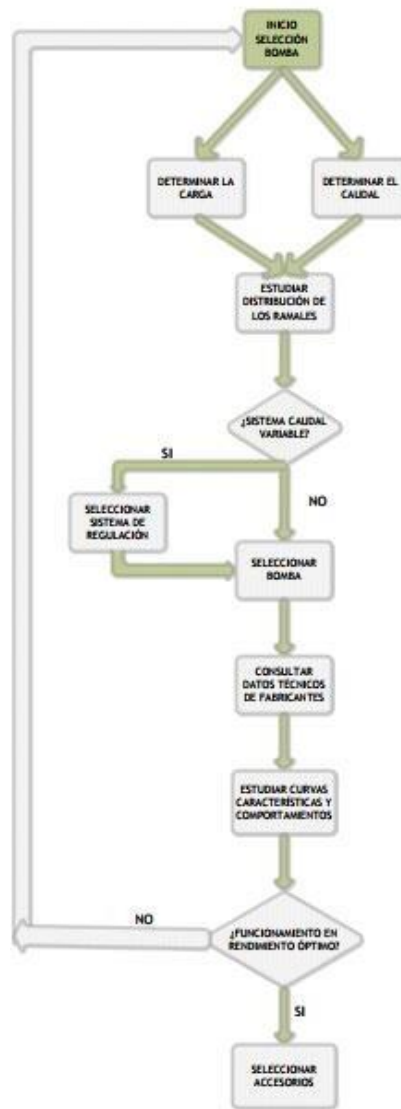


Ilustración 6. Selección de una Bomba Centrífuga

1.3.5. Análisis Vibracional

1.3.5.1. Fundamentos de Vibraciones

1.3.5.1.1. Introducción

En una manera simple, decimos que las vibraciones se consideran en forma de oscilaciones o de súbitos movimientos de un elemento en torno del equilibrio. Ello nos muestra que las señales de vibración son generadas por las bombas, y por medio de éstas entendemos el funcionamiento respectivo. Por ello, entendemos que nuestro espectro es un conjunto de vibraciones variantes que se relacionan con cada parte de la bomba.

1.3.5.1.2. Parámetros de la Vibración

- **Frecuencia:** Invertimos el periodo ($F = 1/P$) en la oscilación del elemento, estando en unidades de Hz (Ciclos por segundo) o CPM (ciclos por minuto).
- **Angulo de Fase:** La definimos como la diferencia entre el tiempo que existen en dos ondas sinusoidales. Las unidades para su entendimiento estarán en medidas de ángulos, ya sea en radianes o grados. Ello es una definición que usamos en este tipo de cálculos para poder encontrar el verdadero periodo de tiempo.

Veamos la ilustración siguiente, se muestra desfases de ondas sinusoidales:

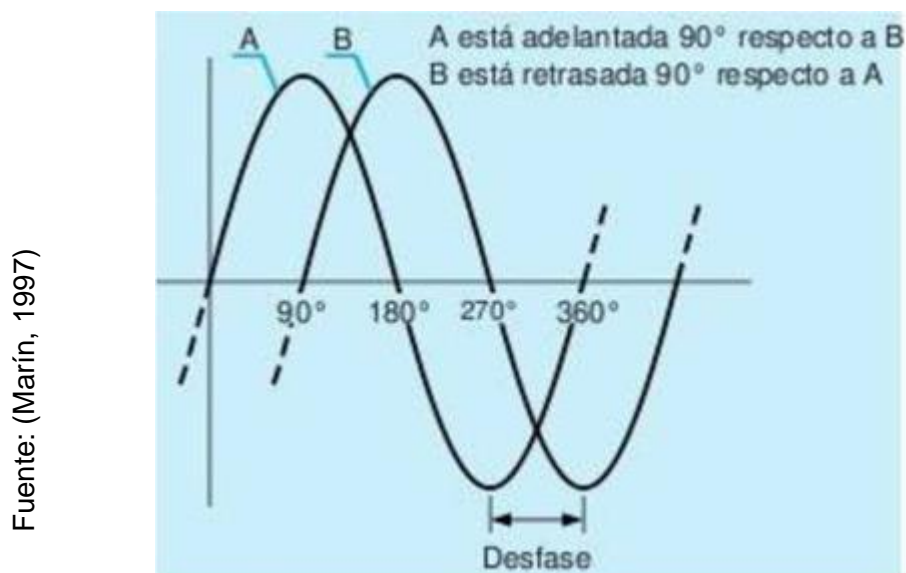


Ilustración 7. Desfase de ondas sinusoidales

- **Amplitud:** La definición que podemos dar en el campo de las vibraciones, es definirla como cuánto desplazamiento puede precisar una masa a partir de una posición neutral, se define también como la cantidad de vibración.
- En cuanto a sus unidades, de acuerdo con el sistema que utilicemos cambiarán de la siguiente forma:
 - Desplazamiento de vibración: mm
 - Velocidad de vibración: mm/s
 - Aceleración de vibración: g

Tenemos muchas maneras de cuantificar la amplitud, mostramos algunas en la ilustración a continuación:

- Pico (p), nos indica la máxima amplitud entre el origen y la onda que depende del tiempo, posee valores negativos o positivos.
- Pico-Pico ($p-p$), nos indica la diferencia que existe entre la máxima amplitud positiva y la máxima negativa de la respectiva onda.
- RMS (rems), se cuantifica como 0.707 del pico, siempre que tengamos una onda sinusoidal, y podemos usarla para cuantificar la energía que existe en la onda.

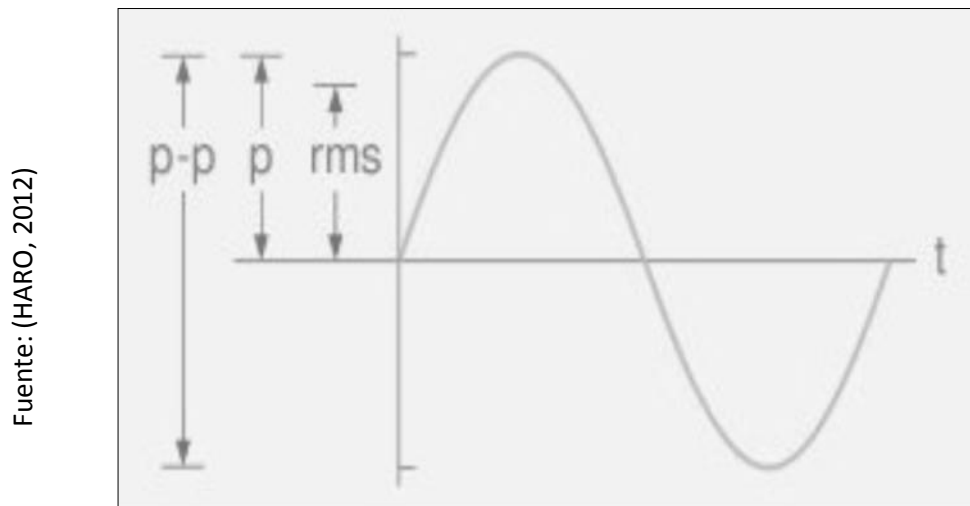


Ilustración 8. Comportamiento vibracional de una onda

1.3.5.1.3. Tipos de vibración

- **Vibración Simple:**

Se dice que estamos frente a este tipo de vibración cuando en el espectro observamos una sola frecuencia. De una forma más entendible podemos indicar que solo tiene en composición una onda. En la siguiente ilustración se muestra la repetición del movimiento.

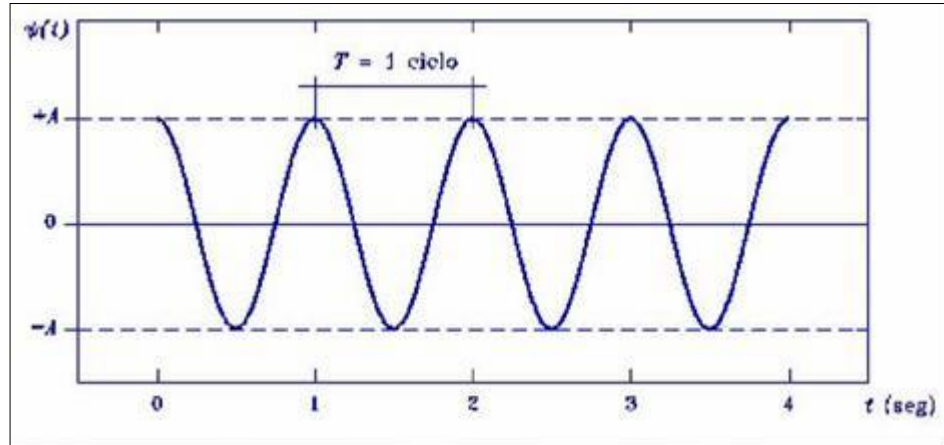


Ilustración 9. Vibración Simple

Debemos tener en consideración dos parámetros para la determinación de esta vibración, amplitud A y frecuencia f , con ellas debemos formar una función trigonométrica, como mostramos a continuación:

$$F. \text{ Seno: } y = A \sin 2\pi f$$

$$F. \text{ Coseno: } y = A \cos 2\pi f$$

- **Vibración Compuesta:**

Está conformada al sumar varias y distintas vibraciones simples. Lo encontramos en equipos como: bombas, motores, etc., y se refiere a la unión de vibraciones de cada parte de la máquina. Con ello decimos que la onda de vibración no cuenta con una forma sinusoidal, sino que nos encontramos con una situación más compleja. En la siguiente ilustración, podemos ver la composición de varias ondas sinusoidales, que dan origen a una vibración compuesta:

Fuente: (Ocw.Upm, 2014)

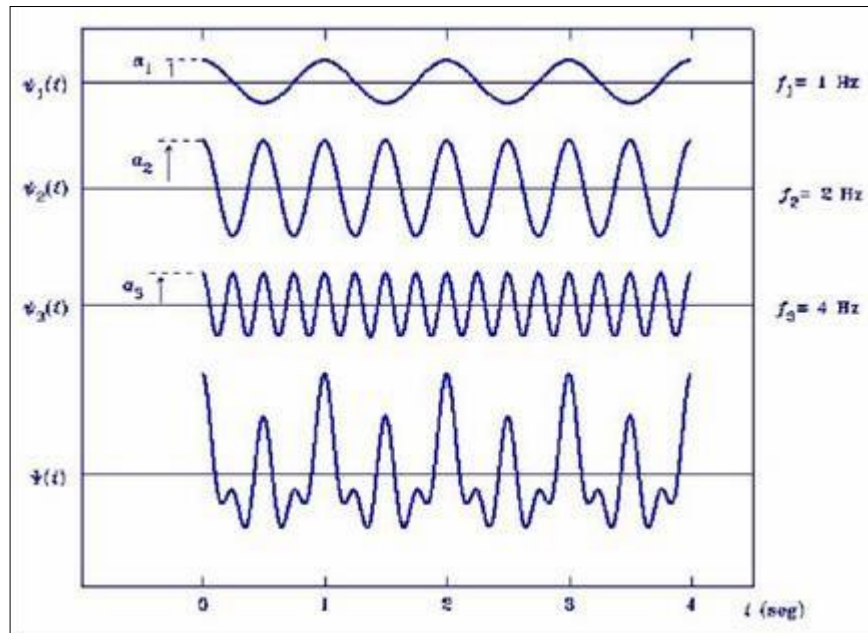


Ilustración 10. Vibración Compuesta

La interpretación es el principal problema, inclusive si requerimos obtener información de cada onda por separado.

1.3.5.2. Transformada de Fourier

El comportamiento de cada equipo en estudio como bombas por ejemplo, va a ser hallado mediante el entendimiento del comportamiento de las ondas de vibraciones compuestas.

La complejidad estará en el análisis, puesto que la cantidad de información es grande debido al conjunto de ondas a estudiar.

Teniendo en cuenta esto es que vamos a tener que definir el dominio de las frecuencias en estudio, mediante la aplicación de la transformada de Fourier, y posteriormente conocer el espectro de amplitud y frecuencia, o también icho la gráfica de espectros, ello como resultado de la señal emitida por la máquina en estudio.

En la siguiente ilustración podemos observar el espectro de vibraciones compuestas, podemos ver las señales y además el comportamiento individual de cada señal simple en el dominio definido del tiempo, y como no indicar en el dominio de las frecuencias hallada mediante la transformada de Fourier, entonces en resumen podemos decir que estamos observando el

conjunto de comportamientos de cada señal simple que conforma la señal de vibración compuesta.

