



**VICERRECTORADO ACADÉMICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**TESIS**

**“ANÁLISIS DE FALLA DE RODAMIENTOS PARA  
INCREMENTAR LA VIDA ÚTIL DE LA TRITURADORA  
CÓNICA HP6 EN SOCIEDAD MINERA EL BROCAL  
S.A.A. - 2018”**

Presentado por:

**Bach. Jesús Angel CHIJCHEAPAZA MAMANI**

Para obtener el Título Profesional de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**PASCO – PERU**

**2019**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de investigación lo dedico a mi esposa y a mi amado hijo quienes fueron mi sustento para terminar la presente tesis. Muchas gracias a aquellos seres queridos que siempre aguardo en mi alma.

.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a los docentes de la Universidad Alas Peruanas, ellos fueron quienes me guiaron en la culminación de mi carrera profesional. También mi agradecimiento al superintendente del área de mantenimiento mecánico de la Cia. Minera El Brocal.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado “Análisis de falla de rodamientos para incrementar la vida útil de la Trituradora Cónica HP6 en Sociedad Minera El Brocal S.A.A. – 2018”, se tomó como muestra de análisis a la Trituradora Cónica HP6, para estudiar la variable independiente Análisis de Falla y la variable dependiente Vida Útil.

El trabajo de investigación es del tipo tecnológico y su nivel es aplicado, por lo que la investigación tiene el propósito de emplear el conocimiento existente en los rodamientos de la trituradora cónica HP6.

El objetivo de la investigación ha sido efectuar el análisis de falla de rodamientos para incrementar la vida útil de la Trituradora Cónica HP6 en la planta concentradora en Sociedad Minera El Brocal S.A.A - 2018. Para lograr este objetivo se desarrolló la investigación centrada en el diseño de un grupo con pre prueba y post prueba por que se realizó el análisis de falla a los rodamientos de la trituradora, posteriormente se obtuvo datos de la vida útil de este componente de la planta concentradora. El procesamiento y análisis de datos se realizó mediante la estadística descriptiva e inferencial. Finalmente, se validó la hipótesis utilizando la prueba T Student.

Los resultados obtenidos fue el incremento de la vida útil de la trituradora cónica HP6 de la planta concentradora en Sociedad Minera El Brocal.

Los resultados de esta investigación, servirá para realizar una mejor Gestión de Mantenimiento y mejora de la vida útil de la trituradora cónica HP6.

**Palabra clave:** Vida Útil. Análisis de Falla. Rodamiento.

## ABSTRACT

The present work graduated with a title “Analysis of failure incrementing the useful life of bearings of the Conical Grinder HP6 in Mining Society El Brocal S.A.A. – 2018” in this investigation took as a token of analysis to the Conical Grinder HP6, in order to study the independent variable Analysis of failure and the dependent variable useful Life.

Research work belongs to the technological guy and his level is applied, which is why investigation has the purpose to use the existing knowledge in the bearings of the conical grinder HP6.

The objective of investigation has been making the analysis of fault to increment the useful life of the bearings of the Conical Grinder HP6 in the plant concentrator in Mining Society EL Brocal S.A.A - 2018. In order to achieve this objective developed the centered investigation in the design of a group with ERP tastes and after proof why the analysis of fault to the grinder's bearings came true, at a later time of sack data of the useful life of this component of the plant concentrator. Processing and data analysis came true by means of the descriptive and inferential statistics. At last, became validated the hypothesis using the t test Student.

The obtained results HP6 of the plant was the increment of the useful life of the conical grinder concentrator in Mining Society El Brocal.

The results of this investigation, will serve to accomplish Maintenance better Step and improve of the useful life of the conical grinder HP6.

**Keyword:** Useful life. Analysis of Fault. Bearing.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Resumen.....	iv
Abstract.....	v
Índice de contenido.....	vi
Índice de figuras.....	x
Índice de cuadros.....	xi
Índice de gráficos.....	xii
Índice de tabla.....	xiii
Introducción.....	xv

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	16
1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
1.2.1. Espacial.....	17
1.2.2. Temporal.....	17
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	18
1.3.1. Problema General.....	18
1.3.2. Problemas Específicos.....	18
1.4. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.4.1. Objetivo General.....	18
1.4.2. Objetivos Específicos.....	18
1.5. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	19

1.5.1. Hipótesis General.....	19
1.5.2. Hipótesis Específicas .....	19
1.6. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN .....	19
1.6.1. Variable independiente .....	19
1.6.2. Variable dependiente .....	19
1.6.3. Operacionalización de Variables .....	20
1.7. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	21
1.7.1. Tipo de investigación.....	21
1.7.2. Nivel de investigación .....	21
1.7.3. Método de investigación.....	21
1.7.4. Diseño de investigación.....	22
1.8. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	22
1.8.1. Población .....	22
1.8.2. Muestra .....	23
1.9. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS .....	23
1.9.1. Técnicas .....	23
1.9.2. Instrumentos .....	24
1.10. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN .....	24
1.10.1. Justificación .....	24
1.10.2. Importancia.....	25
1.11. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN .....	25

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO .....	26
2.1.1. Antecedentes nacionales .....	26

2.1.2. Antecedentes Internacional.....	28
2.2. BASES TEÓRICAS .....	32
2.2.1. Antecedentes históricos .....	32
2.2.2. Conceptualización de la variable independiente Análisis de falla.....	37
2.2.2.1. Cuando hay una falla.....	37
2.2.2.2. Causas.....	37
2.2.2.3. Deficiencia en el Diseño.....	38
2.2.2.4. Deficiencias en la selección del material: .....	38
2.2.2.5. Imperfecciones en el Material:.....	38
2.2.2.6. Deficiencias en el Proceso:.....	38
2.2.2.7. Teoría de fallas. ....	39
2.2.3. Conceptualización de la variable dependiente: vida útil .....	40
2.2.3.1. Trituradora cónica HP6 .....	42
2.2.3.2. Rodamientos.....	44
2.2.3.3. Características de los rodamientos .....	44
2.2.3.4. Cálculo del calado de rodamientos.....	47
2.2.4. Definición de términos básicos.....	50
<b>CAPÍTULO III</b>	
3.1. CONFIABILIDAD Y VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO.....	56
3.2. ANALISIS CUANTITATIVO DE LAS VARIABLES .....	56
3.2.1. Diagnóstico de la trituradora HP6 .....	56
3.2.2. Procedimiento del alineamiento de la trituradora cónica HP6. ....	61
3.2.2.1. Transmisión de Poleas.....	61
3.2.2.2. Transmisión entre ejes.....	62
3.2.2.3. Requerimiento de equipos.....	63



3.2.2.4. Requerimiento de Herramientas.....	63
3.2.2.5. Requerimiento de Repuestos.....	64
3.2.2.6. Requerimiento de Materiales.....	64
3.2.3. Procedimientos de ejecución de alineamiento de poleas, alineamiento de ejes y medición de holguras con calibrador de láminas. ....	64
3.2.4. Vida útil de los rodamientos después del tratamiento .....	66
3.2.5. Costo de Mantenimiento de rodamientos después del tratamiento .....	68
3.3. PRUEBA DE NORMALIDAD .....	69
3.3.1. Prueba de normalidad de la hipótesis general .....	69
3.3.2. Prueba de normalidad de las hipótesis específicas. ....	70
<b>CAPÍTULO IV</b>	
4.1. PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS .....	73
4.1.1. Prueba de Hipótesis General.....	73
4.1.2. Prueba de Hipótesis Específica.....	77
<b>CAPÍTULO V</b>	
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	85
CONCLUSIONES.....	87
RECOMENDACIONES.....	88
BIBLIOGRAFÍA .....	89
ANEXOS .....	91
Anexo 1. Matriz de Consistencia.....	92
Anexo 2. Promedio mensual de horas de operación chancadora trituradora HP6 – 201793	
Anexo 3. Procedimiento del alineamiento de la trituradora cónica HP6.....	105
Anexo 4. Procedimiento del alineamiento de la trituradora cónica HP6.....	109
Anexo 5. Costo de mantenimiento de los rodamientos. ....	110

## ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Diseño de un grupo con pre prueba y post prueba	22
Figura 2. Diagrama de espina de pescado	24
Figura 3. Planta Concentradora Huaraucaca	37
Figura 4. Curva de la bañera	41
Figura 5. Principales componentes de la trituradora cónica HP6	43
Figura 6. Partes fundamentales de un rodamiento	46
Figura 7. Llave de gancho TMFT para ajuste de tuerca	50
Figura 8. Operaciones de mantenimiento	55

**ÍNDICE DE CUADROS**

Cuadro 1. Operacionalización de variables	20
Cuadro 2. Valores de reducción de juego radial interno	48
Cuadro 3. Juego radial de rodamientos de rodillos a rótula	49
Cuadro 4. Reporte de monitoreo y análisis vibracional	60
Cuadro 5. Árbol análisis de falla de la trituradora cónica HP6	61

**ÍNDICE DE GRÁFICOS**

Gráfico 1. Curva de Gauss para hipótesis general	76
Gráfico 2. Curva de Gauss para hipótesis 1	80
Gráfico 3. Curva de Gauss para hipótesis 2	83

## ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1 Promedio mensual de horas de operación chancadora trituradora HP6 – 2017	58
Tabla 2. Vida útil del rodamiento de la trituradora cónica HP6 del año 2017	59
Tabla 3. Tensión a aplicar en las correas de transmisión – Chancadora HP6	66
Tabla 4 Promedio mensual de horas de operación chancadora trituradora HP6 - 2018	67
Tabla 5. Vida útil del rodamiento después del tratamiento	68
Tabla 6. Costo de mantenimiento de los rodamientos.	68
Tabla 7. Datos para prueba de normalidad (vida útil)	69
Tabla 8. Prueba de normalidad (hipótesis general)	70
Tabla 9. Comparación con el valor de significancia	70
Tabla 10. Datos para prueba de normalidad (horas operativas)	71
Tabla 11. Prueba de normalidad (hipótesis específica)	71
Tabla 12. Comparación con el valor de significancia	72
Tabla 13. Datos para la contratación de Hipótesis	73
Tabla 14. Resumen de procesamiento de casos para la prueba de hipótesis general.	74
Tabla 15. Descripción de datos	75
Tabla 16. Correlación de variables vida útil de los rodamientos.	75
Tabla 17. Prueba de T para muestras emparejadas	76
Tabla 18. Resumen de procesamiento de casos	77
Tabla 19. Descripción de datos	78
Tabla 20. Correlación de variables costo de mantenimiento de rodamiento	79
Tabla 21. Prueba de T para muestras emparejadas	79
Tabla 22. Resumen de procesamiento de casos	81
Tabla 23. Descripción de datos	82
Tabla 24. Correlación de variables horas de operación de los rodamientos.	82

Tabla 25. Prueba de T para muestras emparejadas

83

## INTRODUCCIÓN

Todas las empresas tienen la necesidad de ser más productivos debido a eso el mantenimiento está evolucionando constantemente. La cantidad y calidad de la producción depende mucho del tipo de mantenimiento que se aplica a cada uno de los equipos de la planta concentradora. Como es sabido la cantidad de la producción está ligado a la capacidad instalada de los equipos y estos dependen mucho de la disponibilidad (tiempo de operación vs tiempo de parada)

Este trabajo de investigación está compuesto por 5 capítulos:

**El primer capítulo**, se desarrolla el planteamiento metodológico donde se detalla la descripción de la realidad problemática, delimitaciones de la investigación, planteamiento del problema de investigación, objetivos, formulación de la hipótesis, variables, diseño, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos y justificación e importancia de la investigación.

**El segundo capítulo**, se trata del marco teórico, antecedentes de la investigación, bases teóricas y definición de términos básicos.

**En el tercer capítulo**, se presenta los resultados de la presente investigación, así mismo se detalla la confiabilidad y validación del instrumento, análisis cuantitativos de las variables y la prueba de normalidad.

**En el cuarto capítulo**, se realiza la prueba de hipótesis general y la prueba de hipótesis específicas de la investigación, mediante los cuales se demostró la aceptación de las hipótesis formuladas.

**En el quinto capítulo**, se muestra la discusión de los resultados de la investigación con los antecedentes internacionales y nacionales.

Finalmente se presenta las conclusiones, recomendaciones, las referencias bibliográficas y los anexos.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

La disponibilidad de los equipos instalados en una empresa está garantizada por el área de mantenimiento, y tener una excelente producción en la explotación de un mineral finito no renovable; un análisis de falla depende de la herramienta conocida como planeamiento la cual ayudará a realizar el análisis de falla de rodamientos para incrementar la Vida Útil de la Trituradora Cónica HP6, y este equipo sea eficiente en la productividad de la planta concentradora de la Cía. Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

Para poder prolongar la vida útil de un equipo, es necesario un conjunto de actividades; los cuales son las componentes de un mantenimiento y de esta manera prevenir y eliminar fallas de las máquinas y por consiguiente optimizar el proceso de explotación del mineral.

La Empresa Cía. Sociedad Minera El Brocal S.A.A., es una empresa minera dedicada a la extracción, concentración y comercialización de minerales polimetálicos: plata, plomo, zinc y cobre, su operación está ubicado en



Colquijirca y la planta concentradora en Huaraucaca, localizadas en el Distrito de Tinyahuarco, Provincia y Departamento de Pasco, a 4250 m.s.n.m.

En la Trituradora Cónica HP6 de la planta centradora, se presentaban problemas en el eje flotante, especialmente en los rodamientos de la chumacera, estos rodamientos tenían una vida útil de solo 648.9 horas en un periodo de tres meses; siendo la vida útil según el fabricante de los rodamientos SKF 30,000 horas, lo cual significa un tiempo de vida útil expresado en meses de 69, con 14.42 horas diarias efectivas de trabajo. Debido a esto se paraba la Trituradora Cónica HP6 disminuyendo las horas efectivas de productividad, para realizar los correctivos se necesitaba parar la Trituradora Cónica HP6 demorando 8 horas como mínimo en desmontar y montar los rodamientos en el eje flotante y la chumacera; perjudicando el procesado del mineral, perdiendo en la producción por hora S/. 1.000.000.00 aproximadamente, ya que dicha planta produce 20.000 toneladas de concentrado por día.

Por estos motivos se realizó la presente investigación de Análisis de fallas de rodamientos para incrementar la Vida Útil de la Trituradora Cónica HP6 e incrementar su eficiencia.

## **1.2 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.2.1 Espacial.**

El trabajo se desarrolló en la Cia. Minera El Brocal S.A.A., esta empresa se encuentra ubicado en el departamento de Cerro de Pasco.

### **1.2.2 Temporal.**

La investigación se realizó de enero a diciembre del 2018.

### **1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1 Problema General**

¿Cómo efectuamos el análisis de falla de rodamientos para incrementar la vida útil de la Trituradora Cónica HP6 en la planta concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A. – 2018?

#### **1.3.2 Problemas Específicos**

- A. ¿De qué manera determinamos el análisis de falla para reducir los costos por mantenimiento de la de la Trituradora cónica HP6 en la planta concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A. – 2018?
- B. ¿De qué manera establecemos el análisis de falla para incrementar las horas de operación de los rodamientos de la trituradora cónica HP6 en la planta concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A. – 2018?

### **1.4 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN.**

#### **1.4.1 Objetivo General.**

Efectuar el análisis de falla de rodamientos para incrementar la vida útil de la Trituradora Cónica HP6 en la planta concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A – 2018.

#### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- A. Determinar el análisis de falla para reducir los costos por mantenimiento de la Trituradora cónica HP6 en la planta concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A. – 2018.
- B. Establecer el análisis de falla para incrementar las horas de operación de los rodamientos de la Trituradora Cónica HP6 en la

planta concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A. –  
2018.

## **1.5 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1 Hipótesis General.**

Si efectuamos el análisis de falla, entonces se incrementa la vida útil de los rodamientos de la trituradora cónica HP6 en la planta concentradora de Sociedad Minera El Brocal – 2018.

### **1.5.2 Hipótesis Específicas**

A. Si determinamos el análisis de falla, entonces se reducen los costos por mantenimiento de la Trituradora Cónica HP6 en la planta concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A. – 2018.

B. Si establecemos el análisis de falla, entonces se incrementan las horas de operación de los rodamientos de la Trituradora Cónica HP6 en la planta concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A. – 2018.

## **1.6 VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.6.1 Variable independiente**

Análisis de fallas rodamiento

### **1.6.2 Variable dependiente**

Vida útil.

### 1.6.3 Operacionalización de Variables

La operacionalización de las variables, que ha permitido esquematizar la presente investigación, se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Operacionalización de variables

TIPO DE VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<b>Variable Independiente</b> Análisis de falla de rodamiento	El análisis de falla es un examen sistemático de la pieza dañada para determinar la causa - raíz de la falla y usar esta información para mejorar la confiabilidad del producto.	Realizar la investigación de las fallas de la trituradora cónica HP6, que constantemente se están presentando para mejorar la vida útil de los componentes	Temperatura	°C
			Vibraciones	Tolerancia
<b>Variable Dependiente</b> Vida útil	La vida útil 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).	La función de la trituradora cónica HP6, es de realizar el chancado de las rocas de mineral para su respectivo proceso la cual debe tener el mayor tiempo posible sin fallas y así no desperdiciar carga para los molinos	Costos de mantenimiento	Dólares (\$)
			Operación	Horas (h)

Fuente: Elaboración propia

## 1.7 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.7.1 Tipo de investigación

“El tipo de investigación del presente estudio es **Tecnológico**. La investigación tecnológica tiene como propósito aplicar el conocimiento científico para solucionar los diferentes problemas que beneficien a la sociedad” (Espinoza, 2014).

“Los enfoques cuantitativos utilizan la recolección de datos para probar la hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teorías” (Sampieri. 2014).

### 1.7.2 Nivel de investigación

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

“La investigación aplicada, también conocida como diseño o innovación 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” (Espinoza, 2014).

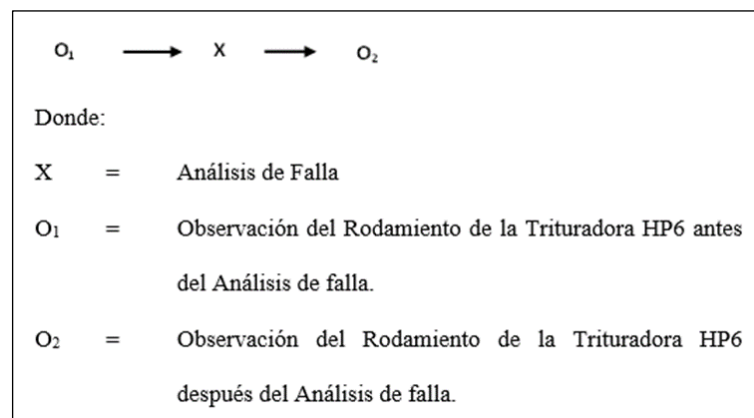
### 1.7.3 Método de investigación

El método utilizado en la presente investigación es el **Método Científico**, porque se está aplicando los conocimientos existentes en la solución de problemas que se presentan en la operación de la trituradora cónica HP6 en la planta concentradora de Sociedad Minera El Brocal.

### 1.7.4 Diseño de investigación

“El diseño de investigación es una organización esquematizada para relacionar y controlar las variables de investigación. Tiene como objetivo asignar restricciones controladas a las observaciones de los fenómenos. Es una herramienta de dirección para el investigador, contiene los pasos o acciones a seguir para encontrar posibles soluciones a los problemas. El diseño que se utilizó en la presente investigación es el Diseño de un grupo con pre prueba y post prueba” (Espinoza, 2014). Ver figura 1.

“Se evalúa los efectos del tratamiento comparándolo con una medición previa” (Espinoza, 2014).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1. Diseño de un grupo con pre prueba y post prueba

## 1.8 POBLACIÓN Y MUESTRA

### 1.8.1 Población

“Es el conjunto de equipos, las cuales poseen algunas características comunes observables en un lugar y en un momento determinado. Hay que tener cuidado las características esenciales al seleccionarse la población bajo estudio” (Wigodski, 2010).

En tal sentido, la población de nuestro estudio es finita ya que incluye un número limitado de medidas y observaciones. En nuestro caso el tamaño de la población que se utilizó para realizar la investigación es la trituradora Cónica HP6 de la planta concentradora de Sociedad Minera el Brocal.

### **1.8.2 Muestra**

“La muestra es un subconjunto fielmente representativo de la población. Hay diferentes tipos de muestreo. El tipo de muestra que se seleccione dependerá de la calidad y cuán representativo se quiera que sea el estudio de la población; por lo expuesto no es necesario aplicar la fórmula para calcular la muestra” (Wigodski, 2010).

En el presente trabajo la muestra representativa es la trituradora Cónica HP6 la cual está instalada en la planta concentradora de Sociedad Minera El Brocal.

## **1.9 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS**

### **1.9.1 Técnicas**

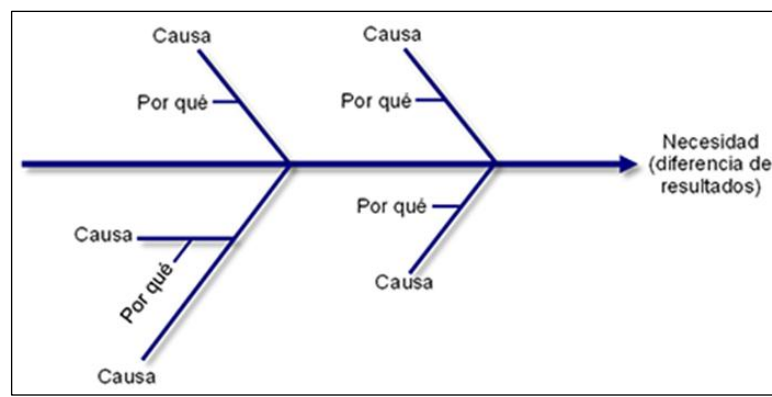
Documental; permite la recopilación de evidencias del rodamiento de la Trituradora HP6 de la planta concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A. para demostrar la hipótesis de investigación, a través de los siguientes pasos:

- 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.

### 1.9.2 Instrumentos

Los instrumentos utilizados son: fichas bibliográficas, registros de sistemas de gestión y el análisis causa raíz. El diagrama utilizado es el de la espina de pescado, instrumento que se utiliza para identificar las causas potenciales de un problema de rendimiento, según se muestra en la Figura 2.



