



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA TRITURADORA DE EJE
VERTICAL NORDBERG BARMAC SERIE B8100**

Gustavo Eduardo Porras Mendoza

Asesorado por el Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

Guatemala, marzo de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA TRITURADORA DE EJE
VERTICAL NORDBERG BARMAC SERIE B8100**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

GUSTAVO EDUARDO PORRAS MENDOZA

ASESORADO POR EL ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, MARZO DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres
EXAMINADOR	Ing. Roberto Guzmán Ortiz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA TRITURADORA DE EJE VERTICAL NORDBERG BARMAC SERIE B8100

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 21 de marzo de 2017.



Gustavo Eduardo Porrás Mendoza



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.322.2017

El Coordinador del Área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA TRITURADORA DE EJE VERTICAL NORDBERG BARMAC SERIE B8100** desarrollado por el estudiante **Gustavo Eduardo Porras Mendoza**, CUI **2093410760207**, Registro Académico **201146425** recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador Área Complementaria
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, noviembre 2017

Guatemala, 23 de noviembre de 2017


Ingeniero
Roberto Guzmán Ortiz
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Roberto:

Respetuosamente, le informo que he revisado el trabajo de graduación titulado **PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA TRITURADORA DE EJE VERTICAL NORDBERG BARMAC SERIE B8100** presentado por el estudiante **Gustavo Eduardo Porras Mendoza** y después de haber realizado las correcciones pertinentes, considero que cumple con los objetivos que le dieron origen.

Por lo tanto, hago de su conocimiento que, en mi opinión, dicho trabajo llena los requisitos necesarios para ser sometido a discusión en su Examen General Público y recomiendo su aprobación para el efecto.

Atentamente,


Carlos Humberto Pérez Rodríguez
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL
Colegiado 3071

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Ingeniero Mecánico Industrial
Colegiado No. 3071



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.076.2018

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área Complementaria del trabajo de graduación titulado: **PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA TRITURADORA DE EJE VERTICAL NORDBERG BARMAC SERIE B8100** desarrollado por el estudiante **Gustavo Eduardo Porras Mendoza**, CUI **2093410760207**, Registro Académico **201146425** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala marzo de 2018

/aej

Universidad de San Carlos
De Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.083.2018

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA TRITURADORA DE EJE VERTICAL NORDBERG BARMAC SERIE B8100**, presentado por el estudiante universitario: **Gustavo Eduardo Porras Mendoza**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Angel Roberto Sic García
Decano en Funciones



Guatemala, marzo de 2018

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por guiarme y cuidar de mí, cada día en los largos viajes.
Mis abuelos	María Matea Escobar, por su amor; en paz descansen mis abuelos Juan Porras, Lucas Mendoza y María Luisa de León.
Mis padres	Edgar Porras y Mandina Mendoza, por todo su amor y apoyo.
Mis hermanos	Edgar y Joselyn Porras, por su apoyo y motivación.
Mi sobrino	Alexander por su cariño.
Mis tíos	Alba, Hernán, Roynel Mendoza y Arnulfo Reyes por ser una importante influencia en mi carrera.
Mis primos	Byron, Alba y Jorge Reyes Mendoza.
Mi primo	Emilio Porras, quien ha sido un ejemplo por seguir
Mis familias	Porras y Mendoza, a cada uno por su cariño y apoyo.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por formar profesionales de alta capacidad técnica y teórica.
Facultad de Ingeniería	Por formar en mi persona a un profesional con mucha disciplina.
Mis padres	Edgar Porras y Mandina Mendoza, por enseñarme altos valores morales y éticos.
Alba Mendoza	Por aceptarme y hacer de mí, un hijo más en su familia.
Ing. Emilio Porras	Por todos sus consejos y apoyo incondicional.
Los ingenieros de la Escuela de Ingeniería Mecánica, USAC	Byron Palacios, Roberto Guzmán y Carlos Pérez, por sus consejos y apoyo durante mi carrera.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Producción de agregados de construcción.....	1
1.2. Tipos de trituradoras.....	3
1.2.1. Trituradora de mandíbula.....	3
1.2.2. Trituradora de cono	4
1.2.3. Trituradora de eje horizontal	5
1.2.4. Trituradora de eje vertical	6
1.3. Mantenimiento	6
1.3.1. Causa raíz del mantenimiento	7
1.3.2. Tipos de mantenimiento	7
1.3.3. Mantenimiento reparativo	7
1.3.4. Mantenimiento correctivo.....	8
1.3.5. Mantenimiento preventivo.....	8
1.3.6. Mantenimiento predictivo.....	8
2. MANTENIMIENTO PREDICTIVO	9
2.1. Cómo funciona el mantenimiento predictivo.....	9
2.2. Flujograma del mantenimiento predictivo	9

2.3.	Beneficios de la implementación del mantenimiento predictivo.....	11
3.	TRITURADORA DE EJE VERTICAL NORDBERG BARMAC B8100.....	13
3.1.	Trituradora de VSI Nordberg Barmac B8100	13
3.2.	Partes y componentes.....	13
3.3.	Procedimiento de puesta en marcha.....	17
3.4.	Operación.....	18
4.	MÉTODOS Y TÉCNICAS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	19
4.1.	Monitoreo y análisis de vibraciones	19
4.2.	Monitoreo de ruidos ultrasónicos	20
4.3.	Monitoreo y análisis de lubricantes	20
4.4.	Inspección de termografías	20
5.	RESULTADOS.....	23
5.1.	Costos de implementación	23
5.2.	Tipos de análisis por realizarse a la trituradora VSI N. Barmac B8100	25
5.3.	Interpretación del análisis de técnicas de mantenimiento predictivo.....	25
5.3.1.	Análisis de vibraciones.....	26
5.3.2.	Análisis de inspecciones termografías	28
5.3.3.	Inspecciones VOSO	30
	CONCLUSIONES.....	33
	RECOMENDACIONES	35
	BIBLIOGRAFÍA.....	37
	ANEXOS.....	39

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Planta de producción de agregados de construcción.....	2
2.	Trituradora de mandíbula	4
3.	Trituradora de cono	5
4.	Trituradora de eje horizontal	6
5.	Flujograma del mantenimiento predictivo.....	11
6.	Componente exterior de la trituradora VSI N. Barmac B8100.....	14
7.	Componente interno de la trituradora VSI N. Barmac B8100.....	16
8.	Componente rotor y piezas de desgaste.....	17

TABLAS

I.	Costos de implementación de mantenimiento predictivo anual.....	24
II.	Tipos de grasas recomendadas	30
III.	Formato de inspección VOSO a VSI N. Barmac B8100.....	31

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
%	Porcentaje
..	Pulgada
°C	Grados Celsius

GLOSARIO

Cantera	Banco o almacenamiento de donde se extrae la roca para la trituración.
Disponibilidad	Porcentaje del tiempo en el que una máquina puede operar.
Energía	Capacidad que tiene la materia para producir trabajo en forma de movimiento, calor, entre otras.
Espectro electromagnético	Longitud de onda de todas las radiaciones electromagnéticas.
Fragmentar	Reducción de un objeto desde su tamaño inicial.
ISO	International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización).
Lubricantes	Sustancia gaseosa, líquida o sólida que separa dos superficies con el objetivo de disminuir o reemplazar su fricción entre ambas.
mm/s	Milímetros sobre segundo.
Monitorear	Acción de inspeccionar una variable en estudio.

Pitman	Eje por el cual la trituradora de mandíbula tiene la acción de triturar.
Potencia	Rapidez con la que se realiza un trabajo.
ppm	Partes por millón.
Roca sedimentaria	Rocas formadas por partículas de diversos tamaños y son sometidas a procesos físicos y químicos naturales.
Rocas ígneas	Rocas que se forman mediante un proceso de solidificación por medio de enfriamiento del magma en las superficies terrestres o acuáticas.
Rotor	Parte giratoria de una máquina que proporciona energía en forma de velocidad.
rpm	Revoluciones por minuto.
Vibración	Movimiento continuo de un objeto a través de una posición de equilibrio en forma de vaivén.
VSI	Vertical shaft impact (trituradora de eje vertical).
VOCS	VSI Operational Control System (VSI Sistema de control de operacional).

VOSO

Ver, oír, sentir, oler.

RESUMEN

Este trabajo muestra una forma efectiva de la implementación del mantenimiento predictivo en los equipos de trituración de eje vertical Nordberg Barmac serie B8100, de acuerdo con especificaciones del fabricante, normalizaciones y experiencias técnicas, con el fin de aumentar la disponibilidad y disminuir costos de mantenimiento correctivo.

El mantenimiento predictivo sirve como herramienta para el monitoreo de equipos creando un diagnóstico respecto del tiempo de operación. Las tecnologías por aplicarse dentro del plan de mantenimiento predictivo se basan en las fallas comunes que sufren los VSI, los cuales pueden corregirse creando una probabilidad de falla. Por ello se busca planificar paros estratégicos para su mantenimiento y no afectar el proceso de producción por fallas catastróficas.

Así mismo, se estimará un costo aproximado para la implementación de las tecnologías predictivas que se aplicarán. También se indican datos específicos de los resultados que evaluarán el estado del equipo.

OBJETIVOS

General

Crear un plan de mantenimiento predictivo en trituradoras de eje vertical Nordberg Barmac serie B8100.