Fuente: (Marín, 1997)

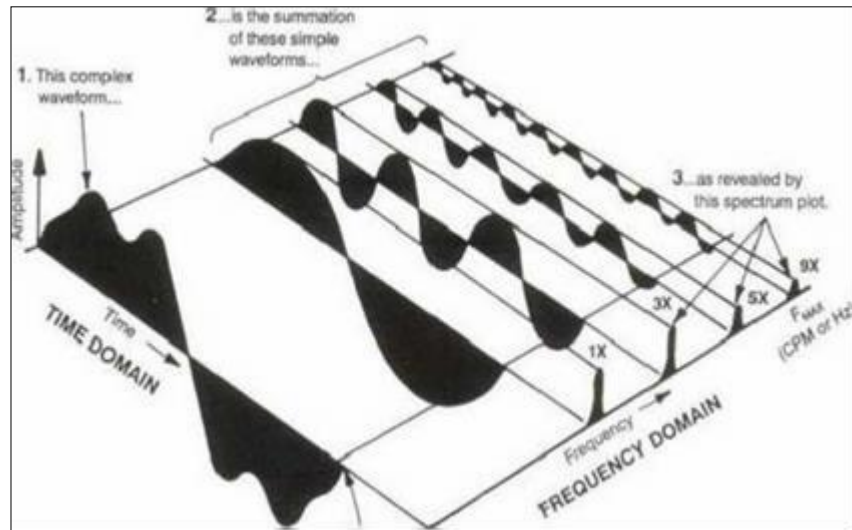


Ilustración 11. Transformada de Fourier de las ondas de vibración

Primero realizaremos la medición en una bomba, luego realizaremos la gráfica de espectros de la señal, con ello interpretamos los resultados, para posteriormente entender el tipo de falla que está aconteciendo en el equipo. Los pasos generales que seguir son lo que se muestran a continuación:

Identificar número de picos en el modo de vibración, generar espectro:

Debemos poder identificar el pico e identificar si coincide con la frecuencia de trabajo de la bomba, incluso debemos conocer las frecuencias armónicas y demás características que puedan hallarse en el espectro.

Procedimiento de diagnóstico de fallas:

Mediante el conocimiento de la amplitud y los parámetros de vibración de la bomba podemos determinar el tipo de falla.

- **Espectro originado por un mal balanceo de la bomba centrífuga**

Cuando se presenta un desbalanceo obtenemos una señal de vibración, que es similar a una onda sinusoidal, donde la excitación sucede una vez por cada revolución. Este espectro será figurado por medio de uno de los picos en la frecuencia de trabajo de la bomba, ello se puede observar en la ilustración que mostramos a continuación:

Fuente: (Royo, 2012)

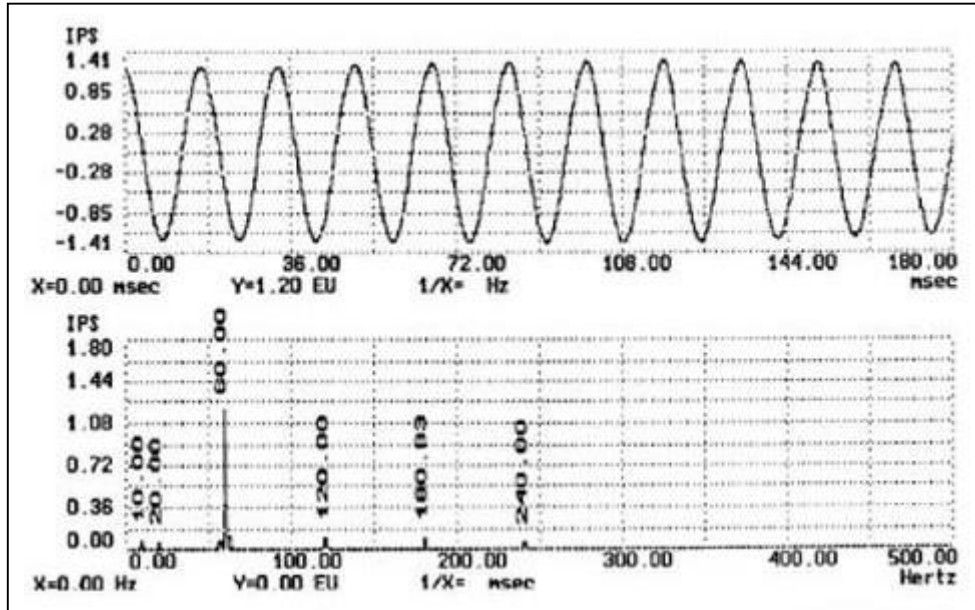


Ilustración 12. Espectro originado por un mal balanceo en la bomba centrífuga

Debido a que la amplitud proporcionada por el espectro lleva el doble del valor de nuestros resultados en dirección axial, recomendamos mediar también en dirección radial.

- **Espectro producido por falla en rodamientos en bombas centrifugas**

En este modo de falla vamos a encontrar un tipo de señal que llamamos tren de pulsos. Cuando obtenemos el comportamiento de los espectros de la señal en estudio, observamos una envolvente que abarca varios armónicos como resultado de la frecuencia de repetición en el pulso, y mediante el aumento de ésta es que disminuye la amplitud:

Fuente: (Royo, 2012)

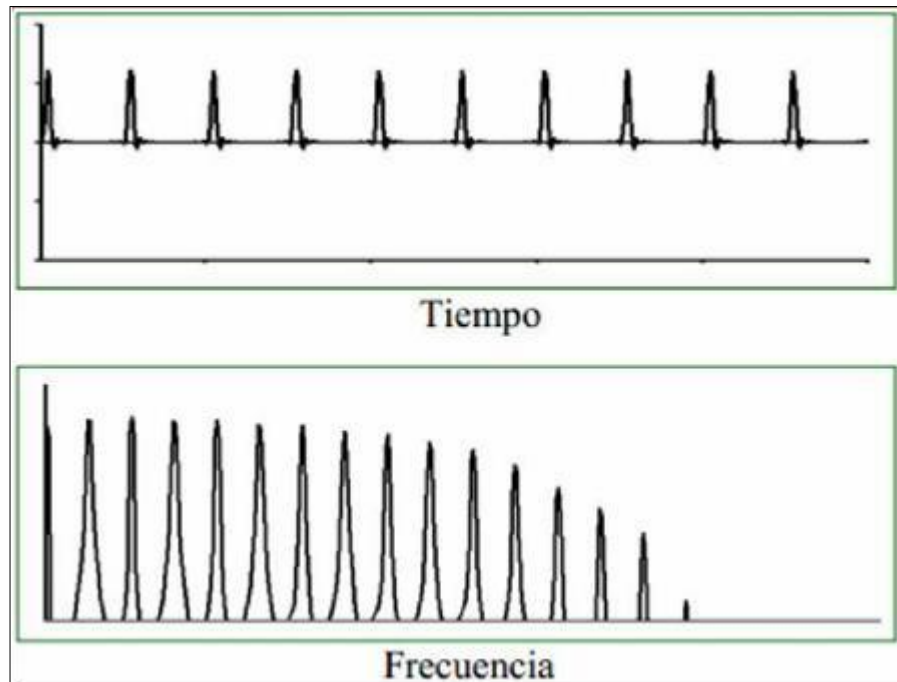


Ilustración 13. Espectro producido por falla en rodamientos en bombas centrifugas

- **Espectro producto de problemas eléctricos en bombas centrifugas**
Principalmente se da por fallas en el rotor y nos muestra una modulación de la amplitud, de alrededor 50%. El espectro que obtenemos a partir de ello es la señal de un pico en la frecuencia de carga, y que se acompaña con un componente en la dirección lateral por cada lado:

Fuente: (Royo, 2012)

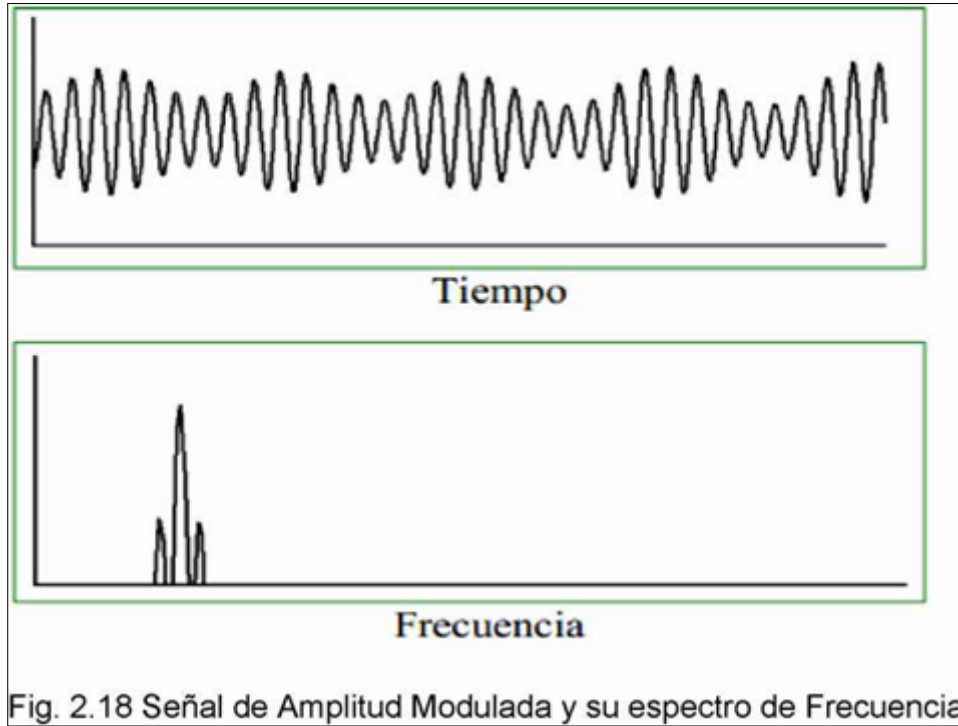


Ilustración 14. Señal de amplitud modulada y su espectro de frecuencia

- **Espectro por mal alineamiento o falla en el eje de la bomba**

Este tipo de falla en el modo de espectro de frecuencia nos muestra dos picos que se hallan dentro del primero y correspondiente segundo armónico, ello en la frecuencia de trabajo de la bomba:

Fuente: (Royo, 2012)

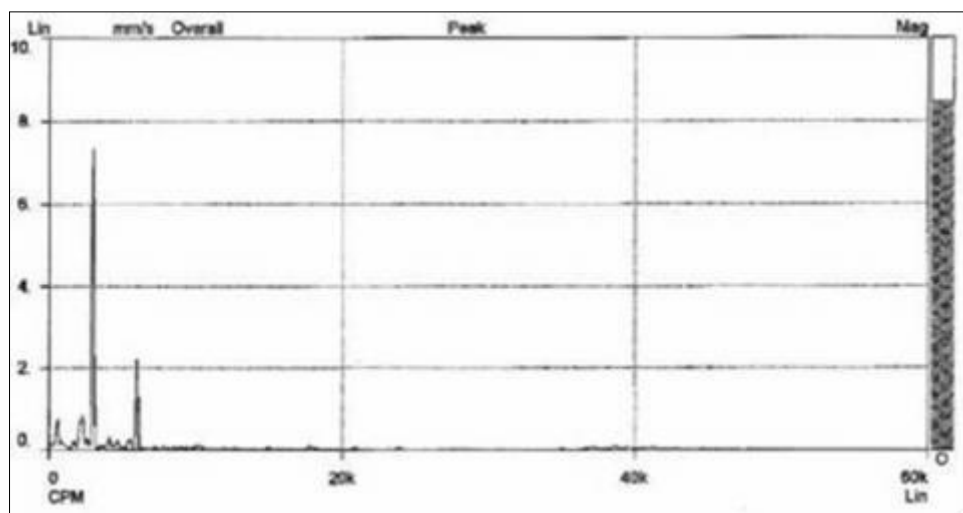


Ilustración 15. Espectro por mal alineamiento en el eje de la bomba

- **Espectro producido por cavitación en la bomba centrífuga**

Este tipo de falla nos muestra una señal de impulso corto dentro del espectro en estudio, y el cual se da mediante el análisis continuo de la frecuencia de la bomba centrífuga:

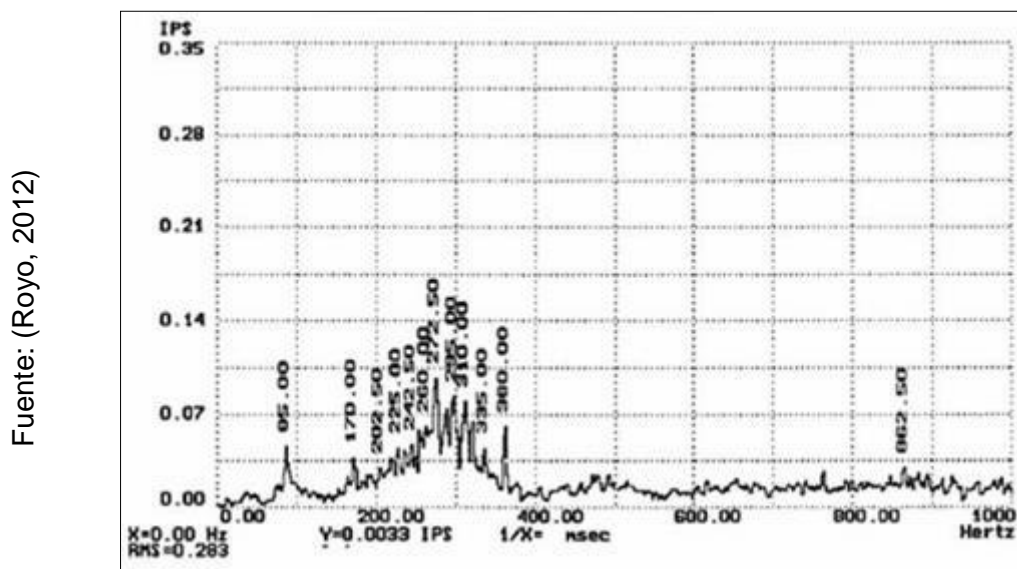


Ilustración 16. Espectro por cavitación en bomba centrífuga

No son los únicos modos de falla que podemos encontrar, también tenemos aplicaciones de bombas rotatorias, y pueden ser estudiados mediante el método de frecuencias, con la cual podemos determinar el espectro en el transductor una vez sucede la falla, y debido a los diferentes espectros que encontraremos en la bomba, y siguiendo lo indicado en la norma ISO 10816, la cual nos brinda un intervalo de valores en torno a la velocidad, entonces definimos el modo de falla de la bomba en estudio.