Fuente: <http://managing-ils-reporting.itcilo.org/es/herramientas/analisis-de-causa-raiz-el-diagrama-de-espina-de-pescado>.

Figura 2. Diagrama de espina de pescado

## 1.10 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.10.1 Justificación

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 montaje mecánico de la Trituradora Cónica HP6 de planta concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A.



Con el presente trabajo de investigación, se busca resolver la avería en los rodamientos mecánicos que se estaban presentando en la Trituradora Cónica HP6 de la planta concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A, durante los meses de julio a diciembre del 2017; para así no tener un desgaste elevado y prematuro de los rodamientos, consecuentemente una baja eficiencia de las mismas.

### **1.10.2 Importancia**

La importancia de la investigación se basa en la reducción de fallas por deterioro de los rodamientos, durante el funcionamiento de la Trituradora Cónica HP6 en la planta de Sociedad Minera El Brocal S.A.A. y, así evitar paradas intempestivas durante la operación de la misma; para no inducir la reducción de la producción en dicha planta. Las condiciones de operación de la Trituradora Cónica HP6 aumentaran significativamente con el análisis de fallas.

## **1.11 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

Al momento de la realización de la tesis se presentaron las limitaciones siguientes:

- El ingreso a las labores es restringido, por ser zonas de riesgo.
- La difícil obtención de información de la compañía esto se debe a que es información confidencial.
- Falta de personal capacitado en el trabajo
- Tiempo limitado para realizar la investigación.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO

##### 2.1.1. Antecedentes nacionales

A. “Ñavez Vila (2013), en su tesis de pregrado, intitulada: **Configuración del circuito de chancado para el incremento de producción en Compañía Minera Casapalca S.A.**, el mencionado investigador, quien presentó y sustentó para obtener el título de Ingeniero Mecánico de la Universidad Nacional del Centro del Perú Huancayo, Facultad de Ingeniería Mecánica; de cuyo trabajo de investigación se deduce la siguiente conclusión final: Con la nueva configuración se logró pasar de un tratamiento de 2700 toneladas métricas secas por día (TMSD) a 5000 toneladas métricas secas por día lo cual equivale a un 85% en incremento de producción. El 30% adicional que se asigna para la configuración de circuitos de chancado, garantiza el tratamiento constante de mineral, ya que con las 2700 toneladas métricas secas solamente se consideró el 23.2 %

(207.9 TMSD). Debiendo ser 219.37 TMSD. Notándose en el promedio de tonelaje tratado antes de la configuración menor al 100%. Y siendo validado en el circuito de 5000 TMSD, cuyo promedio de tonelaje supera el 100% planteado. Uno de los factores claves para lograr tratar 5000 toneladas métricas secas por día (TMSD), fue la instalación de la zaranda horizontal 04 para la clasificación final, ya que esta supera en eficiencia de clasificación a las convencionales, siendo su eficiencia del 70 %, frente a las otras que llegan al 60%” (Ñavez, 2013).

- B. “Enrique Osorio (2014) en su tesis de pregrado titulada: **Herramienta virtual para la identificación de fallas en rodamientos** quien sustento para obtener el título de Ingeniero Naval, en la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería; quien llego a la siguiente conclusión final: A través del estudio de fallas en cojinetes de rodamientos en máquinas rotativas y sus efectos de vibración y de las técnicas de análisis de señales utilizadas para el tratamiento de datos y diagnóstico de defectos, fue posible desenvolver el sistema aplicativo propuesto para adquisición y análisis de señales de vibración, teniendo por base la plataforma Lab VIEW. En virtud de las mediciones realizadas en el banco experimental, se puede validar el sistema aplicativo, verificando los diversos módulos desarrollados, tal como adquisición de señales, de visualización de señales y de técnicas de análisis de señales. De acuerdo con los defectos inducidos en el banco

experimental, se puede evaluar las técnicas de análisis de señales utilizadas en el aplicativo. Con los defectos en los rodamientos se verifico la transformada corta de Fourier y la técnica de envelope. Este aplicativo se mostró práctico y viable, una vez que instalado en un computador portátil, que posea una placa de adquisición de señales, puede ser transportado con facilidad para cualquier lugar en especial para embarcaciones y su posterior análisis en el tren de propulsión. Como temas para futuros trabajos se propone: 1) La aplicación del aplicativo a máquinas rotativas en diferentes industrias especialmente a embarcaciones debido a su complejidad en la adquisición y distorsión de las señales producto de ruidos ocasionados por la gran cantidad de quipos. 2) Comparación de diferentes técnicas en análisis de falla en rodamientos en el dominio tiempo-frecuencia por ejemplo Transformada corta de Fourier y Transformada Wavelet” (Osorio, 2014).

### 2.1.2. Antecedentes Internacional

- A. “Mondaca (2002), en su tesis de pregrado, titulada: **Estudio de fallas comunes en rodamientos rígidos de una hilera de bolas mediante análisis en el dominio del tiempo y de la frecuencia**, el mencionado investigador, quien presentó y sustentó para obtener el título de Licenciado en Acústica de la Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería Escuela de Ingeniería Acústica; se comprobó la utilidad de los parámetros en el tiempo, en cuanto a detectar algún defecto en el rodamiento y se vio que salvo el valor

RMS todos los demás descriptores son sensibles a los defectos que puede presentar un rodamiento. Mención especial se debe hacer con respecto al nivel K, el cual demostró ser mejor en cuanto a detección de impulsos y grado de daño” (Mondaca, 2002).

“En la señal en el tiempo, además se pueden ver estos impulsos producto de defectos localizados, lo cual nos advierte que el rodamiento esta con algún problema. En el caso más simple como el BPFO, se puede determinar, simplemente observando el período de repetición del impulso. Se demostró para el análisis en frecuencia lo estudiado antes, en cuanto a la dificultad de poder detectar defectos incipientes, incluso cuando el defecto está desarrollado, esto es dificultoso a pesar de las condiciones ideales del laboratorio, en cuanto a la ausencia de vibración ajenas al defecto. Además, se debe considerar que, aunque se puede detectar algún defecto, esto requiere de mucha experiencia y conocimiento con respecto al defecto, lo cual en la realidad industrial es poco frecuente” (Mondaca, 2002).

“Método de la envolvente muestra una vez más, que es el método por excelencia de detección de fallas incipientes en rodamientos; en nuestro caso se pudo identificar cada tipo de falla, tanto incipiente como desarrollada, además se pudo comprobar los espectros esperados en teoría, principalmente aquellos defectos afectados por procesos de modulación (BPFI, BSF y FTF). Entre los defectos más complejos está el BSF (el cual en todo caso es muy difícil de encontrar en la realidad industrial), sin embargo el método de la envolvente fue eficaz en detectarlo corroborando tanto teoría como

años de observaciones experimentales realizadas por investigadores. Se debe considerar finalmente, que el fundamento del método es poder detectar los defectos gracias a las frecuencias propias del rodamiento, las cuales son estimuladas por el defecto (impacto), esto como se mencionó antes, ocurre sólo en la etapa incipiente, cuando el defecto es localizado y pequeño; a medida que este crece, irá perdiendo el carácter impulsivo y esto se observa claramente en el caso del defecto BPFI” (Mondaca, 2002).

“Así esta es la limitación del método a medida que el defecto pierda el carácter impulsivo este dejará de estimular las frecuencias naturales del rodamiento y con esto la detección del defecto. Con respecto al Cepstrum este demostró ser buen detector de fallas ya desarrolladas; el inconveniente es que el análisis no es tan obvio como en el caso de la envolvente, ya que se observa el período de la frecuencia de falla en vez de la frecuencia. Cuando existe un defecto esto no es tan complicado, pero cuando hay presencia de varios defectos (caso FTF), éste resulta muy dificultoso en poder detectar las componentes de falla. Recordar que para nuestro análisis se considera el espectro completo y no una parte de él como en el caso de la envolvente, el cual elimina además la vibración en baja frecuencia; esto se traduce en que será más dificultosa la interpretación en la medida que existan más defectos presentes” (Mondaca, 2002).

“Además, se debe considerar, que, en los casos de defectos impulsivos periódicos con procesos de modulación, este mostrará

más la frecuencia moduladora, que la modulada. Como conclusión para poder realizar un diagnóstico exitoso, se debe utilizar más de un método, y 107 éstos se deben complementar para tener una visión general del problema y así poder determinar el defecto particular. Además, se debe conocer lo mejor que se pueda, el elemento mecánico en cuestión, en este caso el rodamiento, y la mecánica del defecto que se desea detectar, para así poder discriminar cuándo un rodamiento está en una condición normal de funcionamiento o si éste presenta una anomalía” (Mondaca, 2002).

- B. “Godoy (2014), en su tesis de pregrado, titulada: Diagnostico de fallas por medio de análisis de vibraciones, el mencionado investigador, quien presentó y sustentó para obtener el título de Ingeniero Naval de la Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería Escuela de Ingeniería Naval; y llego a la siguiente conclusión final: La facilidad de poder anticiparnos a una falla que puede pasar de pequeña a incapacitar toda una máquina o circuito es muy beneficiosa para cada industria que emplee este sistema de mantención. Como ideal sería contar con los datos permisibles de cada máquina, un historial que se lleve a cabo demarcando cada problema que se produzca con el fin de reducir y facilitar el estudio a la hora de tomar decisiones, es por eso que cuando personal capacitado se dirige a algún lugar a efectuar un análisis debe recopilar todo tipo de información con respecto a cambios o mantenciones efectuadas a la máquina que se quiere

analizar. También se puede enunciar que el análisis vibratorio no es el único medio de verificar problemas en máquinas, existe también la Termografía Infrarroja que analiza de acuerdo a información térmica por medio de imágenes a distancia. También empleado en problemas mecánicos, eléctricos, medicina, control de calidad, etc. Esta conclusión, ha sido una de las evidencias básicas tomadas en cuenta para establecer los objetivos de la presente investigación” (Godoy, 2014).

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Antecedentes históricos**

“La Planta Concentradora es una instalación industrial que utiliza el proceso de flotación selectiva para lograr la concentración de la mineralización económica, proveniente de las minas Tajo Norte o Marcapunta Norte. Dicha planta concentradora se encuentra ubicada en Huaraucaca, a 7.5 Km. del tajo abierto y tiene una capacidad instalada de tratamiento de 20,000 toneladas métricas promedio por día. La planta incluye los procesos de chancado, clasificación, molienda, acondicionamiento, flotación y filtrado, así como las respectivas canchas de almacenamiento de relaves. Dadas las características de equipamiento y disposición, está en capacidad de beneficiar indistintamente los minerales de plata, plomo y zinc provenientes de la mina Tajo Norte ó los minerales de cobre de la mina Marcapunta Norte. Cuenta con acceso directo de ferrocarril, por lo que se utiliza dicho medio para el transporte



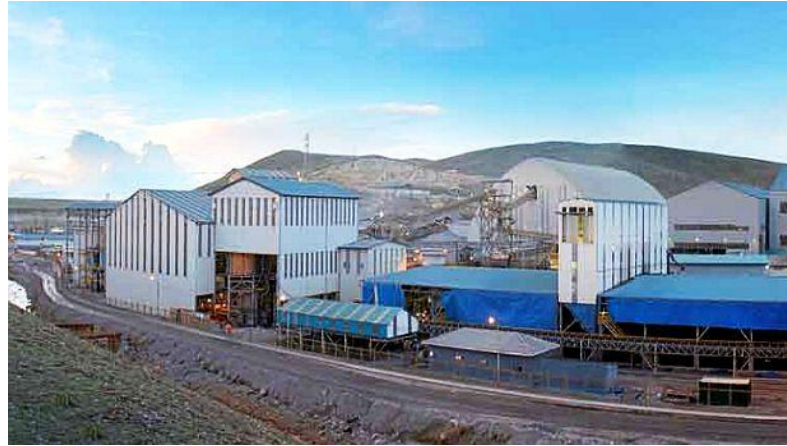
de los concentrados hacia el puerto del Callao o a las refinerías de La Oroya y Cajamarquilla” (El Brocal, 2017).

“Se sabe que los Tinyahuarcos, diligente y aguerrida tribu pre-incaica, cuyo asentamiento y fortaleza era la estratégica elevación de Puntac-Marca, hoy Marcapunta, ya trabajaban la plata con relativa facilidad. Estos primitivos orfebres, cuyas dotes artesanales eran muy sencillas, sufrieron la interrupción de su progreso artístico con la llegada de los españoles. Los Tinyahuarcos, extraían la plata de las faldas del cerro ubicado frente a Puntac-Marca, que por poseer abundancia y calidad desde aquellos tiempos era conocido como GOLGUE (plata); JIRCA (cerro), hoy Colquijirca, es decir cerro de la plata. El inca Pachacútec, gran organizador del imperio incaico, notable estadista y empeñoso conquistador, con los ejércitos imperiales al mando de su hermano Capac Yupanqui, se dedicaba a conquistar toda la actual zona central del Perú, librando para ello, encarnizadas batallas con los Huancas, Xauxas, Tarumas, Pumpus y Yaros. Entre éstos asimilados al Tahuantinsuyo por pacíficos arreglos luego de infructuosas batallas. Ya sometido al imperio, Golguejirca era uno de los lugares más pródigos en la producción del blanco y noble metal. La llegada de los hispanos cambió el destino de este paraje. Cuando hubo que pagar el rescate del Inca Atahualpa, se recibió la orden de enviar a Cajamarca toda la existencia almacenada de minerales preciosos. Golguejirca cumplió el mandato. Tan extraordinarios y abundantes eran los envíos, que el mismísimo Hernando Pizarro, organiza una expedición para conocer personalmente este emporio. El joven cronista, Miguel de Estete, nos dice que al llegar a

Golguejirca, encuentran a una tropa de indios conduciendo cuatrocientas arrobas de plata fina y ciento cincuenta de oro, a lomo de numerosísimas llamas, para pagar el rescate del Inca. Era el 12 de marzo de 1533. Cuando el 12 de enero de 1549, don Pedro de la Gasca otorga la encomienda de los Yaros y Chaupihuarangas a don Joan Tello de Sotomayor, los españoles llegan en tropel a la zona y comienzan a trabajar con denuedo las minas de Golguejirca. Para estar más cerca de los yacimientos van a afincarse en terrenos cercanos a un antiquísimo pueblo llamado Putaca, y allí fundan la Villa de Nuestra Señora de las Nieves de Pasco, el 5 de agosto de 1570. En el año de 1880, la mina Colquijirca, propiedad del ciudadano español Manuel Clotet, fue cedida a su yerno, Eulogio Fernandini. En 1886, se inician los trabajos del socavón principal de Colquijirca que posteriormente se llamó el Socavón Fernandini. La ejecución de la obra de 900 metros de longitud, tomo 13 años llegando por fin con tenacidad y esfuerzo a encontrar vetas de plata, plomo y zinc. Para 1889, se tenía instalada la Fundición de Huaraucaca, para la producción de barras de plata, cuya instalación y manejo estuvo a cargo del ingeniero Antenor Rizo Patrón. En ella, se realizaban diversos procesos, tales como: preparación mecánica, fundición, amalgamación, lixiviación de plata y bismuto, cianuración, etc., para la obtención de mejores rendimientos según la composición y riqueza de las minas. Se beneficiaron minerales sulfurados y oxidados de cobre, en hornos de mangas o water jackets, previa calcinación en reverberos. En 1921, la empresa, Negociación Minera Eulogio E. Fernandini, decidió cerrar la fundición y reemplazarla por una planta de flotación ubicada en el mismo

lugar. En esa época, la flotación era una tecnología revolucionaria que reemplazó rápidamente a las fundiciones primitivas que hacían las veces de concentradoras. A la muerte de Eulogio Fernandini, en 1938, sus hijos se hicieron cargo de la empresa, modificando su nombre a Negociación Fernandini Clotet Hermanos que incluía tanto negocios mineros como agrícolas. El 7 de mayo de 1956, se registró como Sociedad Minera El Brocal S.A. En 1960, se instala el primer molino de barras e inicia su crecimiento. En 1962, la planta concentradora producía 480 TMD y en 1972, llega a 510 TMD. En 1973, se inicia los trabajos de tajo abierto Mercedes-Chocayoc, mientras en la zona de Marcapunta, se explotaba por método subterráneo. En 1974, se paraliza la explotación subterránea convencional, y, se intensifica el desbroce del tajo abierto, elevando la producción a 580 y posteriormente hasta las 1,000TMD. Entre 1980 y 1981, se incrementan las actividades en el tajo abierto, lográndose producir 1,500 TMD de mineral. En 1990 y 1991, se tratan 1750 TMD y 2000 TMD de mineral respectivamente, proveniente de los tajos Principal y Mercedes-Chocayoc. A partir de 1994, se inicia un programa agresivo de exploraciones a través de perforaciones diamantinas, lo cual permitió identificar y cuantificar los Proyectos San Gregorio y Marcapunta. En el caso del primero, se logró estimar como recursos minerales alrededor de 70 millones de toneladas, con 8.06 % de zinc y 2.26 % de plomo. En el caso del segundo, alrededor de 50 millones de toneladas, con 1.90 % de cobre. En noviembre de 1996, la planta concentradora de Huaraucaca comienza con la flotación selectiva de zinc, plata y plomo. Al mismo tiempo, la producción llega hasta 2,200 TMD.

Una de las actividades más importantes, fue la elaboración (1996) y ejecución del Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA), entre 1997 y 2001, cuyo cumplimiento mereció el reconocimiento y aprobación del Ministerio de Energía y Minas a través de la R.D. N° 306-2002-EM/DGM, el 08 de noviembre del 2002, luego de una rigurosa Auditoría Especial. Paralelamente la producción de la empresa se incrementó progresivamente hasta llegar a 3300 TMD en el 2003. El 14 de abril del 2003, la empresa se convirtió en Sociedad Anónima Abierta y su razón social se modificó a Sociedad Minera El Brocal SAA. A fines del año 2002, luego de adecuarse a la legislación ambiental, la empresa toma la decisión de implementar un Sistema Integrado de gestión en Medio Ambiente, Seguridad y Salud Ocupacional (SIGMASS), con el objetivo de mostrar su compromiso voluntario por la mejora continua en cuanto al cuidado del medio ambiente y la integridad física de su personal, lo cual obligo la elaboración, cumplimiento y seguimiento de políticas, manuales, procedimientos, instrucciones, etc.; del sistema, para ser sometido luego, a una auditoría externa. Esta implementación se realizó durante los años siguientes, para culminar con el logro de la Certificación de ISO 14001 y OHSAS-18001, el 24 de marzo del 2004. A partir del año 2006 la capacidad instalada de la planta concentradora Huaraucaca es de 4,000TMD. Durante los últimos 50 años, Sociedad Minera El Brocal ha logrado dar un salto cualitativo importante debido al crecimiento integral de la organización, lo que la ubica dentro del grupo de empresas mineras medianas más importantes del país, en la Figura 3” (Benavides, 2002).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Planta Concentradora Huaraucaca

## **2.2.2. Conceptualización de la variable independiente Análisis de falla.**

### **2.2.2.1. Cuando hay una falla.**

- Cuando su funcionamiento es poco confiable debido a las fallas y presenta riesgos
- Cuando a pesar de que funciona no cumple su función satisfactoriamente.
- Cuando la pieza queda completamente inservible.

### **2.2.2.2. Causas.**

- Generalmente una falla es el resultado de uno o más de los anteriores factores.
- Errores en el servicio y en el montaje.
- Imperfecciones del material, del proceso y/o de su fabricación.
- Factores ambientales, sobrecargas.
- Errores en el control de Calidad, mantenimiento y reparación.
- Mal diseño, mala selección del material.

**2.2.2.3. Deficiencia en el Diseño.**

- Cambios al diseño sin tener en cuenta los factores elevadores de los esfuerzos.
- Errores al no considerar adecuadamente los efectos de las entallas.
- Insuficientes criterios de diseño por no tener la información suficiente sobre los tipos y magnitudes de las cargas especialmente en piezas complejas (No se conocen los esfuerzos a los que están sometidos los elementos)

**2.2.2.4. Deficiencias en la selección del material:**

- Darle mayor importancia al costo del material que a su calidad.
- Datos poco exactos del material (ensayo de tensión, dureza).
- Empleo de criterios erróneos en la selección del material.

**2.2.2.5. Imperfecciones en el Material:**

- Segregaciones, porosidades, incrustaciones, grietas (generadas en el proceso del material) que pueden conducir a la falla del material

**2.2.2.6. Deficiencias en el Proceso:**

- Soldaduras y/o reparaciones inadecuadas.
- Marcas de maquinado pueden originar grietas que conducen a la falla.
- Recubrimientos inadecuados.
- Esfuerzos residuales causados en el proceso de deformación en frío o en el tratamiento térmico que no se hacen bajo las

normas establecidas (Temperatura, Tiempo, Medio de enfriamiento, Velocidad).

#### 2.2.2.7. Teoría de fallas.

En ella se pueden apreciar tres etapas:

- **“Fallos iniciales:** esta etapa se caracteriza por tener una elevada tasa de fallos que desciende rápidamente con el tiempo. Estos fallos pueden deberse a diferentes razones como equipos defectuosos, instalaciones incorrectas, errores de diseño del equipo, desconocimiento del equipo por parte de los operarios o desconocimiento del procedimiento adecuado” (Gestión de Mantenimiento, 2013).
- **“Fallos normales:** etapa con una tasa de errores menor y constante. Los fallos no se producen debido a causas inherentes al equipo, sino por causas aleatorias externas. Estas causas pueden ser accidentes fortuitos, mala operación, condiciones inadecuadas u otros” (Gestión de Mantenimiento, 2013).
- **“Fallos de desgaste:** etapa caracterizada por una tasa de errores rápidamente creciente. Los fallos se producen por desgaste natural del equipo debido al transcurso del tiempo.

El análisis de falla es un examen sistemático de la pieza dañada para determinar la causa raíz de la falla y usar esta información para mejorar la confiabilidad del producto” (Gestión de Mantenimiento, 2013).

- Errores de montaje.

- Errores de fabricación.
- Mantenimiento inadecuado.
- Errores de Diseño.
- Material inadecuado.
- Tratamientos térmicos incorrectos.
- Condiciones no previstas de operación.
- Inadecuado control o protección ambiental.
- Discontinuidades de colada.
- Defectos de soldadura.
- Defectos de forja.