Específicos

1. Determinar las áreas importantes de inspección que hay en la trituradora de eje vertical Nordberg Barmac B8100.
2. Definir los tipos de análisis adecuados para el mantenimiento predictivo de las trituradoras de eje vertical.
3. Disminuir las acciones correctivas a través de un plan de mantenimiento predictivo.
4. Demostrar que los análisis predictivos son una herramienta importante dentro del mantenimiento.
5. Estimar los costos que trae como consecuencia la implementación del mantenimiento predictivo, según los tipos de análisis implementados.

INTRODUCCIÓN

El equipo del cual se expondrá a continuación puede ser parte del proceso en las empresas dedicadas a la producción de agregados de construcción. Este trabajo de graduación propone como mejora en el funcionamiento del equipo de trituración de eje vertical, un plan de mantenimiento predictivo, como una herramienta para predecir fallas y evitar paros no programados, logrando así aumentar la disponibilidad del equipo dentro del proceso. Por consiguiente, este trabajo puede servir como una guía para realizar un plan de mantenimiento predictivo a los equipos de trituración de eje vertical Nordberg Barmac Serie B8100.

Las trituradoras de eje vertical son equipos que están expuestos a esfuerzos, desgaste y vibraciones en su funcionamiento, dentro de los procesos de trituración estos equipos juegan un papel importante. Los principales problemas que sufre una trituradora de eje vertical se encuentran en su eje de rotación.

El mantenimiento predictivo incluye una serie de acciones y técnicas que se aplican con el fin de detectar y predecir fallas o defectos dentro de la máquina en las etapas iniciales. Para muchos ingenieros esta clase de mantenimiento es una pérdida de recurso, ya que sus resultados se presentan en forma complicada y se requiere de mucho más estudio y capacitación al momento de traducirlos. Dada la criticidad del equipo en el sistema se propone la creación de un plan de mantenimiento predictivo para monitorear el equipo en su funcionamiento y que puedan realizarse acciones correctivas programadas.

1. GENERALIDADES

1.1. Producción de agregados de construcción

En la actualidad el mercado de construcción impone requisitos altos en la calidad de los agregados de construcción, ya que su alto consumo y su uso en conjunto con otros materiales lleva a cabo la edificación de puentes, carreteras, edificios, y otras obras de alta magnitud. La producción de agregados de construcción es un proceso sencillo cuyo objetivo es la reducción de las dimensiones de la roca de cantera. Esta roca es extraída del manto superficial terrestre por medio de explosivos potentes que fragmentan la roca, la cual es extraída y transportada al área de trituración por maquinaria móvil como excavadoras, cargadores frontales o camiones de volteo. La roca utilizada en este proceso puede ser roca ígnea o sedimentaria.

Las empresas productoras de agregados de construcción utilizan un proceso en el cual la roca es transportada por varias secciones de trituración con el objetivo de disminuir su dimensión y llegar a un producto final de despacho. Estos pueden clasificarse, por sus tamaños como finos o gruesos.

La sección de trituración primaria, reduce el tamaño de la roca entre 8" a 6" por medio de una trituradora de mandíbula. A continuación de este proceso el flujo de roca es tamizado en una criba vibratoria con el objetivo de separar el material que cumple con las dimensiones adecuadas para acceder al área de la sección de trituración secundaria y el material con dimensiones mayores. Este último es devuelto a la trituradora de mandíbula para reducir su dimensión.

La segunda fase es conocida como sección secundaria de trituración, o simplemente secundaria, en este proceso la roca es triturada por equipos tales como la trituradora de cono o de eje vertical calibradas para producir materiales a dimensiones de 3" a 2" de arista. A continuación, es trasladada a un tamiz vibratorio con el fin de clasificar los materiales adecuados al siguiente proceso de trituración y regresar al proceso de secundaria a los que no se encuentran dentro de este rango.

La sección de trituración terciara o más conocida simplemente como terciaria tiene como objetivo la disminución de dimensión de la roca entre 2" a ½". En esta sección se separan los materiales, algunos de los cuales son trasladados como producto final. Otros son trasladados de nuevo a la trituradoras de cono o giratorias, y otra parte del flujo de roca es trasladado hacia el área de trituración cuaternaria, esto con el objetivo de obtener producto de material fino o arena.

Figura 1. **Planta de producción de agregados de construcción**



Fuente: GÓNGORA MARTÍNEZ, Javier. *Agregados para concretos hidráulicos*.

<http://www.acimexico-snem.org/online/boletin-tecnico-01-2012>. Consulta: 3 de septiembre de 2017.

1.2. Tipos de trituradoras

Los distintos tipos de trituradoras en las industrias tienen una especialidad propia, debido a su principio de funcionamiento, al tipo de roca por triturar, al mantenimiento que realizará en su funcionamiento, así como también al rol estratégico en ciertos procesos de la trituración de la roca, cuyo objetivo es disminuir el volumen inicial hasta alcanzar un producto terminado. Algunas de las trituradoras más comunes dentro de la industria guatemalteca son:

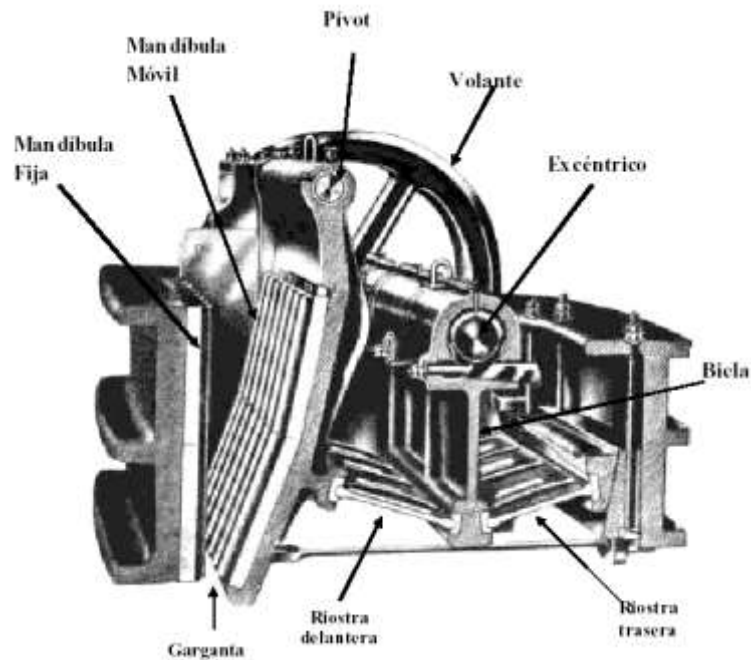
- Trituradora de mandíbula
- Trituradora de cono
- Trituradoras de eje horizontal o HSI
- Trituradoras de eje vertical

1.2.1. Trituradora de mandíbula

Este tipo de trituradora que utiliza la compresión como herramienta para la fragmentación de la roca utilizando un mecanismo de Pitman para su funcionamiento de vaivén, mediante un eje excéntrico conectado a una polea, la cual transfiere la potencia de un motor eléctrico.

Consiste en una placa móvil y la otra estacionaria que comprimen la roca y la fragmentan hasta una medida indicada para luego ser evacuada. Este tipo de trituradora se utiliza en el proceso primario donde la roca es suministrada mediante un alimentador vibratorio el cual hace que la trituradora no exceda su capacidad.

Figura 2. Trituradora de mandíbula



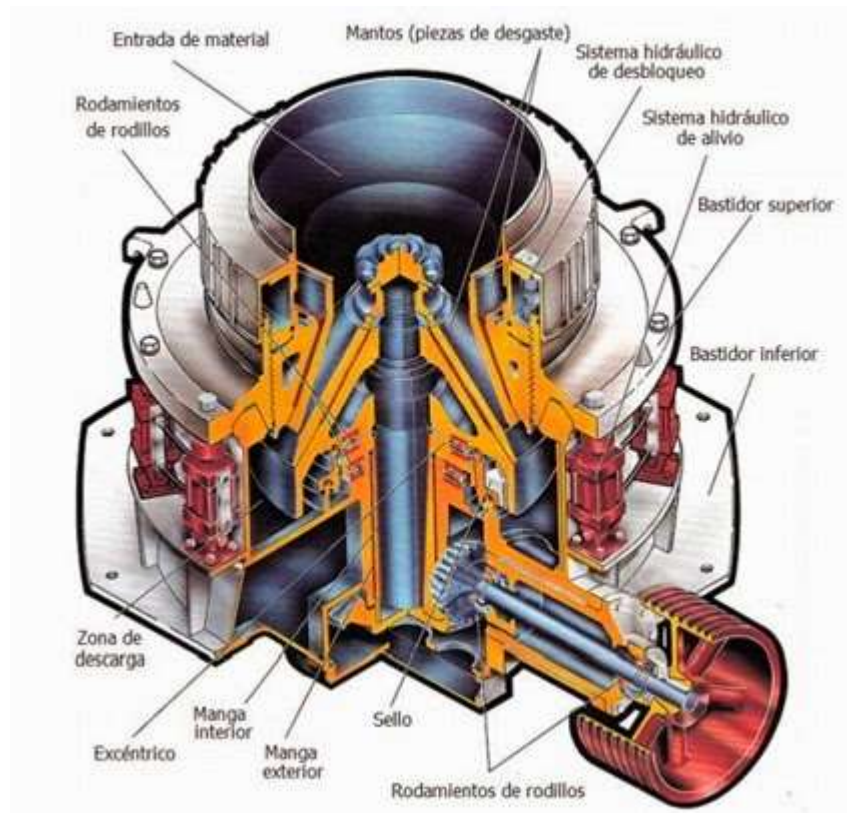
Fuente: CALVIÑO, Casal. *Trituración del Mineral*.<http://www.monografias.com/trabajos69/trituracion-mineral/trituracion-mineral2.shtml>.
Consulta: 3 de octubre de 2017.