Podemos mencionar la tabla "I – Illustrated Vibration Diagnostic Chart", que desarrolló la *Technica Associates of Charlotte*, que contiene el espectro para cada modo de falla en una bomba, partir de esta manera para identificar en el campo frente a qué tipo de falla nos encontramos de acuerdo al tipo de señal en estudio.

1.3.6. Normas aplicadas a vibración

En este tipo de análisis tenemos varias normativas vigentes que nos permiten determinar el estado de nuestro equipo en estudio. Y está basadas en los dos

parámetros ya estudiados que son frecuencia y amplitud. Una de las principales y más importantes normas que podemos mencionar es la brindada por la *Organización Internacional de Normalización (ISO)*, que nos da alcance de la norma *DIN ISO 10816 – 7*, y que nos dedica una explicación exclusiva a las vibraciones producidas en bombas centrífugas, esta norma entra en trabajo en *agosto del 2009*.

Un punto de partida que debemos tener en cuenta es colocar el transductor en partes que no sean rotativas, de esta forma podemos obtener mediciones y evaluaciones correctas de las vibraciones en bombas centrífugas. En la siguiente ilustración encontramos la norma de vibración *DIN ISO 10816 – 7*.

Fuente: (Ríos, y otros, 2014)

DIN ISO 10816-7	Categoría 1		Categoría 2		
Tipo de bomba	Bombas centrífugas con una alta fiabilidad, disponibilidad o requisitos de seguridad.		Bombas centrífugas para aplicaciones generales o aplicaciones menos críticas.		r < 600 rpm
Potencia	< 200 kW	> 200 kW	< 200 kW	> 200 kW	0.5 rpm 1.0 rpm 2.0 rpm
Velocidad v_{rms}	7,6		9,5		Desplazamiento s_{rms}
	6,5		8,5		
10 – 1000 Hz r > 600 rpm	5,0		6,1		
2 – 1000 Hz r < 600 rpm	4,0		5,1		
	3,5		4,2		
	2,5		3,2		
mm/s rms			mm/s rms		130
					80
					50
					μm
	A		A		A
					B
					C
					D

A Máquinas recién puestas en operación

B Operación a largo plazo sin restricciones

C Operación a largo plazo con restricciones

D Vibraciones que causan daños

Ilustración 17. Norma ISO para análisis de vibraciones

Como podemos observar en la ilustración anterior, tenemos una división de dos conjuntos: Las bombas centrífugas que son de alta disponibilidad y fiabilidad en material de seguridad y las bombas centrífugas para casos de aplicación general o las llamadas menos críticas. Estos estudios se basan en la identificación de la rapidez de vibración. La cual es posible conocer y con ello saber a partir de estos rangos especificados en tabla, el estado en el cual se encuentra la bomba centrífuga en estudio.

Una bomba centrífuga presenta cuatro modos de funcionamiento, y son los indicados a continuación:

- A. Equipos puestos en marcha recientemente
- B. Funcionamiento a plazo largo y sin restricciones
- C. Funcionamiento a plazo corto y con restricciones
- D. Equipos con estado vibracional que produce daños

1.4. Formulación del Problema

¿Es posible reducir las fallas en bombas centrífugas de la Planta Gold Mill – Yanacocha mediante técnicas predictivas?

1.5. Justificación del Estudio

1.5.1. Justificación Económica

La presente investigación tiene una justificación económica, en el ahorro producido en inventario de almacén; puesto que, el desalineamiento de ejes en bombas centrífugas produce un mayor consumo de repuestos como rodamientos, sellos mecánicos, lubricante, etc. llegando a causar posibles fracturas en la estructura de la bomba. Además, tendremos un proceso sin interrupciones ni paradas del equipo por mantenimiento de emergencia debido al desalineamiento, logrando un incremento en la producción y con ello mayores ganancias para la empresa.

1.5.2. Justificación Social

El presente proyecto encuentra su justificación social; dado que, al implementar las técnicas predictivas de alineamiento láser y monitoreo de vibraciones. Nos permitirá realizar los trabajos de manera local y no mediante empresas especializadas de otras ciudades, además de aumentar la disponibilidad mecánica de los equipos, lo cual impactará de manera positiva en nuestra relación con el cliente.

1.5.3. Justificación Media Ambiental

El presente proyecto se justifica medio ambientalmente; debido que, al eliminar las vibraciones y el desalineamiento en nuestros equipos generaremos ahorro en consumo de energía, además eliminaremos los riesgos de posibles derrames de lubricante; lo cual genera un impacto positivo en el medio ambiente.

1.6. Hipótesis

Mediante la implementación de técnicas predictivas como alineamiento láser y análisis de vibraciones, se reducirán las fallas en bombas centrífugas de la Planta Gold Mill – Yanacocha.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo General

Implementar las técnicas predictivas de alineamiento láser y monitoreo de vibraciones para reducir las fallas en bombas centrífugas.

1.7.2. Objetivos Específicos

- Seleccionar los equipos de alineamiento láser y monitoreo de vibraciones que más se adecuen a la Planta Gold Mill
- Diseño de un método de diagnóstico de fallas para bombas centrífugas, como base en el análisis de alineamiento láser y vibracional
- Implementar y realizar pruebas de funcionamiento con el equipo seleccionado y adquirido

II. METODOS

2.1. Diseño de Investigación

2.1.1. Según el fin que persigue

- Aplicada: Se considera aplicada porque se busca reconstruir una realidad problemática, en este caso la implementación de técnicas productivas favorecerá las fallas en las bombas centrífugas.

2.1.2. Según los datos analizados

- Cuantitativa: Es cuantitativa porque se utilizarán datos numéricos como es el caso de mediciones de las bombas centrífugas, así como también datos estadísticos como tasa de fallas y porcentajes de confiabilidad de los equipos utilizados.

2.1.3. Según su metodología

- Experimental: Se considera experimental debido a que se manipulará la variable de técnicas predictivas para poder verificar si se logra una reducción de fallas en las bombas centrífugas, y así poder validar la hipótesis.

2.2. Operacionalización de Variables

2.2.1. Variable Independiente

Técnicas predictivas

2.2.2. Variable Dependiente

Reducción de fallas

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Escala de medición
Independiente: Técnicas predictivas	Técnicas basadas en la condición, evalúan el estado de la maquinaria y recomiendan intervenir o no en función de su estado. (Preditec, 2017)	Técnicas mediante las cuales se puede predecir el comportamiento de los equipos, anticipándonos así a una posible falla futura.	Frecuencia	Hz
			Temperatura	°C
			Deflexión	mm
Dependiente: Reducción de fallas	Cualquier cambio en el equipo o máquina, que impida que éste realice la función para la que fue diseñado. (Ríos, y otros, 2014)	Cambio o alteración en los parámetros de operación de las bombas que produzcan una interrupción en la producción.	Tasa de fallas	$\frac{N^{\circ} Fallas}{N^{\circ} Equipos}$
			Confiability del equipo	%

Ilustración 18. Operacionalización de Variables

2.3. Población y Muestra

2.3.1. Población

Equipos de planta en el proceso de bombeo de fluidos

2.3.2. Muestra

Se trabajará con una muestra de 05 bombas centrífugas

2.4. Técnica de recolección de datos

2.4.1. Técnicas de recolección de datos.

- Observación directa (mediciones)
- Análisis documental (trabajos de investigación, tesis, catálogos)

2.4.2. Instrumentos de recolección de datos.

- Pirómetro
- Medidor vibracional
- Equipo de alineamiento láser
- Registro de datos en campo

- Software Easy Laser

2.5. Métodos de análisis de datos

Como método de análisis utilizaremos el método estadístico, mediante el cual podremos hacer uso de la agrupación de datos para lograr información válida y confiable, realizaremos análisis de la media, moda y la varianza.

El análisis documental se realizará con la finalidad de establecer el método adecuado de diagnóstico de fallas en bombas centrífugas, y establecer procedimientos adecuados que puedan ser de uso de los demás trabajadores del área.

2.6. Aspectos Éticos

Se respetará la propiedad intelectual de los proyectos e investigaciones revisadas y se citará correctamente los autores de los mismos, los datos recolectados en campo serán debidamente organizados y citados en documentación que podrá ser revisada por las personas pertinentes.

Para la recolección de datos se utilizarán equipos Easy Laser y se contará con las respectivas licencias para el procesamiento; así mismo, se utilizará el programa suministrado por Easy Laser para el post procesamiento de los mismos.

III. RESULTADOS

3.1. Elaboración de un sistema para detección de fallas en bombas centrífugas

3.1.1. Identificación general para detección de fallas

El diseñar un sistema para detectar fallas el cual se va a implementar, consiste en utilizar las técnicas predictivas como herramientas que nos muestren espectros o valores comparativos que nos permita determinar el modo de error que está presentando el equipo en estudio.

3.1.2. Diseño del sistema para identificación de fallas

3.1.2.1. Elección del equipo de alineamiento de ejes y análisis vibracional

Las consideraciones que hemos considerado para la selección del equipo son las siguientes:

- Precio: que sea accesible, pero que cuente con las mayores prestaciones posibles
- Temperatura: Se evaluarán las bombas en ambientes que llegan a los 2°C
- Rango de frecuencia: que se encuentre entre los 60 y 2000000cpm
- Tamaño: que permita maniobrar y operar en espacios reducidos
- Aceleración máxima: mayor a 10g o 3600rpm

Fuente: Elaboración Propia

	MARCA	MODELO
	Easy Laser	SKF Microlog
	E720	AX-CMXA 80
Rango dinámico	> 90 dB	> 90 dB
Rango de Frecuencia	5Hz - 32KHz	500Hz - 10KHz
Peso	1.08 Kg	1.54 Kg
Sellado	IP65	IP65
Intervalo de Temperaturas	-10 a 50 °C	-18 a 60 °C
Cable de conexión	USB	USB
Precio	\$1175.00	\$3500.00

Tabla 1. Consideraciones en equipos de alineamiento de ejes y análisis vibracional

Teniendo en cuenta estas características es que se elige el equipo de alineamiento láser y análisis vibracional siguiente:

Easy Laser E720

Fuente: (LUDECA Solutions
Proveedor, 2018)



Ilustración 19. Easy Laser E720

Cuenta con las siguientes funciones principales:

3.1.2.1.1. Pasos generales de alineación de ejes:

Tenemos unidades para medir que son M y S , las cuales deben ser montadas en ambos lados del acople y deben ser comunicadas entre sí por medio inalámbrico o cableado. Las instrucciones que seguir las mostramos a continuación.

- i. Debe introducir la distancia que existe entre los terminales de comunicación y las bases de sujeción del equipo:

Fuente: (Easy Laser, 2010)

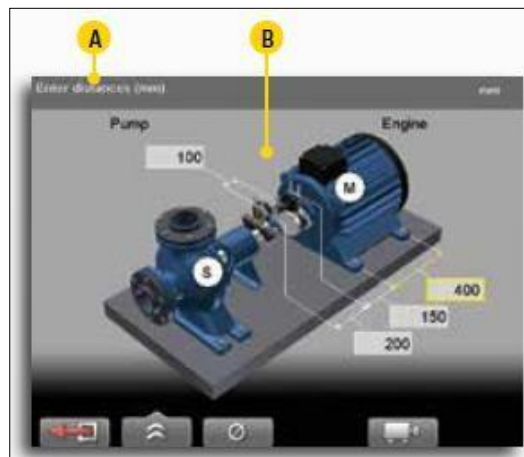


Ilustración 20. Acople entre bomba y motor

- A. Campo de información
- B. Se puede tomar como base una medición anterior
- ii. Registre los valores obtenidos en las tres posiciones, pero deje una distancia de 20° entre sí.

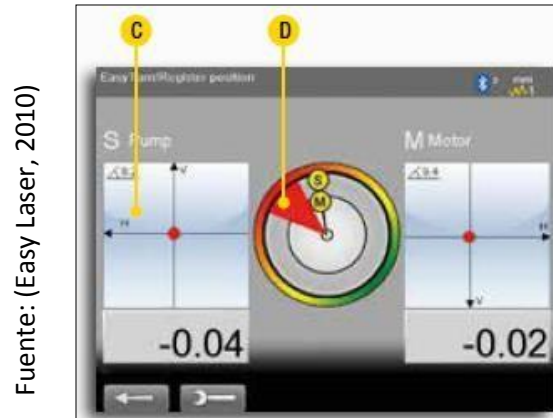


Ilustración 21. Cuadrantes para medición de desalineamiento de ejes

- C. Debemos fijar el objetivo que debe captar el haz del láser
- D. Colocar marcas con una separación de 20° cada una
- iii. Debemos ajustar el equipo basado en los valores que se nos muestra.