Tres principios básicos a respetar:

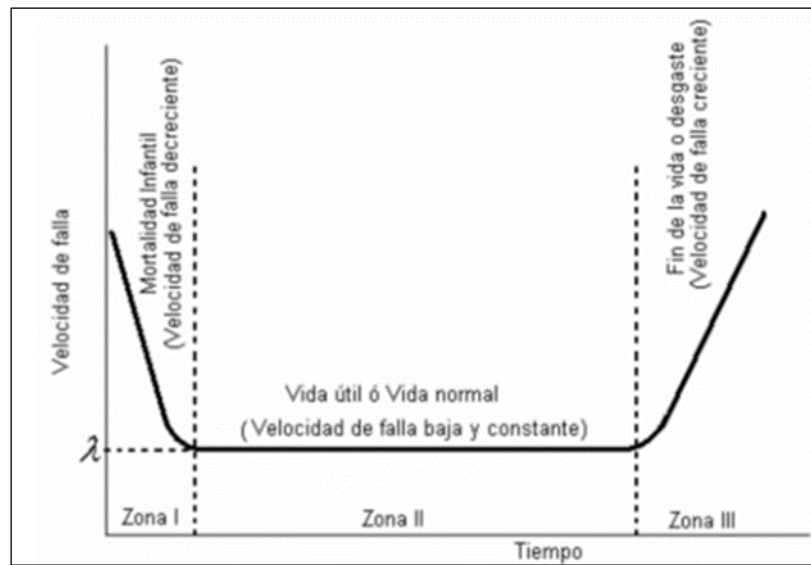
- Localizar el origen de la falla.
- No presuponer una causa determinada.
- No realizar ensayos destructivos sin un análisis previo cuidadoso.

### **2.2.3. Conceptualización de la variable dependiente: vida útil**

“La vida útil es la duración estimada que un objeto puede tener, cumpliendo correctamente con la función para el cual ha sido creado. Normalmente se calcula en horas de duración. Típicamente vinculado a la discusión de la confiabilidad está el concepto de curva de la bañera; en la Figura 4 se muestra esta curva, la cual se puede dividir en tres zonas; en la Zona I se refiere a la mortalidad infantil donde la velocidad de falla es decreciente; en la Zona II tenemos la vida útil o normal, donde la velocidad de falla es baja y constante y, final mente tenemos la Zona III



donde está el fin de la vida o desgaste, aquí la velocidad de falla es creciente” (Wikipedia, 2018).



Fuente: Wikipedia

Figura 4. Curva de la bañera

“El pronóstico hace referencia a la capacidad de predecir la falla o estimar la vida útil de un componente mecánico y es sin duda el paso siguiente en el mantenimiento predictivo. El autor señala que, en este capítulo se estudian las diferentes tendencias del pronóstico de vida útil y en particular la manera de realizar el pronóstico de vida útil mediante el modelo matemático del sistema. En este enfoque es necesario hibridar el modelo matemático con un modelo probabilísticos o estadístico para hacer la inferencia de la vida útil del componente mecánico. Si bien es posible, al menos en la teoría, realizar una estimación de la vida útil calculando un residuo entre la señal que entrega el modelo y la señal real del sistema, esto es realmente difícil debido a que el modelo matemático aumenta en relación directa con el número de componentes, y aún el rodamiento siendo un componente mecánico relativamente simple,

presenta un modelo matemático no lineal difícil de formular y resolver en la medida que aumenta la exactitud con que se representa su naturaleza física” (López, 2017).

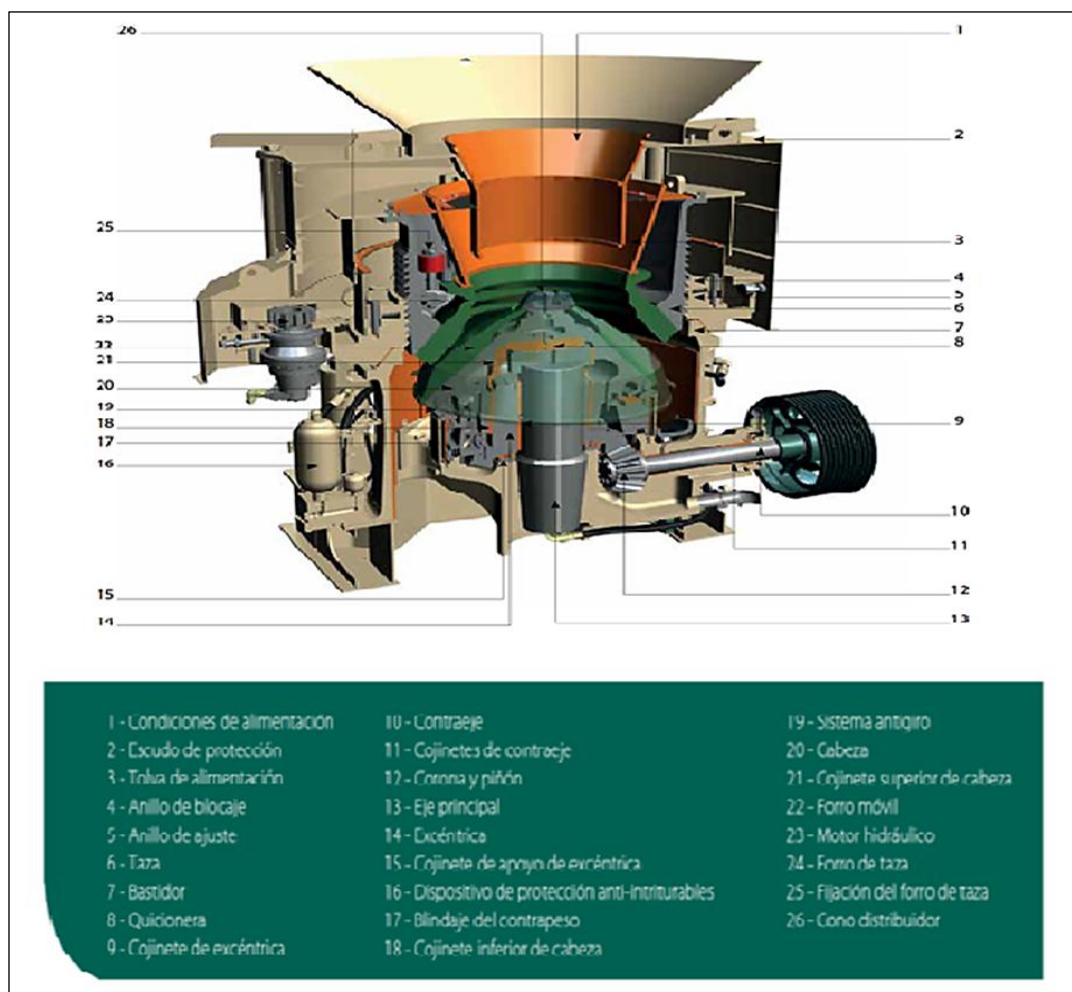
### **2.2.3.1. Trituradora cónica HP6**

Es una combinación o parte de varios equipos, componentes, sistemas y piezas para triturar y/o cribar rocas, minerales, materiales de reciclaje o triturables. Planta de trituración también es un equipo de trituración o de cribado independiente, según corresponda. En todo este manual, las palabras “máquina”, “maquinaria”, “equipo” y “trituradora” se utilizan de manera intercambiable para referirse a la Planta de trituración y las piezas que la componen.

“El primer paso en la planta concentradora es el chancado. El mineral proveniente de la mina es triturado hasta alcanzar un tamaño cercano a media pulgada. Se inicia aquí el proceso de concentración, el cual consiste en la separación de los minerales de aquellos que no tienen valor. La primera operación unitaria en la Planta Concentradora por el que pasa el mineral extraído de la mina, es por el Chancado o Trituración, en el que va a ser reducido de tamaño hasta pasar la malla 10 y luego continuar en el proceso mediante la molienda hasta obtener la liberación de las partículas valiosas de mineral que van a ser recuperadas. Pero para que los molinos trabajen adecuadamente se necesita reducir de tamaño al mineral hasta 16 % malla + ½. Resumiendo, el trabajo de las chancadoras es:” (Quilca, 2013).

- Reducir el tamaño del mineral proveniente de la mina para facilitar el trabajo de los molinos.
- Iniciar la “liberación” de las partículas valiosas de mineral de cobre de la ganga.

En la Figura 5, se detalla cada uno de los componentes de la trituradora cónica HP6, el mismo que se tiene instalada en la planta concentradora Huaraucaca de Sociedad Minera El Brocal, donde se puede observar el ítem 9 Cojinete de la excéntrica, en cuyo eje flotante se encuentran los rodamientos en estudio.



Fuente: Manual de la trituradora cónica HP6

Figura 5. Principales componentes de la trituradora cónica HP6

### **2.2.3.2. Rodamientos**

Los rodamientos de rodillos a rotula son muy utilizados en sistemas con grandes cargas y bajas velocidades, está de más decir la importancia de seguir procedimientos adecuados para ampliar su vida útil, pero en la práctica es habitual encontrar los siguientes casos:

- Ajustar hasta que la tuerca de seguridad ya no pueda girar.
- Medir un juego radial interno que “por experiencia”, creemos que es el correcto.

### **2.2.3.3. Características de los rodamientos**

“El rodamiento es un elemento mecánico que se sitúa entre dos componentes de una máquina, con un eje de rotación común, de forma que un componente puede girar respecto al otro. La función principal es dar apoyo o soporte a los elementos portadores: Soporte de ejes – Pista interior fijo y pista exterior móvil. Soporte de árboles – Pista exterior fijo y pista interior móvil. Estos rodamientos están diseñados para que los rozamientos originados durante el giro no sean de deslizamiento (cojinetes), sino de rodadura, presentando muchas características similares a los cojinetes de fricción, los que se señalan a continuación:” (Hernández, 2011).

- Bajo rozamiento
- Tolerancias y acabados muy rígidos.
- Necesidad de un montaje preciso.

- Sensible a impactos, sobrecargas, humedad, suciedad.
- Punto crítico dentro de la máquina, generalmente seleccionado para efectuar el mantenimiento.

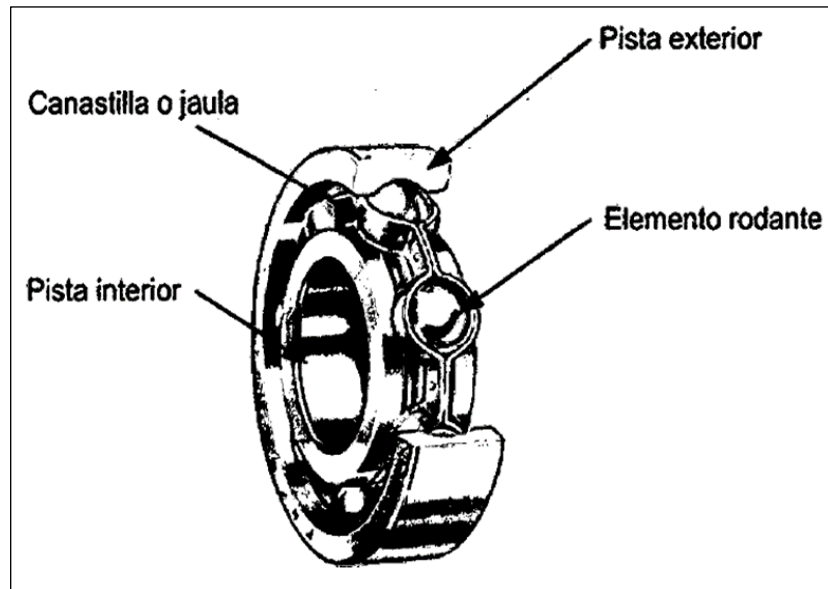
Pero también presentan muchas ventajas frente a los cojinetes de fricción como:

- El coeficiente de rozamiento es inferior y, además, prácticamente independiente de la velocidad y de la carga.
- Admite carga axial.
- Algunos tipos son auto alienables.

Y algunas desventajas:

- Precio más elevado.
- Montaje más complejo.

El rodamiento consiste, básicamente, en dos pistas o anillos (pista interior y pista exterior) o, en el caso de los rodamientos axiales, arandelas (arandela superior y arandela inferior), entre los cuales se alojan los elementos rodantes (bolas o rodillos) que discurren por las pistas de rodadura. Para prevenir que los elementos rodantes interactúen entre sí, estos están alojados en jaulas o separadores, tal y como se puede ver en la Figura 6.



**Fuente:** Budynas y Nisbett.

Figura 6. Partes fundamentales de un rodamiento

**Pista interna:** Se refiere al camino sobre el cual ruedan las bolas o rodillos. Este camino, se encuentra en toda la periferia externa del anillo (pista) más pequeño (o interior) del rodamiento. La pista interna se ocupa para fijar el rodamiento sobre la flecha o eje.

**Pista externa:** Es el camino en sobre el cual ruedan las bolas o rodillos. Este camino, se encuentra en toda la periferia interna del anillo más grande (o exterior) del rodamiento. La pista exterior se ocupa para sujetar el eje y a la vez permitirle girar libremente.

**Elemento rodante:** Se refiere al elemento que permite la movilidad entre los dos anillos y, por ende, entre los dos elementos mecánicos, pueden ser bolas (como en el caso de los rodamientos utilizados en esta tesis), pero también existen en forma de rodillos o cilindros y también existen combinaciones de

ambos. Así pues, cuando se hace mención a rodamientos de bolas o rodamientos de rodillos, se hace referencia a la forma de los elementos rodantes que componen dicho rodamiento.

**Jaula:** Es un componente (especie de "barandal") que permite mantener a los elementos rodantes separados entre sí.

#### 2.2.3.4. Cálculo del calado de rodamientos

Para mostrar cómo se calcula el correcto calado de rodamientos por medio de tablas, realizaremos un procedimiento teniendo como ejemplo el rodamiento 22340CCK/W33.

El procedimiento sería el siguiente:

##### **Paso 1**

Comprobamos que no exista errores de fabricación en el rodamiento, para ello medimos el juego radial antes del montaje, el diámetro interno del rodamiento de la chancadora cónica HP6, mide 200 mm. De acuerdo a los valores presentados en el Cuadro 2, se ha establecido que dicho parámetro se encuentra dentro del rango de juego radial de 180 mm a 200 mm, en consecuencia, se tiene que el juego radial interno también oscila entre 160 mm a 220 mm. valor aceptable para el inicio del montaje de los rodamientos.

Cuadro 2. Valores de reducción de juego radial interno

Diámetro del agujero d		Juego radial interno									
más de	hasta incl.	C2		Normal		C3		C4		C5	
		min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx
mm		μm									
24	30	20	30	30	40	40	55	55	75	-	-
30	40	25	35	35	50	50	65	65	85	85	105
40	50	30	45	45	60	60	80	80	100	100	130
50	65	40	55	55	75	75	95	95	120	120	160
65	80	50	70	70	95	95	120	120	150	150	200
80	100	55	80	80	110	110	140	140	180	180	230
100	120	65	100	100	135	135	170	170	220	220	280
120	140	80	120	120	160	160	200	200	260	260	330
140	160	90	130	130	180	180	230	230	300	300	380
160	190	100	140	140	200	200	260	260	340	340	430
180	200	110	160	160	220	220	290	290	370	370	470
200	225	120	180	180	250	250	320	320	410	410	520
225	250	140	200	200	270	270	350	350	450	450	570
250	280	150	220	220	300	300	390	390	490	490	620
280	315	170	240	240	330	330	430	430	540	540	680
315	355	190	270	270	360	360	470	470	590	590	740
355	400	210	300	300	400	400	520	520	650	650	820
400	450	230	330	330	440	440	570	570	720	720	910
450	500	260	370	370	490	490	630	630	790	790	1 000
500	560	290	410	410	540	540	680	680	870	870	1 100
560	630	320	460	460	600	600	760	760	980	980	1 230
630	710	350	510	510	670	670	850	850	1 090	1 090	1 360
710	800	390	570	570	750	750	960	960	1 220	1 220	1 500

Fuente: Arias Vargas

Como el juego real obtenido es de 200 μ, equivalente a 0.2 mm, podemos decir que está dentro del rango según la tabla técnica de datos, con ello podemos confirmar la calidad del rodamiento.

## Paso 2

Calculamos el juego radial con el que debe quedar el rodamiento después del montaje con ayuda de los datos determinados en el Cuadro 3, quedando establecido en 0.090mm como mínimo y de 0.130 mm como máximo.



Cuadro 3. Juego radial de rodamientos de rodillos a rótula

Diámetro del agujero d más de hasta incl.		Reducción del juego radial interno		Calado axial <sup>1)</sup>				Juego radial residual <sup>2)</sup> permisible después del montaje de los rodamientos con un juego inicial			Ángulo de apriete de la tuerca de fijación α
mm	mm	mm	mm	Cono 1:12		Cono 1:30		Normal	C3	C4	Conicidad 1:12
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	grados
24	30	0,015	0,020	0,3	0,35	-	-	0,015	0,020	0,035	110
30	40	0,020	0,025	0,35	0,4	-	-	0,015	0,025	0,040	120
40	50	0,025	0,030	0,4	0,45	-	-	0,020	0,030	0,050	130
50	65	0,030	0,040	0,45	0,6	3	4	0,025	0,035	0,055	110
65	80	0,040	0,050	0,6	0,7	3,2	4,2	0,025	0,040	0,070	130
80	100	0,045	0,060	0,7	0,9	1,7	2,2	0,035	0,050	0,080	150
100	120	0,050	0,070	0,75	1,1	1,9	2,7	0,050	0,065	0,100	-
120	140	0,065	0,090	1,1	1,4	2,7	3,5	0,055	0,080	0,110	-
140	160	0,075	0,100	1,2	1,6	3	4	0,055	0,090	0,130	-
160	180	0,090	0,110	1,3	1,7	3,2	4,2	0,060	0,100	0,150	-
180	200	0,090	0,130	1,4	2	3,5	5	0,070	0,100	0,160	-
200	225	0,100	0,140	1,6	2,2	4	5,5	0,080	0,120	0,180	-
225	250	0,110	0,150	1,7	2,4	4,2	6	0,090	0,130	0,200	-
250	280	0,120	0,170	1,9	2,7	4,7	6,7	0,100	0,140	0,220	-
280	315	0,130	0,190	2	3	5	7,5	0,110	0,150	0,240	-
315	355	0,150	0,210	2,4	3,3	6	8,2	0,120	0,170	0,260	-
355	400	0,170	0,230	2,6	3,6	6,5	9	0,130	0,190	0,290	-
400	450	0,200	0,260	3,1	4	7,7	10	0,130	0,200	0,310	-

Fuente: Arias Vargas

Como el juego real obtenido es de 200 μ (con el uso de láminas de calibradores de espesor), la tolerancia del juego mínimo es de 0.07 mm y el juego máximo de 0.11 mm, calculado de la siguiente manera:

- Juego mínimo =  $0.2 - 0.130 = 0.07$  mm
- Juego máximo =  $0.2 - 0.090 = 0.11$  mm

### Paso 3

Montamos el rodamiento y ajustamos la tuerca con una llave de impacto TMFN controlando que el juego radial final esté dentro del rango calculado, entre 0.07 y 0.11 mm.

Las llaves de gancho TMFT dan un mejor ajuste y evita el daño a las tuercas de seguridad, según se muestra en la Figura 7.



Fuente: Arias Vargas

Figura 7. Llave de gancho TMFT para ajuste de tuerca

#### 2.2.4. Definición de términos básicos

- **Cojinete**

“Pieza en que se apoya y gira el eje de un mecanismo” (Wikipedia, 2018)

- **Confiabilidad**

“Según Lafraia (2001), es la probabilidad de que una parte de la máquina o del producto funcione adecuadamente en un momento determinado y bajo unas condiciones establecidas” (Lafraia, 2001).

- **Desgaste**

“Partes pequeñas de material que se han desprendido debido al uso o por el roce de dos superficies en contacto” (Wikipedia, 2018).

- **Disponibilidad**

“Según Lafraia (2001), es el porcentaje del tiempo en que una máquina está en condiciones de uso para desempeñar su actividad” (Lafraia (2001).

- **Mantenimiento**

Cualquier actividad como comprobaciones, mediciones, reemplazos, ajustes y reparaciones necesarias para mantener o reparar una unidad funcional de forma que esta pueda cumplir sus funciones. Todas aquellas acciones llevadas a cabo para mantener los materiales en una condición adecuada o los procesos para lograr esta condición. Incluyen acciones de inspección, comprobaciones, clasificación, reparación, etc.

Conjunto de acciones de provisión y reparación necesarias para que un elemento continúe cumpliendo su cometido. Rutinas recurrentes necesarias para mantener unas instalaciones (planta, edificio, propiedades inmobiliarias, etc.) en las condiciones adecuadas para permitir su uso de forma eficiente, tal como está designado.

- **Mantenimiento de Actualización**

Tiene como propósito compensar la obsolescencia tecnológica o las nuevas exigencias que en el momento de construcción no existían o no fueron tenidas en cuenta pero que en la actualidad sí deben serlo.

- **Mantenimiento Correctivo**

Es el encargado de corregir fallas o averías observadas.

- **Mantenimiento Correctivo Diferido**

“Al momento de producirse la avería o falla, se produce un paro de la instalación o equipamiento de que se trate, para posteriormente afrontar la reparación, solicitándose los medios para ese fin” (Wikipedia, 2018).

- **Mantenimiento Correctivo Inmediato**

“Es el que se realiza inmediatamente de aparecer la avería o falla, con los medios disponibles, destinados a ese fin” (Wikipedia, 2018)

- **Mantenimiento de Conservación**

“Está destinado a compensar el deterioro de equipos sufrido por el uso, de acuerdo a las condiciones físicas y químicas a las que fue sometido. En el mantenimiento de conservación pueden diferenciarse:” (Wikipedia, 2018).

- **Mantenimiento de Oportunidad**

Es el que aprovecha las paradas o periodos de no uso de los equipos para realizar las operaciones de mantenimiento, realizando las revisiones o reparaciones necesarias para garantizar el buen funcionamiento de los equipos en el nuevo periodo de utilización.

- **Mantenimiento Predictivo**

Es aquel que realiza las intervenciones prediciendo el momento que el equipo quedara fuera de servicio mediante un seguimiento de su funcionamiento determinando su evolución, y por tanto el momento en el que las reparaciones deben efectuarse.

- **Mantenimiento Preventivo**

Dicho mantenimiento está destinado a garantizar la fiabilidad de equipos en funcionamiento antes de que pueda producirse un accidente o avería por algún deterioro.

- **Mantenimiento Programado**

Realizado por programa de revisiones, por tiempo de funcionamiento, kilometraje, etc.