1.2.2. Trituradora de cono

El funcionamiento de este tipo de trituradoras se basa en la excentricidad del eje el cual hace que su conicidad fragmente la roca por medio de la compresión entre sus piezas de desgaste, conocidas comúnmente como manto y revestimiento.

Este tipo de trituradora tiene la ventaja de montaje versátil, alta productividad y menor costo de operación.

Figura 3. Trituradora de cono

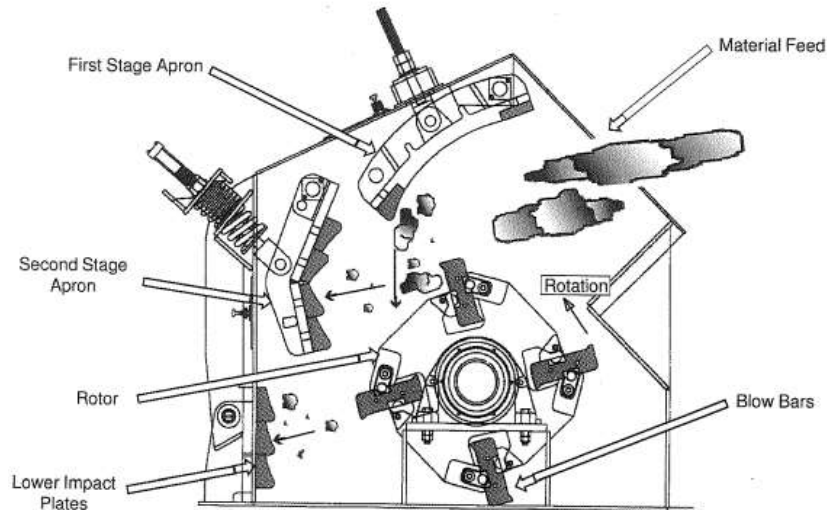


Fuente: MIRANDA, Juan Carlos. *Trituradoras giratorias II*. <http://apuntes-ing-mecanica.blogspot.com/2014/02/trituradoras-giratorias-ii.html>. Consulta: 5 de octubre de 2017.

1.2.3. Trituradora de eje horizontal

Conocida comúnmente como trituradora HSI (*Horizontal Shaft Impactor*). Este tipo de trituradora es muy efectiva en la trituración de minerales, utiliza la velocidad rotacional de sus martillos en el rotor en conjunto con sus corazas, la cual realiza la fragmentación de la roca, tal y como se muestra en la figura 4.

Figura 4. Trituradora de eje horizontal



Fuente: KPI-JCI, *Operation & Maintenance*, p 8.

1.2.4. Trituradora de eje vertical

Esta trituradora es comúnmente conocida como VSI (*Vertical Shaft Impactor*). Al igual que el HSI la fuerza de fragmentación está dada por la velocidad rotacional de su rotor. Este consta de puntas o martillos que hace la fragmentación de la roca en conjunto con el choque del flujo de rocas provenientes de la parte exterior de la trituradora, comúnmente llamado flujo de cascada. Este tipo de trituradora será ilustrada en las figuras 6, 7 y 8.

1.3. Mantenimiento

Es el conjunto de actividades que se realizan para preservar o mejorar los equipos con el fin de maximizar su disponibilidad y evitar reparaciones futuras con altos costos.

1.3.1. Causa raíz del mantenimiento

Las máquinas son un conjunto de elementos móviles y fijos que sirven como herramientas para facilitar o realizar un trabajo determinado y convertirlo en un producto o servicio, aprovechando una energía externa para su funcionamiento.

Las producciones masivas generan desgastes y averías en los elementos de máquinas, lo cual conlleva a reparaciones continuas, el aumento de costos de operación por equipos se ve reflejado en estos tipos de prácticas.

Estos tipos de prácticas dan raíz a los diferentes tipos de mantenimiento existentes con el fin de mejorar o aumentar la disponibilidad en sus operaciones y prever acciones futuras para evitar daños catastróficos en los equipos.

1.3.2. Tipos de mantenimiento

El tipo de mantenimiento usado en el medio guatemalteco es el de conservación, ya que se trata de compensar el deterioro que sufren los equipos a causa del mal uso u operación.

La diferencia que marcan los tipos de mantenimiento está dada por las aplicaciones y el tiempo en que se corrigen las fallas en los equipos.

1.3.3. Mantenimiento reparativo

Con este se inicia el mantenimiento en los equipos, ya que soluciona inmediatamente, mas no corrige la falla incipiente. Una de sus desventajas son los costos altos por reparación.

1.3.4. Mantenimiento correctivo

Este tipo de mantenimiento está dirigido a la corrección de fallas que fueron detectadas durante el marco del mantenimiento preventivo o fallas inesperadas que interrumpen la disponibilidad e inactividad de la operación, dando como medidas correctivas el reacondicionamiento de parte y sustitución de material o componentes dañados.

1.3.5. Mantenimiento preventivo

Es el mantenimiento planificado que tiene como rutina un programa basado en el tiempo de operación y funcionamiento del equipo, el cual está destinado para prevenir fallas en corto y mediano plazo, prologando la vida útil de los equipos. Una de las ventajas del mantenimiento preventivo es la planificación del uso de componentes, materiales y repuestos que serán utilizados dentro de las acciones que se realizarán en los equipos.

1.3.6. Mantenimiento predictivo

Son las acciones, estudios o pruebas que se realizan a un equipo o a sus componentes para predecir o detectar las causas en que una falla puede ocurrir y poder planificar y anticiparse a fallos que se aproximan.

2. MANTENIMIENTO PREDICTIVO

2.1. Cómo funciona el mantenimiento predictivo

La estrategia del mantenimiento predictivo consiste en el estudio de una o varias variables de operación, desarrollando indicadores en sus respectivas variables con el fin de alertar problemas en su funcionamiento. Estas alertas pueden ser una estimación aproximada con base a experiencia y cálculos exactos basados en normas internacionales originadas en pruebas realizadas con algunos elementos similares o cálculos dados por el fabricante. El análisis de los resultados de las variables estudiadas puede desarrollar una tendencia respecto del tiempo del funcionamiento u operación exacto del equipo. Así se podría decir que establece una tendencia de la “salud” par los equipos.

Algunas técnicas utilizadas en el estudio de variables en los equipos son:

- Análisis de lubricantes
- Análisis de vibraciones
- Termografías
- Análisis de ultrasonidos
- Boroscopías
- Inspecciones VOSO

2.2. Flujograma del mantenimiento predictivo

La inserción de un plan de mantenimiento predictivo dentro de los planes de mantenimiento de una empresa se basa en lo económico y lo factible que

puede resultar la implementación dentro de su rutina en la conservación de los activos importantes.

La implementación consiste en una serie de procesos secuenciales los cuales pueden ser mejorados incluyendo otras técnicas administrativas. El primero de ellos es el reconocimiento de los activos importantes en las líneas de producción, los cuales pueden ser una gran pérdida económica dentro de la empresa cuando el equipo falle.

El segundo paso es determinar el modo de falla en los elementos mecánicos y comprender el funcionamiento del equipo desde el punto de vista mecánico, eléctrico u operacional.

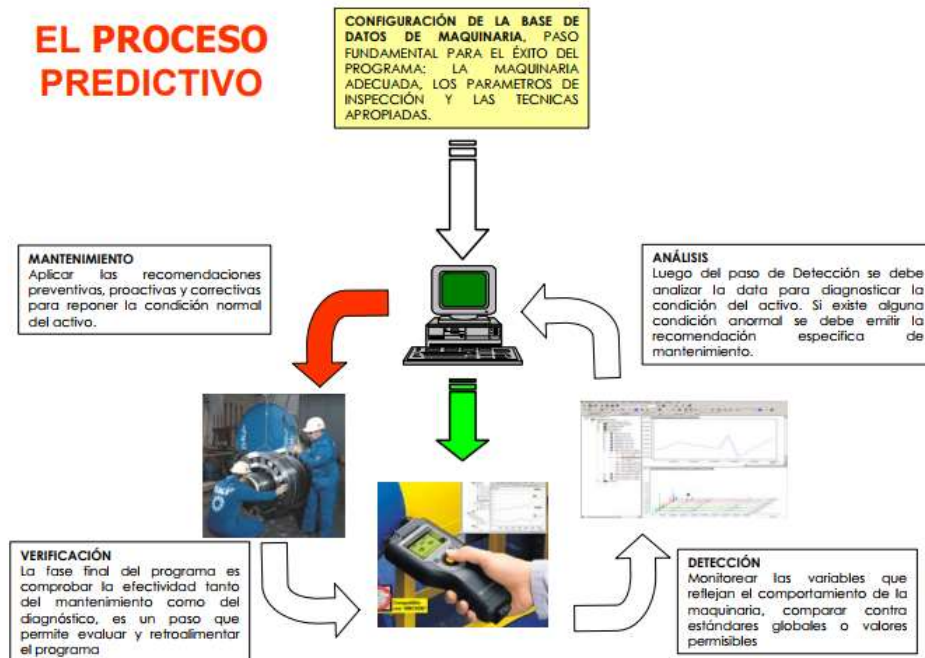
El siguiente paso es la selección de las técnicas predictivas adecuadas para cada equipo dependiente de sus elementos mecánicos o eléctricos en su funcionamiento, con el fin de entender el lenguaje del equipo y comprender la falla incipiente que puede causar una avería.

El cuarto paso, es la definición de los parámetros permisibles, frecuencias de inspección, y los métodos del almacenamiento de información de los resultados de las técnicas predictivas.