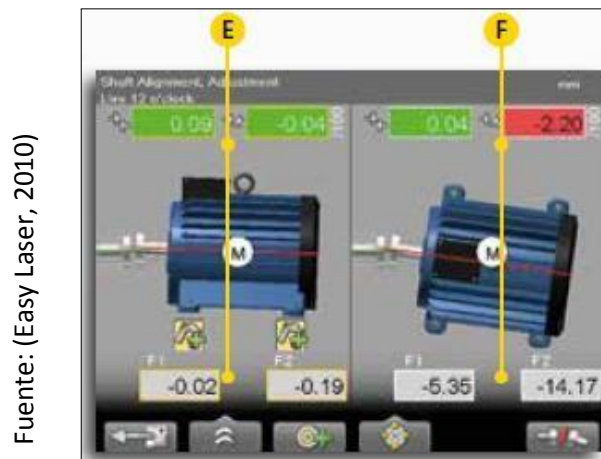


Ilustración 22. Ajuste de soportes de fijación

- E. Obtenemos también valores que compensan las fijaciones tanto delanteras como traseras en pares
- F. Mediciones de ajuste horizontal

3.1.2.1.2. Errores más comunes que detecta el equipo,
Comprobación de desajuste de patas:

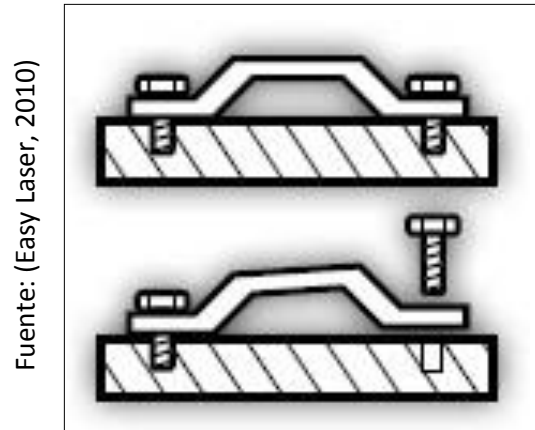


Ilustración 23. Desajuste de patas en el equipo

Debemos comprobar la falta de ajustes en las fijaciones para asegurarnos que la máquina esté en posición de equilibrio, de no ser así no podemos realizar una alineación de manera correcta.

EASYTURN™ Y MULTIPUNTO

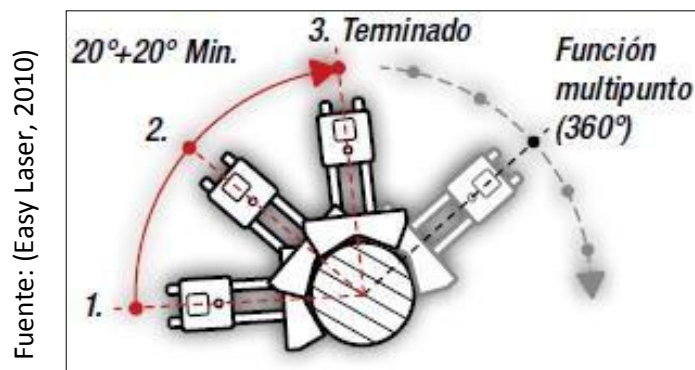


Ilustración 24. EASYTURN Y MULTIPUNTO

Mediante esta función podemos iniciar el trabajo de medición en uno de los puntos de rotación definidos. Mida en cada una de las tres posiciones identificadas en la dirección que desee pero respete la separación de 20° entre las marcas, entonces registre el valor medido.

COMPENSACIÓN DE LA DILATACIÓN TÉRMICA

Fuente: (Easy Laser, 2010)

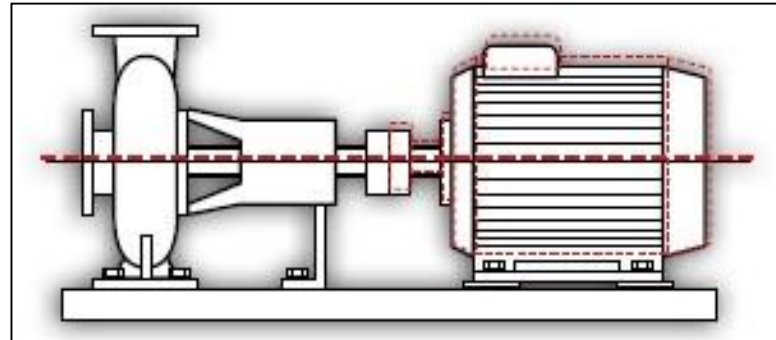


Ilustración 25. Compensación de dilatación térmica

La bomba y el motor presentan una dilatación que llega a ser considerable cuando existe recalentamiento debido a la operación continua. Para ello es que el equipo cuenta con una función para compensar esta dilatación térmica, la pantalla nos mostrará los valores para la compensación respectiva y los ajustes necesarios según sea el caso.

3.1.2.1.3. Análisis críticos

Alineamiento para poleas:

Podemos realizar el alineamiento de poleas en un rango de precisión adecuado. Este ajuste se muestra en la pantalla de la máquina en tiempo real, y nos muestra valores de desviación e dirección axial y en ángulos horizontales y verticales.

Fuente: (Easy Laser, 2010)

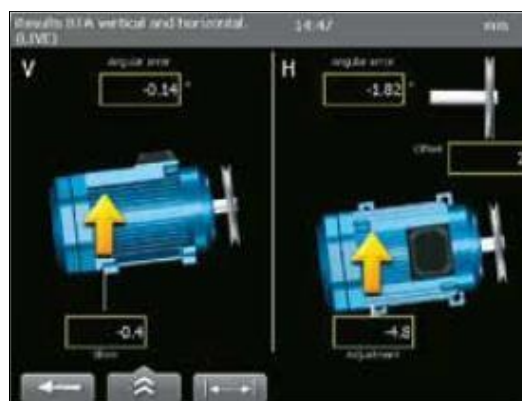


Ilustración 26. Alineamiento para poleas

Registro de vibraciones y del estado de los rodamientos:

Podemos realizar la medición de nivel vibracional (mm/s o $pulg/s$) y verificar el estado de los rodamientos (*valor g*). El software nos guiará para realizar la verificación en las direcciones horizontal, vertical y axial.



Ilustración 27. Registro de vibraciones



Ilustración 28. Máquinas verticales con brida

Máquinas con acoplamiento de cardán:



Ilustración 29. Máquina con acoplamiento de cardán

Máquinas en serie:



Ilustración 30. Máquinas en serie

3.1.2.2. Selección del software a utilizar

Se utilizará el programa Easy-Laser XT, el cual cuenta con las siguientes características:

3.1.3. Uso e implementación del equipo en análisis de bombas centrífugas

Una vez explicado a la empresa de las ventajas de este equipo y los beneficios que trae consigo a la operación con la mínima inversión posible, se tomó la decisión de adquirirlo, por ello mostramos los resultados en el análisis en una bomba centrífuga, obteniendo los resultados mostrados a continuación.

3.1.3.1. Informe de falla de Bomba Warman con PU-9217, sin uso de equipo de análisis predictivo

- Fecha de análisis: 17-05-18
- Cliente: Minera Yanacocha – Planta Gold Mill



Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 31. Análisis manual de Bomba Warman

Alcance:

El pasado 17-05-17 se realizó trabajos de desmontaje y cambio de componentes de la bomba centrífuga Warman en la Planta de lodos 3000-45-70-03-PCE 3003, 2040 – PU-09217. con PU-9217, la cual por diferentes condiciones se muestra el análisis de falla en este informe.

A. Falla:

“Exceso de vibraciones”, producto de pernos sueltos los cuales vibraron excesivamente hasta desalinearse los componentes internos y fracturar de sello mecánico.

B. Modo de falla:

Se puede concretar que el modo de falla fue producto de las siguientes condiciones que se mencionan a continuación:

- Pernos muy corroídos se aprecia elongación, exposición al agua constantemente



Ilustración 32. Modo de Falla - Pernos Corroidos

- Soltura y corrosión en pernos de sujeción de voluta:

Al realizar el desmontaje se pudo observar pernos sueltos por elongación y en un perno se observó desgaste en los hilos del perno por corrosión como se aprecia en las fotos, se observó que el lodo viene con presencia de NASH (Sulfhidrato de sodio) lo cual en altas concentraciones produce corrosión en los metales.



Ilustración 33. Corrosión en los metales

- Impulsor con desgaste y cavitación:

Fuente: Elaboración Propia



Ilustración 34. Impulsor con desgaste y cavitación

- Discos de succión se aprecia con desgaste excesivo por erosión y abrasión por el lodo el cual transporta se aprecia que hubo contacto entre disco e impulsor por desplazamiento axial de la botella:

Fuente: Elaboración Propia



Ilustración 35. Desgaste de discos de succión

- Carcasa y volutas muy corroídas:

Fuente: Elaboración Propia



Ilustración 36. Carcasa y volutas corroídas

- El desalineamiento en botella y eje provoca fractura de sello mecánico se aprecia que el eje tubo desalineamiento en un punto creando rebabas.

Fuente: Elaboración Propia



Ilustración 37. Desalineamiento de botella y eje

C. Recomendaciones:

- Cambiar todos los pernos y espárragos de sujeción de los componentes de la bomba centrífuga por pernos de acero inoxidable
- Verificar si hubo un incremento de Nash durante la operación lo cual pudo haber generado un ambiente ácido
- Comprobar la correcta selección de la bomba para que sea compatible con el fluido
- Verificar la correcta selección del sello mecánico.

3.1.3.2. Informe de estado de Bomba Centrífuga TAG-PU-011, con uso de equipo de análisis predictivo Easy Laser E720

- Fecha: 30-05-17
- Cliente: Minera Yanacocha, Planta Gold Mill

A. Alcance

Se recibió una carta por parte del área de MYSRL como respuesta de la falla ocurrida en armado y montaje de Bomba Centrífuga TAJ- PU-011 Marca Worthington – de la línea de solución rica, en el Pond de cara chugo donde se concluye que el daño sufrido en el eje de la bomba, se deben a 02 causas las que se detallan:

Causa N°01 (MY):

Falta de ajustes y tolerancias entre el eje de bomba y alojamiento del cubo (soltura), lo que originó el deslizamiento de este.

Causa N°02 (MY):

Pegado de los cubos del acoplamiento, lo que originó el incremento de temperatura, trabamiento del equipo y finalmente la fractura del eje por torsión.

Se realizó un análisis por parte del área de calidad y la supervisión de turno y líder mecánico dando respuesta a las causas mencionadas del caso 01 y el caso 02 las cuales se desarrollan a continuación.

B. Respuesta a análisis de caso 01 y 02

Causa N°01 (MY)

a) Respuesta:

- Se concuerda que no se evidencia registro de tolerancias entre eje y acople, el Gap se le dio luz de 1/8" de pulgada
- Se aprecia marcas iniciales de prisionero sobre la chaveta esto descarta falta de ajuste en prisionero, desplazamiento axial en 4 mm fricción entre prisionero y chaveta
- El líder mecánico manifiesta que los cubos u acoples ingresaron con ajuste, se utilizó una comba de bronce de 2.6 lbs el acople ingreso con ajuste.

Fuente: Elaboración
Propia



Ilustración 38. Uso de comba de bronce para acople

b) Correctivo:

- Se registrará las tolerancias en eje y acople junto con los demás reportes de entrega de equipo
- Colocar en los instructivos las tolerancias mínimas y máximas.

TABLE 29 — Recommended Bores for Metric Shafts per ISO/R775-1969 (Millimeters)