- **Montaje**

Es el proceso mediante el cual se emplaza cada pieza en su posición definitiva dentro de una estructura.

- **Potencia**

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

- **Rodamiento**

“Es un elemento rotativo inventado por el ingeniero, inventor y empresario Sueco Sven Gustaf Wingqvist. Los más comunes son: bolas, de rodillos o de agujas. En los rodamientos el movimiento rotativo, según el sentido del esfuerzo que soporta, puede ser axial, radial, o una combinación de ambos. Un rodamiento radial es el que soporta esfuerzos radiales, que son esfuerzos de dirección normal a la dirección que pasa por el centro de su eje, como por ejemplo una rueda; es axial si soporta esfuerzos en la dirección de su eje, como por ejemplo en los quicios o bisagras de puertas y ventanas; y axial-radial si los puede soportar en los dos, de forma alternativa o combinada” (Wikipedia, 2018).

- **Lubricación**

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

- **Temperatura**

La temperatura es la medida de la cantidad de energía térmica poseída por un objeto.

Galileo desarrolló el primer instrumento para medir la temperatura, fue refinado y calibrado por científicos subsiguientes. Las escalas Fahrenheit, Celsius y Kelvin son tres diferentes sistemas para la medición de energía térmica (temperatura) basada en diferentes referencias.

- De Escala Fahrenheit a Escala Kelvin

$$K = \frac{5}{9x} ({}^{\circ}F - 32) + 273,15$$

- De Escala Kelvin a Escala Fahrenheit

$${}^{\circ}F = \frac{9}{5x} (K - 273,15) + 32$$

- De Escala Celsius a Escala Kelvin

$$K = {}^{\circ}C + 273,15$$

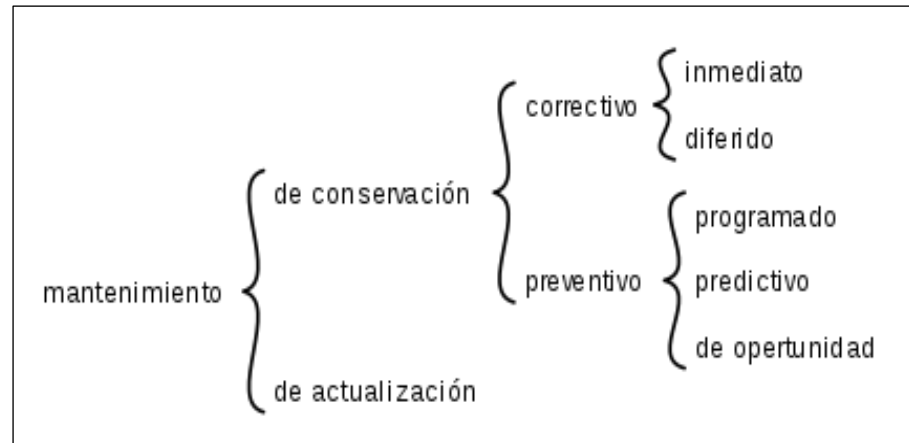
- De Escala Kelvin a Escala Celsius

$$C = K - 273,15$$

- **Tipos de Mantenimiento**

Mantenimiento: es el conjunto de actividades que tienen como propósito conservar o reactivar un equipo para que cumpla sus funciones.

En las operaciones de mantenimiento pueden diferenciarse las definiciones que se señalan en la Figura 8.



Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Mantenimiento>

Figura 8. Operaciones de mantenimiento

- **Torque**

Es una fuerza aplicada a una distancia dada y tiende a generar rotación. Tiene relación con la capacidad de entregar energía (para la rotación de un impulsor).

## **CAPÍTULO III**

### **3.1. CONFIABILIDAD Y VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO**

La confiabilidad y la validación de los instrumentos utilizados en esta investigación, los da el proveedor del sistema de gestión SAP. El sistema SAP, siglas de Systems, Applications, Products in Data Processing, en español Sistemas, Aplicaciones y Productos para el procesamiento de datos, es un programa elaborado por SAP SE empresa multinacional alemana dedicada al diseño de productos informáticos de gestión empresarial, tanto para empresas como para organizaciones privadas y organismos públicos.

### **3.2. ANALISIS CUANTITATIVO DE LAS VARIABLES**

A continuación, se muestra todo el proceso realizado durante la ejecución del estudio.

#### **3.2.1. Diagnóstico de la trituradora HP6**

Se recopiló e investigó sobre las fallas prematuras de los rodamientos mecánicos de la trituradora cónica HP6. La trituradora cónica HP6 tienen puntos que necesitan de mantenimiento preventivo, por el trabajo



continuo que realizan en la planta concentradora ya que por principio deben trabajar aproximadamente 24 horas diarias.

A continuación, presentamos los datos recolectados de las fallas de los rodamientos de la trituradora cónica HP6, estos datos que se presentan en las siguientes tablas son datos estadísticos obtenidos del sistema de gestión de la planta concentradora de la Compañía El Brocal S.A.A.

Para determinar la vida útil de los rodamientos, se ha procedido a calcular el promedio de horas de operación de la chancadora trituradora HP6. En la Tabla 1 se muestra el promedio mensual diario de horas operativas del equipo, lo cual ha permitido determinar que el promedio diario de los 6 meses de evaluación previa, ha sido de 14.42 h. como demuestra el Anexo 2.

Tabla 1. Promedio mensual de horas de operación chancadora trituradora HP6 – 2017

DIA	MES - HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO					
	jul-17	ago-17	set-17	oct-17	nov-17	dic-17
1	18	13	15	14	15	17
2	16	14	14	13	16	15
3	14	14	18	19	15	14
4	15	18	19	15	14	18
5	18	17	17	7	11	11
6	14	15	15	16	17	15
7	15	17	18	12	16	14
8	18	8	9	16	14	9
9	17	19	15	18	16	14
10	13	12	16	10	14	15
11	8	18	15	16	13	17
12	16	13	12	15	8	9
13	17	11	18	12	16	16
14	15	15	13	17	14	18
15	14	16	16	9	16	16
16	18	15	17	11	18	10
17	11	7	12	14	17	9
18	16	16	16	15	8	16
19	15	14	15	13	19	15
20	13	16	13	14	17	13
21	17	15	11	13	15	17
22	14	14	19	16	14	19
23	14	10	18	18	13	15
24	11	15	17	15	15	11
25	10	17	14	7	17	8
26	14	15	13	17	14	17
27	16	16	12	16	12	14
28	15	15	20	12	13	16
29	17	7	19	10	11	13
30	8	19	18	8	14	12
TOTAL	437	431	464	408	432	423
PROM MENSUAL	14,57	14,37	15,47	13,60	14,40	14,10

Fuente: Oficina de Mantenimiento y Planeamiento – Soc. Minera Brocal S.A.A.

La temperatura de funcionamiento de los rodamientos es de 35 grados centígrados, durante el funcionamiento de la trituradora cónica HP6, y por descuido de los operadores la temperatura se elevaba hasta una temperatura mayor a 160 grados centígrados, se quemaban los dos rodamientos de la trituradora cónica HP6, estas fallas ocurrían de 9 a 13 días (por que se olvidaban de enfriar con aire comprimido para mantener

la temperatura adecuada de los rodamientos), estos datos de vida útil se muestran en la Tabla 2.


Tabla 2. Vida útil del rodamiento de la trituradora cónica HP6 del año 2017

CAMPO CLASIFICACIÓN	EQUIPO	DESCRIPCIÓN	INICIO VIDA ÚTIL	FIN VIDA ÚTIL	DÍAS	DURACIÓN (h)
Trituradora Cónica HP6	TRIT-0001-PC	Cambio de rodamiento	14/07/2017	25/07/2017	11	159
Trituradora Cónica HP6	TRIT-0001-PC	Cambio de rodamiento	26/07/2017	05/08/2017	10	144
Trituradora Cónica HP6	TRIT-0001-PC	Cambio de rodamiento	06/08/2017	18/08/2017	12	173
Trituradora Cónica HP6	TRIT-0001-PC	Cambio de rodamiento	19/08/2017	28/08/2017	9	130
Trituradora Cónica HP6	TRIT-0001-PC	Cambio de rodamiento	29/08/2017	10/09/2017	12	173
Trituradora Cónica HP6	TRIT-0001-PC	Cambio de rodamiento	11/09/2017	22/09/2017	11	159
Trituradora Cónica HP6	TRIT-0001-PC	Cambio de rodamiento	23/09/2017	06/10/2017	13	187
Trituradora Cónica HP6	TRIT-0001-PC	Cambio de rodamiento	07/10/2017	18/10/2017	11	159
Trituradora Cónica HP6	TRIT-0001-PC	Cambio de rodamiento	19/10/2017	31/10/2017	12	173
Trituradora Cónica HP6	TRIT-0001-PC	Cambio de rodamiento	02/11/2017	12/11/2017	10	144
Trituradora Cónica HP6	TRIT-0001-PC	Cambio de rodamiento	13/11/2017	25/11/2017	12	173
Trituradora Cónica HP6	TRIT-0001-PC	Cambio de rodamiento	26/11/2017	07/12/2017	11	159

Fuente: Sociedad Minera el Brocal.

El Cuadro 4, muestra el reporte de monitoreo y análisis de vibraciones obtenidas en la planta de chancado sociedad minera el Brocal, obtenido de los reportes que se muestran en el Anexo 3.

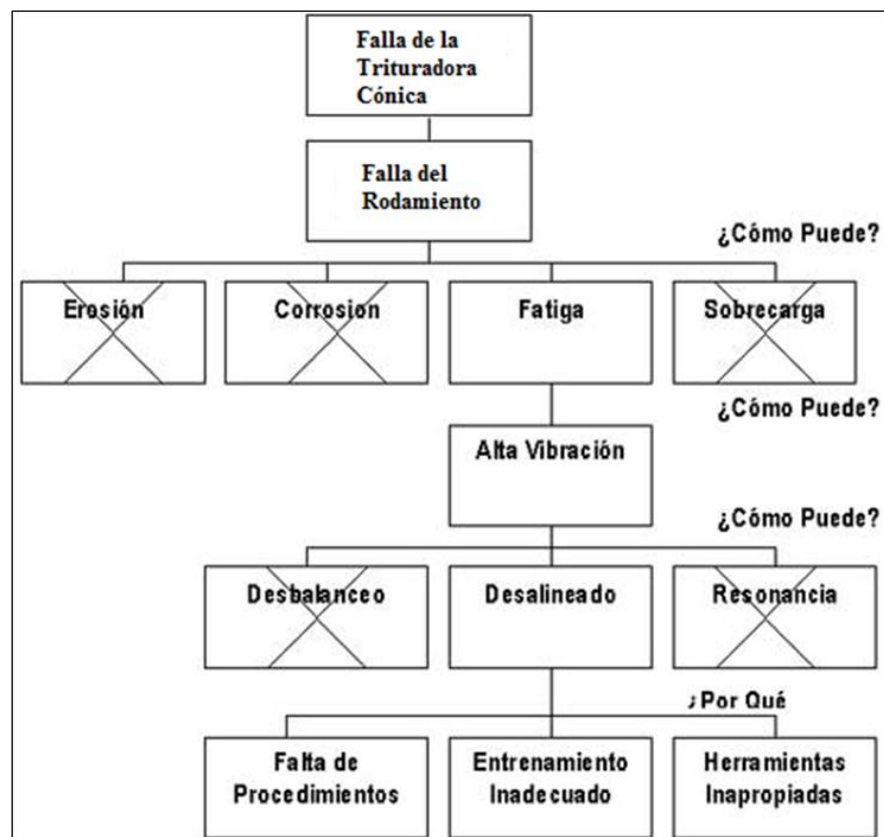
Cuadro 4. Reporte de monitoreo y análisis vibracional

 <b>REPORTE DE MONITOREO Y ANÁLISIS VIBRACIONAL 2017</b> <b>PLANTA CHANCADO SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A.</b>								
SEM	Nº	ACTIVO TAG	CÓDIGO SAP	EQUIPO	FECHA PROG	DIAGNÓSTICO	TEMPERATURA	SITUACIÓN
SEM 10	1	100-SC-001	CHA-0001-OX	CHANCADORA SECUNDARIA CÓNICA HP 6	14-Jul-17	CHANCADORA.- Se evidencia un incremento lineal creciente en el valor de PeakVue ( estado de rodamientos) en la chumacera lado acople punto 3. con respecto a la temperatura hubo un incremento por tema de lubricación que se realizó el día anterior	65° C	OBSERVACIÓN
SEM 11	2	100-CR-002	CHA-0002-OX	CHANCADORA SECUNDARIA CÓNICA HP 6	26-Jul-17	CHANCADORA.- Se evidencia un incremento con tendencia lineal de temperatura en la chumacera lado polea punto 3.	67° C	OBSERVACIÓN
SEM 12	3	100-SC-003	CHA-0003-OX	CHANCADORA SECUNDARIA CÓNICA HP 6	06-Ago-17	CHANCADORA.- Se evidencia un incremento con tendencia lineal de temperatura en la chumacera lado motor punto 3. Mantener el seguimiento de la temperatura en todo el equipo, lo cual se recomienda enfriar con aire dicho punto para mantener la operatividad del equipo.	63° C	OBSERVACIÓN
SEM 13	4	100-CR-004	CHA-0004-OX	CHANCADORA SECUNDARIA CÓNICA HP 6	19-Ago-17	CHANCADORA.- Se evidencia un incremento con tendencia lineal de temperatura en la chumacera lado polea punto 3. Mantener el seguimiento de la temperatura en todo el equipo, lo cual se recomienda enfriar con aire dicho punto para mantener la operatividad del equipo.	59° C	OBSERVACIÓN
SEM 14	5	100-CR-005	CHA-0005-OX	CHANCADORA SECUNDARIA CÓNICA HP 6	29-Ago-17	CHANCADORA.- Se evidencia un incremento de temperatura en la chumacera lado motor punto 3. En funcionamiento se fatigo el rodamiento, lo cual se recomienda cambio de chumacera lado motor	130° C	CRÍTICO
SEM 15	6	100-CR-006	CHA-0006-OX	CHANCADORA SECUNDARIA CÓNICA HP 6	11-Set-17	CHANCADORA.- Se evidencia un incremento con tendencia lineal de temperatura en la chumacera lado polea punto 3. Mantener el seguimiento de la temperatura en todo el equipo, lo cual se recomienda enfriar con aire dicho punto para mantener la operatividad del equipo.	72° C	OBSERVACIÓN
SEM 16	7	100-CR-007	CHA-0007-OX	CHANCADORA SECUNDARIA CÓNICA HP 6	23-Set-17	CHANCADORA.- Se evidencia un incremento de temperatura en la chumacera lado polea punto 3. En funcionamiento se fatigo el rodamiento, lo cual se recomienda cambio de chumacera lado polea.	120° C	CRÍTICO
SEM 17	8	100-CR-008	CHA-0008-OX	CHANCADORA SECUNDARIA CÓNICA HP 6	07-Oct-17	CHANCADORA.- Se evidencia un incremento con tendencia lineal de temperatura en la chumacera lado polea punto 3. Mantener el seguimiento de la temperatura en todo el equipo, lo cual se recomienda enfriar con aire dicho punto para mantener la operatividad del equipo.	56° C	OBSERVACIÓN
SEM 18	9	100-CR-009	CHA-0009-OX	CHANCADORA SECUNDARIA CÓNICA HP 6	19-Oct-17	CHANCADORA.- Se evidencia un incremento con tendencia lineal de temperatura en la chumacera lado polea punto 3. Mantener el seguimiento de la temperatura en todo el equipo, lo cual se recomienda enfriar con aire dicho punto para mantener la operatividad del equipo.	68° C	OBSERVACIÓN
SEM 19	10	100-CR-010	CHA-00010-OX	CHANCADORA SECUNDARIA CÓNICA HP 6	02-Nov-17	CHANCADORA.- Se evidencia un incremento de temperatura en la chumacera lado polea punto 3. En funcionamiento se fatigo el rodamiento, lo cual se recomienda cambio de chumacera lado polea.	140° C	CRÍTICO
SEM 20	11	100-CR-010	CHA-00011-OX	CHANCADORA SECUNDARIA CÓNICA HP 6	13-Nov-17	CHANCADORA.- Se evidencia un incremento de temperatura en la chumacera lado polea punto 3. En funcionamiento se fatigo el rodamiento, lo cual se recomienda cambio de chumacera lado polea.	66° C	OBSERVACIÓN
SEM 21	12	100-CR-010	CHA-00012-OX	CHANCADORA SECUNDARIA CÓNICA HP 6	26-Nov-17	CHANCADORA.- Se evidencia un incremento de temperatura en la chumacera lado polea punto 3. En funcionamiento se fatigo el rodamiento, lo cual se recomienda cambio de chumacera lado polea.	70° C	OBSERVACIÓN

Fuente: Área de Planeamiento de Sociedad Minera el Brocal.

Para la realización del análisis de falla de la trituradora cónica HP6 de la planta concentradora sociedad minera el Brocal se hizo a través del presente árbol de análisis como se muestra en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Árbol análisis de falla de la trituradora cónica HP6



Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2. Procedimiento del alineamiento de la trituradora cónica HP6.

El procedimiento que se debe seguir para realizar el alineamiento de poleas, y calado de rodamientos de chumaceras de Chancadora Cónica HP6 N° 3 y 4 Pb/Zn, garantizando una tarea óptima y segura, minimizando los costos, evitando incidentes, daños al personal y al medio ambiente como se muestra en el Anexo 4.

#### 3.2.2.1. Transmisión de Poleas

Se conoce como Sistema Transmisión de Poleas a un tipo de transmisión mecánica basado en la unión de dos o más poleas,

sujetas a un movimiento de rotación, por medio de una cinta o correa continua, la cual abraza a las poleas ejerciendo fuerza de fricción suministrándoles energía desde la rueda motriz.

Es importante destacar que las correas de transmisión basan su funcionamiento fundamentalmente en las fuerzas de fricción, esto las diferencia de otros medios flexibles de transmisión mecánica, como lo son las cadenas de transmisión y las correas dentadas las cuales se basan en la interferencia mecánica entre los distintos elementos de la transmisión.

Las correas de transmisión son generalmente hechas de goma, y se pueden clasificar en dos tipos: planas y trapezoidales.

### **3.2.2.2. Transmisión entre ejes**

Un acoplamiento o cople mecánico son elementos de una máquina que sirve para prolongar líneas de transmisión de ejes o conectar tramos de diferentes ejes, en planos diferentes o con dirección paralela, para transmitir energía.

Estos dispositivos de acople también cumplen con la función de proteger su sistema y el mismo mecanismo de sujeción contra cargas y fuerzas excesivas.

Los acoplamientos pueden tener muchas funciones, pero su propósito principal es el conectar los ejes de las unidades que fueron manufacturados por separados y que giran como el motor o el generador.

Estos, sin embargo, sí permiten un cierto movimiento final o desalineación para la flexibilidad y también proporcionan una

fácil desconexión de los dos dispositivos independientes para las reparaciones o modificaciones. Además, reducen el choque que se transmite de un eje a otro, protegen contra las sobrecargas y pueden alterar la cantidad de vibraciones que experimenta una unidad giratoria

### **3.2.2.3.Requerimiento de equipos**

Para la realización del procedimiento de alineación se requiere los siguientes equipos:

- Alineador laser
- Alineador de poleas
- Tensiómetro

### **3.2.2.4.Requerimiento de Herramientas**

Las herramientas utilizadas fueron:

- Un pirómetro
- Un pie de rey
- Un calibrador de láminas
- Dos llaves mixtas de  $\frac{3}{4}$ "
- Dos llaves mixtas 1"  $\frac{7}{16}$ "
- Dos llaves mixtas 1"  $\frac{1}{2}$ "
- Dos llaves francesas 18"
- Dos llaves francesas 24"
- Una llave allen 10 mm
- Un desarmador plano 6"
- Un desarmador plano 8"
- Una grasera

- Dos patas de cabra

### **3.2.2.5.Requerimiento de Repuestos**

Los repuestos necesarios utilizados fueron:

- Diez unidades de faja 8V5000
- Diez unidades de pernos ½” x 1”

### **3.2.2.6.Requerimiento de Materiales**

Los materiales utilizados en el procedimiento fueron:

- Tres kg de trapo industrial
- Cinco kg grasa XHP222
- Cinco gl desengrasante

### **3.2.3. Procedimientos de ejecución de alineamiento de poleas, alineamiento de ejes y medición de holguras con calibrador de láminas.**

El procedimiento para la ejecución del alineamiento se dio de la siguiente manera:

- Coordinar con el técnico electricista de turno para el bloqueo y etiquetado del equipo en sala.
- Verificar la energía residual.
- Verificar que todos los participantes colocaron su candado y etiqueta.
- Retirar las guardas de protección de las fajas de transmisión
- Verificar alineamiento de poleas con equipo laser.
- Aflojar pernos de base motor - eje flotante y mover para destensado de correas de transmisión y desmontar las correas.
- Desmontaje de cubierta y tapas de acoplamiento.



- Verificar alineamiento de ejes de motor – eje flotante con alineador laser.
- Retiro de pernos de motor eléctrico para colocar o retirar laminas en el proceso de alineamiento.
- Medir con calibrador de láminas (Distancia entre coples), debe estar con 6mm +/- 0.6mm.
- Montaje de cubierta y tapas de acoplamiento.
- Desmontaje de tapas de chumaceras, retiro de grasa excedente.
- Toma de medida de calado de rodamiento 22226 C3. Para este procedimiento se debe tomar en cuenta la tabla de Disminución del Juego Radial de la marca del rodamiento, actualmente se trabaja con la marca TIMKEN.
- Realizar ajuste de manguito si fuera necesario.
- Montaje de tapas de chumaceras y ajuste.
- Montar correas de transmisión y mover la base motor - eje flotante para el tensado de correas de transmisión.
- Alinear poleas con equipo laser.
- Tensar correas de transmisión.
- Ajustar pernos de base motor - eje flotante.
- Colocar las guardas de protección.

A continuación, en la Tabla 3 se detalla la tensión mínima y máxima que deben aplicarse en las correas de transmisión 8V y SPC, de la Chancadora HP6.