La constante capacitación al personal a quien se delegará la responsabilidad de llevar a cabo el plan de mantenimiento predictivo es un paso más en la secuencia de la implementación.

Como último paso está el comunicar los logros al personal del área de mantenimiento, como factor determinante dentro del proceso y, de esta forma, involucrar al personal técnico con los factores de costos.

Figura 5. **Flujograma del mantenimiento predictivo**



Fuente: GTS, Confiabilidad C, A. Programa de mantenimiento basado en condiciones. http://www.confiabilidad.com.ve/pmbc_5_pasos_gts_confiabilidad.pdf. Consulta: 10 de septiembre de 2017.

2.3. Beneficios de la implementación del mantenimiento predictivo

Para que la implementación del mantenimiento predictivo se considere efectiva debe cumplir con algunas características que otorguen un valor agregado en los costos por mantenimiento de los equipos. Algunas de las características son:

- Reducir costos por operación
- Reducir costos por mantenimiento

- Reducir fallas inesperadas y mantenimiento correctivos
- Mejorar el inventario de repuestos
- Aumentar la confiabilidad, disponibilidad, productividad

3. TRITURADORA DE EJE VERTICAL NORDBERG BARMAC B8100

3.1. Trituradora de VSI Nordberg Barmac B8100

Este tipo de trituradora utiliza la energía en forma de velocidad para el intercambio de energía por medio de choque entre roca contra roca dentro de la cámara de trituración para producir la fragmentación. El flujo de roca que ingresa a la trituradora es separado en dos partes, una que ingresa al rotor y la otra que ingresa sobre la parte externa del rotor el cual es llamado paso de cascada. La potencia transferida al equipo por medio de bandas trapezoidales es producida por un motor eléctrico el cual produce un movimiento rotacional al eje de la trituradora, sobre el cual descansa el rotor que proporciona energía cinética al flujo de roca que, a su vez, accede por la parte interna del rotor, el cual expulsa la roca a velocidades que alcanzan los 50 a 85 m/s y chocan con el paso de cascada, lo cual da el quebrantamiento de la roca.

3.2. Partes y componentes

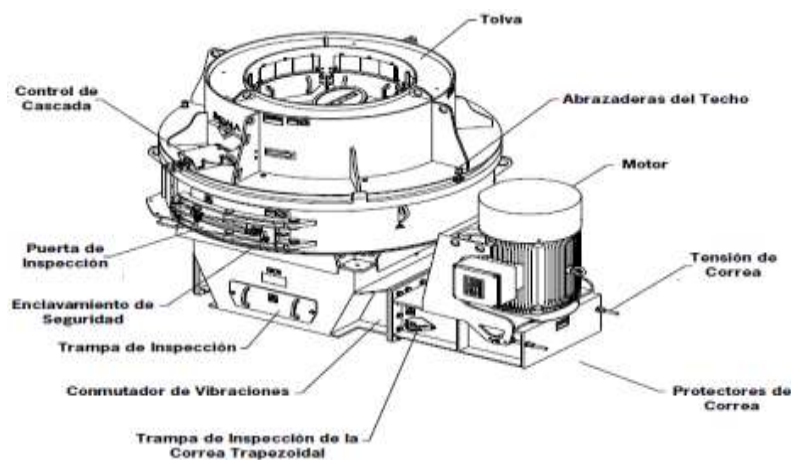
Una trituradora de eje vertical Nordberg Barmac B8100, se integra por tres componentes principales: exterior de la trituradora, interior de la trituradora y rotor y piezas de desgaste.

El componente exterior de la trituradora de eje vertical Barmac Nordberg B8100, está compuesto por once partes, las cuales son:

- Tolva.

- Abrazaderas del techo: tiene la finalidad de unir la armadura del techo con la armadura de la cámara de la trituradora.
- Control de cascada: sirve para controlar el flujo de roca que entra al paso de cascada.
- Puerta de inspección: sirve para inspeccionar el rotor de la trituradora, la cual se compone de cojinetes de nailon y pasadores de seguridad.
- Enclavamiento de seguridad: es un accionamiento de seguridad que sirve para bloquear la puerta de inspección.
- Conmutador de vibraciones.
- Trampa de inspección de la correa trapezoidal: es una compuerta que sirve para inspeccionar las fajas que van del motor eléctrico hacia la polea del eje.
- Protectores de correas trapezoidales.
- Motor eléctrico: sirve para transmitir potencia y así dar el funcionamiento de trituración.

Figura 6. **Componente exterior de la trituradora VSI N. Barmac B8100**



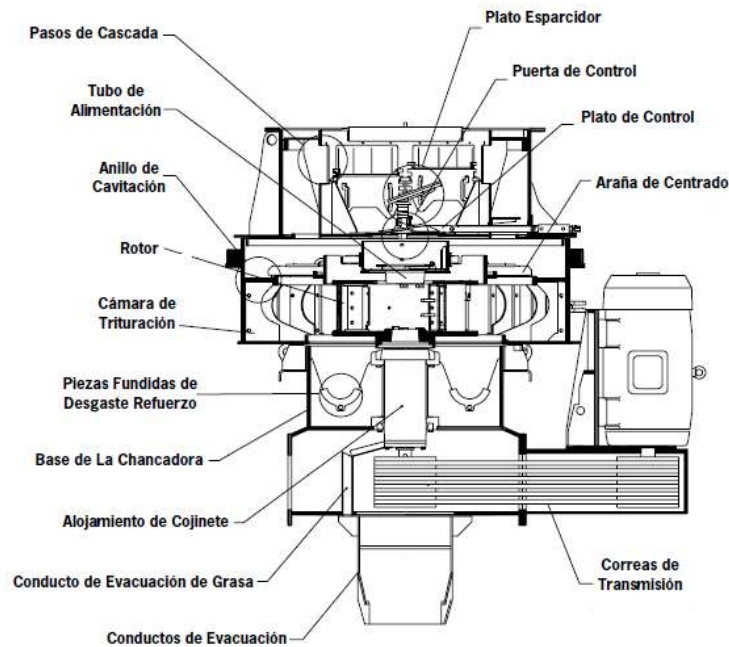
Fuente: METSO MINERALS. *Manual de operación y mantenimiento para modelos B9100XDH, B9100, B8100, B7100, B6100, B5100*, p 3-3.

El componente interior de la trituradora de eje vertical Nordberg Barmac B8100, está compuesto por once partes, las cuales son:

- Pasos de cascada: es el lugar por el cual la roca ingresa a la cámara de trituración para ser fragmentado por impacto.
- Plato espaciador: se encarga de la distribución correcta del flujo de roca. para una mejor fragmentación.
- Tubo de alimentación.
- Anillo de cavitación.
- Rotor: es el encargado de proporcionar velocidad a la roca para realizar la trituración.
- Cámara de trituración: es el lugar donde ocurre la trituración de la roca.
- Piezas fundidas de desgaste refuerzo.
- Base de trituradora.
- Alojamiento de cojinete.
- Conducto de evacuación de grasa: conducto por el cual la grasa usada del cojinete.
- Conducto de evacuación: es el lugar por el cual el material fragmentado a la medida programada sale de la trituradora.
- Puerta de control.
- Araña de centrado.
- Correas de transmisión: son las que transmiten la potencia desarrollada por el motor eléctrico hacia el eje de la trituradora.

La siguiente figura proporciona una idea de la distribución de los componentes internos de la trituradora VSI Nordberg Barmac B8100, con el fin de ilustrar de forma amplia los componentes que hacen efectivo su operación.

Figura 7. **Componente interno de la trituradora VSI N. Barmac B8100**



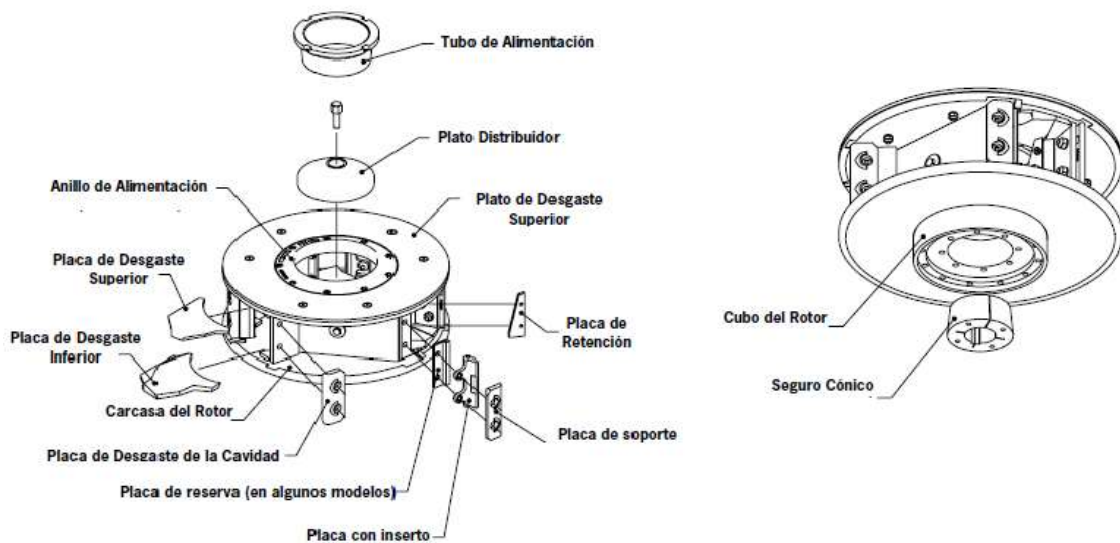
Fuente: METSO MINERALS. *Manual de operación y mantenimiento para modelos B9100XDH, B9100, B8100, B7100, B6100, B5100*, p 3-3.