MM	Shaft Diameter	Clearance Fit		Transitional Fit		Interference Fit	
		Hub Bore	Fit +	Hub Bore	Fit +	Hub Bore	Fit +
	6	F7	0,008	H7	-0,008	H6	-0,023
	0,008 / -0,002	0,016 / 0,024	0,008	0,000 / 0,018	0,021	-0,015 / -0,064	-0,001
12	12,000 / 11,997	12,016 / 12,024		12,000 / 12,018		11,985 / 11,996	
14	14,000 / 13,997	14,016 / 14,024		14,000 / 14,018		13,985 / 13,996	
16	16,000 / 15,997	16,016 / 16,024		16,000 / 16,018		15,985 / 15,996	
18	18,000 / 17,997	18,016 / 18,024		18,000 / 18,018		17,985 / 17,996	
	8	F7	0,011	H7	-0,009	H6	-0,026
	0,009 / -0,004	0,020 / 0,041	0,045	0,000 / 0,021	0,025	-0,017 / -0,064	0,060
19	19,000 / 18,996	19,020 / 19,041		19,000 / 19,021		18,983 / 18,996	
20	20,000 / 19,996	20,020 / 20,041		20,000 / 20,021		19,983 / 19,996	
22	22,000 / 21,996	22,020 / 22,041		22,000 / 22,021		21,983 / 21,996	
24	24,000 / 23,996	24,020 / 24,041		24,000 / 24,021		23,983 / 23,996	
25	25,000 / 24,996	25,020 / 25,041		25,000 / 25,021		24,983 / 24,996	
28	28,000 / 27,996	28,020 / 28,041		28,000 / 28,021		27,983 / 27,996	
30	30,000 / 29,996	30,020 / 30,041		30,000 / 30,021		29,983 / 29,996	
	10	F7	0,007	H7	-0,018	H6	-0,031
	0,010 / 0,002	0,025 / 0,050	0,048	0,000 / 0,025	0,023	-0,013 / 0,003	-0,001
32	32,000 / 32,000	32,025 / 32,050		32,000 / 32,025		31,987 / 32,003	
35	35,000 / 35,000	35,025 / 35,050		35,000 / 35,025		34,987 / 35,003	
38	38,000 / 38,000	38,025 / 38,050		38,000 / 38,025		37,987 / 38,003	
40	40,000 / 40,000	40,025 / 40,050		40,000 / 40,025		39,987 / 40,003	
42	42,000 / 42,000	42,025 / 42,050		42,000 / 42,025		41,987 / 42,003	
45	45,000 / 45,000	45,025 / 45,050		45,000 / 45,025		44,987 / 45,003	
48	48,000 / 48,000	48,025 / 48,050		48,000 / 48,025		47,987 / 48,003	
50	50,000 / 50,000	50,025 / 50,050		50,000 / 50,025		49,987 / 50,003	
	12	F7	0,008	H7	-0,030	H7	-0,051
	0,010 / 0,011	0,030 / 0,060	0,049	0,000 / 0,030	0,019	-0,021 / 0,009	-0,002
55	55,000 / 55,011	55,030 / 55,060		55,000 / 55,030		54,979 / 55,009	
56	56,000 / 56,011	56,030 / 56,060		56,000 / 56,030		55,979 / 56,009	
60	60,000 / 60,011	60,030 / 60,060		60,000 / 60,030		59,979 / 60,009	
63	63,000 / 63,011	63,030 / 63,060		63,000 / 63,030		62,979 / 63,009	
65	65,000 / 65,011	65,030 / 65,060		65,000 / 65,030		64,979 / 65,009	
70	70,000 / 70,011	70,030 / 70,060		70,000 / 70,030		69,979 / 70,009	
71	71,000 / 71,011	71,030 / 71,060		71,000 / 71,030		70,979 / 71,009	
75	75,000 / 75,011	75,030 / 75,060		75,000 / 75,030		74,979 / 75,009	
80	80,000 / 80,011	80,030 / 80,060		80,000 / 80,030		79,979 / 80,009	
	16	F7	0,001	H7	-0,035	H7	-0,070
	0,015 / 0,013	0,036 / 0,071	0,058	0,000 / 0,035	0,022	-0,035 / 0,000	-0,013
85	85,025 / 85,013	85,036 / 85,074		85,000 / 85,035		84,965 / 85,000	
90	90,025 / 90,013	90,036 / 90,071		90,000 / 90,035		89,965 / 90,000	
95	95,025 / 95,013	95,036 / 95,071		95,000 / 95,035		94,965 / 95,000	
100	100,025 / 100,013	100,036 / 100,071		100,000 / 100,035		99,965 / 100,000	
	20	F7	0,001	H7	-0,040	F7	-0,094
	0,015 / 0,013	0,043 / 0,071	0,068	0,000 / 0,040	0,025	-0,068 / -0,028	-0,043
110	110,025 / 110,013	110,036 / 110,071		110,000 / 110,035		109,941 / 109,976	
120	120,025 / 120,013	120,036 / 120,071		120,000 / 120,035		119,941 / 119,976	
	25	F7	0,003	H7	-0,048	F7	-0,108
	0,040 / 0,015	0,063 / 0,083	0,068	0,000 / 0,048	0,025	-0,068 / -0,028	-0,043
125	125,040 / 125,015	125,043 / 125,083		125,000 / 125,048		124,922 / 124,972	
130	130,040 / 130,015	130,043 / 130,083		130,000 / 130,048		129,922 / 129,972	
140	140,040 / 140,015	140,043 / 140,083		140,000 / 140,048		139,922 / 139,972	
150	150,040 / 150,015	150,043 / 150,083		150,000 / 150,048		149,922 / 149,972	
160	160,040 / 160,015	160,043 / 160,083		160,000 / 160,048		159,922 / 159,972	
170	170,040 / 170,015	170,043 / 170,083		170,000 / 170,048		169,922 / 169,972	
180	180,040 / 180,015	180,043 / 180,083		180,000 / 180,048		179,922 / 179,972	

* Positive values are clearance, negative values are interference.
© Reedcraft Industries, LLC, 2003, 2007

Ilustración 39. Tolerancias de ejes

Causa N°02 (MY)

a) Respuesta:

- Al verificar los ejes (Assembly que fallo y eje del motor) se aprecia que en el eje de motor eléctrico no ha sufrido cambio en su color, pero el eje de Assembly si tiene el color azulado producto del contacto metal con metal y la transferencia de calor, lo cual nos indica que en el pegado de cubos no causo el incremento de la temperatura, lo que causo fue el rozamiento entre eje y caja de rodamientos del punto 03.

- El 19-05-17 se realizó la instalación de Assembly en reemplazo de la que fallo, en la misma bomba TAJ- PU-011, la cual fallo donde se encontraron las siguientes condiciones:
 - Se encontró 01 Pernos de sujeción roto en la base de la bomba centrífuga y desplazamiento de la bomba, se descarta pata coja ya que en el panelview de Easy laser se encuentra en niveles aceptables, se mencionó en el primer informe.



Ilustración 40. Panel View de Easy Laser

Observación: se tuvo que retirar el perno y volver a recorrer los hilos.



Ilustración 41. Extracción del perno

- La bomba no ha tenido topes y espárragos el 19-05-17 se procedió a soldar reguladores en lados de la bomba, estos reguladores ayudan a

la regulación durante el alineamiento y mejora su fijación ante tensiones axiales u radiales.

Fuente: Elaboración Propia



- Además, al ser inspeccionada la Válvula check que está ubicada a 1.5 mts, se aprecia que no cierra por tener impregnado óxido y barro endurecido.

Fuente: Elaboración Propia



Ilustración 43. Válvula Check con óxido y barro endurecido

- Se considera que la bomba ha tenido esfuerzos en estructuras y sumado a presiones por fallo en la válvula check y posible golpe de ariete, pudo haber tenido un desplazamiento en componentes internos y en la misma bomba provocando el siguiente modo de falla.

Fuerzas tensoras + presiones por falla en válvula check- desplazamiento de la bomba hacia el lado de succión - des alineamiento+ vibraciones excesivas- fractura de perno en base de bomba- choque entre eje y caja de rodamientos- recalentamiento = falla en eje por torsión.

C. Recomendaciones

- Se requiere verificación de tensiones en la estructura y las tuberías desajustando las uniones bridadas y verificar con mediciones el desplazamiento.
- Verificar si el motor tiene variador de velocidad para autorregular la curva de arranque.
- Verificar ¿por qué no funciono el sistema de protección del motor antes que falle el equipo?
- Verificar los equipos con analizador de vibraciones después de entrar en funcionamiento.
- Evaluar el estado de válvulas check si estas funcionan correctamente para evitar situaciones de contra presión en este sistema u en otras plantas donde contamos también con el sistema de bombeo.
- Presencia de personal de MYSRL mecánico que constate en el arranque del equipo.

D. Conclusiones

- Se puede observar que la falla en la bomba centrífuga fue por tensiones y presiones por un posible golpe de ariete, que causaron ruptura de perno y desplazamiento de bomba lo cual indujo a los modos de falla mencionados.
- Se mejorará el llenado de datos e informará a nuestro cliente durante la ejecución de los trabajos.
- Se comunicará a nuestro cliente las capacitaciones que se darán a nuestros operarios evidenciando la asistencia y registro fotográfico.

E. Manifiesto del Supervisor

1.1. RESUMEN EJECUTIVO

EN LA SEMANA 18 DEL MES DE ~~AGOSTO~~ 70. JUAN PASTOR HERNANDEZ DE LA EMPRESA CON PETROL REALIZO EL MANTENIMIENTO DE OIL ASSEMBLY TMS PU-OIL DE POZO CHECHUBO.

- SE PROCEDO HA SACAR EL EJE MANTENIZADO DE LA CASA DE ~~TRANSFERENCIA~~ TRANSFERENCIA ENCONTRADO AL EJE ENVUELTO DE STRIP PROCEDIMIENTO HA RETIRAR VIENDO AL EJE VISUALMENTE EN BUENAS CONDICIONES. COLANDOSE EN EL SOPORTE DE ~~AGOS~~.
- PROCCDO HA BUSCAR REPUESTOS ENCONTRANDO LAS CASAS PORTARODAMIENTOS, IMPULSORES A-B - SELLOS MECANICOS EMPUJADO - ~~SEPARADOR~~ BOQUINA DE PUNTO DE IMPULSORES - CASAS DE ESE - TORNILLOS DE DIRECCION, RODAMIENTOS PARA PUNTO 3 Y 4 → 7406 CONTACTO INTERIOR
1308 Rotor Sellos
- PROCCDO HA VERIFICAR TOLERANCIAS USANDO EL MANUAL SKF. SACANDO TOLERANCIAS QUINTO DEL EJE COMO TAMBIEN LAS CASAS PORTARODAMIENTOS

EJE K5	A	B	C	PUNTO #03	A	B	C
+15							
+2	+10	+11	+10	+10	+09	+09	
	+09	+09	+11	+11	+08	+08	
	+11	+8	+09	+09	+09	+08	

CASA PORTARODAMIENTOS

K2	PUNTO 04	A	B	C	PUNTO 03	A	B	C
-25								
+10	-10	-10	-11	-11	-10	-10	-10	
	+08	+09	-10	-10	-10	-08	-08	
	+05	-06	-08	-08	-08	-07	-09	

- PROCCDO HA COLOCAR ~~SEPARADOR~~ BOQUINA (SEPARADOR DE IMPULSORES) SERCORDONONE QUE LAS CHAVETAS DEL EJE ESTEN CORRECTAMENTE FIJAS AL EJE Y CON EL AJUSTE ADECUADO. COLOCAR LOS IMPULSORES A Y B USANDO ANTISSIS. SERCORDONONE QUE LOS IMPULSORES INGRESEN CORRECTAMENTE A LAS CHAVETAS DEL EJE SIN TENER NINGUNA JUEGO RADIAL.
- PROCCDO HA COLOCAR LOS CONJUNTO DEL EJE SERCORDONONE ME QUE ESTEN CON SU ORIGEN RESPECTIVO Y COLOCANDO BENSER PROCCDO ~~HA~~ NO COLOCAR LAS CONJUNTO DEL EJE. PUNTO 3 Y 4

Ilustración 44. Manifiesto del Supervisor

- DANDO LA MEDIDA CORRECTA. ~~...~~
7. Procedo a fijación cuando hay el riesgo y ~~...~~
 con la ayuda de ~~...~~ 2.615.5. ~~...~~
 y B. no están ~~...~~ ya
 presente las fuerzas de fijación por lo que ~~...~~
 los ~~...~~ ~~...~~ ~~...~~
 se ~~...~~ ~~...~~ ~~...~~
8. Procedo a ~~...~~ ~~...~~ ~~...~~ y
 uso de ~~...~~ ~~...~~ ~~...~~
~~...~~ ~~...~~ ~~...~~
9. Procedo a ~~...~~ ~~...~~ ~~...~~
 uso de ~~...~~ ~~...~~ ~~...~~
10. Procedo a ~~...~~ ~~...~~ ~~...~~
 mucho ~~...~~ ~~...~~ ~~...~~
 para ~~...~~ ~~...~~ ~~...~~
11. Procedo a ~~...~~ ~~...~~ ~~...~~
 no ~~...~~ ~~...~~ ~~...~~
 la ~~...~~ ~~...~~ ~~...~~
12. Procedo a ~~...~~ ~~...~~ ~~...~~
 de ~~...~~ ~~...~~ ~~...~~
 donde ~~...~~ ~~...~~ ~~...~~
13. Procedo a ~~...~~ ~~...~~ ~~...~~
 observado un ~~...~~ ~~...~~ ~~...~~
 con ~~...~~ ~~...~~ ~~...~~
14. Procedo a ~~...~~ ~~...~~ ~~...~~
 para ~~...~~ ~~...~~ ~~...~~
 de ~~...~~ ~~...~~ ~~...~~
15. Ya en el punto se procede a ~~...~~ ~~...~~ ~~...~~
 mente la ~~...~~ ~~...~~ ~~...~~
16. Ya limpias las ~~...~~ ~~...~~ ~~...~~
 Assembly to ~~...~~ ~~...~~ ~~...~~
~~...~~ ~~...~~ ~~...~~
~~...~~ ~~...~~ ~~...~~

3.1.4. Análisis estadísticos del diagnóstico de fallas en bombas centrífugas

Vamos a realizar un análisis de los modos de falla y el problema que lo suscita, según lo explicado en los anexos. Procedimiento de Diagnóstico de Fallas en Bombas Centrífugas, presentamos los resultados obtenidos mediante el procesamiento en el programa SPSS.

Se encuestaron a 20 mecánicos de mantenimiento, y se les preguntó acerca del tipo de falla según los siguientes modos:

- No bombea
- Caudal insuficiente
- Presión insuficiente
- No arranca
- La bomba presenta vibraciones

3.1.4.1. Presentación del programa SPSS

El programa que vamos a mencionar nos ayuda al procesamiento de los datos obtenidos de la data técnica de campo.