Tabla 3. Tensión a aplicar en las correas de transmisión – Chancadora HP6

Sección	Correas simples		Correas dobles	
	Tensión mínima kg	Tensión máxima kg	Tensión mínima kg	Tensión máxima kg
8 v	15.4	22.7	18.1	27.2
SPC	10.4	15.4	11.8	18.1

Fuente: Manual de partes de la Chancadora HP6 - METSO

Finalmente se procede a los siguientes pasos:

- Coordinar con el técnico electricista de turno para retirar el desbloqueo del equipo en la sala eléctrica.
- El líder de grupo realizará el retiro del bloqueo en el equipo.
- Informar al encargado del área o Supervisor de Procesos la finalización del trabajo y el inicio de la prueba del equipo.
- Realizar la prueba del equipo en presencia del Supervisor de Proceso y/o encargado del área.
- Entregar el equipo al Supervisor de Proceso y/o encargado del área utilizando el formato SMEB –FOR –XXX Entrega de Equipos, el cual debe ser firmado en señal de conformidad del trabajo.
- Ordenar y limpiar la zona de trabajo.

#### 3.2.4. Vida útil de los rodamientos después del tratamiento

En la Tabla 4 se muestra el promedio mensual diario de horas operativas del equipo, después de haberse determinado el tipo de falla recurrente en los rodamientos de la Chancadora trituradora HP6, lo cual ha permitido determinar que el promedio diario de los 6 meses de evaluación posterior, es de 20.97 h., significando un incremento de operación del equipo en un 45.43%.

Tabla 4. Promedio mensual de horas de operación chancadora trituradora HP6 - 2018

DIA	MES - HORAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO					
	ene-18	feb-18	mar-18	abr-18	may-18	jun-18
1	23	10	23	10	23	10
2	22	23	10	23	22	23
3	23	21	23	23	23	22
4	19	22	23	22	10	21
5	20	23	22	23	21	18
6	21	21	21	24	23	24
7	22	23	20	22	22	23
8	19	22	19	21	23	21
9	21	20	23	23	19	22
10	23	19	22	23	21	23
11	10	23	21	22	23	20
12	19	22	23	21	22	23
13	21	21	23	23	21	22
14	20	20	22	19	19	21
15	22	10	21	20	20	20
16	19	23	23	23	21	22
17	23	22	22	10	23	23
18	19	23	10	23	22	22
19	23	21	21	21	21	10
20	22	19	23	22	23	21
21	21	23	22	23	21	20
22	23	22	23	22	20	22
23	22	23	23	23	22	23
24	23	21	21	21	21	21
25	21	20	19	20	21	20
26	23	23	21	23	22	19
27	19	21	23	19	23	21
28	20	21	22	21	19	22
29	23	22	21	22	17	21
30	22	23	23	23	20	23
TOTAL	628	627	633	635	628	623
PROMEDIO MENSUAL	20,93	20,90	21,10	21,17	20,93	20,77

Fuente: Oficina de Mantenimiento y Planeamiento – Sociedad Minera Brocal S.A.A.

En la Tabla 5 se detalla las averías de los rodamientos de la trituradora HP6 de la planta concentradora en Sociedad Minera El Brocal, asimismo, se puede apreciar detalladamente que la vida útil de los rodamientos oscila entre 90 a 118 días, con lo cual a simple vista se puede deducir que dicha vida útil es superior al promedio de la vida útil de los rodamientos antes del tratamiento.

Tabla 5. Vida útil del rodamiento después del tratamiento

CAMPO CLASIFICACIÓN	EQUIPO	DESCRIPCIÓN	INICIO VIDA ÚTIL	FIN VIDA ÚTIL	DÍAS	DURACIÓN (h)
Trituradora Cónica HP6	TRIT-0001-PC	-	02/01/2018	31/01/2018	30	629
Trituradora Cónica HP6	TRIT-0001-PC	-	01/02/2018	28/02/2018	28	587
Trituradora Cónica HP6	TRIT-0001-PC	-	01/03/2018	31/03/2018	30	629
Trituradora Cónica HP6	TRIT-0001-PC	Cambio de rodamiento	01/04/2018	30/04/2018	30	629
Trituradora Cónica HP6	TRIT-0001-PC	-	02/05/2018	31/05/2018	30	629
Trituradora Cónica HP6	TRIT-0001-PC	-	01/06/2018	30/06/2018	30	629
Trituradora Cónica HP6	TRIT-0001-PC	Cambio de rodamiento	01/07/2018	15/07/2018	14	294

Fuente: Sociedad Minera el Brocal.

### 3.2.5. Costo de Mantenimiento de rodamientos después del tratamiento

Los costos de mantenimiento se muestran en la Tabla 6 el antes y después de aplicar el tratamiento de los rodamientos se demuestra en el Anexo 5.

Tabla 6. Costo de mantenimiento de los rodamientos

N° de muestras	Mes	Horas operativas	
		Antes	Después
		Costo de rodamiento (\$)	Costo de rodamiento (\$)
1	enero	6360	0
2	febrero	6360	0
3	marzo	6360	0
4	abril	6360	6360
5	mayo	6360	0
6	junio	6360	0
7	julio	6360	6360
8	agosto	6360	0
9	septiembre	6360	0
10	octubre	6360	6360
11	noviembre	6360	0
12	diciembre	6360	0
<b>Total</b>		<b>76320</b>	<b>19080</b>

Fuente: Área de Ingeniería de Planeamiento Sociedad Minera el Brocal.

Se puede apreciar que hay una diferencia de gastos por mantenimiento de la trituradora cónica HP6 entre los años 2017 (\$ 76320.00) y 2018 (\$ 19080), haciendo

un análisis se tiene un ahorro el 2018 del 75% en comparación al costo total del año 2017.

### 3.3. PRUEBA DE NORMALIDAD

La prueba de normalidad se realizó con eso del software SPSS versión 25.

#### 3.3.1. Prueba de normalidad de la hipótesis general

Los datos de vida útil de los rodamientos tomados de los años 2017 y 2018 para la muestra de normalidad se observan en la Tabla 7.

Tabla 7. Datos para prueba de normalidad (vida útil)

N° de muestras	Descripción	Vida Útil	
		Antes	Después
		Días	Días
1	Cambio de rodamiento	11	30
2	Cambio de rodamiento	10	28
3	Cambio de rodamiento	12	30
4	Cambio de rodamiento	9	30
5	Cambio de rodamiento	12	30
6	Cambio de rodamiento	11	30
7	Cambio de rodamiento	13	14
8	Cambio de rodamiento	11	0
9	Cambio de rodamiento	12	0
10	Cambio de rodamiento	10	0
11	Cambio de rodamiento	12	0
12	Cambio de rodamiento	11	0

Fuente: Elaboración propia SPSS

Para nuestro caso aplicaremos la prueba de normalidad de Shapiro Wilk ya que nuestra muestra es menor a 30, los resultados se observan en la Tabla 8.

Tabla 8. Prueba de normalidad (hipótesis general)

Descripción	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Vida útil de los rodamientos antes - 2017	0.172	7	,200*	0.967	7	0.873
Vida útil de los rodamientos después - 2018	0.395	7	0.001	0.523	7	0.472

Fuente: Elaboración propia SPSS

Los valores son mayores al valor de significancia como se muestra en la Tabla 9, por lo que se concluye con la aceptación de los datos de la vida útil de los rodamientos antes y después provienen de una distribución normal.

Tabla 9. Comparación con el valor de significancia

Normalidad		
0.873	>	0.05
0.472	>	0.05

Fuente: Elaboración propia SPSS

### 3.3.2. Prueba de normalidad de las hipótesis específicas.

Los datos de las horas operativas de los rodamientos tomados de los años 2017 y 2018 para la muestra de normalidad se observan en la Tabla 10.

Tabla 10. Datos para prueba de normalidad (horas operativas)

N° de muestras	Descripción	Horas operativas	
		Antes	Después
		Duración (h)	Duración (h)
1	Cambio de rodamiento	159	629
2	Cambio de rodamiento	144	587
3	Cambio de rodamiento	173	629
4	Cambio de rodamiento	130	629
5	Cambio de rodamiento	173	629
6	Cambio de rodamiento	159	629
7	Cambio de rodamiento	187	294
8	Cambio de rodamiento	159	0
9	Cambio de rodamiento	173	0
10	Cambio de rodamiento	144	0
11	Cambio de rodamiento	173	0
12	Cambio de rodamiento	159	0

Fuente: Elaboración propia SPSS

Para nuestro caso aplicaremos la prueba de normalidad de Shapiro Wilk ya que nuestra muestra es menor a 30, los resultados se observan en la Tabla 11.

Tabla 11. Prueba de normalidad (hipótesis específica)

Descripción	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Horas de operación de los rodamientos antes - 2017	0.179	7	,200 <sup>*</sup>	0.964	7	0.854
Horas de operación de los rodamientos después - 2018	0.395	7	0.001	0.524	7	0.464

Fuente: Elaboración propia SPSS

Los valores son mayores al valor de significancia como se muestra en la Tabla 12, por lo que se concluye con la aceptación de los datos de la vida útil antes y después provienen de una distribución normal.

Tabla 12. Comparación con el valor de significancia

<b>Normalidad</b>		
0.854	>	0.05
0.464	>	0.05

Fuente: Elaboración propia SPSS



## CAPÍTULO IV

### 4.1. PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS

Para la prueba de hipótesis se tuvo en cuenta los siguientes parámetros (ver Tabla 13).

Tabla 13. Datos para la contratación de Hipótesis

Margen de error	Confiabilidad	Valor Critico	Grado de libertad
0.05	95%	(+/-) 1.943	6

Fuente: Elaboración propia

Se ha utilizado la tabla de Shapiro Wilk, porque solo se analizará 36 muestras.

#### 4.1.1. Prueba de Hipótesis General

Para la prueba de hipótesis se tendrá en cuenta la relación que existe entre la variable independiente con la variable dependiente.

- **Hipótesis Alterna**

“Si efectuamos el análisis de falla, entonces se incrementa la vida útil de los rodamientos de la trituradora cónica HP6 en la planta concentradora de Sociedad Minera El Brocal – 2018”.

$$Vida\ útil_{después} > Vida\ útil_{antes}$$

- **Hipótesis Nula**

“Si efectuamos el análisis de falla, entonces **NO** se incrementa la vida útil de los rodamientos de la trituradora cónica HP6 en la planta concentradora de Sociedad Minera El Brocal – 2018”.

$$Vida\ útil_{después} < Vida\ útil_{antes}$$

La Tabla 14 muestra los casos evaluados en el programa SPSS.

Tabla 14. Resumen de procesamiento de casos para la prueba de hipótesis general.

Descripción	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Vida útil de los rodamientos antes - 2017	7	58.3%	5	41.7%	12	100.0%
Vida útil de los rodamientos después - 2018	7	58.3%	5	41.7%	12	100.0%

Fuente: Elaboración propia SPSS

Los estadísticos obtenidos con el programa SPSS, se muestran en la Tabla 15, donde el promedio de vida útil de los rodamientos en el 2017 fue de 11.14 días y con la realización del análisis de falla la vida útil de los rodamientos en el 2018 fue de 27.43 días.

Tabla 15. Descripción de datos

Descripción	Estadístico	Desv. Error		
<b>Vida útil de los rodamientos antes - 2017</b>	Media	11.14	0.508	
	95% de intervalo de confianza para la	9.90		
	media	Límite superior	12.39	
	Media recortada al 5%		11.16	
	Mediana		11.00	
	Varianza		1.810	
	Desv. Desviación		1.345	
	Mínimo		9	
	Máximo		13	
	Rango		4	
	Rango intercuartil		2	
	Asimetría		-0.352	0.794
	Curtosis		-0.302	1.587
	<b>Vida útil de los rodamientos después - 2018</b>	Media	27.43	2.256
		95% de intervalo de confianza para la	21.91	
media		Límite superior	32.95	
Media recortada al 5%			28.03	
Mediana			30.00	
Varianza			35.619	
Desv. Desviación			5.968	
Mínimo			14	
Máximo			30	
Rango			16	
Rango intercuartil			2	
Asimetría			-2.564	0.794
Curtosis			6.641	1.587

Fuente: Elaboración propia SPSS

También se obtuvo la variable de Pearson  $r = -0.569$  que corresponde a una correlación negativa moderada, según se puede apreciar en la Tabla 16

Tabla 16. Correlación de variables vida útil de los rodamientos.

Descripción	Correlación	Vida útil de los rodamientos antes - 2017	Vida útil de los rodamientos después - 2018
<b>Vida útil de los rodamientos antes - 2017</b>	Correlación de Pearson	1	-0.569
	Sig. (bilateral)		0.182
	N	12	7
<b>Vida útil de los rodamientos después - 2018</b>	Correlación de Pearson	-0.569	1
	Sig. (bilateral)	0.182	
	N	7	7

Fuente: Elaboración propia SPSS

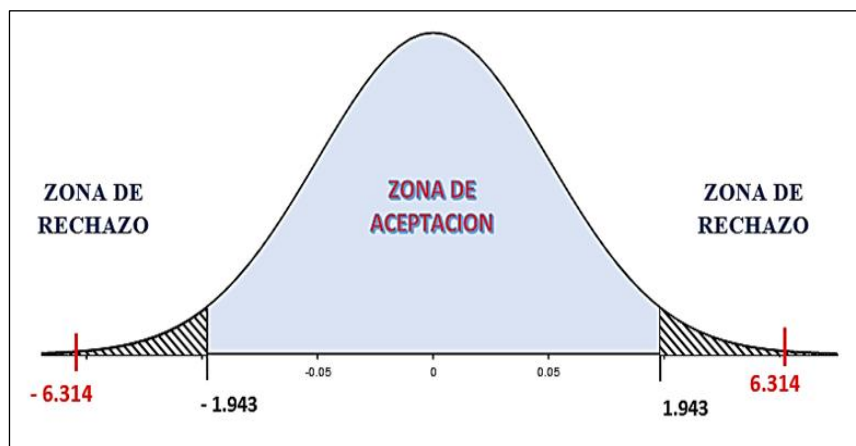
Finalmente se realizó la prueba de T para muestras relacionadas, estos resultados se aprecian en la Tabla 17.

Tabla 17. Prueba de T para muestras emparejadas

Descripción	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Vida útil de los rodamientos antes - 2017 - Vida útil de los rodamientos después - 2018	-16.286	6.824	2.579	-22.597	-9.974	-6.314	6	0.001

Fuente: Elaboración propia SPSS

Analizando en la Campana de Gauss mediante la tabla de cuantiles, se obtuvieron los valores de:  $t = -6.314$  con 6 grados de libertad y un valor crítico  $\pm 1.943$  como se muestra en el Gráfico 1.



Fuente: Elaboración propia SPSS

Gráfico 1. Curva de Gauss para hipótesis general

**Conclusión:** El valor obtenido:  $t = -6.314$  está en el área de rechazo por lo tanto se descarta la hipótesis nula, concluyendo con la aceptación de la hipótesis alterna: “Si efectuamos el análisis de falla, entonces se incrementa la vida útil de los rodamientos de la trituradora cónica HP6 en la planta concentradora de Sociedad Minera El Brocal – 2018”.

#### 4.1.2. Prueba de Hipótesis Específica

- **Hipótesis específica 1**

La relación que existe entre la variable independiente con la dimensión 1 de la variable dependiente.

- **Hipótesis Alterna**

“Si determinamos el análisis de falla, entonces se reduce los costos por mantenimiento de la Trituradora Cónica HP6 en la planta concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A. – 2018.”

- **Hipótesis Nula**

“Si determinamos el análisis de falla, entonces **NO** se reduce los costos por mantenimiento de la Trituradora Cónica HP6 en la planta concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A. – 2018.”

A continuación, la Tabla 18 muestra que no existe ningún dato perdido de los 12 casos evaluadas.

Tabla 18. Resumen de procesamiento de casos

Descripción	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Costos de mantenimiento de rodamientos antes - 2017	12	100.0%	0	0.0%	12	100.0%
Costos de mantenimiento de rodamientos despues - 2018	12	100.0%	0	0.0%	12	100.0%

Fuente: Elaboración propia SPSS

Los estadísticos obtenidos con el programa SPSS, se muestran en la Tabla 19, donde el promedio de costos de mantenimiento de los rodamientos en el 2017 fue de \$ 6,360.00 y con la realización del análisis

de falla los costos de mantenimiento de los rodamientos en él 2018 fueron de \$ 1,590.00.

Tabla 19. Descripción de datos

Descripción	Estadístico	Desv. Error		
<b>Costos de mantenimiento de rodamientos antes - 2017</b>	Media	6360.00	0.000	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	6360.00	
		Límite superior	6360.00	
	Media recortada al 5%	6360.00		
	Mediana	6360.00		
	Varianza	0.000		
	Desv. Desviación	0.000		
	Mínimo	6360		
	Máximo	6360		
	Rango	0		
	Rango intercuartil	0		
	Asimetría			
	Curtosis			
<b>Costos de mantenimiento de rodamientos después - 2018</b>	Media	1590.00	830.350	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	-237.59	
		Límite superior	3417.59	
	Media recortada al 5%	1413.33		
	Mediana	0.00		
	Varianza	8273781.818		
	Desv. Desviación	2876.418		
	Mínimo	0		
	Máximo	6360		
	Rango	6360		
	Rango intercuartil	4770		
	Asimetría	1.327	0.637	
	Curtosis	-0.326	1.232	

Fuente: Elaboración propia SPSS

También se obtuvo la variable de Pearson  $r = 0.404$  que corresponde a una correlación positiva moderada, según se puede apreciar en la Tabla 20.

Tabla 20. Correlación de variables costo de mantenimiento de rodamiento

Descripción	Correlación	Costos de mantenimiento de rodamientos antes - 2017	Costos de mantenimiento de rodamientos despues - 2018
Costos de mantenimiento de rodamientos antes - 2017	Correlación de Pearson	1	0.404
	Sig. (bilateral)		0.192
	N	12	12
Costos de mantenimiento de rodamientos despues - 2018	Correlación de Pearson	0.404	1
	Sig. (bilateral)	0.192	
	N	12	12

Fuente: Elaboración propia SPSS

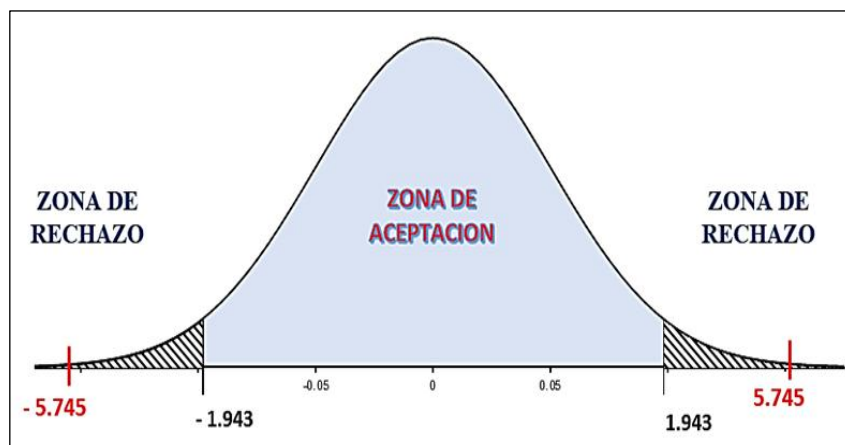
Finalmente se realizó la prueba de T para muestras relacionadas, estos resultados se aprecian en la Tabla 21

Tabla 21. Prueba de T para muestras emparejadas

Descripción	Diferencias emparejadas						t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia					
				Inferior	Superior				
Par 1 Costos de mantenimiento de rodamientos antes - 2017 - Costos de mantenimiento de rodamientos despues - 2018	4770.250	2876.167	830.278	2942.821	6597.679	5.745	6	0.000	

Fuente: Elaboración propia SPSS

Analizando en la Campana de Gauss mediante la tabla de cuantiles, se obtuvieron los valores de:  $t = 5.745$  con 6 grados de libertad y un valor critico  $\pm 1.943$  como se muestra en el Gráfico 2



Fuente: Elaboración propia SPSS

Gráfico 2. Curva de Gauss para hipótesis 1

**Conclusión:** El valor obtenido  $t = 5.745$  está en el área de rechazo por lo tanto se descarta la hipótesis nula, concluyendo con la aceptación de la hipótesis alterna: “Si determinamos el análisis de falla, entonces se reduce los costos por mantenimiento de la Trituradora Cónica HP6 en la planta concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A. – 2018.”

- **Hipótesis específica 2**

Se muestra la relación entre la variable independiente con la dimensión 2 de la variable dependiente.

- **Hipótesis Alterna**

“Si establecemos el análisis de falla, entonces se incrementan las horas de operación de los rodamientos de la Trituradora Cónica HP6 en la planta concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A. – 2018”.

$$\mathbf{Horas\ operación}_{después} > \mathbf{Horas\ operación}_{antes}$$



- **Hipótesis Nula**

“Si establecemos el análisis de falla, entonces **NO** se incrementan las horas de operación de los rodamientos de la Trituradora Cónica HP6 en la planta concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A. – 2018”.

$$\mathbf{Horas\ operación}_{después} < \mathbf{Horas\ operación}_{antes}$$

A continuación, La Tabla 22 muestra el número de casos evaluados con el uso del programa SPSS.

Tabla 22. Resumen de procesamiento de casos

Descripción	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Horas de operación de los rodamientos antes - 2017	7	58.3%	5	41.7%	12	100.0%
Horas de operación de los rodamientos después - 2018	7	58.3%	5	41.7%	12	100.0%

Fuente: Elaboración propia SPSS

Los estadísticos obtenidos con el programa SPSS, se muestran en la Tabla 23, donde el promedio de horas de operación de los rodamientos en el 2017 fue de 160.71 horas y con la realización del análisis de falla las horas de operación de los rodamientos en él 2018 fue de 575.14 horas.