El componente rotor y piezas de desgaste de la trituradora de eje vertical Nordberg Barmac B8100, está formado por quince partes, las cuales son:

- Tubo de alimentación
- Perno de distribución
- Plato de distribución
- Anillo de alimentación
- Plato de desgaste superior
- Placas de desgaste superior
- Placas de desgaste inferior
- Carcasa del rotor

- Placas de desgaste de la cavidad
- Placas de reserva
- Placas de inserto
- Placas de soporte
- Placas de retención
- Cubo de rotor
- Seguro cónico

Figura 8. **Componente rotor y piezas de desgaste**



Fuente: METSO MINERALS. *Manual de operación y mantenimiento para modelos B9100XDH, B9100, B8100, B7100, B6100, B5100*, p 3-3.

3.3. Procedimiento de puesta en marcha

El procedimiento de marcha de la trituradora se encuentra detallado en el anexo 1, se compone de 6 fases que son:

- Puesta en marcha inicial
- Alimentación inicial de la trituradora
- Pasado 10 minutos desde su alimentación
- Pasado 30 minutos desde su alimentación
- Pasadas 4 horas desde su alimentación
- Temperatura de operación de los cojinetes

3.4. Operación

El procedimiento detallado de operación de la trituradora VSI N. Barmac 8100 se encuentra en el anexo 2 y consta de cuatro fases importantes las cuales son:

- Control de alimentación
- Control de cascada
- Control de polvo
- Procedimiento de parada

Basado en estudios, las principales causas de fallas en los equipos y desgaste prematuro de las piezas se deben a la falta de conocimiento en la operación de los equipos, ya que con el afán de lograr las metas de producción establecidas, los equipos son forzados a trabajar a mayor carga de lo que permite su diseño.

4. MÉTODOS Y TÉCNICAS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

4.1. Monitoreo y análisis de vibraciones

El análisis de vibraciones es una herramienta que se utiliza con el objetivo de localizar o prevenir fallas que pueden presentarse por excesos de vibración en los equipos especialmente en equipos rotativos, las pruebas de análisis de vibraciones en los equipos deben realizarse en el funcionamiento de sus actividades. Las fallas por vibraciones pueden presentarse en forma de desalineaciones, desbalances, ejes torcidos, problemas en rodamientos, defectos por engranaje, entre otros.

Se conoce el estado de un equipo mediante el uso de análisis de vibraciones debido a la interpretación de datos, la cual se produce de las variables estudiadas como el desplazamiento, velocidad, aceleración, *spike energy* (energía de impulsos). Esta interpretación se da mediante el uso de software y sensores, los cuales son colocados en puntos estratégicos donde se alojan rodamientos, engranes y ventiladores. Los sensores utilizados en los equipos pueden ser: fijos o móviles; la diferencia basa en que el sensor fijo permanece en constante observación dentro de las operaciones del equipo y los sensores móviles se colocan cuando las observaciones son periódicas para saber el comportamiento en determinado rango de tiempo o horas trabajadas.

4.2. Monitoreo de ruidos ultrasónicos

Este tipo de análisis permite monitorear las bajas frecuencias producidas en los equipos, aquellos sonidos que no pueden ser percibidos por el oído humano a frecuencias entre 20 a 40 KHz. Algunas de las aplicaciones en las cuales se pueden usar los análisis de ultrasonidos son en las maquinas rotativas que operan por debajo de los 300 rpm, donde los análisis de vibraciones no pueden ser asertivos. Así también para encontrar corrosiones, erosiones, detección de fricción en elementos móviles, detección de fugas o fallas en válvulas y detección de arcos eléctricos.

4.3. Monitoreo y análisis de lubricantes

El análisis de lubricantes es el estudio que se realiza con el fin de encontrar acciones de desgaste en la operación de los equipos, así también la entrada de contaminantes o deterioro de los lubricantes. Este tipo de análisis se realiza a los lubricantes tipo aceite, el cual suministra información para tomar medidas preventivas o correctivas inmediatas o planificadas.

4.4. Inspección de termografías

El uso de esta técnica predictiva permite la localización de zonas con altas temperaturas. Las cámaras térmicas basan su funcionamiento en sensores infrarrojos que detectan la luz emitida por el espectro electromagnético. Este toma una imagen donde se emiten colores como el azul y violeta para zonas frías y el color naranja y color blanco para zonas con alta temperaturas.

Unas aplicaciones en las que pueden ser utilizadas las cámaras térmicas son la toma de temperaturas en componentes mecánicos y eléctricos como los

cojinetes o paneles eléctricos con el fin de detectar zonas calientes en el funcionamiento de los equipos y realizar acciones correctivas, si es necesario.

5. RESULTADOS

5.1. Costos de implementación

El costo total anual en la implementación del mantenimiento predictivo en la trituradora de eje vertical Nordberg Barmac B8100 se ha estimado a un equivalente de Q 6824.63, tomando como base de cálculo los precios surgidos en cotizaciones evaluadas por empresarios guatemaltecos dedicados al estudio del mantenimiento predictivo. En estos costos vigentes en el país, hasta octubre de 2017, las cotizaciones son basadas en cercanías a la ciudad capital de Guatemala.

Las cotizaciones detalladas en dólares fueron tomadas con un cambio establecido por el BANGUAT a la fecha 26 de octubre de 2017 como \$. 1,00 USD por Q7,34622. Las mediciones que se pueden implementar dentro de un plan de mantenimiento predictivo a la trituradora VSI N. Barmac B 8100, con el fin de evitar daños y paros no programados están:

- Análisis de vibraciones
- Análisis de termografías
- Rutas o análisis VOSO
- Análisis de lubricantes

Algunas técnicas que pueden ser utilizadas e implementadas en mantenimientos mayores con el objetivo de asegurar su disponibilidad son:

- Análisis de partículas magnéticas

Para implementar el análisis de vibraciones en el eje de la trituradora se tendrá que adquirir sensores de vibración que se establezcan de una manera permanente en el equipo con un costo de aproximadamente \$ 800, equivalente a Q 5 876,976, de lo cual el proveedor puede realizar muestras de vibración en áreas seguras y exactas del equipo.

Tabla I. **Costos de implementación de mantenimiento predictivo anual**

No.	Tipo de análisis	Frecuencia anual	Costo	Costo anual
1.	Vibraciones motor	Trimestralmente (4)	\$ 125,00	\$ 500,00
2.	Vibraciones eje	Trimestralmente (4)		
3.	Termografías panel y motor eléctrico	Trimestralmente (4)		
4.	Termografía a cojinete de trituradora	Trimestralmente (4)		
5.	Análisis de lubricante	Semestralmente (2)	\$ 85,00	\$ 170,00
6.	Ensayo de partículas magnéticas	Anualmente	\$ 259,00	\$ 259,00
Costo anual de la implementación del mantenimiento predictivo en dólares				\$ 929,00
Costo anual de la implementación de mantenimiento predictivo en quetzales				Q 6 824,63

Fuente: elaboración propia.

5.2. Tipos de análisis por realizarse a la trituradora VSI N. Barmac B8100

Los análisis predictivos son implementados con la necesidad de prever información relevante del estado del equipo cuando este cumple sus funciones de operación, con la necesidad de planificar su mantenimiento en las áreas preventivas y correctivas que estos análisis puedan dar información.

Las áreas importantes por evaluar dentro de la trituradora VSI N. Barmac B8100 son:

- La vibración provocada por un rotor mal balanceado o eje torcido
- La temperatura de operación del alojamiento o Housing del cojinete
- La temperatura y vibración del motor eléctrico
- Panel eléctrico

Las altas vibraciones provocadas en el eje pueden causar daños severos en la trituradora. La temperatura alta en el cojinete puede provocar daños en sus juntas o, incluso, daños en su alojamiento así como la degradación prematura de la grasa. Las altas temperaturas y las vibraciones de un motor pueden causar daños en su embobinado.

5.3. Interpretación del análisis de técnicas de mantenimiento predictivo

Interpretar los análisis de las técnicas de mantenimiento predictivo es importante para validar los resultados.