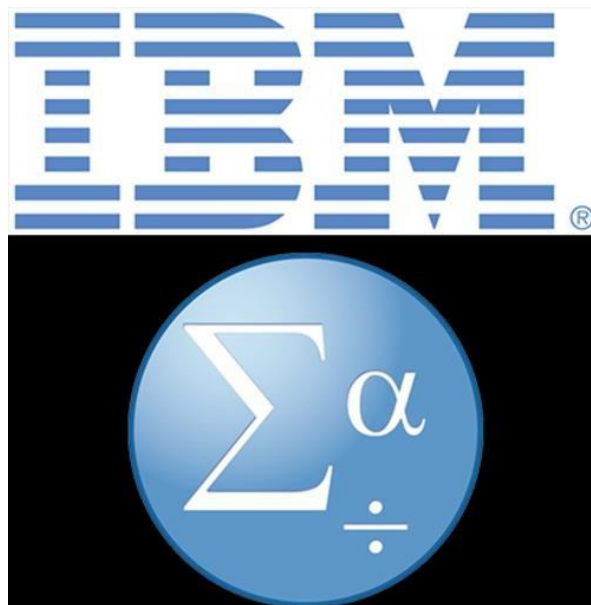


Ilustración 45. Programa IBM SPSS

3.1.4.2. Análisis de frecuencias para modo de falla: No bombea

Estadísticos	
No bombea	
N	Válido 20
	Perdidos 0
Moda	5

No bombea					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	No aplica	20	100,0	100,0	100,0

Tabla 2. Análisis de frecuencias para modo de falla: No bombea

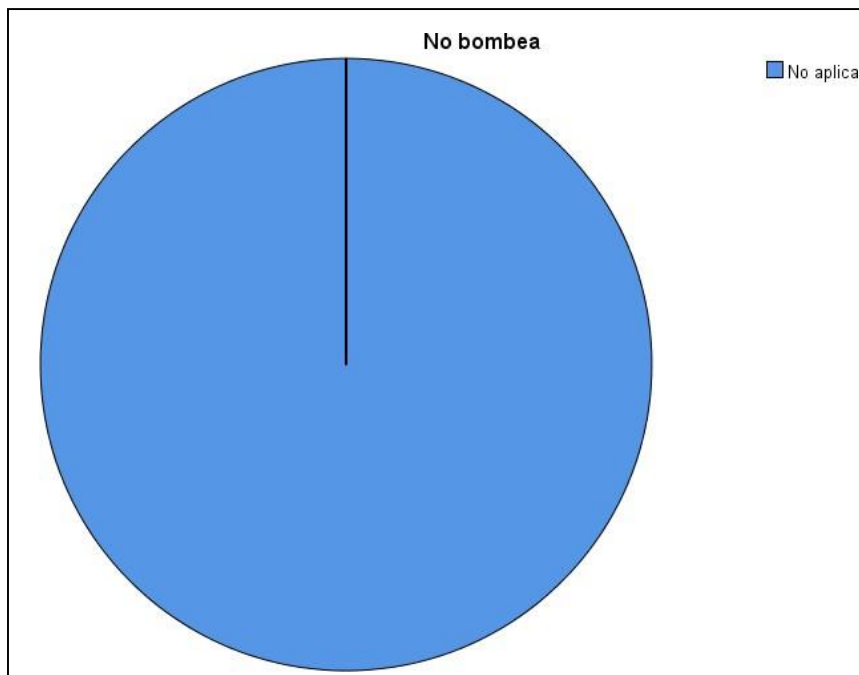


Ilustración 46. Gráfico de torta: Análisis de frecuencia No bombea

3.1.4.3. Análisis de frecuencias para modo de falla: Caudal insuficiente

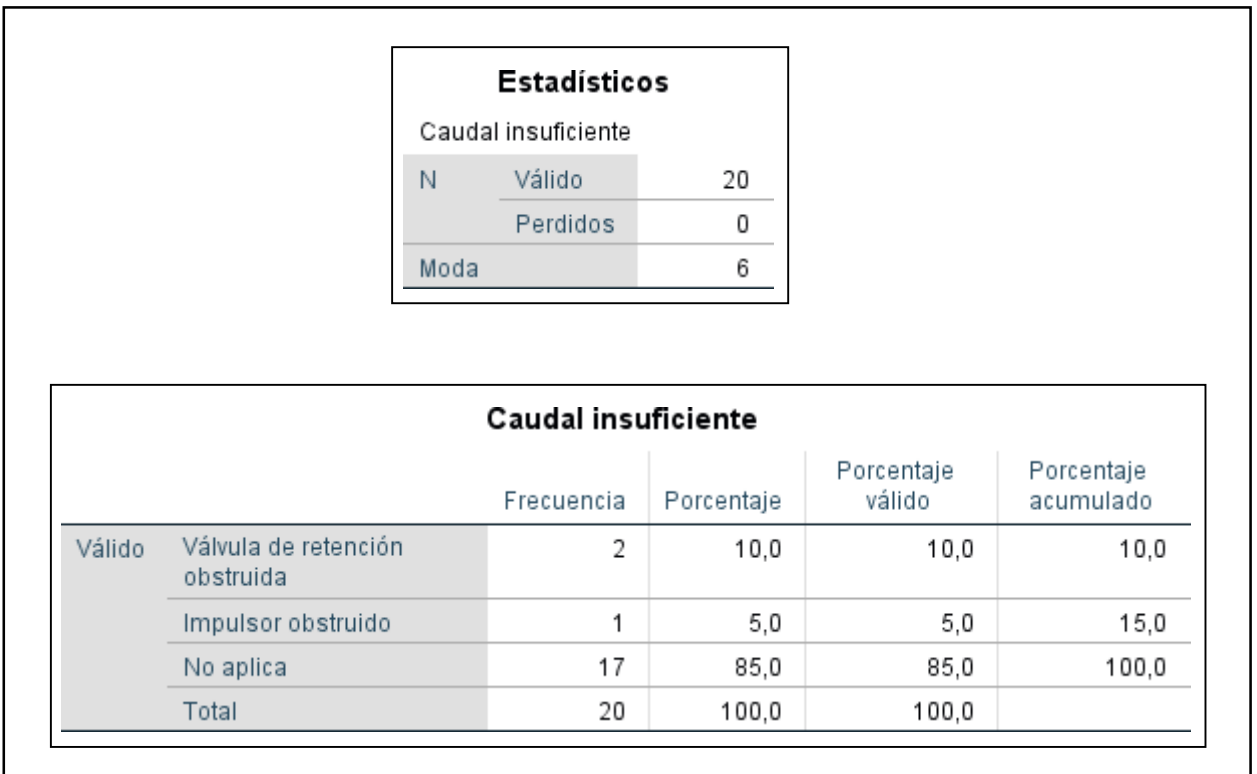


Tabla 3. Análisis de frecuencias para modo de falla: Caudal insuficiente

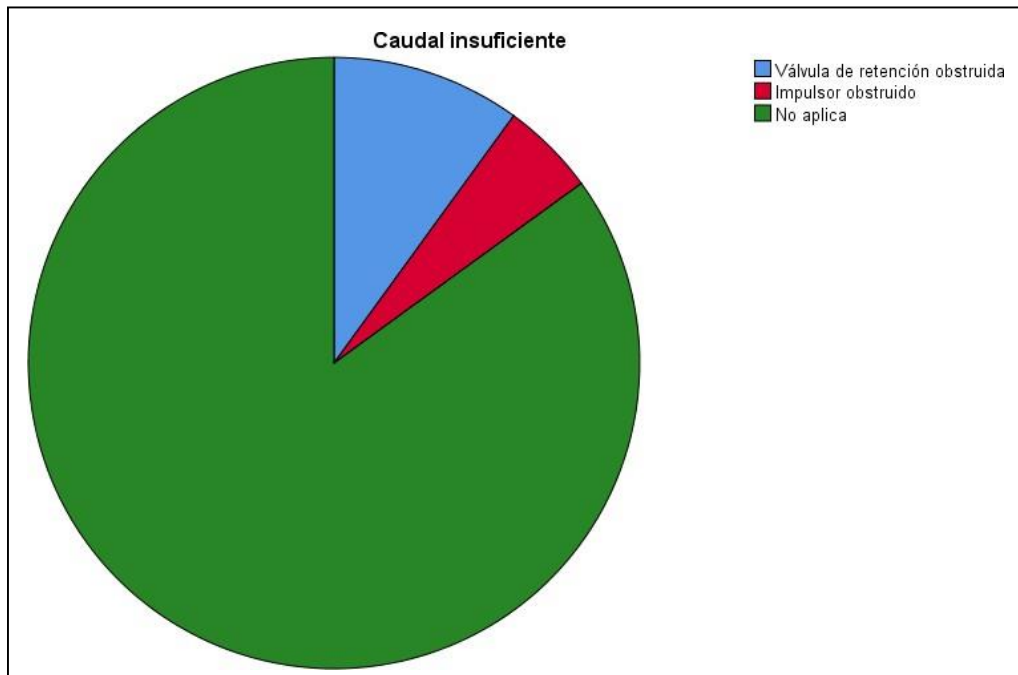


Ilustración 47. Gráfico de torta: Análisis de frecuencias para modo de falla - Caudal insuficiente

3.1.4.4. Análisis de frecuencias para modo de falla: Presión insuficiente

Estadísticos		
Caudal insuficiente		
N	Válido	20
	Perdidos	0
Moda		6

Presión insuficiente					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Sentido de giro invertido	1	5,0	5,0	5,0
	Sello mecánico defectuoso	3	15,0	15,0	20,0
	No aplica	16	80,0	80,0	100,0
Total		20	100,0	100,0	

Tabla 4. Análisis de frecuencias para modo de falla: Presión insuficiente

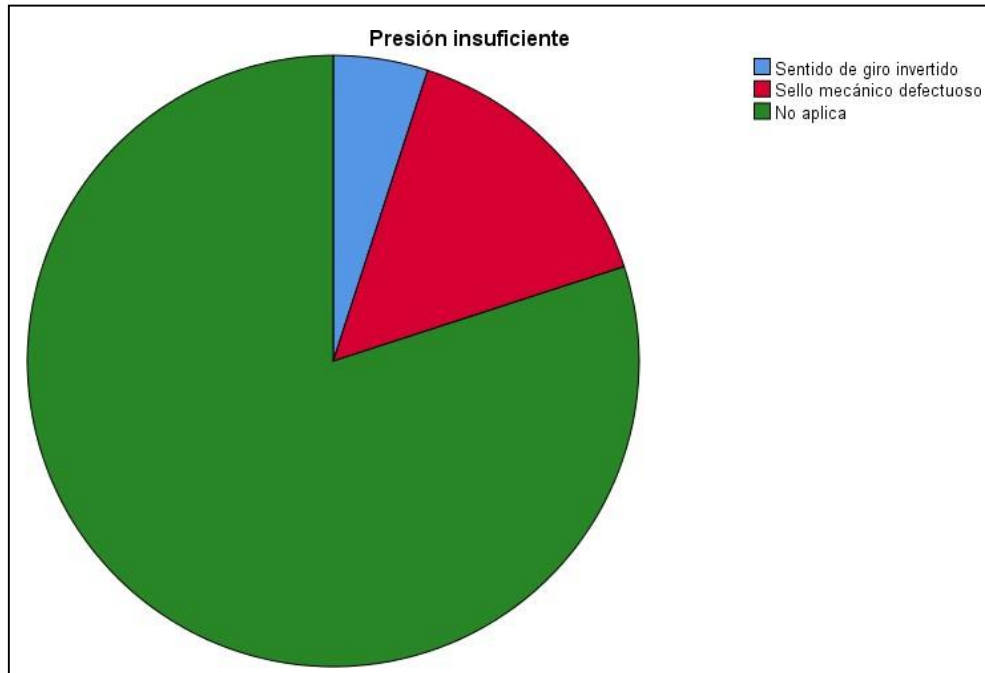


Ilustración 48. Gráfico de torta: Análisis de frecuencias para modo de falla - Presión insuficiente

3.1.4.5. Análisis de frecuencias para modo de falla: No arranca

		Estadísticos			
		No arranca			
N	Válido			20	
	Perdidos			0	
Moda				6	

		No arranca			
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Baja tensión	1	5,0	5,0	5,0
	Fusibles quemados	1	5,0	5,0	10,0
	No aplica	18	90,0	90,0	100,0
Total		20	100,0	100,0	

Tabla 5. Análisis de frecuencias para modo de falla: No arranca

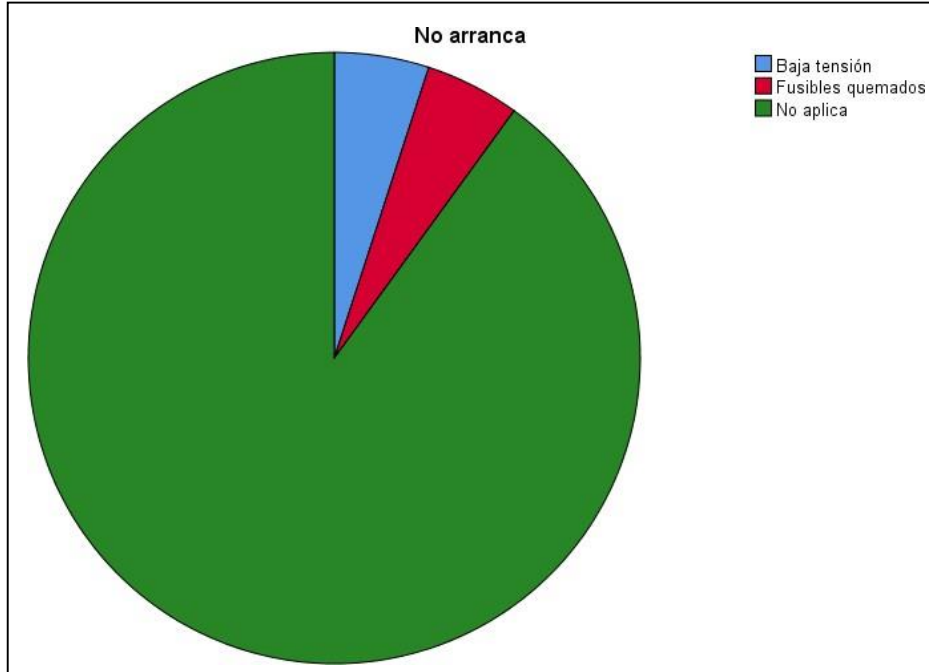


Ilustración 49. Gráfico de torta: Análisis de frecuencias para modo de falla - No arranca