Tabla 23. Descripción de datos

Descripción	Estadístico	Desv. Error			
<b>Horas de operación de los rodamientos antes - 2017</b>	Media	160.71	7.273		
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	142.92 178.51		
	Media recortada al 5%		160.96		
	Mediana		159.00		
	Varianza		370.238		
	Desv. Desviación		19.242		
	Mínimo		130		
	Máximo		187		
	Rango		57		
	Rango intercuartil		29		
	Asimetría		-0.386	0.794	
	Curtosis		-0.324	1.587	
	<b>Horas de operación de los rodamientos después - 2018</b>	Media	575.14	47.229	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	459.58 690.71	
		Media recortada al 5%		587.77	
Mediana			629.00		
Varianza			15614.143		
Desv. Desviación			124.957		
Mínimo			294		
Máximo			629		
Rango			335		
Rango intercuartil			42		
Asimetría			-2.564	0.794	
Curtosis			6.639	1.587	

Fuente: Elaboración propia SPSS

También se obtuvo la variable de Pearson  $r = -0.562$  que corresponde a una correlación negativa moderada, según se puede apreciar en la Tabla 24

Tabla 24. Correlación de variables horas de operación de los rodamientos

Descripción	Correlación	Horas de operación de los rodamientos antes - 2017	Horas de operación de los rodamientos después - 2018
<b>Horas de operación de los rodamientos antes - 2017</b>	Correlación de Pearson	1	-0.562
	Sig. (bilateral)		0.189
	N	12	7
<b>Horas de operación de los rodamientos después - 2018</b>	Correlación de Pearson	-0.562	1
	Sig. (bilateral)	0.189	
	N	7	7

Fuente: Elaboración propia SPSS

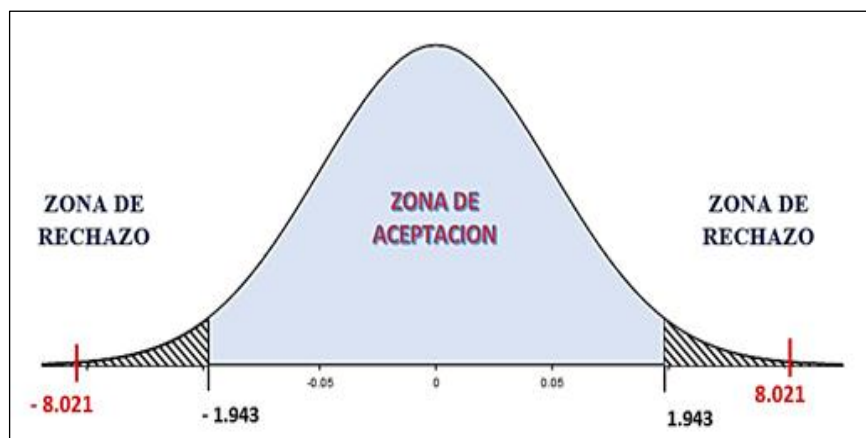
Finalmente se realizó la prueba de T para muestras relacionadas, estos resultados se aprecian en la Tabla 25.

Tabla 25. Prueba de T para muestras emparejadas

	Diferencias emparejadas						t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia					
				Inferior	Superior				
Par 1 Horas de operacion de los rodamientos antes - 2017 - Horas de operacion de los rodamientos despues - 2018	-414.429	136.695	51.666	-540.851	-288.006	-8.021	6	0.000	

Fuente: Elaboración propia SPSS

Analizando en la Campana de Gauss mediante la tabla de cuantiles, se obtuvieron los valores de:  $t = -8.021$  con 6 grados de libertad y un valor critico  $\pm 1.943$ , como se muestra en el Gráfico 3.



Fuente: Elaboración propia SPSS

Gráfico 3. Curva de Gauss para hipótesis 2

**Conclusión:** El valor obtenido:  $t = -8.021$  está en el área de rechazo por lo tanto se descarta la hipótesis nula, concluyendo con la aceptación de la hipótesis alterna: “Si establecemos el análisis de falla, entonces se incrementan las horas

de operación de los rodamientos de la Trituradora Cónica HP6 en la planta concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A. – 2018”.

## **CAPÍTULO V**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Esta investigación tuvo como propósito el análisis de falla de rodamientos para incrementar la vida útil de la trituradora cónica HP6, se presentó detalladamente las causas que ocasionaban la avería del rodamiento.

El método empleado en la investigación es el método científico y es el más adecuado para el análisis de nuestras variables estudiadas. La muestra tomada es la adecuada para decir que nuestra investigación es válida.

Los resultados obtenidos son el incremento de la vida útil de los rodamientos de 11.14 días antes del análisis de falla (año 2017) a 27.47 días después del análisis de falla (año 2018). Asimismo, en cuanto a los costos por mantenimiento, éstos se han reducido de \$ 6,360.00 a \$ 1,590.00 e igualmente se obtuvo un incremento de horas de operación de los rodamientos de 160.71 h. a 575.14 h.

Estos resultados obtenidos en la investigación son solo para los rodamientos de la trituradora cónica HP6 en Sociedad Minera el Brocal S.A.A. -2018, ya que

en el estudio solo se han analizado los rodamientos y en las condiciones de trabajo explicadas en la presente investigación.

A partir de los resultados mostrados la predicción de la hipótesis planteada se puede aceptar la cual menciona si se realiza el análisis de falla de rodamientos para incrementar la vida útil de la trituradora cónica HP6 en Sociedad Minera el Brocal S.A.A. -2018.

Los resultados obtenidos no tiene similitud con lo que sostiene Mondaca (2002) en su tesis “Estudio de fallas comunes en rodamientos rígidos de una hilera de bolas mediante análisis en el dominio del tiempo y de la frecuencia”, quien realiza su investigación con las técnicas de análisis como el análisis en el tiempo, análisis en el dominio de frecuencia, el método de la envolvente y el análisis cepstrum además el mencionado autor realizó las mediciones en un banco de prueba lo cual no se realiza en la presente investigación, en este trabajo se utilizó el análisis con el árbol de fallas.

En lo que respecta a lo que sostiene Ñavez (2013), el mencionado autor en su investigación que al realizar una nueva configuración logró incrementar la producción de concentrado de 2700 tn a 5000 tn, no tiene relación con lo que se consiguió en esta investigación ya nosotros logramos incrementar la vida útil de los rodamientos en un 75%.

En lo que respecta con lo que sostiene Osorio (2014) es su investigación realiza un análisis vibracional de los rodamientos, pero utilizando el programa Lawview; en nuestro caso solamente se utilizó un vibrómetro para poder detectar las fallas de los rodamientos y así se pudo determinar el desalineamiento del eje del triturador.

## CONCLUSIONES

1. Se concluye que, con el presente estudio, se logró incrementar la vida útil de los rodamientos de un promedio de 11.14 días de operación (160.71 horas de duración en promedio en los meses de julio a diciembre del 2017), hasta un promedio de 27.47 días de operación (575.14 horas de duración) después de aplicar el correcto mantenimiento de los rodamientos de la trituradora cónica HP6, es decir un incremento de la disponibilidad del 257.87%
2. Al realizar los procedimientos adecuados de montaje, con el alineamiento correcto se logró reducir los costos por mantenimiento. En el 2017 se tiene un costo de \$ 6,360.00 y comparando con el costo del 2018 que es de \$ 1,590.00, por lo tanto, se tiene un ahorro del 75% (\$ 57240.00 de ahorro),
3. Con un nivel de significancia de 5% y con 95% de nivel de confianza, se logró reducir las fallas de los rodamientos y debido a esa reducción se incrementará las horas de operación de la trituradora cónica HP6 en Sociedad Minera El Brocal.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar el procedimiento de montaje, con su adecuado alineamiento a todos los equipos de la planta concentradora en la Sociedad Minera El Brocal, para que no tengan problemas en la producción del concentrado de mineral y puedan llegar a los rendimientos óptimos requeridos para una excelente producción.
2. Se recomienda realizar el montaje correcto de la trituradora cónica HP6, para que no se presenten averías inesperadas en los componentes de la trituradora cónica HP6 de la planta concentradora en la Sociedad Minera El Brocal.
3. Realizar un análisis de criticidad de todos los equipos para poder establecer la jerarquía o prioridades para así tener una estructura que facilite la toma de decisiones acertadas y efectivas de la planta concentradora para una buena confiabilidad operacional como estrategia especial de la Gestión de Activos.



## BIBLIOGRAFÍA

- Arias, P. (2014). *Optimización de la sección de chancado para incrementar la producción diaria a 700 toneladas de mineral triturado en la empresa ICM PERU*. Huancayo: Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Benavides, A. (2016). *Colquijirca Resumen Histórico*. Obtenido de <https://pueblomartir.wordpress.com/2016/01/27/colquijirca-resumen-historico-por-el-doctor-alberto-benavides-de-la-quintana-2002/>
- Budynas, R. & Nisbett, J. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica*. México: McGraw-Hill.
- Cengel, Y. (2007). *Transferencia de Calor y Masa*. México: McGraw-Hill.
- DRAE. (2016). *Diccionario de la Real Academia Española*. España.
- Espinoza, C. (2014). *Metodología de la Investigación Tecnológica*. Huancayo: Soluciones Graficas SAC.
- Godoy, E. (2014). *Diagnóstico de Fallas por medio de Análisis de Vibraciones*. Vladivía-Chile: Universidad Austral de Chile.
- Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. México: Interamericana Editores, S.A.
- Knezevic, J. (1996). *Mantenimiento*. Madrid: Isdele.
- Mora, A. (2009). *Mantenimiento, planeación, ejecución y control*. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A.
- Ñavez, G. (2013). *Configuración del circuito de chancado para el incremento de la producción en la Cia Minera Casapalca S.A*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.

Osorio, E. (2014). *Herramienta virtual para la identificación de fallas en rodamientos*.

Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

**ANEXOS**

### Anexo 1. Matriz de Consistencia

<b>TITULO :</b>	"ANÁLISIS DE FALLA DE RODAMIENTOS PARA INCREMENTAR LA VIDA ÚTIL DE LA TRITURADORA CÓNICA HP6 EN SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A. - 2018 "
<b>BACHILLER :</b>	Jesús Angel, CHIJCHEAPAZA MAMANI

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES		MUESTRA	DISEÑO
			INDEPENDIENTE	DIMENSIÓN		
¿Cómo efectuamos el análisis de falla de rodamientos para incrementar la vida útil de la Trituradora Cónica HP6 en la planta concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A.-2018?	Efectuar el análisis de falla de rodamientos para incrementar la vida útil de la Trituradora Cónica HP6 en la planta concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A -2018.	Si efectuamos el análisis de falla, entonces se incrementa la vida útil de los rodamientos de la trituradora cónica HP6 en la planta concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A. – 2018.	ANÁLISIS DE FALLA	Temperatura	<b>Población:</b> La población de nuestro estudio es finita. En nuestro caso el tamaño de la población que se utilizó para realizar la investigación es la Trituradora Cónica HP6 de la planta concentradora de la Cía. Minera el Brocal.	<b>Método:</b> Científico
				Vibraciones		
PROBLEMA ESPECÍFICO	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	DEPENDIENTE			
¿De qué manera determinamos el análisis de falla para reducir los costos por mantenimiento de la Trituradora cónica HP6 en la planta concentradora en Sociedad Minera El Brocal S.A.A -2018?	Determinar el análisis de falla para reducir los costos por mantenimiento de la Trituradora cónica HP6 en la planta concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A -2018.	Si determinamos el análisis de falla, entonces se reducen los costos por mantenimiento de los rodamientos de la Trituradora Cónica HP6 en la planta concentradora de Sociedad Minera El Brocal – 2018.	VIDA ÚTIL	Costos de mantenimiento	<b>Muestra:</b> En el presente trabajo la muestra representativa es la trituradora cónica hp6 la cual está instalada en la planta concentradora de la Cía. Minera el Brocal	<b>Nivel de Investigación:</b> Aplicada, tipo tecnológico
				Operación		
¿De qué manera establecemos el análisis de falla para incrementar las horas de operación de los rodamientos de la trituradora cónica HP6 en la planta concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A - 2018?	Establecer el análisis de falla para incrementar las horas de operación de los rodamientos de la Trituradora Cónica HP6 en la planta concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A -2018.	Si establecemos el análisis de falla, entonces se incrementan las horas de operación de los rodamientos de la Trituradora Cónica HP6 en la planta concentradora de Sociedad Minera El Brocal – 2018.				

Fuente : Elaboración propia

Anexo 2. Promedio mensual de horas de operación chancadora trituradora HP6 – 2017

EL BROCAL		MONITOREO DE PARAMETROS OPERATIVOS - CHANCADORAS METSO HP6 #3 - #4			
SEÑAL DE NITRO CHANCADO	LUIS CORANTES	USUARIO	ABEL MOYA		
OPERADOR	MAYKEL BOSTAIBONTE	FECHA	14-07-17	TURNO	O/A



VALORES RECOMENDADOS	
P1 (presión hidráulica sistema de Bow) [max]	100 bar
P2 (presión hidráulica sistema de Bow) [max]	+120 bar
P (presión de lubricación)	0.5 a 1.0 PSI
Temperatura aceite (OilTemp)	+50°C
SPM	1100-1200
Amperaje	max 70 A

CHANCADORA HP6		#3			
Hora de operación		9.00MT			
ITEM	PARAMETRO	UNIDAD	VALOR		
1	Horómetro	HORAS	152.9		
2	Seting apertura entre bowl y mantel	mm	33.9		
3	Altura de la Bow (Bogapan)	mm			
4	Presión de aceite de lubricación (P1)	PSI	30		
5	Presión hidráulica sistema de Bow (P2)	Bar	24.3		
6	Presión hidráulica del eje de inclinación (P3)	Bar	14.4		
7	Temperatura de lubricación aceite de lubricación a 75	°C	48.4		
8	Temperatura de aceite (Tempac)	°C	47.9		
9	Temperatura aceite del triturador	°C	45.4		
10	Temperatura ambiente	°C	45.2		
11	Temperatura aceite (OilTemp bearing)	°C	51.7		
12	Consumo de amperaje	A	27.5		
13	Temperatura reduccion de la Bow (BOCTOP)	°C	77.9		
14	Temperatura reduccion de la Bow (BOCTOP)	°C	74.7		
15	Temperatura Reduccion de la Bow (BOCTOP) [max]	°C	60		
16	Temperatura Reduccion de la Bow (BOCTOP) [max]	°C	64.3		
17	Temperatura Reduccion de la Bow (BOCTOP) [max]	°C	63.9		
18	Presión de aceite de lubricación (Tempac)	PSI	40		
19	Presión de aceite de lubricación (Tempac)	PSI	45		

COMENTARIOS: OBSERVADA DE TEMPERATURA ALTA EN LOS RODAMIENTOS MONITOREO CONSTANTE

Fuente: Área de planeamiento de Sociedad Minera el Brocal

Anexo 2. Promedio mensual de horas de operación chancadora trituradora HP6 – 2017



### MONITOREO DE PARAMETROS OPERATIVOS - CHANCADORAS METSO HP6 #3 - #4

NOMBRE DE MIYTO CHANCADOR	LUIS CEAVANTES	USUARIO	CIVILIA JIMENEZ
SUPERVISOR	FABRINO ROSAS	FECHA	26-09-2017
		TIPO	OJO



INDICACIONES		#3		
Fecha de monitoreo		2-2017		
ITEM	PARAMETRO			
1	Horómetro	HORAS	1674	
2	Seting (apertura en milímetros) (mm)	mm	32.9	
3	Altura de la boca (mm)	mm		
4	Presión de aceite de lubricación (PSI)	PSI	26	
5	Presión hidráulica Regula de Bowl (PSI)	Bar	23.9	
6	Presión hidráulica del eje de rotación (PSI)	Bar	180	
7	Temperatura de retorno aceite de lubricación (°C)	°C	48.3	
8	Temperatura de aceite (Temper)	°C	48.5	
9	Temperatura aceite del triturador	°C	48.3	
10	Temperatura ambiente	°C	48.4	
11	Temperatura aceite (Thrust bearing)	°C	50.9	
12	Consumo de ambiente	A	26.4	
13	Temperatura ambiente lado Drive (MOTOR)	°C	48.8	
14	Temperatura ambiente lado Bowl (MOTOR)	°C	33.9	
15	Temperatura Rotámetro lado Shaft (Rotura)	°C	67.3	
16	Temperatura Rotámetro lado Shaft (Rotura)	°C	67.2	
17	Temperatura lado Shaft (Rotura) L2	°C	62.7	
18	Seting de aceite de lubricación (Temper)	°C	66	
19	Seting de aceite hidráulico (Temper)	°C	73	

VALORES ESTÁNDAR (para referencia)	
PSI (mm) (presión hidráulica regula de Bowl)	~20 bar
PSI (mm) (presión hidráulica del eje de rotación)	~150 bar
PSI (presión de lubricación)	21.8 a 30 PSI
Temperatura aceite CHANCADORA	~60°C
PSI	~100/150
Amperaje	max 70 A

COMENTARIOS: MONITOREO CONSTANTE POR ALTAS TEMPERATURAS EN LOS RODAMIENTOS.

Fuente: Área de planeamiento de Sociedad Minera el Brocal

Anexo 2. Promedio mensual de horas de operación chancadora trituradora HP6 – 2017

EL BROCAL		MONITOREO DE PARAMETROS OPERATIVOS - CHANCADORAS METSO HP6 #3 - #4			
JEFE DE BANDA CHANCADO	LUIS CERVANTES	LIDER MAQUINARIA	BRAYAN BOJARD		
SUPERVISOR	LUIS CASPIO	FECHA:	01-08-2017	TURNO:	01D



VALORES REFERENCIALES (patentes):	
P.L.L. min (presión hidráulica según de Broyer)	+20 bar
P.L.L. min (presión hidráulica del eje de tracción)	+20 bar
P (presión de lubricación)	13.8 a 20 PSI
Temperatura aceite (SAE) aceite	+50°C
HPA	+100-+150'
Amperaje	max 70 A

CHANCADORA HP6		#3		
Número de monitoreo		92019		
ITEM	PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	
1	Horómetro	HORAS	1834	
2	Spring (apertura de eje) (min y max)	mm	32.7	
3	Altura de de Broyer (Broyer)	mm		
4	Presión de aceite de lubricación (P)	PSI	25	
5	Presión hidráulica según de Broyer (P.L.L.)	bar	219	
6	Presión hidráulica del eje de tracción (P.L.L.)	bar	137	
7	Temperatura de aceite aceite de lubricación a la	°C	46.2	
8	Temperatura de aceite (Temper)	°C	45	
9	Temperatura aceite del motor	°C	45	
10	Temperatura corriente	°C	47	
11	Temperatura aceite (Wear bearing)	°C	47.2	
12	Consumo de amperaje	A	27	
13	Temperatura (rodamiento) lado Broyer (MOTOR)	°C	15	
14	Temperatura (rodamiento) lado eje (MOTOR)	°C	34	
15	Temperatura (rodamiento) lado (Spring Motor)	°C	62.9	
16	Temperatura (rodamiento) lado (Spring Motor)	°C	63	
17	Temperatura Jack (Wear Bearing) L.R.	°C	64	
18	Nivel de aceite de lubricación (Temper)	%	65	
19	Nivel de aceite hidráulico (Temper)	%	90	

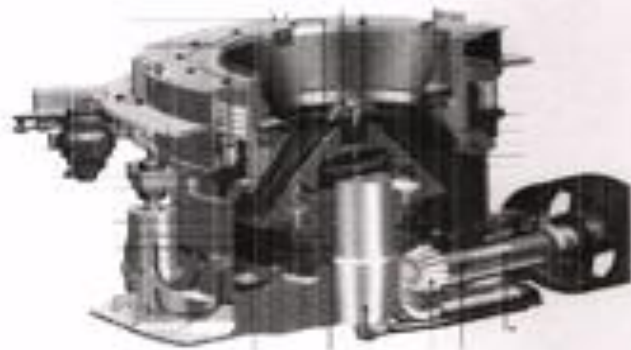
COMENTARIOS: Monitoreo de parámetros de la chancadora HP6 #3.

Fuente: Área de planeamiento de Sociedad Minera el Brocal

Anexo 2. Promedio mensual de horas de operación chancadora trituradora HP6 – 2017

EL BROCAL		MONITOREO DE PARAMETROS OPERATIVOS - CHANCADORAS METSO HP6 #3 - #4			
NOMBRE DE MOTO CONDUCTOR	Luis Cervantes	USUARIO	Luis Ferrero		
SUPERVISOR	Ronald Apulitano	FECHA	17-08-2017	TURNO	DIA



VALORES DE REFERENCIA (operación)	
PSI (PSI) y presión (PSI) sobre el eje de la trituradora	~20 bar
PSI (PSI) sobre la presión hidráulica del eje de la trituradora	~120 bar
P (Presión de lubricación)	11.8 a 18 PSI
Temperatura aceite (CHANCADORA)	~80°C
rpm	~900-950
Amperaje	max 75 A

CHANCADORA HP6		#3		
NÚMERO DE MONITOREO		7407		
ITEM	PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	
1	Operación	HORAS	2016	
2	Apertura (apertura entre bowl y mantle)	mm	33	
3	Alto del eje de bowl (longitud)	mm		
4	Presión de aceite de lubricación (P)	PSI	23	
5	Presión hidráulica legajo de bowl (PSL)	bar	20.9	
6	Presión hidráulica del eje de trituración (PLI)	bar	1.35	
7	Temperatura de retorno aceite de lubricación a TL	°C	45.7	
8	Temperatura de aceite (Tanque)	°C	43	
9	Temperatura aceite del triturador	°C	44	
10	Temperatura aceite	°C	47	
11	Temperatura aceite (Thrust bearing)	°C	50	
12	Consumo de amperaje	A	25	
13	Temperatura rodillos/bowl (MOTOR)	°C	63	
14	Temperatura rodillos/bowl (MOTOR)	°C	77.1	
15	Temperatura Rodillos Jack (Shuffle) (Aceite)	°C	59.3	
16	Temperatura Rodillos Jack (Shuffle) (Aceite)	°C	59	
17	Temperatura Jack (Shuffle) (Aceite)	°C	68	
18	Nivel de aceite de lubricación (Tanque)	%	60	
19	Nivel de aceite hidráulico (Tanque)	%	85	

COMENTARIOS: MONITOREO REALIZADO CON EL PIRÓMETRO A LOS REPARTIDOS DE LA UNIDAD HP6 #3.