5.3.1. Análisis de vibraciones

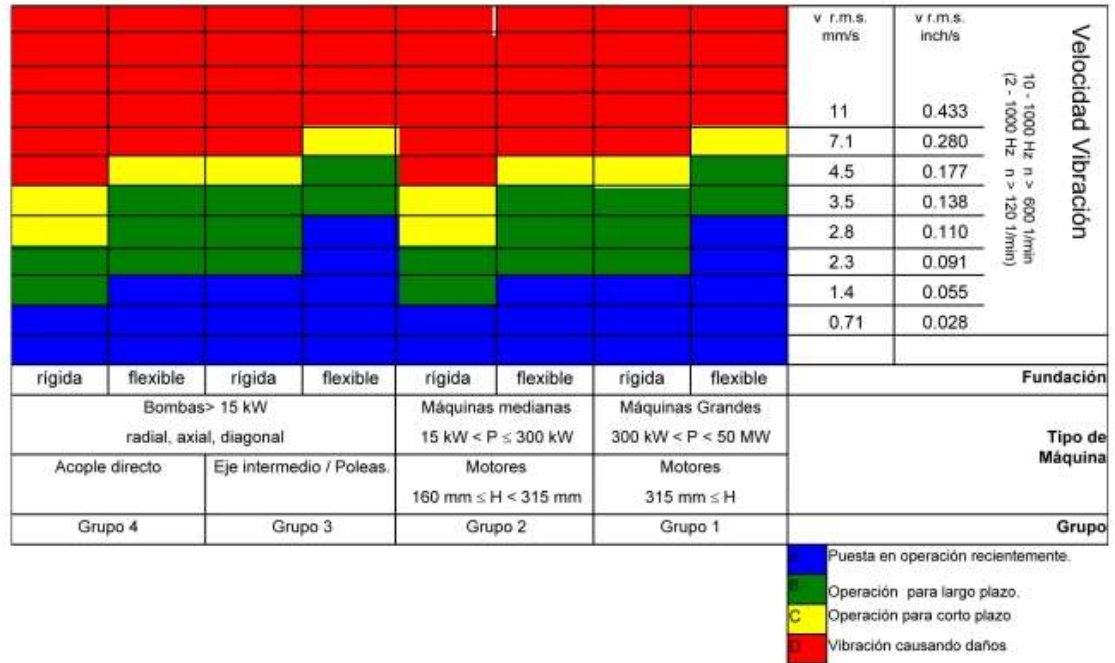
Los análisis de vibraciones son una herramienta muy útil en la detección de posibles fallas en los rodamientos, desalineaciones e incluso problemas eléctricos. Los límites dentro de los cuales la trituradora VSI N. Barmac trabaja con normalidad son de 0 a 2,7 mm/s

El análisis de vibraciones está compuesto por estudios al equipo con ciertas técnicas las cuales pueden detectar posibles fallas que causan o generan la vibración en el equipo. Las técnicas que se realizan en un análisis de vibraciones son:

- Análisis espectral: determina las posibles causas y su problema incipiente.
- Análisis de fases: confirma el diagnóstico de lo que pudiera pasar en el equipo como desbalances, ejes torcidos, aflojamiento mecánico y pies de apoyos flojos.
- Análisis de corriente: permite confirmar el diagnóstico en los motores eléctricos.
- Envoltente de aceleración: posibilita encontrar fallas en los rodamientos o y engranes.
- Análisis de onda en el tiempo: encuentra fallas en la caja de engranes.

Durante los análisis de vibraciones los resultados obtenidos se compararán según una tabla de valores de alarma que será proporcionada por el proveedor después de realizar el análisis. Estas tablas se rigen por estándares internacionales ISO 10816-3.

Figura 9. **Parámetros de velocidad de vibración**



Fuente: Pruftechnik. <https://pruftechnik.wordpress.com/2011/10/13/la-vibracion-confirma-la-norma/>. Consulta: 5 de noviembre de 2017.

Los análisis de vibraciones tienen como objetivo identificar las principales frecuencias de excitación de acuerdo con las variables estudiadas, como velocidad, que tiene como objetivo el encontrar problemas como desbalances, soldaduras mecánicas. Además, problemas eléctricos por frecuencia de línea, la aceleración y envolvente, que busca encontrar dificultades de alta frecuencia como problemas de rodamientos y engranes. Así también, la aceleración Hdf, que ayuda a encontrar problemas por falta de lubricación.

Con esta técnica se podrá estudiar el área de la trituradora VSI N. Barmac B8100 que comprende la parte de vibración en su eje de rotación y la vibración en su motor eléctrico, el cual alimenta a la trituradora. Así mismo, realizar un historial del comportamiento de las vibraciones en el equipo para tomar acciones planificadas o inmediatas de acuerdo con la tendencia de las

vibraciones reportadas en los análisis de vibraciones. El objetivo es encontrar fallas incipientes que generen vibración y estimar las horas que puede tardar el equipo funcionando con el objetivo de mantener su disponibilidad y proteger el activo de fallas catastróficas que las vibraciones puedan causar.

5.3.2. Análisis de inspecciones termografías

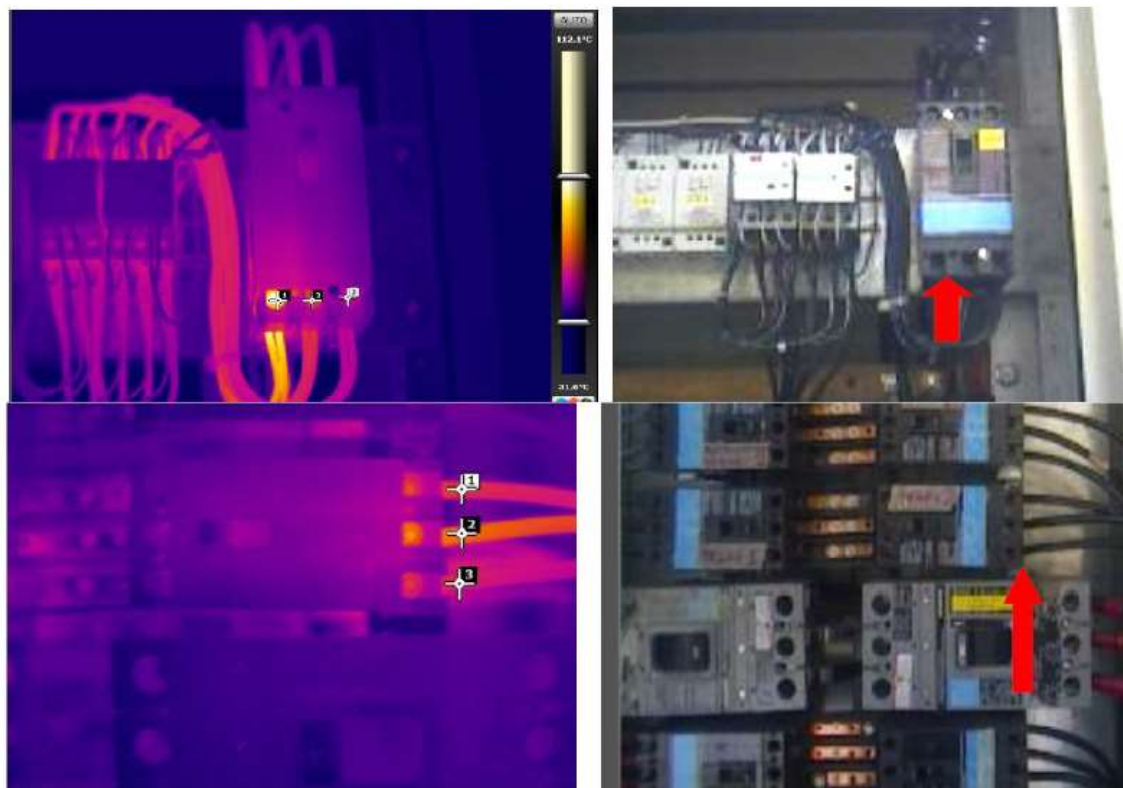
Esta técnica se utiliza para detectar posibles fallas eléctricas debidas a malos contactos por cables sueltos, suciedad, desbalance de cargas y elementos defectuosos que generen fricción.

Los análisis termográficos pueden ser efectivos para la trituradora N. Barmac B8100 en las áreas donde se encuentran expuestos los mecanismos a fricciones o interrupciones al paso de corriente de su sistema eléctrico. Por alguna razón, las áreas afectadas por estos fenómenos se pueden encontrar en el alojamiento del cojinete del eje principal y los rodamientos en el motor eléctrico, los cuales pueden sufrir de vibraciones y elevar su temperatura. De igual forma, también dentro de su panel de alimentación pueden existir interrupciones en el paso de corrientes en sus terminales.

Los análisis de termografías con cámara en el eje principal pueden ser muy riesgosos, ya que no se puede acceder de una manera segura cuando esté en funcionamiento. La temperatura en su alojamiento del rodamiento se puede evaluar mediante su sensor de fabricación, que pasa a bloquear el equipo cuando llega a su temperatura máxima. El equipo cuenta con un sistema computarizado llamado *VSI Operational Control System (VOCS)*. El cual tiene como función evaluar los datos en sensores de vibración y temperatura para proteger el activo de vibraciones excesivas y temperaturas elevadas que puedan efectuarse dentro de su operación.

Una de las principales causas en el aumento de la temperatura es el uso de lubricante incorrecto o la lubricación inadecuada. El rango de temperatura dentro del cual el rodamiento pueda realizar su función va desde los 70° C a los 150° C

Figura 10. Termografía en panel eléctrico



Fuente: Nils Pira & CIA, S.A, *Propuesta de servicio de análisis de vibraciones*. p 5.

La frecuencia de engrase sirve para evitar los problemas de temperatura; de acuerdo con la mala lubricación, el fabricante recomienda que debe aplicarse 15 gramos de grasa por cada 8 a 10 horas de operación. Así también según la temperatura de operación del rodamiento y sus revoluciones, el fabricante recomienda utilizar el tipo de grasa adecuada, la cual puede observarse en la tabla II.

Tabla II. Tipos de grasas recomendadas

Temperatura de materia prima	Modelo Barmac	Velocidad del motor (RPM)	Grasa recomendada
Servicio normal del cartucho del cojinete (velocidad baja) -20 a 65°C	9600MKIII/ 9000/ 9100/ 8100	1 100 a 1 400	shell alvania EP2 Mobil Mobilux EP2 BP Energrease LS-EP2 Mobil Mobilith SHC100 Arcol L135V ▲ Castrol Optimol Longtime PD2
Servicio normal del cartucho del cojinete (velocidad baja) -20 a 65°C	9600MKIII/ 9000/ 9100/ 8100	1400 a 1 800	✘ Kluber Isoflex Topas NB152 Mobil Mobilith SHC100 Arcol L135V ▲ Castrol Optimol Longtime PD2
Servicio normal del cartucho del cojinete (velocidad baja) -20 a 65°C	9600MKIII/ 9000/ 9100/ 8100	1 100 a 1 800	✘ shell Stamina U2 ▲ Mobil Mobilith SHC100 ✘ BO Syntecthic HT-XP
▲ indica la grasa preferida por el fabricante. Los conjuntos de la línea del eje están prelubricados con este tipo de grasa			
✘ Indica que este tipo de grasa no es compatible con ninguna de las otras. Si se usa esta grasa, el ensamble primero debe ser completamente lijado, limpiado y reensamblado para asegurar la vida útil máxima del rodamiento.			