3.1.4.6. Análisis de frecuencias para modo de falla: La bomba presenta vibraciones

		Estadísticos			
		La bomba presenta vibraciones			
N	Válido			20	
	Perdidos			0	
Moda				6	

		La bomba presenta vibraciones			
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Ejes desalineados	7	35,0	35,0	35,0
	Soportes mal ajustados	2	10,0	10,0	45,0
	Problema en rodamientos	3	15,0	15,0	60,0
	No aplica	8	40,0	40,0	100,0
	Total	20	100,0	100,0	

Tabla 6. Análisis de frecuencias para modo de falla: La bomba presenta vibraciones

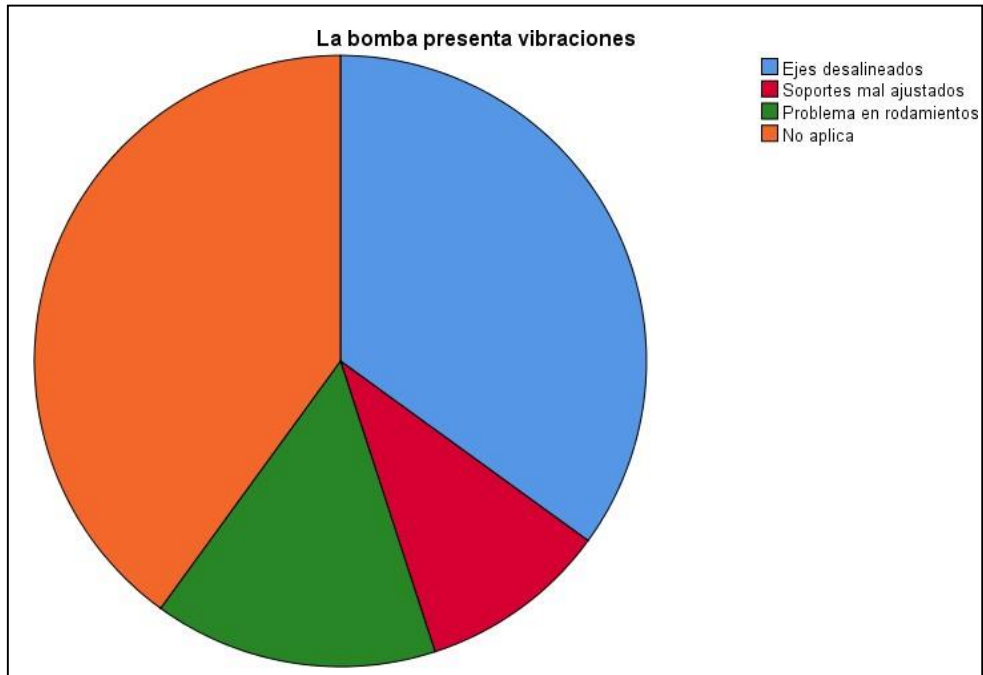


Ilustración 50. Gráfico de torta: Análisis de frecuencias para modo de falla - La bomba presenta vibraciones

IV. CONCLUSIONES

- Se selecciona el equipo de análisis predictivo Easy Láser E720, no solo por su amigable uso, sino también por su precio
- En el desarrollo de la presente tesis hemos mostrado la manera adecuada de dimensionar un sistema que nos permita detectar fallas en los equipos antes de que estas sucedan
- El diseño del método del diagnóstico de fallas para bombas centrifugas, se debe de seguir tal como lo expresamos, de esa forma podremos establecer resultados correctos
- En el apartado 3.1.2.1.1. mencionamos el correcto procedimiento que debemos de seguir para la toma de medidas del sistema
- Mediante la implementación de un sistema de análisis vibraciones y de alineamiento de ejes podemos concluir que nos permite predecir el comportamiento de las bombas centrífugas
- Dentro de las pruebas de funcionamiento del equipo es que podemos concluir también lo siguiente: se puede observar que la falla en la bomba centrifuga fue por tensiones y presiones por un posible golpe de ariete, que causaron ruptura de perno y desplazamiento de bomba lo cual indujo a los modos de falla mencionados.
- Con la implementación de este sistema es que implementamos y mejoraremos el llenado de datos e informará a nuestro cliente durante la ejecución de los trabajos.
- Se comunicará a nuestro cliente las capacitaciones que se darán a nuestros operarios evidenciando la asistencia y registro fotográfico.

V. RECOMENDACIONES

Las siguientes recomendaciones están basadas en las pruebas de funcionamiento realizadas en campo:

- Se requiere verificación de tensiones en la estructura y las tuberías desajustando las uniones bridadas y verificar con mediciones el desplazamiento.
- Verificar si el motor tiene variador de velocidad para autorregular la curva de arranque.
- Verificar ¿por qué no funciona el sistema de protección del motor antes que falle el equipo?
- Verificar los equipos con analizador de vibraciones después de entrar en funcionamiento.
- Evaluar el estado de válvulas check si estas funcionan correctamente para evitar situaciones de contra presión en este sistema u en otras plantas donde contamos también con el sistema de bombeo.
- Presencia de personal de MYSRL mecánico que constate en el arranque del equipo.
- Cambiar todos los pernos y espárragos de sujeción de los componentes de la bomba centrífuga por pernos de acero inoxidable
- Verificar si hubo un incremento de Nash durante la operación lo cual pudo haber generado un ambiente ácido
- Comprobar la correcta selección de la bomba para que sea compatible con el fluido
- Verificar la correcta selección del sello mecánico.

VI. REFERENCIAS

ARANDA, MIERWEN PALACIOS. 2009. Cybertesis. [En línea] 2009.
http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/707/1/palacios_am.pdf.

Aranda, Mierwes Palacios. 2009. Cibertesis. [En línea] 2009.
http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/707/1/palacios_am.pdf.

Bibing.us. 2012. Bibing. [En línea] 2012.
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5091/fichero/6+-+BOMBAS+CENTR%C3%8DFUGAS.pdf>.

Cervan, Anderson Paulino Barboza. 2013. PUCP. [En línea] 2013.
http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/4783/BARBOZA_ANDERSON_SISTEMA_FALLAS_BOMBA_CENTRIFUGA.pdf?sequence=1.

CIFUENTES, RUBÉN ALEXIS VICTORIANO. 2006. Cybertesis. [En línea] 2006.
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/bmfciv645a/doc/bmfciv645a.pdf>.

De Máquinas y Herramientas. 2015. De Maquinas y Herramientas. [En línea] 2015.
<http://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-de-medicion/alineador-laser-de-ejes>.

Definiciones-de. 2010. Definiciones-de.com. [En línea] 31 de Agosto de 2010.
<http://www.definiciones-de.com/Definicion/de/montaje.php>.

Easy Laser. 2017. IE Central. *IE Central*. [En línea] Marzo de 2017. [Citado el: 5 de Julio de 2018.] <http://www.ie-central.com/wp-content/uploads/2018/06/Easy-Laser-E720-710-Brochure-2017.pdf>.

—. 2010. Tympredictivo. *Tympredictivo*. [En línea] Octubre de 2010. [Citado el: 02 de Julio de 2018.] http://www.tympredictivo.com/pg_files/other_files/E710_spa.pdf.

Energiza. 2014. Energiza Org. [En línea] 2014.
<http://www.energiza.org/mantenimiento-de-plantas/19-mantenimiento-de-plantas/516-analisis-de-vibraciones-una-tecnologia-clave-del-mantenimiento-predictivo>.

HARO, LUIS ANTONIO PIÑALOZA. 2012. Dspace. [En línea] 2012. <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/2408/1/25T00185.pdf>.

INTERCAL. 2012. INTERCAL. [En línea] 2012. <https://bombas-intercal.com/alineacion-laser-para-bombas-centrifugas/>.

LUDECA Solutions Proveedor. 2018. I&E CENTRAL. *I&E CENTRAL*. [En línea] 15 de Enero de 2018. [Citado el: 10 de Julio de 2018.] <http://www.ie-central.com/shop/alignment/easy-laser-e710-shaft-alignment-system/>.

Marín, Dr. Evelio Palomino. 1997. *La medición y el análisis de vibraciones en el diagnóstico de máquinas rotatorias*. Cuba : CEIM - Innovación y Mantenimiento, 1997.

METALMECÁNICA. 2014. CAMPUS VIRTUAL. [En línea] 2014. <http://campusvirtual.edu.uy/archivos/mecanica-general/CURSO%20OPERADOR%20DE%20MANTENIMIENTO%20MECANICO%20INDUSTRIAL/17%20MANTENIMIENTO%20DE%20BOMBAS%20CENTRIFUGAS.pdf>.

Ocw.Upm. 2014. *Teoría de las vibraciones mecánicas*. España : s.n., 2014.

Preditec. 2017. Preditec. [En línea] 2017. <http://www.preditec.com/mantenimiento-predictivo/>.

Ríos Orozco, Carlos Omar. 2014. Prezi. [En línea] 2014. <https://prezi.com/psqka8l9kwnb/concepto-de-falla-y-su-clasificacion/>.

Ríos, Carlos y Gómez, Alejandra. 2014. Prezi. [En línea] 2014. <https://prezi.com/psqka8l9kwnb/concepto-de-falla-y-su-clasificacion/>.

Royo, Jesus. 2012. Guemisa. *Guemisa*. [En línea] Enero de 2012. [Citado el: 16 de Junio de 2018.] <http://guemisa.com/articul/pdf/vibraciones.pdf>.

Santana, Francisco. 2009. Vasa Consulting Group. [En línea] 2009. <http://reducelcosto.blogspot.pe/2009/01/qu-es-reduccion-de-costos.html>.

Wikipedia. 2017. Wikipedia. [En línea] 2017. <https://es.wikipedia.org/wiki/Diagn%C3%B3stico>.

YUBASOLAR. 2017. YUBASOLAR.COM. [En línea] 2017.
<http://www.yubasolar.net/2015/04/funcionamiento-de-una-bomba-centrifuga.html>.

ANEXOS

Anexo N°01: Vista de datos, análisis estadístico con SPSS

Sin título2 [ConjuntoDatos2] - IBM SPSS Statistics E

Archivo Editar Ver Datos Transformar Analizar Gráficos Utilidades Ampliaciones Ventana Ayuda

	Bombeo	Caudal	Presión	Arranque	Vibraciones
1	No aplica	Impulsor obstruido	No aplica	Fusibles quemados	No aplica
2	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Ejes desalineados
3	No aplica	No aplica	Sentido de giro invertido	No aplica	No aplica
4	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Soportes mal ajustados
5	No aplica	No aplica	No aplica	Baja tensión	No aplica
6	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Ejes desalineados
7	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Ejes desalineados
8	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Problema en rodamientos
9	No aplica	No aplica	Sello mecánico defectuoso	No aplica	No aplica
10	No aplica	No aplica	Sello mecánico defectuoso	No aplica	No aplica
11	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Soportes mal ajustados
12	No aplica	Válvula de retención obstruida	No aplica	No aplica	No aplica
13	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Ejes desalineados
14	No aplica	No aplica	Sello mecánico defectuoso	No aplica	No aplica
15	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Problema en rodamientos
16	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Ejes desalineados
17	No aplica	Válvula de retención obstruida	No aplica	No aplica	No aplica
18	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Ejes desalineados
19	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Ejes desalineados
20	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Problema en rodamientos
21					
22					
23					

Vista de datos Vista de variables

Anexo N°02: Vista de variables, análisis estadístico con SPSS


Sin título2 [ConjuntoDatos2] - IBM SPSS Statistics Editor de datos

Archivo Editar Ver Datos Transformar Analizar Gráficos Utilidades Ampliaciones Ventana Ayuda

	Nombre	Tipo	Anchura	Decimales	Etiqueta	Valores	Perdidos	Columnas	Alineación	Medida	Rol
1	Bombeo	Numérico	8	0	No bombea	{1, Entrada ...	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
2	Caudal	Numérico	8	0	Caudal insuficie...	{1, Entrada ...	Ninguno	19	Derecha	Ordinal	Entrada
3	Presión	Numérico	8	0	Presión insufici...	{1, Sentido ...	Ninguno	17	Derecha	Ordinal	Entrada
4	Arranque	Numérico	8	0	No arranca	{1, Cable de...	Ninguno	13	Derecha	Ordinal	Entrada
5	Vibraciones	Numérico	8	0	La bomba pres...	{1, Impulsor...	Ninguno	17	Derecha	Ordinal	Entrada
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											

Vista de datos Vista de variables

Anexo N°03: Reporte bomba de diafragma



Reporte de Falla

Mantenimiento Procesos Planta de Carbon la Quinua

Yanacocha

N° de Reporte		2018
----------------------	--	-------------

1. DATOS GENERALES DEL EQUIPO / SISTEMA

EQUIPO : BOMBA / DIAFRAGMA	OT: 20990935
MARCA : GRACO	CODIGO ELLIPSE: 3000-50-00-22-SUM4006
SERIE :	MODELO: HUSKY 2200
	AREA : LA QUINUA

FECHA DE FALLA:

17	5	18
----	---	----

REPORTAN: **OMAR ROJASVASQUEZ**
SUPERVISOR **MIGUEL VARGAS**

2. DESCRIPCION EN DETALLE DE LA FALLA

SE REALIZO INSPECCION DE BOMBA PARA IDENTIFICAR FALLA PORQUE LOZAS SE ENCUENTRAN LLENAS DE AGUA DE LLUVIA Y AGUA DE REBOSE TANQUE DE PROCESOS. SE CAMBIA BOMBA PORQUE NO SUCCIONA, AL DESARMAR LA BOMBA PARA REPARAR SE IDENTIFICA COMPONENTES DETERIORADOS POR INGRESO DE LODO Y ARENA SUCCIONADA POR LA BOMBA. SE CAMBIA DE BOMBA CONTINUANDO CON EL MISMO PROBLEMA. SE PROCEDE A DESARMAR LINEAS CPVC DE SUCCION ENCONTRANDOSE ATORADAS CON PAÑO ABSORBENTE.