Fuente: Área de planeamiento de Sociedad Minera el Brocal



Anexo 2. Promedio mensual de horas de operación chancadora trituradora HP6 – 2017

<b>MONITOREO DE PARAMETROS OPERATIVOS - CHANCADORAS METSO HP6 #3 - #4</b>					
NPE DE MONITOREADO	INIS CEAVANTES	LÍNEA MINERA	ELISA CAMPES		
SUPERVISOR	MARCELO GUSTAFSONE	FECHA	29-08-2017	TURNO	D/A



VALORES RECOMENDADOS (referenciales)	
PSI (presión hidráulica según el tipo)	140 bar
PSI (presión hidráulica del oil de lubricación)	100 bar
P (presión de lubricación)	15.8 a 18 PSI
Temperatura aceite CHANCADORA	110°C
PSI	100-150
Amperaje	max 75 A

CHANCADORA NPE		#3			
Hora de monitoreo		9:00 AM			
ITEM	PARAMETRO	UNIDAD	VALOR		
1	Horómetro	HORA	2156		
2	Setting abertura entre bolas y mallas	mm	33.2		
3	altura de la boca (abertura)	mm			
4	Presión de aceite de lubricación (PSI)	PSI	40		
5	Presión hidráulica según el tipo (PSI)	bar	25		
6	Presión hidráulica del oil de lubricación (PSI)	bar	150		
7	Temperatura de retorno aceite de lubricación a la	°C	89		
8	Temperatura de aceite (Tanque)	°C	87		
9	Temperatura aceite del triturador	°C	88		
10	Temperatura corriente	°C	42.3		
11	Temperatura aceite (Thrust bearing)	°C	60		
12	Consumo de amperios	A	28		
13	Temperatura radiómetro lado bola (MOTOR)	°C	12		
14	Temperatura radiómetro lado aceite (MOTOR)	°C	37.2		
15	Temperatura Radiómetro lado lubricación (aceite)	°C	129.1		
16	Temperatura Radiómetro lado lubricación (aceite)	°C	160		
17	Temperatura lado (Radiómetro Motor) EE	°C	70		
18	Oil de aceite de lubricación (Tanque)	%	72		
19	Oil de aceite lubricación (Tanque)	%	95		

COMENTARIOS: DE REALIZO CORRIDO DE REPARTIMIENTOS POR TEMPERATURAS E/TA DE LA CHANCADORA HP6 #3.

Fuente: Área de planeamiento de Sociedad Minera el Brocal

Anexo 2. Promedio mensual de horas de operación chancadora trituradora HP6 – 2017

 <b>MONITOREO DE PARAMETROS OPERATIVOS - CHANCADORAS METSO HP6 #3 - #4</b>							
NOMBRE DE OTRO CHANCADOR	LUIS CONSTANTES	USUARIO	RIVAC YUMBAQUI	FECHA	11-07-2017	TURNO	D10
NOMBRE	LUIS CASPIO	FECHA		TURNO			



MAYORES SEÑALES recomendadas	
P11 (oil) presión del aceite negro de Bow	> 30 bar
P12 (oil) presión del aceite del eje de los rodillos (P12)	> 120 bar
P (presión de lubricación)	12.0 a 18.0 Psi
Temperatura aceite CHANCADORA	< 90°C
APM	< 1000/1000
Amperaje	< 400 T/A

CHANCADORA #3		#3		
NOMBRE DE MONITOREO		9:00 PM		
ITEM	PARAMETRO			
1	Horómetro	HORAS	2880	
2	Setlag (apertura entre Bow y mandril)	mm	39.9	
3	Apertura de Bow (límite)	mm		
4	Presión de aceite de lubricación (P)	PSI	37	
5	Presión hidráulica segura de Bow (PSE)	Bar	20.7	
6	Presión hidráulica del eje de los rodillos (P12)	Bar	140	
7	Temperatura de aceite negro de lubricación a 1%	°C	49.3	
8	Temperatura de aceite (Tanque)	°C	42	
9	Temperatura aceite del triturador	°C	43.9	
10	Temperatura cerrajería	°C	46	
11	Temperatura brida (Tribal bearing)	°C	50	
12	Consumo de amperaje	A	24	
13	Temperatura rodamiento lado Bow (ACTOR)	°C	15	
14	Temperatura rodamiento lado Bow (REACTOR)	°C	33.1	
15	Temperatura rodamiento lado Bow (Brazo Reactor)	°C	72	
16	Temperatura rodamiento lado Bow (Brazo Reactor) lado Bow	°C	71.9	
17	Temperatura aceite Bow (Brazo Reactor) lado Bow	°C	66	
18	Nivel de aceite de lubricación (Tanque)	%	65	
19	Nivel de aceite hidráulico (Tanque)	%	83	

COMENTARIOS: SE REALIZANDO EL MONITOREO CONSTANTE DE LOS PARAMETROS DE LA CHANCADORA #3 HP6.

Fuente: Área de planeamiento de Sociedad Minera el Brocal

Anexo 2. Promedio mensual de horas de operación chancadora trituradora HP6 – 2017

EL BROCAL		MONITOREO DE PARAMETROS OPERATIVOS - CHANCADORAS METSO HP6 #3 - #4			
NOMBRE DE NITRO-CHANCADOR	Luis Cervantes	USUARIO	JHONEL CUERO		
NOMBRE DE NITRO	RUBEN AMATORO	FECHA	25-09-2017	TURNO	01A



CHANCADORA HP6		#3		
Número de medición:		70047		
PARÁMETROS				
1	Operación	MINOS	2506	
2	Distancia apertura entre nivel y mandril	mm	33.2	
3	Altura de la boca (desgaste)	mm		
4	Presión de aceite de lubricación (P)	PSI	73	
5	Presión hidráulica Seguro de Boca (PS)	Bar	21.7	
6	Presión hidráulica del eje de inclinación (PL)	Bar	1.17	
7	Temperatura de aceite de lubricación a 15'	°C	48.9	
8	Temperatura de aceite (Tanque)	°C	41	
9	Temperatura salida del lubricador	°C	44.7	
10	Temperatura corriente	°C	43	
11	Temperatura levante (Roller bearing)	°C	52	
12	Consumo de energía	A	2.3	
13	Temperatura rodamiento lado libre (MOTOR)	°C	16	
14	Temperatura rodamiento lado acople (MOTOR)	°C	32.7	
15	Temperatura rodamiento lado Shaft (Motor)	°C	120.3	
16	Temperatura rodamiento lado Shaft (Motor) lado libre	°C	122.3	
17	Temperatura lado Shaft (Motor) EJE	°C	63	
18	Nivel de aceite de lubricación (Tanque)	%	64	
19	Nivel de aceite hidráulico (Tanque)	%	92	

VALORES REFERENCIALES (Referencia)	
PSI min / presión hidráulica seguro de boca	<100 bar
PSI max / presión hidráulica del eje de inclinación	<130 bar
P (presión de lubricación)	10.4 a 58 PSI
Temperatura aceite (TANQUE) máxima	<60°C
PSI max	<100-1000
Amperaje	max 75 A

Observación: Se admitió el congreso de rodamientos de la chancadora #3 HP6 por temperatura alta.

Fuente: Área de planeamiento de Sociedad Minera el Brocal

Anexo 2. Promedio mensual de horas de operación chancadora trituradora HP6 – 2017

<b>EL BROCAL</b>					
MONITOREO DE PARAMETROS OPERATIVOS - CHANCADORAS METSO HP6 #3 - #4					
JEFE DE SITIO CHANCADO	LUIS CEVAENTES	OPERARIO	Luis Florido	FECHA	07-10-2017
SUPERVISOR	FORNIO ROSAS	TURNO			DIA



OPERACIONES MS		H.S		
hora de monitoreo		9:00PT		
ITEM	PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	
1	Horas de operación	HORAS	2702	
2	Gap (apertura entre bowl y mantle)	mm	32.3	
3	altura de de Bowl (desgaste)	mm		
4	Presión de aceite de lubricación (P)	PSI	30	
5	Presión hidráulica segura de Bowl (PSL)	Bar	13.7	
6	Presión hidráulica del eje de inclinación (PAC)	Bar	125	
7	Temperatura de retorno aceite de lubricación a T <sub>1</sub>	°C	40.9	
8	Temperatura de aceite (Tanque)	°C	59	
9	Temperatura salida del triturador	°C	43	
10	Temperatura ambiente	°C	44	
11	Temperatura aceite (Thruout bearing)	°C	52	
12	Consumo de ampere	A	20	
13	Temperatura rodamiento lado bowl (MOTOR)	°C	14	
14	Temperatura rodamiento lado acople (MOTOR)	°C	28.7	
15	Temperatura rodamiento Jack Shaft (MOTOR)	°C	50.9	
16	Temperatura Rodamiento Jack Shaft (MOTOR) lado bowl	°C	50.3	
17	Temperatura Jack Shaft (MOTOR) EJE	°C	60	
18	nivel de aceite de lubricación (Tanque)	%	57	
19	nivel de aceite hidráulico (Tanque)	%	85	

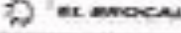
VALORES SETEADOS (MANUALMENTE)	
P.LI nivel presión hidráulica segura de Bowl	130 bar
P.SI nivel presión hidráulica del eje de inclinación	125 bar
P (presión de lubricación)	11.8 a 34 PSI
Temperatura aceite (MANEJO)	40°C
APSA	1000-1000
ampere	max 78 A

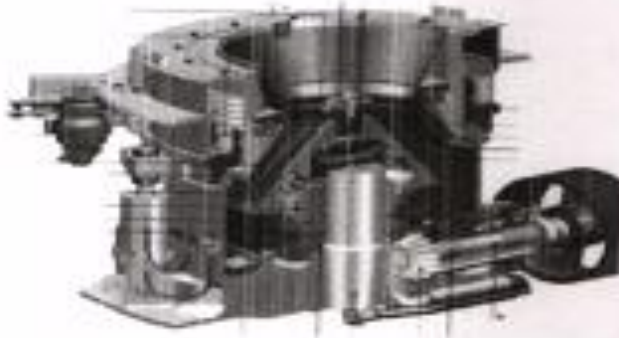
  

COMENTARIOS: SE REALIZANDO MONITOREO CONSTANTE DE LOS ADAPTADORES DE LA CHANCADORA HP6 H.S.

Fuente: Área de planeamiento de Sociedad Minera el Brocal

Anexo 2. Promedio mensual de horas de operación chancadora trituradora HP6 – 2017

 <b>MONITOREO DE PARAMETROS OPERATIVOS - CHANCADORAS METSO HP6 #3 - #4</b>				
JEFE DE AREA CHANCADO SUPERVISOR	LUIS CERDAS MAYOR / BUSTAMANTE	EJER MECANICO FISCAL	CARLOS FUGUERO 19-10-2017	TURNO P.D.



VALORES DE ALARME (Referencia)	
P1: Presión de aceite seguro de P1	>120 bar
P2: Presión hidráulica del eje de trituración	>120 bar
P (Presión de lubricación)	11.8 a 52 PSI
Temperatura aceite CHANCADORA	>40°C
RPM	>500-500
Amperaje	max 70 A

CHANCADORA HP6		#3		
Hora de monitoreo		9:00H		
PARAMETROS				
1	Horómetro	HORAS	2870	
2	Salida Operativa aceite-línea y marfil	mm	33.9	
3	Alfara de eje fino (Seguros)	mm		
4	Presión de aceite de lubricación (P1)	PSI	28	
5	Presión hidráulica seguro de eje (P2)	Bar	17.7	
6	Presión hidráulica del eje de trituración (P3)	Bar	140	
7	Temperatura de retorno aceite de lubricación a TS	°C	39.9	
8	Temperatura de aceite (Tanque)	°C	37	
9	Temperatura aceite del triturador	°C	42	
10	Temperatura aceite eje	°C	38	
11	Temperatura fondo (Tribal bearing)	°C	47	
12	Consumo de amperios	A	19	
13	Temperatura rodamiento lado fino (MOTOR)	°C	15	
14	Temperatura rodamiento lado grueso (MOTOR)	°C	27.3	
15	Temperatura Rodamiento Jack (MOTOR) lado fino	°C	27.9	
16	Temperatura Rodamiento Jack (MOTOR) lado grueso	°C	28	
17	Temperatura Jack (MOTOR) lado fino	°C	39	
18	Nivel de aceite de lubricación (Tanque)	%	55	
19	Nivel de aceite lubricación (Tanque)	%	87	

COMENTARIOS

SE MONITOREANDO CONSTANTE PARA FORNEO DE PRODUCTOS DE LA CHANCADORA #3 HP6 TURNO NOCTURNO

Fuente: Área de planeamiento de Sociedad Minera el Brocal

Anexo 2. Promedio mensual de horas de operación chancadora trituradora HP6 – 2017

		MONITOREO DE PARAMETROS OPERATIVOS - CHANCADORAS METSO HP6 #3 - #4			
NOMBRE DE NUESTRO CLIENTE	LUIS COLUANTES	USUARIO MECANICO	PABLO POUCAS	FECHA	02-11-2017
SUPERVISOR	LUIS CARPIO	FECHA	02-11-2017	TURNO	DIA



INDICADORES HP6		#3		
Nro de inspección		92371		
ITEM	PARAMETROS			
1	Horómetro	HORAS	3266	
2	Seting (apertura entre bowl y motor)	mm	507	
3	altura de la Bowl (límite)	mm		
4	Presión de aceite de lubricación (PI)	PSI	32	
5	Presión hidráulica (límite de Bowl (PI))	Bar	183	
6	Presión hidráulica del eje de inclinación (PI2)	Bar	182	
7	Temperatura de aceite de lubricación a 1"	°C	38.7	
8	Temperatura de aceite (Tanque)	°C	37	
9	Temperatura salida del lubricador	°C	43	
10	Temperatura ambiente	°C	45	
11	Temperatura aceite (PI) oil bearing)	°C	50.3	
12	Consumo de energía	A	293	
13	Temperatura reduccion de aceite (MOTOR)	°C	18	
14	Temperatura reduccion de aceite (MOTOR)	°C	30.4	
15	Temperatura Reduccion de aceite (MOTOR) lado motor	°C	199.9	
16	Temperatura Reduccion de aceite (MOTOR) lado aceite	°C	140	
17	Temperatura Jack Shaft (MOTOR) EJE	°C	66	
18	Nivel de aceite de lubricación (Tanque)	%	62	
19	Nivel de aceite hidráulico (Tanque)	%	75	

VALORES SETEADOS (referenciales)	
PI1 min (presión hidráulica aceite de Bowl)	~100 bar
PI2 min (presión hidráulica del eje de inclinación)	~120 bar
P (presión de lubricación)	15.4 a 58 PSI
Temperatura aceite LUBRICACION	~80°C
PIPI	~100-1000
Amperaje	max 78 A

COMENTARIOS: SE REALIZO EL CONTROL DE POSICIONAMIENTO DE LA CHANCADORA HP6 #3. POR OTROS TEMPERATURAS.

Fuente: Área de planeamiento de Sociedad Minera el Brocal

Anexo 2. Promedio mensual de horas de operación chancadora trituradora HP6 – 2017

EL BROCAL		MONITOREO DE PARAMETROS OPERATIVOS - CHANCADORAS METSO HP6 #3 - #4			
NOMBRE DE NITRO-CHANCADO	Luis Constante	LIDER OPERATIVO	CARLOS HUANC		
NUMERACION	CAJONCILLO PERANI	FECHA:	13-11-2017	TURNO	DIA



VALORES MEXIMOS (recomendados)	
PSI del sistema hidráulico seguro de (PSI)	<100 bar
PSI del sistema hidráulico del eje de rotación	<120 bar
P (presión de lubricación)	15.8 a 30 PSI
Temperatura aceite (CHANCADORA)	<60°C
PSI	<100-100
Amperaje	max 70 A

CHANCADORA HP6		#3			
NOMBRE DE MONITOREO		92107			
ITEM	PARAMETROS				
1	Horómetro	HOURS	3220		
2	Setto (apertura entre bowl y martillo)	mm	40.4		
3	Altura de de Bowl (longitud)	mm			
4	Presión de aceite de lubricación (PSI)	PSI	32		
5	Presión hidráulica seguro de bowl (PSI)	Bar	16.7		
6	Presión hidráulica del eje de chancadores (PSI)	Bar	138		
7	Temperatura de aceite aceite de lubricación a la	°C	37.2		
8	Temperatura de aceite (Tanque)	°C	35		
9	Temperatura aceite del triturador	°C	40.9		
10	Temperatura ambiente	°C	30.1		
11	Temperatura aceite (Thread bearing)	°C	42.7		
12	Consumo de amperios	A	23		
13	Temperatura rodamiento lado Bowl (MOTOR)	°C	18		
14	Temperatura rodamiento lado grupo (MOTOR)	°C	36.9		
15	Temperatura rodamiento Jack (MOTOR) Rotación	°C	65.2		
16	Temperatura rodamiento Jack (MOTOR) Rotación	°C	66		
17	Temperatura Jack (MOTOR) Rotación EE	°C	57		
18	Nivel de aceite de lubricación (Tanque)	%	53.1		
19	Nivel de aceite lubricación (Tanque)	%	46		

OBSERVACIONES: Se realizaron monitoreo constante en los momentos de la chancadora #3 HP.

Fuente: Área de planeamiento de Sociedad Minera el Brocal

Anexo 2. Promedio mensual de horas de operación chancadora trituradora HP6 – 2017

EL BROCAL		MONITOREO DE PARAMETROS OPERATIVOS - CHANCADORAS METSO HP6 #3 - #4			
SITE DE MONITOREO	2413 CARVANTES	USUARIO	ELIOT BEARCOPI		
SUPERVISOR	FERRUCIO ROSAS	FECHA	26-11-2017	TURNO	DIA



VALORES ESTADOS (Referencia)	
PCI min (presión hidráulica superior de Bow) [bar]	>100 bar
PCI min (presión hidráulica inferior de Bow) [bar]	>100 bar
Presión de lubricación [bar]	10 a 40 bar
Temperatura límite CHANCADORA	<=80°C
Velocidad	1500-1800
Amperaje	max 75 A

CHANCADORA HP6		#3		
Hora de monitoreo		7:00:07		
IDM	PARAMETRO	UNIDAD		
1	Consumo	HORAS	5402	
2	Velocidad superficial entre bowl y mantle	mm	33.2	
3	Altura de la Bowl (Regente)	mm		
4	Presión de aceite de lubricación (P)	psi	35	
5	Presión hidráulica superior de Bowl (PCI)	bar	18.3	
6	Presión hidráulica inferior de Bowl (PCI)	bar	19.2	
7	Temperatura del sistema aceite de lubricación a 7%	°C	33.9	
8	Temperatura de aceite (Tanque)	°C	34	
9	Temperatura salida del calentador	°C	41.9	
10	Temperatura entrada	°C	35.8	
11	Temperatura brida (Pinch bearing)	°C	41.9	
12	Consumo de amperios	A	24	
13	Temperatura aislamiento lado Bowl (MOTOR)	°C	19	
14	Temperatura aislamiento lado bowl (MOTOR)	°C	25.9	
15	Temperatura aislamiento lado Bowl (MOTOR) lado motor	°C	89.8	
16	Temperatura aislamiento lado Bowl (MOTOR) lado bowl	°C	70.2	
17	Temperatura lado Bowl (MOTOR) lado motor	°C	50	
18	Nivel de aceite de lubricación (Tanque)	%	51.3	
19	Nivel de aceite hidráulico (Tanque)	%	83	

COMENTARIOS: MONITOREO CONSTANTE DE REPARACIONES DE LA CHANCADORA #3 HP6, POR ALTAS TEMPERATURAS

Fuente: Área de planeamiento de Sociedad Minera el Brocal


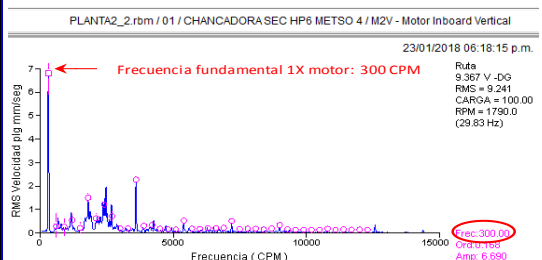



### Anexo 3. Procedimiento del alineamiento de la trituradora cónica HP6.

EL BROCAL		PTSAC	
<b>REPORTE DE ALINEAMIENTO DE POLEAS - PTSAC N° 1599</b>			
PARA	Ings. Luis Carpio / Ronald Apolitano / Walter Fernández		
DE	Víctor Vigo / Miguel Padilla / Jaime Espinoza		
REVISADO POR	Walter Saavedra		
FECHA DE ALINEAMIENTO	sábado, 30 de junio de 2018		
FECHA DE ENTREGA DE REPORTE	sábado, 30 de junio de 2018		
<b>Reporte de Servicio</b>		CODIGO DE EQUIPO	DESCRIPCIÓN
PTSAC N°	1599	608319	CHANCADORA CÓNICA SECUNDARIA HP6 N° 4
ESTADO	DESALINEAMIENTO RESIDUAL	ÁREA	
EXCELENTE	0.50 mm	CHANCADO SECUNDARIO	
		CHANCADO Pb - Zn	
<b>PROCEDIMIENTO</b>		Figura 1: IMAGEN DEL EQUIPO	
<b>DATOS TÉCNICOS DE POLEAS</b>		Figura 2: VERIFICACIÓN DE ALINEAMIENTO	
N° Canales de p Polea Motriz	10		
N° Canales de p Polea Conducida	10		
Condición de canales poleas	Desgastadas		
Tipo de faja	8V 2850		
N° de fajas colocadas	10		
Condición de las fajas	Nuevas		
<b>TOLERANCIAS DE ALINEAMIENTO</b>			
EXCELENTE	Dentro de tolerancia excelente		
ACEPTABLE	Dentro de tolerancia aceptable		
DESALINEADO	Intervención a la brevedad		
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Se verificó el estado del alineamiento encontrándose en condición <u>excelente</u>.</li> <li>Se procedió al tensado de las fajas dejándolo en 12Hz (1992N), quedando en condición <u>excelente</u>.</li> <li>Se recomienda verificar el tensado de las fajas después de 5 días de trabajo.</li> </ul>			


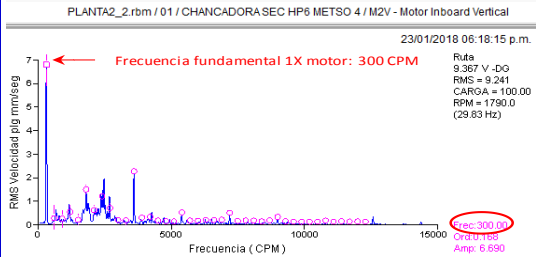

Fuente: Área de Planeamiento de Sociedad Minera El Brocal

Anexo 3. Reporte de monitoreo y análisis vibracional

PTSAC		REPORTE TÉCNICO PREDICTIVO				EL BROCAL Sociedad Minera El Brocal S.A.A.				
DATOS										
TÉCNICA	ANÁLISIS VIBRACIONAL	INSPECTOR	DAVID ANGELES	ANALISTA	JORGE MAGALLANES - AV CAT II					
FECHA	23/01/2018	ÁREA	PL2 - CHANCADO Pb/Zn	TAG	0608124					
EQUIPO	CHANCADORA CÓNICA SECUNDARIA HP6 N° 04			CONDICIÓN	ALERTA					
DIAGNÓSTICO				IMAGEN DEL EQUIPO						
<p><b>MOTOR:</b> Se aprecian valores elevados de vibración global con mayor incidencia en la dirección vertical. La amplitud de la frecuencia fundamental 1X (300 CPM) ha incrementado en el tiempo a causa de pérdida de disipación de energía de vibración en los amortiguadores.</p> <p><b>CHUMACERAS:</b> Después de levantar las observaciones recomendadas por predictivo (nivelación y alineamiento de chumaceras) la temperatura disminuyó en la chumacera lado cople de 60 a 36 °C y en el lado libre de 80 a 36 °C. La amplitud de vibración ha incrementado en la dirección vertical a causa de los mismos problemas en los amortiguadores.</p>										
SERVICIOS SOLICITADOS				VALORES GLOBALES DE VIBRACIÓN						
1. Revisar integridad de amortiguadores. Evaluar su cambio.				COMPONENTE	PUNTOS	POSICIÓN	23-ene	20-ene	14-ene	24-dic
				MOTOR	1	HORIZON	11.26	12.95	13.19	10.27
						PEAKVUE	0.06	0.06	0.09	0.07
						VERTICAL	9.76	11.00	11.67	9.49
					AXIAL	9.57	4.87	5.32	3.34	
					2	HORIZON	10.16	12.15	12.60	9.22
						PEAKVUE	0.07	0.06	0.10	0.06
				VERTICAL		9.37	8.26	11.29	9.56	
				CHUMACERAS	3	HORIZON	12.46	12.98	13.90	12.24
						PEAKVUE	1.38	0.45	0.59	0.66
						VERTICAL	9.88	10.04	10.91	10.34
					4	HORIZON	13.14	7.12	9.36	12.01
						PEAKVUE	0.79	0.64	0.69	1.27
						VERTICAL	15.47	13.95	13.13	13.72
				CHANCADORA	5	HORIZON	11.58	6.70	9.88	7.08
PEAKVUE	10.33	10.27	11.29			9.03				
VERTICAL	0.08	0.92	1.16			0.79				
TEMPERATURA	PUNTO 1	8.90	9.79		10.25	9.52				
	PUNTO 2	7.68	10.06		12.17	8.16				
	PUNTO 3	11	17		16	19				
PUNTO 4	56	55	54	58						
PUNTO 5	37	39	36	60						
PUNTO 6	36	38	39	80						
PUNTO 7	37	36	35	32						
SOLICITUD DE AVISOS				TABLA DE SEVERIDAD						
N° DE SOLICITUD		FECHA		NIVELES MÁXIMOS DE VIBRACIÓN						
SOLICITUD MECÁNICO N° 20361		24/01/2018		NORMA ISO 180816 - 3, EN MM/SEG RMS						
				SATISFACTORIO	0	a	4.5			
				ALERTA	4.5	a	11.2			
				EMERGENCIA	11.2	a	+			
				CONDICIÓN DE RODAMIENTO, PEAKVUE EN G'S						
				SATISFACTORIO						
				ALERTA						
				EMERGENCIA						
ESPECTROS RELEVANTES				IMAGEN DE ALINEAMIENTO Y NIVELACIÓN DE CHUMACERAS						
<p>PLANTA2_2.rbm / 01 / CHANCADORA SEC HP6 METSO 4 / M2V - Motor Inboard Vertical</p> <p>23/01/2018 06:18:15 p.m.</p> <p>Ruta: 9.367 V -DG RMS = 9.241 CARGA = 100.00 RPM = 1790.0 (29.83 Hz)</p> <p>Frecuencia fundamental 1X motor: 300 CPM</p> 										
ELABORADO POR:		ALCANCE:		APROBADO POR:						
INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO		ÁREA PREDICTIVO PTSAC		SUPERINTENDENCIA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO						


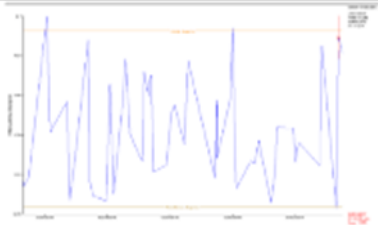
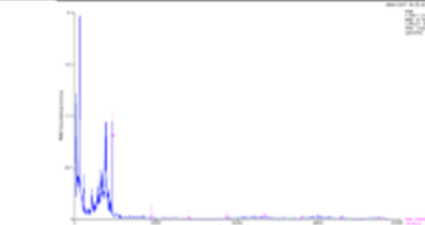
Fuente: Área de Planeamiento de Sociedad Minera El Brocal.

Anexo 3. Reporte de monitoreo y análisis vibracional

PTSAC		REPORTE TÉCNICO PREDICTIVO				EL BROCAL Sociedad Minera El Brocal S.A.A.				
DATOS										
TÉCNICA	ANÁLISIS VIBRACIONAL	INSPECTOR	DAVID ANGELES	ANALISTA	JORGE MAGALLANES - AV CAT II					
FECHA	23/01/2018	ÁREA	PL2 - CHANCADO Pb/Zn	TAG	0608124					
EQUIPO	CHANCADORA CÓNICA SECUNDARIA HP6 N° 04			CONDICIÓN	ALERTA					
DIAGNÓSTICO				IMAGEN DEL EQUIPO						
<p><b>MOTOR:</b> Se aprecian valores elevados de vibración global con mayor incidencia en la dirección vertical. La amplitud de la frecuencia fundamental 1X (300 CPM) ha incrementado en el tiempo a causa de pérdida de disipación de energía de vibración en los amortiguadores.</p> <p><b>CHUMACERAS:</b> Después de levantar las observaciones recomendadas por predictivo (nivelación y alineamiento de chumaceras) la temperatura disminuyó en la chumacera lado cople de 60 a 36 °C y en el lado libre de 80 a 36 °C. La amplitud de vibración ha incrementado en la dirección vertical a causa de los mismos problemas en los amortiguadores.</p>										
SERVICIOS SOLICITADOS				VALORES GLOBALES DE VIBRACIÓN						
1. Revisar integridad de amortiguadores. Evaluar su cambio.				COMPONENTE	PUNTOS	POSICIÓN	23-ene	20-ene	14-ene	24-dic
				MOTOR	1	HORIZON	11.26	12.95	13.19	10.27
						PEAKVUE	0.06	0.06	0.09	0.07
						VERTICAL	9.76	11.00	11.67	9.49
					AXIAL	9.57	4.87	5.32	3.34	
					2	HORIZON	10.16	12.15	12.60	9.22
						PEAKVUE	0.07	0.06	0.10	0.06
				VERTICAL		9.37	8.26	11.29	9.56	
				CHUMACERAS	3	HORIZON	12.46	12.98	13.90	12.24
						PEAKVUE	1.38	0.45	0.59	0.66
						VERTICAL	9.88	10.04	10.91	10.34
					4	AXIAL	13.14	7.12	9.36	12.01
						HORIZON	13.15	13.91	14.97	12.70
						PEAKVUE	0.79	0.64	0.69	1.27
				CHANCADORA	5	VERTICAL	15.47	13.95	13.13	13.72
						AXIAL	11.58	6.70	9.88	7.08
						HORIZON	10.33	10.27	11.29	9.03
						PEAKVUE	0.08	0.92	1.16	0.79
				TEMPERATURA	5	VERTICAL	8.90	9.79	10.25	9.52
						AXIAL	7.68	10.06	12.17	8.16
PUNTO 1	11	17	16			19				
PUNTO 2	56	55	54			58				
PUNTO 3	37	39	36	60						
PUNTO 4	36	38	39	80						
PUNTO 5	37	36	35	32						
SOLICITUD DE AVISOS				TABLA DE SEVERIDAD						
N° DE SOLICITUD		FECHA		NIVELES MÁXIMOS DE VIBRACIÓN						
SOLICITUD MECÁNICO N° 20361		24/01/2018		NORMA ISO 180816 - 3, EN MM/SEG RMS						
				SATISFACTORIO	0	a	4.5			
				ALERTA	4.5	a	11.2			
				EMERGENCIA	11.2	a	+			
CONDICIÓN DE RODAMIENTO, PEAKVUE EN G'S										
				SATISFACTORIO	0	a	1			
				ALERTA	1	a	2			
				EMERGENCIA	2	a	+			
ESPECTROS RELEVANTES				IMAGEN DE ALINEAMIENTO Y NIVELACIÓN DE CHUMACERAS						
<p>PLANTA2_2.rbm / 01 / CHANCADORA SEC HP6 METSO 4 / M2V - Motor Inboard Vertical</p> <p>23/01/2018 06:18:15 p.m.</p> <p>← Frecuencia fundamental 1X motor: 300 CPM</p> <p>Ruta: 9.367 V - DG RMS = 9.241 CARGA = 100.00 RPM = 1790.0 (29.83 Hz)</p> 										
ELABORADO POR:		ALCANCE:		APROBADO POR:						
INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO		ÁREA PREDICTIVO PTSAC		SUPERINTENDENCIA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO						

Fuente: Área de Planeamiento de Sociedad Minera El Brocal

Anexo 3. Reporte de monitoreo y análisis vibracional

	SMEB		Código:																					
	Documento de Datos		Revisión:	04/01/2017																				
	INFORME TÉCNICO PREDICTIVO		Área:	MANIFIESTO																				
		Paginas:		1 de 1																				
<b>INFORME DE MEDICIÓN PREDICTIVA</b>																								
Inspector:	Guillermo Jurado	Fecha:	04/01/2017	Área: CHANCADO - PLANTA 2																				
TAG:		Descripción:	CHANCADORA SECUNDARIA HP6 METSO N°4																					
Prioridad:	ALERTA	Laudo Inspección:	Análisis de Vibraciones	Plazo de Ejecución:																				
Anomalías:	Se evidenció un incremento con tendencia lineal creciente en el valor de PeakVue (estado de rodamientos) en la chumacera lado acople punto 3. Se está realizando el seguimiento de las frecuencias de rodamiento con la intención de poder identificar la falla por vibración. Con respecto a la temperatura hubo un incremento por tema de lubricación que se realizó el día anterior.																							
<b>Servicios Solicitados</b>		<b>VALORES GLOBALES DE VIBRACION</b>																						
1. Coordinar con personal de operación de las chancadoras para reiniciar con el monitoreo. 2. Continuar con el monitoreo de vibraciones con la finalidad de evaluar al comportamiento del equipo		Componente:	Puntos	Dirección:	Unidad	03-ene	04-ene	05-ene																
		MOTOR	1	HORIZONTAL	mm/seg	3,65	3,65	3,65																
				PEAKVUE	G x	8,875	8,875	8,875																
				VERTICAL	mm/seg	5,788	5,788	5,788																
			AXIAL	mm/seg	3,152	3,152	3,152																	
			2	HORIZONTAL	mm/seg	3,55	3,618	1,791																
				PEAKVUE	G x	8,188	8,167	8,889																
		VERTICAL		mm/seg	8,189	8,692	9,151																	
		AXIAL	mm/seg	2,885	4,889	2,284																		
		CHUMACERAS	3 L A	HORIZONTAL	mm/seg	4,04	3,528	3,889																
				PEAKVUE	G x	8,788	1,922	1,847																
				VERTICAL	mm/seg	5,895	5,972	5,882																
			AXIAL	mm/seg	5,725	5,876	4,781																	
			4 LL	HORIZONTAL	mm/seg	5,837	2,892	3,582																
				PEAKVUE	G x	1,167	8,971	1,571																
		VERTICAL		mm/seg	11,29	12,12	9,8																	
		AXIAL	mm/seg	12,38	6,768	5,179																		
		5	HORIZONTAL	mm/seg	4,543	2,561	1,884																	
			PEAKVUE	G x	8,793	8,482	8,822																	
			VERTICAL	mm/seg	7,411	12,84	8,881																	
AXIAL	mm/seg	8,51	2,89	2,743																				
<b>Responsabilidad:</b>		<b>TEMPERATURA</b>																						
		PUNTO 1	12	11	11																			
		PUNTO 2	21	19	19																			
		PUNTO 3	31	12	12																			
		PUNTO 4	37	35	40																			
		PUNTO 5	26	23	23																			
<b>Analista:</b>																								
Carlos Huayta-Nivel II																								
<b>Planificación de la inspección:</b>																								
El equipo tiene un Stand By para el cambio?																								
[ ] SI [ ] NO																								
Hay una pieza de recambio en el almacén?																								
[ ] SI [ ] NO [ ] INNECESARIO																								
Se requiere verificación Mecánica en Situ de algún componente?																								
[ ] SI [ ] NO [ ] INNECESARIO																								
<b>GRÁFICO DE TENDENCIA PEAKVUE PUNTO 3</b>		<b>GRÁFICO DE ESPECTRO PUNTO 3</b>																						
																								
<b>Debe ser llenado por mantenedor</b>		<b>Tablas de severidad</b>																						
1	El defecto indicado en el laudo estaba correcto ( )	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <th colspan="4">Niveles Maximos de Vibracion</th> </tr> <tr> <th colspan="4">Norma ISO 10816-3 (mm/s -RMS)</th> </tr> <tr> <td style="background-color: green;">NORMAL</td> <td>&lt;</td> <td>4.5</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="background-color: yellow;">ALERTA</td> <td></td> <td>7.2</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="background-color: red;">EMERGENCIA</td> <td>&gt;</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			Niveles Maximos de Vibracion				Norma ISO 10816-3 (mm/s -RMS)				NORMAL	<	4.5		ALERTA		7.2		EMERGENCIA	>		
Niveles Maximos de Vibracion																								
Norma ISO 10816-3 (mm/s -RMS)																								
NORMAL	<	4.5																						
ALERTA		7.2																						
EMERGENCIA	>																							
2	Tiempo de la ejecución del servicio:	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <th colspan="4">Niveles Maximos - Estado Rodamiento</th> </tr> <tr> <td style="background-color: green;">NORMAL</td> <td>&lt;</td> <td>1</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="background-color: yellow;">ALERTA</td> <td></td> <td>2.0</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="background-color: red;">EMERGENCIA</td> <td>&gt;</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			Niveles Maximos - Estado Rodamiento				NORMAL	<	1		ALERTA		2.0		EMERGENCIA	>						
Niveles Maximos - Estado Rodamiento																								
NORMAL	<	1																						
ALERTA		2.0																						
EMERGENCIA	>																							
3	El laudo del analista fue: ( ) Éxito ( ) Dudoso ( ) No había falla																							
FAVOR ENTREGAR A PREDICTIVO, SI FUERA EL CASO, LOS ELEMENTOS SUSTITUIDOS PARA UN POSTERIOR ANALISIS.																								
Elaborado por: Johnny Chirinos		Alcance: SMEB	Aprobado por: Jose Cochachi																					

Fuente: Área de Planeamiento de Sociedad Minera El Brocal

### Anexo 4. Procedimiento del alineamiento de la trituradora cónica HP6.

EL BROCAL		PTSAC	
<b>REPORTE DE ALINEAMIENTO DE POLEAS - PTSAC N° 1599</b>			
PARA	Ings. Luis Carpio / Ronald Apolitano / Walter Fernández		
DE	Víctor Vigo / Miguel Padilla / Jaime Espinoza		
REVISADO POR	Walter Saavedra		
FECHA DE ALINEAMIENTO	sábado, 30 de junio de 2018		
FECHA DE ENTREGA DE REPORTE	sábado, 30 de junio de 2018		
<b>Reporte de Servicio</b>		CODIGO DE EQUIPO	DESCRIPCIÓN
PTSAC N°	1599	608319	CHANCADORA CÓNICA SECUNDARIA HP6 N° 4
ESTADO	DESALINEAMIENTO RESIDUAL	ÁREA	
EXCELENTE	0.50 mm	CHANCADO SECUNDARIO	
		CHANCADO Pb - Zn	
<b>PROCEDIMIENTO</b>		Figura 1: IMAGEN DEL EQUIPO	
<b>DATOS TÉCNICOS DE POLEAS</b>		Figura 2: VERIFICACIÓN DE ALINEAMIENTO	
N° Canales de polea Motriz	10		
N° Canales de polea Conducida	10		
Condición de canales poleas	Desgastadas		
Tipo de faja	8V 2850		
N° de fajas colocadas	10		
Condición de las fajas	Nuevas		
<b>TOLERANCIAS DE ALINEAMIENTO</b>			
EXCELENTE	Dentro de tolerancia excelente		
ACEPTABLE	Dentro de tolerancia aceptable		
DESALINEADO	Intervención a la brevedad		
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Se verificó el estado del alineamiento encontrándose en condición <u>excelente</u>.</li> <li>Se procedió al tensado de las fajas dejándolo en 12Hz (1992N), quedando en condición <u>excelente</u>.</li> <li>Se recomienda verificar el tensado de las fajas después de 5 días de trabajo.</li> </ul>			

Fuente: Área de Planeamiento de Sociedad Minera El Brocal

**Anexo 5. Costo de mantenimiento de los rodamientos.**

ITEM	CANT.	NÚMERO DE PARTE	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	TIEMPO DE ENTREGA APROX. (Días)
1	1	N55309500	MANTLE	8,450.00	8,450.00	80
2	1	N55309508	MANTLE	9,893.00	9,893.00	105
3	1	N55309509	MANTLE	10,198.00	10,198.00	75
4	1	N55209501	BOWL LINER	9,485.00	9,485.00	80
5	1	N55209502	BOWL LINER	11,389.00	11,389.00	80
6	1	N55209503	BOWL LINER	11,757.00	11,757.00	80
7	1	N55209504	BOWL LINER	13,134.00	13,134.00	75
8	1	N55209500	BOWL LINER	11,704.00	11,704.00	80
9	1	N12080212	TORCH RING	590.00	590.00	75
10	1	N65558322	FEED CONE	707.00	707.00	75
12	1	7001530883	BOLT, HEXAGONAL	70.00	70.00	80
13	1	7001632042	WASHER, SPRING	7.00	7.00	85
14	6	N74006100	BAR, ROUND	111.00	666.00	75
15	6	N98000666	WASHER	160.00	960.00	135
16	6	N74209004	WASHER	91.00	546.00	75
17	6	MM0319908	BOLT, HEXAGONAL	319.00	1,914.00	75
18	6	N43202035	CLAMPING FORK	336.00	2,016.00	75
19	60	704209465000	CUP SPRING	20.00	1,200.00	80
20	6	MM0319908	BOLT, HEXAGONAL	319.00	1,914.00	75
21	1	N15656214	HEAD BUSHING	9,488.00	9,488.00	85
22	1	N01532141	SCREW, HEXAGONAL	7.10	7.10	85
23	1	7001624010	WASHER, PLAIN	2.30	2.30	90
24	1	N24950511	HEAD BALL	5,329.00	5,329.00	75
25	1	N74201755	WASHER	124.00	124.00	75
26	1	7001530424	SCREW, HEXAGONAL	3.00	3.00	75

Fuente: Área de Ingeniería de Planeamiento Sociedad Minera el Brocal.

## Anexo 5. Costo de mantenimiento de los rodamientos.

ITEM	CANT.	NÚMERO DE PARTE	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	TIEMPO DE ENTREGA APROX. (Días)
27	1	7001634020	WASHER, SPRING	5.00	5.00	85
28	1	N74129032	THRUST BEARING, UPPER	1,534.00	1,534.00	75
29	1	1003766291	SCREW, CAP, HEXAGON SOCKET HEAD	1.00	1.00	85
30	1	1003086066	WASHER, LOCK	3.00	3.00	85
31	1	N15607254	ECCENTRIC BUSHING	5,090.00	5,090.00	75
32	1	N15606251	COUNTERSHAFT BUSHING	1,919.00	1,919.00	155
33	1	7001548126	SCREW, SET, HEXAGON SOCKET, CUP POINT	4.00	4.00	75
34	1	N88010103	CYLINDER ASSEMBLY	4,636.00	4,636.00	75
35	1	N41003701	NUT, SPHERICAL	214.00	214.00	75
36	1	N41003700	NUT, SPHERICAL	271.00	271.00	75
37	1	N01612087	PIN, SPLIT	2.30	2.30	85
38	1	N14856003	AXLE	314.00	314.00	75
41	3	7002118066	CLAMP, HOSE	3.30	9.90	85
42	3	N80200507	PROTECTIVE BELLOWS	182.00	546.00	75
43	1	N29550019	JACK	4,595.00	4,595.00	85
44	1	N73210503	SPRING	53.00	53.00	85
45	1	1001998508	CAP	4.40	4.40	105
46	1	N49300007	PIN	472.00	472.00	75
47	1	7001530424	SCREW, HEXAGONAL	6.20	6.20	85
48	1	7001630020	WASHER LOCK SRRTD DIN6798J-M20-ZN@	1.80	1.80	90
49	1	7001624020	WASHER, PLAIN	2.30	2.30	90
50	1	7002125801	SWITCH, PRESSURE	482.00	482.00	75
51	1	MM0299241	FLOW SW SI5000 (20-36VDC, PNP NO/NC 250M	1,030.00	1,030.00	155
52	1	MM0237966	SENSOR, PROXIMITY	91.20	91.20	75
53	1	MM0232286	CONNECTOR, SOCKET	29.60	29.60	75
54	1	MM0352150	TRANSMITTER, TEMPERATURE	256.00	256.00	75
55	1	1022139802	BUSHING	106.00	106.00	85
56	1	N01602100	RING, RETAINING, EXTERNAL	6.40	6.40	75
57	1	N53129005	U-SEAL	885.00	885.00	75
58	1	N21900359	MAIN FRAME LINER	2,420.00	2,420.00	70
59	1	N21900360	MAIN FRAME LINER	2,058.00	2,058.00	85

ITEM	CANT.	NÚMERO DE PARTE	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	TIEMPO DE ENTREGA APROX. (Días)
60	1	N84101519	SEAT LINER SEGMENT	4,556.00	4,556.00	75
61	4	N84101909	PROTECTION PLATE	66.30	265.20	75
62	1	N05502281	FILTER ELEMENT, AIR	111.00	111.00	75

<b>VALOR DE VENTA TOTAL</b>	<b>US\$ 143,533.70</b>
-----------------------------	------------------------

Fuente: Área de Ingeniería de Planeamiento Sociedad Minera el Brocal.