Fuente: elaboración propia.

5.3.3. Inspecciones VOSO

Es una técnica básica del mantenimiento predictivo, el cual somete el equipo a una constante inspección utilizando como herramienta el sentido humano y algunos equipos de bolsillo como herramienta para la evaluación de ciertos aspectos mecánicos.

Las inspecciones VOSO tienen la finalidad de crear avisos de mantenimiento preventivo o correctivo, los cuales pueden ser planificados de acuerdo con la gravedad del problema. Algunas herramientas que pueden utilizarse en las inspecciones VOSO para mejorar este proceso son: el empleo de cámara termografía, pirómetros y estetoscopios mecánicos.

Tabla III. **Formato de inspección VOSO a VSI N. Barmac B8100**

Trituradora VSI N. Barmac B8100	Inspección		Comentarios y observaciones
	si	no	
Trituradora y estructura			
Trituradora: (desgastes, ruido, base de concreto)			
Tornillos: (vencidos, gastados, flojos, etc.)			
Están en buen estado los instrumentos del VOCS			
Están en buen estado las mangueras de lubricación			
Está en buen estado el indicador de presión 100 psi			
Está en buen estado los chifles de carga y descarga			
Medir las temperaturas de los cojinetes del cartucho			R1: Min: Max: R2: Min: Max:
Sistema de lubricación			
Están en buen estado las mangueras de lubricación			
Está en buen estado el indicador de presión			
Ve anomalías en la grasa extraída			
Motor			
Las condiciones son normales (vibración, ruidos, cables, base, tornillería)			
Temperatura de operación			
Son normales las condiciones de enfriamiento (ventilador, limpieza, canales)			
Están en buen estado las fajas y poleas de transmisión (ruido, estado, desgaste)			
Panel eléctrico	Adjuntar fotografía térmica de contactores		

Fuente: elaboración propia.

Después de realizado el formato de inspección VOSO el personal técnico en conjunto con el supervisor de mantenimiento deben evaluar las áreas y los comentarios durante la inspección para determinar si se realizarán trabajos de mantenimiento preventivos o correctivos posteriores a la evaluación.

CONCLUSIONES

1. Con el objetivo de maximizar el tiempo de vida útil y mejorar la disponibilidad del equipo se desarrolló un plan de mantenimiento predictivo a la trituradora de eje vertical Nordberg Barmac B8100. Se realizó una frecuencia óptima para los análisis predictivos por realizarse con el fin de evaluar cada área importante reconocida por el fabricante.
2. Las áreas que fueron determinadas como importantes de evaluar por el fabricante en el VSI N. Barmac B8100 son la temperatura de los cojinetes del cartucho, las vibraciones provocadas en el eje por desbalance en su rotor, y la temperatura en la bobina del motor. Cada una de estas variables tiene rangos permisibles de operación que permiten al operador parar el equipo cuando estos límites son sobrepasados. Esto puede realizarse mediante el uso de sensores, los cuales son conectados a una caja de lectura llamada VOCS para detener el equipo en forma automática cuando estos límites son sobrepasados.
3. Los tipos de análisis predictivos que pueden ser estudiados en la trituradora VSI N. Barmac B8100 van de acuerdo con las áreas determinadas como importantes por el fabricante. Entre los análisis más evaluados en los planes de mantenimiento predictivo están los de vibraciones, termografías.
4. Uno de los propósitos importantes dentro del plan de mantenimiento predictivo está el disminuir las acciones correctivas mediante el uso de las herramientas necesarias para predecir las causas de fallos en los

elementos y planificar de mejor manera los cambios necesarios. Las acciones que puedan planificarse dentro del VSI N. Barmac B8100 son el cambio necesario de los cojinetes en el cartucho mediante el uso de análisis de vibraciones, así también por medio del uso de termografías para revelar el calentamiento de los rodamientos. Además, una revisión del motor eléctrico para planificar los mantenimientos preventivos por cambio de rodamientos o calentamiento en su bobina.

5. Los costos estimados dentro de la planificación del mantenimiento predictivo fueron evaluados por las empresas Nail Pira & CIA, Lubral (México) más envío de paquete por FedEx e Industrias SIE.

RECOMENDACIONES

- . Inspeccionar mediante los análisis VOSO a los equipos. Esto puede ser recomendado para obtener un mejor seguimiento de los problemas que pueden ocurrir dentro de la operación del equipo en rangos de tiempo corto. También se recomienda una inspección termográfica dentro de los paneles eléctricos con el fin de estudiar su óptimo funcionamiento.
- . La frecuencia adecuada para realizar la inspección VOSO va de acuerdo con la cantidad de equipos que tiene una planta de producción de agregados. Las inspecciones van de una frecuencia diaria a semanal para tener un mejor monitoreo del equipo. Está por demás anotar que puede ser mejor si una inspección se realiza con una frecuencia diaria, realizada por el operador, el cual es la persona que conoce mejor el funcionamiento y quien tiene contacto directo con el mismo. Las frecuencias VOSO semanalmente se realizan cuando la cantidad de equipos en una planta son demasiados y el personal de mantenimiento no es suficiente para realizar las inspecciones.
- . Fueron evaluadas las propuestas de las empresas que realizan el estudio de mantenimiento predictivo; se prefirió las de los proveedores antes mencionados. Nails Pira fue uno de los que presentó los resultados más sencillos de interpretar. La cantidad de análisis que se realizaba por equipos era multidisciplinaria.

BIBLIOGRAFÍA

1. EMBID, Rafael. *Secuencia para realizar un buen mantenimiento predictivo*. [en línea]. <<https://www.seas.es/blog/automatizacion/secuencia-para-realizar-un-buen-mantenimiento-predictivo>>. [Consulta: 2 de septiembre de 2017].
2. ENERGIZA. *Análisis de vibraciones: Una tecnología clave del mantenimiento predictivo*. [en línea].<<http://www.energiza.org/mantenimiento-de-plantas/19-mantenimiento-de-plantas/516-analisis-de-vibraciones-una-tecnologia-clave-del-mantenimiento-predictivo>>. [Consulta: 13 de septiembre de 2017].
3. GTS CONFIABILIDAD C.A. *Programa de mantenimiento basado en condiciones “Mantenimiento Predictivo”*. [en línea] <http://www.confabilidad.com.ve/pmbc_5_pasos_gts_confabilidad.pdf>. [Consulta: 16 de septiembre 2017].
4. MARCOTTE, Eric. *Todo lo que necesita saber sobre trituradoras de eje vertical*. [en línea]. <<http://www.mineria-pa.com/noticias/todo-lo-que-necesita-saber-sobre-trituradoras-de-eje-vertical-vsi>>. [Consulta: 3 octubre de 2017].
5. MARTÍNEZ, Javier Góngora. *American Concrete Institute*. Sección Noreste de México. [en línea]. <<http://www.acimexico-snem.org/online/boletin-tecnico-01-2012>>. [Consulta: 18 de octubre de 2017].

6. METSO MINERALS. *Barmac Lubrication. Nueva Zelandia: Nueva Zelandia: Metso Minerals. 2002. 102 p.*
7. ----- . *Manual de operación y mantenimiento para modelos B9100XDH, B9100, B8100, B7100, B6100, B5100. Nueva Zelandia: Metso Minerals. 2002. 102 p.*
8. ----- . *Sistema de control de funcionamiento VSI: Nueva Zelandia: Metso Minerals. 2002. 44 p.*
9. ORTIZ ORTEGA, Edgar José y TIRADO ABRIL, Ronald Julián. *diseño y construcción de una trituradora de mandíbula de excéntrica elevada. Bucaramanga: 2005. 85 p.*
10. RENOVE TECNOLOGÍA. *análisis de ultrasonido. [en línea]. <[http://www.renovetec.com / 268 -renovetec- servicios/analisis-de-ultrasonido](http://www.renovetec.com/268-renovetec-servicios/analisis-de-ultrasonido)>. [Consulta: 28 de octubre de 2017].*
11. SOLÓRZANO, Emilio José Porrás. *Diseño de un programa de monitoreo de condiciones para el área de envasado y despacho de la industria cementera de Guatemala. Guatemala. 2003. 87p.*

ANEXOS

Anexo 1. **Procedimiento de puesta en marcha**

PUESTA EN MARCHA INICIAL

1. Verifique que el amperímetro esté funcionando con precisión. (Utilice un amperímetro montable para comprobar su precisión.)
2. Deje la chancadora en marcha con el rotor colocado, sin cargarla por 30 minutos. Realice una sola aplicación de grasa en cada uno de los tres puntos de engrase.
3. Tras dejarla funcionar durante 30 minutos, detenga el triturador, quite los protectores de correa y compruebe la temperatura del alojamiento de cojinete. (Utilice un termómetro magnético). La temperatura no debe sobrepasar los 70°C. Si la temperatura es más elevada, deje que la trituradora siga funcionando durante otros 30 minutos sin carga y compruebe la temperatura otra vez. Si continúa teniendo temperaturas elevadas, póngase en contacto con el centro de servicio de triturador y solicite ayuda. Si la temperatura se encuentra dentro de un margen normal, cambie los protectores.
4. Revise el rotor y la cascada. Asegúrese de que todas las piezas del rotor están en su posición correcta. Asegúrese de que el tubo de alimentación sigue centralizado en el anillo de alimentación.
5. Compruebe el conmutador de vibraciones. (Consulte el manual de instrucciones del sistema de control de vibraciones).

ALIMENTACIÓN INICIAL DE LA CHANCADORA

1. La máquina ahora está lista para hacerla funcionar con carga. El material alimentado no debe ser mayor que el tamaño de alimentación máximo permitido por el modelo de la Barmac que se está poniendo en servicio.
2. Alimente un fragmento pequeño o producto mixto, preferentemente de 5 mm. Durante medio minuto más o menos. Unos cuantos metros cúbicos de material es suficiente. Esto permite la acumulación uniforme de piedras dentro del rotor y un buen equilibrio.
3. Si es preciso utilizar una alimentación gruesa al principio, cabe esperar que se produzca un grado de vibración durante varias horas hasta que los finos se introduzcan en los vacíos de la acumulación inicial del rotor, equilibrando así la densidad de cada acumulación dentro del rotor.
4. Al alimentar el rotor por primera vez, normalmente habrá una etapa de “descompensación” de unos 30-60 segundos. No detenga la alimentación al rotor en este momento; al contrario, debe alimentarla lo más posible hasta que la vibración se desvanezca, Durante su funcionamiento normal se podrá detectar una vibración intermitente un 30 % del tiempo. Esto se percibe al estar de pie sobre la máquina y es más notable con la alimentación de gran tamaño, y puede deberse a la acumulación de piedra de una placa con inserto que provoca una acumulación que luego se desgasta. Esta situación es normal y no es motivo de alarma siempre que la máquina vuelva a su funcionamiento normal después de unos segundos.

Continuación anexo 1

PASADOS 10 MINUTOS

1. Alinee el plato distribuidor debajo del conducto de evacuación del transportador de modo que la alimentación caiga de manera uniforme alrededor del distribuidor. La alimentación deberá caer directamente a través de la boca de alimentación del plato de control (es decir, no en ángulo). Esto estabiliza la alimentación del rotor. Esté atento a la caída en cascada involuntaria debido a que el material está dirigido hacia los pasos de cascada en la tolva de alimentación. Ajuste los protectores de los pasos de cascada si es necesario.
2. Verifique la toma de corriente del motor. Si el motor o motores están sobrecargados, reduzca el volumen de alimentación o ajuste el regulador de la cascada hasta que haya corregido la carga. Si los motores de accionamiento doble están funcionando con amperaje distinto, consulte la tensión de correas

PASADOS 30 MINUTOS

1. Detenga la máquina y compruebe la acumulación en el rotor. Para obtener la acumulación ideal consulte la puesta a punto del rotor (sección 6-30).
2. Revise la acumulación de la cámara de trituración.
3. Asegúrese de que el tubo de alimentación se encuentra en la posición correcta en el rotor, es decir, en posición central en el agujero de alimentación del rotor y prolongándose al rotor.
4. Compruebe que los montajes de las placas con inserto están intactos y bien apretados.

Continuación anexo 1

5. Compruebe que el anillo de alimentación no se ha dado la vuelta o se ha levantado.
6. Compruebe las tensiones de correa.

PASADAS 4 HORAS

1. Compruebe la acumulación en el rotor, la cámara de trituración y en la base.
2. Compruebe las temperaturas de los cojinetes. (Lea a continuación).
3. Compruebe las tensiones de correa.
4. Engrase al final de cada turno y realice las revisiones diarias tal y como se estipula.
5. Una vez se haya normalizado el funcionamiento de la máquina, puede realizarse el reajuste de la cascada.

TEMPERATURA DE OPERACIÓN DE LOS COJINETES

La temperatura de cojinete normal es entre 30° y 40°C por encima de la temperatura del material de alimentación o temperatura ambiente. Cuando se lubrican los cojinetes podrá observarse durante un corto período una elevación en la temperatura de aproximadamente 10°C. La máxima temperatura de cojinete permisible para un funcionamiento continuo es:

70°C – Para un funcionamiento a temperatura normal.

150°C – Para un funcionamiento a temperatura alta.

Fuente: Metso Minerals, *Manual de operación y mantenimiento para modelos B9100XDH, B9100, B8100, B7100, B6100, B5100*. Consulta: octubre de 2017.

Anexo 2. **Operación**

CONTROL DE LA ALIMENTACIÓN

El objetivo del control de alimentación es regular la proporción de material de alimentación que va al rotor y a la cascada. La razón por la que se controla esta distribución de la alimentación depende mucho de cuál es el requisito de producto del operador.

A continuación se describen los distintos usos del control:

1. Para proteger el motor o motores contra sobrecarga.
2. Para conseguir la mayor eficiencia posible de triturado (reducción) empleando la óptima proporción de cascada y el constante funcionamiento de los motores a capacidad total.
3. Para maximizar la producción de fragmentos de un tamaño en particular mediante el control de la granulometría del producto producido. La variación de la proporción de cascada permitirá el control completo de la curva granulométrica.

El volumen de la cascada se varía mediante el ajuste de la boca de alimentación. El ajuste para la producción gruesa se hace mediante la selección del plato de control de alimentación correcto. El ajuste para la producción fina se realiza mediante el movimiento de la puerta de control.

NOTA: la boca de alimentación no deberá reducirse demasiado ya que de lo contrario podría crearse un puente. Ajuste el plato esparcidor de modo que esté colocado directamente debajo del flujo de material de alimentación.

Continuación anexo 2

Ajuste los protectores de los pasos de cascada para que el material caiga en cascada de manera uniforme en los 360°.

CONTROL DE CASCADA

En algunas ocasiones cuando se está utilizando la cascada al máximo, el flujo de alimentación al rotor puede ser irregular (amperímetro fluctuando descontroladamente) y, en casos extremos, el flujo parecerá que está permanentemente limitado (amperaje bajo), incluso después de un tiempo con flujo normal (lectura de amperaje normal). Este fenómeno normalmente solo ocurrirá cuando la tolva de alimentación está llena y la puerta de control de la cascada se ha cerrado para limitar el flujo del material al rotor. Para eliminar esta alimentación irregular o flujo limitado, será necesario ajustar la altura del plato esparcidor de la alimentación. (Ver sección 6-48). Este simple ajuste de la altura provoca un flujo vortiginoso (ver diagrama debajo) que elimina el peso del material, peso que en algunas granulometrías de material de alimentación y combinaciones de formas impide que el material circule a través de la abertura de la puerta de control.

CONTROL DEL POLVO

Si está saliendo polvo por la parte inferior de la máquina, esto indica que el material de alimentación es insuficiente. Si no se puede aumentar la velocidad de alimentación, cierre la boca de alimentación ajustando el plato de control de la alimentación y puerta de control para reducir al mínimo la ráfaga de aire. Si bien por lo general no es necesario suprimir el

Continuación anexo 2

polvo dentro del triturador (bien mediante la recogida en seco de polvo o mediante la supresión por nebulización), la actividad turbulenta dentro de la cámara de trituración hace que sea un entorno ideal para agregar pequeñas cantidades de agua mediante nebulizadores a fin de controlar eficazmente el polvo en otras partes de la planta de procesamiento, en fases posteriores a la trituración de la trituradora. No obstante, al ponerse en marcha o desactivarse la trituradora sin material circulando (Completando la puesta en marcha de la planta antes de la trituradora) habrá una descarga de polvo debido a que la trituradora está bombeando grandes cantidades de aire.

Recomendaciones:

- Reducción al mínimo del tiempo en que la trituradora funciona sin alimentar material.
- Instalación de nebulizadores cerca de la descarga, activados automáticamente mediante el mando de encendido/apagado del motor para así controlar la emisión de polvo en la puesta en marcha o desactivación de la máquina.

PROCEDIMIENTO DE PARADA

Si el proceso de detención del circuito con cantidades de alimentación reducidas es demasiado largo, puede provocarse un desgaste innecesario a la cámara de trituración y a la estructura del rotor. Si el circuito de trituración y las condiciones atmosféricas lo permiten, detenga todos los transportadores que abastecen la trituradora completamente cargados. Es

Continuación anexo 2

importante que, por lo menos, se percate del desgaste excesivo que se está causando y reduzca al mínimo el tiempo de funcionamiento sin carga.

PARADA

1. Pare el dispositivo de alimentación (transportador o alimentador) que va hacia la trituradora.
2. Compruebe que el amperímetro se descarga antes de desconectar la corriente de la trituradora.
3. Mida la duración del proceso de detención del rotor y anótela en el diario de operaciones. Esta medición le servirá de guía para saber cuál es el estado del alojamiento de cojinete. Los registros de puesta en servicio de su máquina tendrán anotados los tiempos en que el rotor está sin funcionar. Esto podrá encontrarse en el manual de operaciones. Si no logra encontrarlo, póngase en contacto con el técnico de servicio de Metso Minerals.
4. Antes de revisar o hacer un trabajo de mantenimiento, asegúrese de que el sistema de enclavamiento de seguridad está activado. (Ver sección 1-6).

Fuente: Metso Minerals, *Manual de operación y mantenimiento para modelos B9100XDH, B9100, B8100, B7100, B6100, B5100*. Consulta: octubre de 2017.