3. HORAS PERDIDAS DE PRODUCCION APROX.

Horas	72	Mnts.
-------	----	-------

4. COMPONENTES DAÑADOS

CANT.	INSPECCION VISUAL	# PARTE
4	ASIENTO Y SELLO DE BOLAS	
4	BOLAS DETERIORADAS	
2	MANIFORD INSERVIBLES.	

5. PROBABLE CAUSA DE FALLA:

INGRESO DE MATERIAL SOLIDO A BOMBA (LODO Y ARENA)

6. ACCION CORRECTIVA TOMADA Y PLANEADA:

QUE	QUIEN	CUANDO
CAMBIO DE BOMBA COMPLETA DE SPARE	D. VALDIVIA/R. CHEGNE/L. VIDAL	17/05/17

7. CLASIFICACION DE FALLA:

DISEÑO					
MATERIALES	X				
ENSAMBLE					
INSTALACION					
OPERACION FUERA DE DISEÑO					
ERROR DE MANTENIMIENTO					
ERROR DE OPERACION					

GRAVE X

Falla mayor a 3 horas

MEDIA

Falla entre 1/2 hr a 3 hrs

LEVE

Falla menor a 1/2 hr

NOTAS:




SE SUGIERE QUE LOZAS PERMANEZCAN LIMPIAS, LIBRE DE MATERIALES SOLIDOS COMO LODO, ARENA, PLASTICOS, MADERA, ETC. DEBIDO A QUE ESTE TIPO DE BOMBAS SON PARA EVACUAR FLUIDOS LIMPIOS.

8. REGISTRO FOTOGRAFICO

Componentes impregnados de arena.

Sello y asiento de bola mayor diametro (bolas se pasan.)

Maniford Inservible , asiento bolas con mayor apertura.






HR.

Fecha de Reporte:


22	5	18
----	---	----

Anexo N°04: Reporte falla bomba Hazleton 100 HP



Reporte de Falla

Mantenimiento Procesos Planta de Carbon la Quinua



N° de Reporte

1. DATOS GENERALES DEL EQUIPO / SISTEMA

EQUIPO : BOMBA	OT: 20670111			
MARCA : HAZLETON 100 HP.	CODIGO ELLIPSE: 3000-40-40-02-PMP4033			
SERIE : 	MODELO: 			
FECHA DE FALLA : <table style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="border: 1px solid black; width: 20px; text-align: center;">27</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; text-align: center;">1</td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; text-align: center;">16</td></tr></table>	27	1	16	AREA : LA QUINUA
27	1	16		
REPORTAN: DEMETRIO VALDIVIA				
SUPERVISOR LUIS VASQUEZ				

2. DESCRIPCION EN DETALLE DE LA FALLA

AL DESARMAR LA BOMBA EN TALLER DESMONTADA POR RUIDO ANORMAL, SE ENCUENTRA ROTOR FRACTURADO A LA ALTURA DEL IMPULSOR.

3. HORAS PERDIDAS DE PRODUCCION APROX.

	Horas	2	Mnts.
--	-------	---	-------

4. COMPONENTES DAÑADOS

CANT.	INSPECCION VISUAL	# PARTE
1	ROTOR FRACTURADO	
3	PLATO FISURADO	
1		
1		

5. PROBABLE CAUSA DE FALLA:

FALLA MECANICA Y/O FATIGA MECANICO DE ROTOR.

6. ACCION CORRECTIVA TOMADA Y PLANEADA:

QUE	QUIEN	CUANDO
DESARMADO DE BOMBA EN TALLER.	D.VALDIVIA/H. BRIONES/ A. CARDENA	5 27/01/16
SE INSTALARA BOMBA TSURUMI 100 HP (POR HAZLETON)	D.VALDIVIA/H. BRIONES/ A. CARDENA	5 27/01/16


7. CLASIFICACION DE FALLA:

DISEÑO		GRAVE X
MATERIALES	X	<i>Falla mayor a 3 horas</i>
ENSAMBLE		MEDIA
INSTALACION		<i>Falla entre 1/2 hr a 3 hrs</i>
OPERACION FUERA DE DISEÑO		LEVE
ERROR DE MANTENIMIENTO		<i>Falla menor a 1/2 hr</i>
ERROR DE OPERACION		

NOTAS:


SE REALIZO DESARMADO DE BOMBA PARA IDENTIFICAR FALLA DE RUIDO ANORMAL, ENCONTRANDOSE EL ROTOR FRACTURADO CERCA A IMPULSOR. EN SU REEMPLAZO SE PREPARARÁ UNA BOMBA TSURUMI 100 HP PARA INSTALAR EN POZA TORMENTAS 01.

8. REGISTRO FOTOGRAFICO



HR. ANTES


DESPUES




Fecha de Reporte:

9	2	16
---	---	----

Anexo N°05: Reporte falla bomba Tsurumi 100 HP



Reporte de Falla
Mantenimiento Procesos Planta de Carbon la Quinua



N° de Reporte

2016

1. DATOS GENERALES DEL EQUIPO / SISTEMA

EQUIPO : BOMBA	OT: 20874992
MARCA : TSURUMI 100 HP	CODIGO ELLIPSE: 3000-45-70-01-PSU4032-PUCO
SERIE : 	MODELO: GSZ-75-4
	AREA : LA QUINUA

FECHA DE FALLA :

17	10	16
----	----	----

REPORTAN: D. VALDIVIA/ L.VIDAL/H. BRIONES
SUPERVISOR GAVINO MARCAPURA REVILLA

2. DESCRIPCION EN DETALLE DE LA FALLA

SE REALIZO DESARMADO DE BOMBA TSURUMI 100 HP, DESMONTADA DE LA POZA SHILICA POR RUIDO ANORMAL, AL DESARMAR LA BOMBA EN TALLER SE ENCONTRO RODAMIENTO RIGIDO DE BOLAS (CON AUSENCIA DE ALGUNOS ELEMENTOS RODANTES - BOLAS) EL CUAL TRAJO COMO CONSECUENCIA EXCENTRICIDAD DE ROTOR EN ESTATOR, PRODUCIENDO ROZAMIENTO ENTRE AMBOS (DESPRENDIMIENTO DE METAL EN PLACAS DE BOBINADO)

3. HORAS PERDIDAS DE PRODUCCION APROX.

Horas Mnts.

4. COMPONENTES DAÑADOS

CANT.	INSPECCION VISUAL	# PARTE
1	ESTATOR DAÑADO	
3	ROTOR DAÑADO	
1	RODAMIENTOS, ALOJAMIENTOS	
1	SELLO MECANICO	

5. PROBABLE CAUSA DE FALLA:

DEGRADACION Y PERDIDA DE GRASA EN RODAMIENTO RIGIDO DE BOLAS,



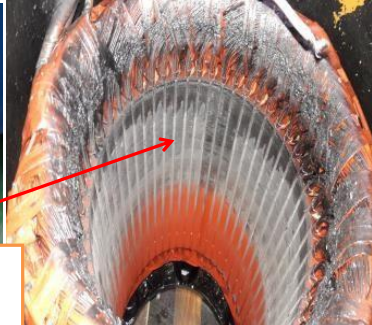
6. ACCION CORRECTIVA TOMADA Y PLANEADA:

QUE	QUIEN	CUANDO
COTIZACION DE REPARACION DE ESTATOR Y ROTOR	D. VALDIVIA/ALVARO DE VINATEA	15/11/2016

7. CLASIFICACION DE FALLA:

DISEÑO			
MATERIALES	X	X	NOTAS: SE REALIZA PRUEBAS A ESTATOR EL CUAL DIAGNOSTICA QUE SE ENCUENTRA CORTOCIRCUITADO, SE REQUIERE REBOBINAR PREVIA EVALUACION POR EMPRESA ESPECIALIZADA. ASI COMO EVALUACION DE ROTOR, SEGÚN INSPECCION VISUAL REQUIERE BALANCEO.
ENSAMBLE			
INSTALACION			
OPERACIÓN FUERA DE DISEÑO			
ERROR DE MANTENIMIENTO			
ERROR DE OPERACIÓN			

8. REGISTRO FOTOGRAFICO

Zonas afectadas: en rotor y estator, requiere de una evaluación más específica.

HR. **ANTES**

Fecha de Reporte:

14	11	16
----	----	----

Anexo N°06: Resultados del Sistema Turnitin

REDUCCIÓN DE FALLAS EN BOMBAS CENTRÍFUGAS MEDIANTE TÉCNICAS PREDICTIVAS - PLANTA GOLD MILL - YANACOCHA

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Cesar Vallejo	4%
	Trabajo del estudiante	
2	tesis.pucp.edu.pe	2%
	Fuente de Internet	
3	repositorio.uncp.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
4	dspace.unitru.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
5	Submitted to Pontificia Universidad Católica del Perú	<1%
	Trabajo del estudiante	
6	Submitted to Universidad Tecnológica del Perú	<1%
	Trabajo del estudiante	
7	www.scribd.com	<1%
	Fuente de Internet	
8	documents.tips	

	Fuente de Internet	<1%
9	dspace.esPOCH.edu.ec	<1%
	Fuente de Internet	
10	Submitted to Universidad Continental	<1%
	Trabajo del estudiante	
11	m.tesis.pucp.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
12	revistas.unimilitar.edu.co	<1%
	Fuente de Internet	
13	Submitted to Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo	<1%
	Trabajo del estudiante	
14	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
15	bibdigital.epn.edu.ec	<1%
	Fuente de Internet	
16	Submitted to Universidad de Costa Rica	<1%
	Trabajo del estudiante	
17	Submitted to Universidad de San Buenaventura	<1%
	Trabajo del estudiante	

Anexo N°07: Acta de Aprobación de Originalidad de Tesis



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo, Salazar Mendoza Anibal Jesús, Asesor del curso de desarrollo del trabajo de investigación y revisor de la tesis de la estudiante Rojas Vásquez Hemerson Omar, titulada: **"REDUCCIÓN DE FALLA DE BOMBAS CENTRÍFUGAS MEDIANTE TÉCNICAS PREDICTIVAS – PLANTA GOLD MILL - YANACOCCHA"**, constato que la misma tiene un índice de similitud de 12 % verificable en el reporte de originalidad del programa *Turnitin*.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.


Chiclayo, 16 de agosto de 2018


DR SALAZAR MENDOZA ANIBAL JESUS

DNI: 16720249

CAMPUS CHICLAYO
Carretera Pimentel km. 3.5.

Anexo N°08: Autorización de Publicación de Tesis

 UCV UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL UCV	Código : F08-PP-PR-02.02
		Versión : 09
		Fecha : 23-03-2018
		Página : de 1

Yo HENSON OJAR ROSAS JASQUEZ, identificado con DNI N° 44809424, egresado de la Escuela Profesional de INGENIERIA MECANICA SISTEMAS de la Universidad César Vallejo, autorizo (X) , No autorizo () la divulgación y comunicación pública de mi trabajo de investigación titulado "REDUCCION DE FALLAS EN BOMBA CONTINUA MEDIANTE TECNICAS PREDICTIVAS - PLANTA GOLD MILL YANACOCHA" en el Repositorio Institucional de la UCV (<http://repositorio.ucv.edu.pe/>), según lo estipulado en el Decreto Legislativo 822, Ley sobre Derecho de Autor, Art. 23 y Art. 33

Fundamentación en caso de no autorización:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



 FIRMA

DNI: 44809424

FECHA: 13 de octubre del 2018

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Responsable del SGC	Aprobó	Vicerrectorado de Investigación
---------	----------------------------	--------	---------------------	--------	---------------------------------



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE

EP DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

ROJAS VASQUEZ HEMERSON OMAR

INFORME TÍTULADO:

REDUCCIÓN DE FALLAS EN BOMBAS CENTRIFUGAS MEDIANTE
TECNICAS PREDICTIVAS- PLANTA GOLD MILL YANACOCCHA

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

SUSTENTADO EN FECHA: 24/12/2018

NOTA O MENCIÓN: QUINCE (15)



[Handwritten Signature]
FIRMA DEL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN