

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

PROCESO DE RECONSTRUCCION EQUIPO TRITURADOR VSI BARMAC B9100 POR LA EMPRESA CONASFALTOS S.A

JUAN PABLO AGUIRRE CHAVERRA

INGENIERÍA MECATRÓNICA

ASESOR

JUAN SEBASTIAN BOTERO

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

SEPTIEMBRE 12 DE 2017

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

La trituradora VSI Barmac B9100 es un equipo de la familia de trituradores de la serie B fabricada y distribuida por la compañía Metso, utilizado en el sector minero para la producción de arena y otros derivados; la empresa Concretos y alfaltos S.A (Conasfaltos) cuenta en su centro de producción de piedra verde (Fredonia, Antioquia) con un equipo de estas características. Anteriormente este equipo operaba en el centro de producción de Bello (Antioquia), donde comenzó a presentar 2 principales problemas; el primero un problema de corrientes generado por el sistema de transmisión y el segundo un deterioro del chasis y cartucho central, generado por la alta vibración generado por la maquina; estos problemas generaron una reducción del volumen de producción a un 70%, lo cual por la demanda de material estipulado no se podía cumplir, generando retrasos y sobre costos en la producción; la empresa tuvo que debatir entre reconstruir la maquina o comprar una nueva; en el recorrido de este documento veremos detalladamente el análisis de las causas que llevaron a la falla del equipo, como también que elementos fueron seleccionados para mejorar las condiciones nominales de la máquina y el acompañamiento de terceros en el montaje y puesta a punto del equipo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

A la empresa CONASFALTOS S.A por brindarme su apoyo incondicional durante todo el proceso de prácticas profesionales.

Al ingeniero Efraín Sánchez por brindarme el conocimiento técnico referente a la distribución eléctrica e instalación de sistemas de control en las líneas de trituración.

Al ingeniero Pastor Alberto Zuluaga Ochoa y todo el equipo de mantenimiento estacionario por ofrecerme la oportunidad de pertenecer al equipo de trabajo y brindarme todas las herramientas referentes al conocimiento técnico necesario sobre las líneas de trituración.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

OT: Orden de trabajo

CPPV: Centro de producción Piedra verde

CPPB: Centro de producción planta Bello

TBV9100: Trituradora Barmac VSI 9100 B

CF: Conasfaltos S.A

RO: Rodando S.A

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	7
1.1	Objetivo general	9
1.2	Objetivos Específicos	9
2.	MARCO TEÓRICO	10
2.1	Concretos y Asfaltos S.A	10
2.2	Planta de trituración	10
2.3	Sistema de transmisión tándem	10
2.4	Tritura VSI Barmac serie B9100	11
2.4.1	Operación	11
2.4.2	Exterior de la trituradora	12
2.4.3	Interior de trituradora	13
2.5	vibración	13
3.	METODOLOGÍA.....	15
3.1	Identificación de problemas iniciales	15
3.2	Componentes críticos	17
3.2.1	Poleas motrices.....	17
3.2.2	Correas.....	18
3.2.3	Cartucho central	19
3.2.4	Carcaza (chasis).....	22
3.3	Cotización de equipos y servicios	24
3.3.1	Contrato servicio de maquinado	25
3.3.2	Cotización rodamientos cartucho central.....	26
3.3.3	Cotización Rotor.....	26
3.3.4	Cotización Poleas	27
3.3.5	Cotización correas.....	27
3.4	Resumen financiero materiales y servicios.....	28
3.4.1	Resumen financiero mano de obra interna.....	29
3.4.2	Resumen financiero global	30
3.5	Montaje de equipo a línea de trituración.....	30
3.5.1	Poleas.....	31

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.5.2	Correas.....	33
3.5.3	Carcaza o base principal	34
3.5.4	Cartucho central	37
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
4.1.1	Prueba 1.....	45
4.1.2	Prueba 2.....	45
4.1.3	Prueba 3.....	45
4.1.4	Resultados.....	46
4.2	Especificaciones mando simple	47
4.2.1	Prueba 4.....	47
4.2.2	Resultados.....	48
5.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	49
	REFERENCIAS	51
	TABLA DE IMÁGENES.....	52
	APÉNDICE.....	¡Error! Marcador no definido.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1.INTRODUCCIÓN

A mediados del año 2016, el departamento de mantenimiento estacionario a servicio de la empresa CONASFALTOS S.A, detecto una serie de fallas en el equipo triturador BARMAC 9100 marca Metso, la cual cumplía la función de producir arena en el centro de producción Bello; dentro de las principales fallas se detectó un gran desgaste en el chasis y cartucho principal de la máquina, debido a las condiciones de operación y el ambiente corrosivo en el que se encontraba la máquina. Por otra parte, la forma en la que se estaba transmitiendo la potencia hacia la carga generaba un problema en el sistema eléctrico, sobre cargando uno de los motores generando constantes disparos eléctricos en el transcurso de la operación. Estos problemas generaban una reducción alrededor del 30 % de la producción de arena en la planta.



Ilustración 1 Equipo TBV9100.

fuelle Impactor de eje vertical Barmac serie B

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Al detectar estos problemas se estudiaron 2 soluciones para esta problemática, una fue reemplazar la maquina por una nueva y la otra fue reconstruir y realizar mejoras para aumentar la capacidad operativa de la máquina. Al cotizar la nueva máquina se identificó que esta sobrepasaba alrededor de 4 veces el valor requerido en la reconstrucción, sin contar el valor del adicional por la importación de la máquina y el tiempo de espera para que esta pudiera llegar a las líneas de trituración.



Ilustración 2 Equipo desmontado de línea de trituración

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1.1 Objetivo general

Reconstruir y mejorar las condiciones de operación del equipo de trituración Barmac 9100 servicio de la empresa CONASFALTOS S.A.

1.2 Objetivos Específicos

- Reparar y mejorar las condiciones de funcionamiento del sistema de transmisión de potencia, para disminuir el consumo de corriente eléctrica y vibraciones en el equipo.
- Reparar y reconstruir el chasis y cartucho central del equipo para mejorar las condiciones de operación del equipo respecto a la vibración del mismo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.MARCO TEÓRICO

2.1 Concretos y Asfaltos S.A

Conasfaltos S.A es una organización dedicada a la producción y comercialización de materiales pétreos, mezclas asfálticas; construcción de obras de infraestructura vial, obras de urbanismo; servicio de recepción de escombros y operación de escombrera, en aras de asegurar la gestión integral, identifica aspectos y peligros, evalúa sus impactos y riesgos e implementa controles en materia de calidad, Gestión Ambiental, Social y de Seguridad y Salud en el Trabajo dentro de un proceso de mejoramiento continuo.(Conasfaltos, 1982)

2.2 Planta de trituración

Es una combinación de maquinaria que constituyen un sistema para obtener y procesar materiales minerales con el fin de reducir el material a tamaños estandarizados para su respectiva aplicación o participación en otros procesos de extracción. (Metso Minerals, 2006)

2.3 Sistema de transmisión tándem

El sistema de transmisión tándem, es un sistema de transmisión constituido por 3 poleas, donde 2 de ellas son simétricamente iguales, para asegurar la misma relación de transmisión, por ende, los motores a los cuales están acopladas deben ser iguales; estas son las encargadas de transmitir la potencia a una tercera polea, a la cual va acoplada un eje que aprovecha esta potencia.

2.4 Procesos de aporte de materia

Los procesos de aporte se basan de un baño fundido en el material o sustrato, donde se inyecta un material de aporte lo que genera un recubrimiento con mino daño térmico. Así, este proceso se utiliza industrialmente para generar recubrimientos en superficies

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

sometidas a contacto, compitiendo con técnicas como la electrodeposición o la nitruración. Estos recubrimientos pueden ser un material metálico de mayor dureza que el sustrato e incluso se pueden combinar materiales de diferente naturaleza tales como recubrimientos cerámicos sobre sustratos metálicos. (Noriega anzola, 2012)

2.5 Tritura VSI Barmac serie B9100

La trituradora VSI Barmac B9100 es una unidad de reducción de tercera o cuarta fase que ha demostrado tener una capacidad única para funcionar en muchos entornos de trituración exigentes y diversos en el campo de la construcción, los minerales industriales y metálicos, y las aplicaciones de desecho y reciclaje. Esto es posible gracias a la exclusiva acción de trituración de libre impacto y a la capacidad de refinar este proceso con el simple recurso de cambiar la velocidad del rotor o la proporción del material de cascada.

A los menores costes de desgaste se suma el hecho de que la Barmac se utiliza no sólo en plantas de minería y canteras tradicionales, sino también en una variedad de operaciones de trituración especializadas y de minerales industriales. (Metso Minerals, 2004b)

2.5.1 Operación

La trituradora VSI Barmac Serie B utiliza el sistema de alimentación de hidrocascada para introducir una segunda corriente de material, en cantidades controladas, dentro de la turbulencia de la cámara de trituración, lo cual provoca una sobrecarga en la población de

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

partículas dentro de la cámara, y por ende mejora la transferencia de energía entre las partículas.

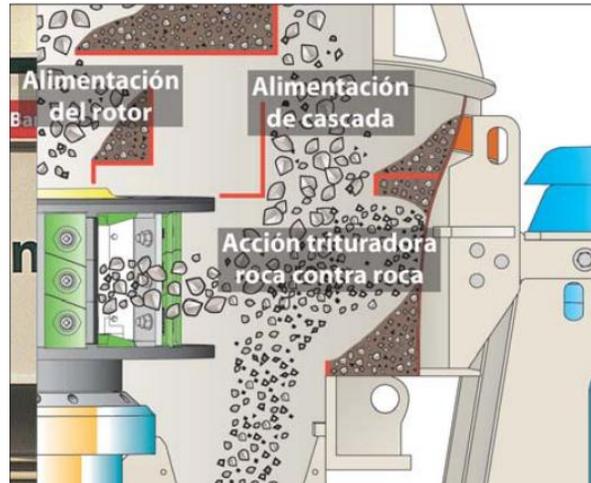


Ilustración 3 Alimentación en cascada.

Fuente Impactor eje vertical Barmac serie B

La hidrocascada posibilita la regulación hidráulica externa de la cascada mientras la trituradora está en funcionamiento, facilitando el control preciso de las especificaciones y la graduación del producto. La regulación se puede efectuar por operación manual o se puede integrar completamente a los sistemas automatizados de la planta. (Metso Minerals, 2004a)

2.5.2 Exterior de la trituradora

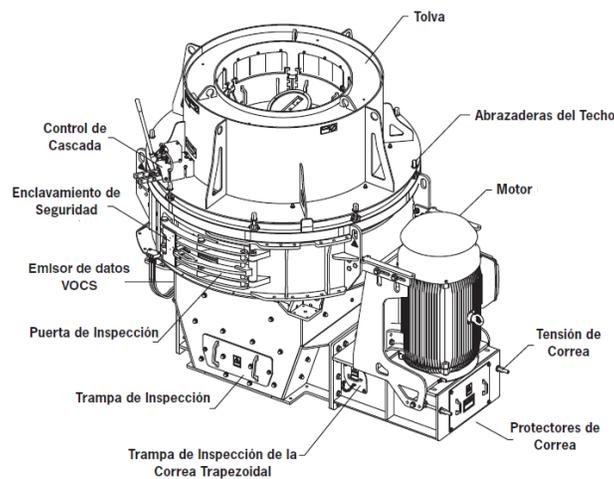


Ilustración 4 TBV9100 vista exterior.

Fuente Trituradora Barmac VSI Serie B1100 Manual de operación y mantenimiento.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.5.3 Interior de trituradora

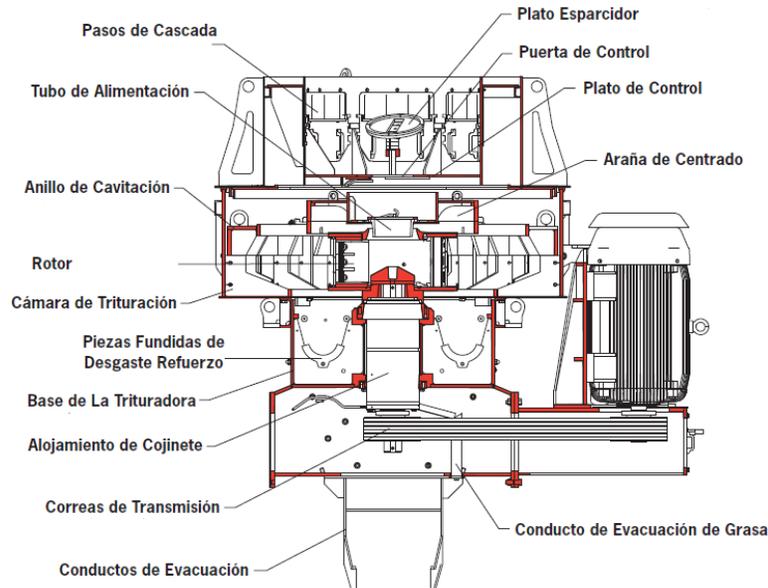


Ilustración 5 TBV9100 vista interior.

Fuente Trituradora Barmac VSI Serie B1100 Manual de operacion y mantenimiento.

2.6 Vibración

En su forma más sencilla, una vibración se puede considerar como la oscilación o el movimiento repetitivo de un objeto alrededor de una posición de equilibrio. La posición de equilibrio es la a la que llegará cuando la fuerza que actúa sobre él sea cero. Este tipo de vibración se llama vibración de cuerpo entero, lo que quiere decir que todas las partes del cuerpo se mueven juntas en la misma dirección en cualquier momento.

El movimiento vibratorio de un cuerpo entero se puede describir completamente como una combinación de movimientos individuales de 6 tipos diferentes. Esos son traslaciones en las tres direcciones ortogonales x, y, y z, y rotaciones alrededor de los ejes x, y, y z. Cualquier movimiento complejo que el cuerpo pueda presentar se puede descomponer en una combinación de esos seis movimientos. De un tal cuerpo se dice que posee seis grados de libertad. (White, 2010).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.7 Análisis de vibración

Hoy en día la mayoría de las industrias modernas dentro de sus programas de mantenimiento predictivo, utilizan el monitoreo y análisis de las vibraciones con el fin de establecer cuál es el estado de salud mecánica de las máquinas y en particular de sus elementos más críticos como son los rodamientos, descansos y engranajes, y de esta manera prevenir fallas catastróficas. Sin embargo, cuando las máquinas giran a baja velocidad, el análisis se complica debido principalmente a que la magnitud de las fuerzas dinámicas que generan las vibraciones decrece con la velocidad de rotación. Por ejemplo, el desbalanceamiento genera una fuerza centrífuga proporcional al cuadrado de la velocidad. Adicionalmente, las máquinas de baja velocidad típicamente son de mayor tamaño y peso, por lo tanto, la señal de vibración medida sobre el alojamiento de los descansos es frecuentemente de muy baja amplitud y con una baja razón señal-ruido. (Estupiñan, Edgar & Saavedra, 2014).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.METODOLOGÍA

3.1 Identificación de problemas iniciales

En el CPPB se contaba con la operación del equipo barmac VSI 9100 para la trituración de roca, esta tenía la capacidad de producir 240 ton/h nominales, alrededor del mes de julio del año 2015, a petición del departamento de producción, solicito que se aumentara el volumen de producción de la máquina, por lo tanto el departamento de mantenimiento de la época procedió a cambiar la relación de transmisión del equipo, la cual utilizaba un sistema tándem para la transferencia de potencia al eje central, para ello se procedió a cambiar la polea central para aumentar el volumen de producción de la máquina. este trabajo se ejecutó bajo la orden de traba O.T 520004476 y para el momento del cambio el barmac operaba bajo las siguientes condiciones:

Potencia: 2 motores de 300 HP

Sistema de transmisión: Tandem con eje central por poleas

Tipo de transmisión: Poleas

Velocidad en motor: 1750 RPM

Velocidad en eje central: 1300 RPM

Poleas:

Correas: 10 correas en V

Peso:

Volumen de producción (2 motores): 240 ton/h

Volumen de producción (1 motor): 192 ton/h

Después de esta modificación al sistema de potencia, la maquina comenzó a presentar diferentes inconvenientes, tales como:

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Diferencia de corrientes en los motores que conforman el sistema de potencia, condición que limitaba la producción en un 30% por debajo de condiciones de diseño.
- Incremento de niveles de vibración, lo cual dañó en 2 ocasiones el kit de rodamientos del eje del rotor
- Finalmente, por la alta vibración y repetidos fallos terminó por averiarse el cartucho central.



Ilustración 6 Parte superior de cartucho central averiado

Se inició la búsqueda de los factores para cada uno de los problemas, y se encontró que para el problema de sobre corrientes en los motores existía una variación de 1.5mm en el diámetro de una de las poleas motrices, lo cual generaba diferencia en la velocidad angular transmitida por cada uno de los motores, produciendo como consecuencia un desgaste mayor por fricción en una de las poleas convirtiéndose en carga para el otro.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.2 Componentes críticos

3.2.1 Poleas motrices

En conjunto con la empresa RO se realizó el análisis del estado en el que se encontraban las poleas motrices del sistema, encontrando varios aspectos negativos, que evidenciaban la causa por la cual el sistema llegó a la falla; estos aspectos son:

- Las poleas obligaban a un consumo de energía elevado (corriente) en uno de los motores.
- Las poleas eran de fabricación nacional (Construidas bajo pedido), y estas no cumplían con las normas básicas de fabricación y balanceo.
- Baja confiabilidad de la transmisión (no cumplían con la relación correcta de diseño)
- Desgaste en canales.



Ilustración 7 Canal de polea desgastada

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

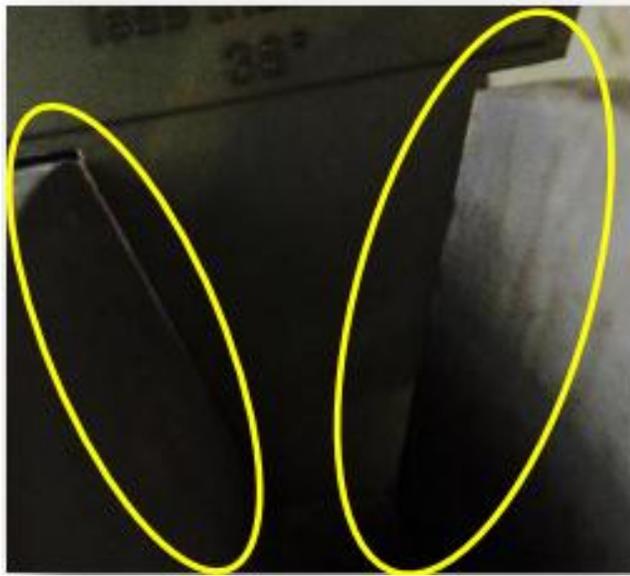


Ilustración 8 Canal que no cumple las medidas estándares para el tipo de correa.

En las ilustraciones 8 y 9 se puede evidenciar una cavidad estrecha para el tipo de correa utilizada (posiblemente por ser de fabricación nacional no estandarizada) y un notable desgaste en el canal, lo cual se ve evidenciado en disminución de eficiencia y alto consumo energético.

Nota: todas las poleas presentaban características similares.

3.2.2 Correas

El equipo operaba con un sistema de 10 correas en V, 5 correas por cada polea acoplada a cada motor, debido a la baja calidad de las poleas, las correas se encontraban en un estado avanzado de desgaste, en estas se evidenciaban desgaste prematuro por fricción (Patinaban) y agrietamientos a lo largo de estas.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Ilustración 9 Correa en V- Agrietamiento en tramo

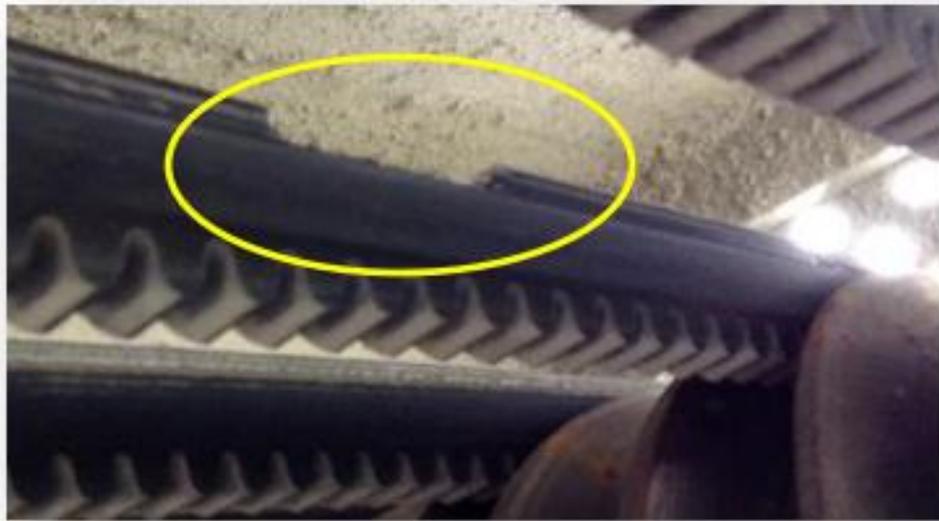


Ilustración 10 Agrietamiento en tramo

3.2.3 Cartucho central

El cartucho central está conformado por eje, rotor, rodamientos y un chasis (cilindro), el cual soporta todo el conjunto. En el mes de diciembre del año 2015 se identificó un daño en el cartucho central, esto debido a la alta vibración a la que estaba siendo expuesta la

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

máquina, este problema llevo a cabo el cambio de rodamientos con registro O.T 520006354, se reestableció el equipo y volvió a operación.

En el mes de junio del año 2016 se presentó el daño del rotor con ruptura en sus puertos estructurales, se procedió a enviar a reparación. Se reparó y el equipo retorno a operación, siguiente a este daño a finales del mismo mes se presenta la ruptura del chasis que soporta el cartucho central, este daño saco totalmente de operación el equipo, finalizando el estado del equipo como pérdida total.

Posteriormente se procedió a realizar una revisión completa de los factores que llevaron a esta falla final del equipo y se encontraron los siguientes inconvenientes:

1. El cambio de esfuerzos por el incremento de velocidad en el eje de giro de 1300 RPM (condición nominal de operación) a 1700 RPM.
2. Método inadecuado de balanceo estructural del rotor, este se realizaba de forma estática, pero para un equipo que gire a más de 1000 RPM se debe realizar de forma dinámica en su estructura y comprobación dinámica para el montaje de piezas de desgaste.
3. Por el incremento de velocidad se realizó un análisis de lubricación y se detectó que era necesario cambiar la referencia de la grasa suministrada, ya que la utilizada no cumplía con las condiciones físico- químicas para el cubrimiento de fricción fluida que implica girar a 1700 RPM.
4. Se encontró alto desajuste entre los rodamientos y estructura del cartucho central, normalmente debe existir una interferencia entre 300 y 500 centésimas, encontrándose en el cartucho un diámetro mayor aproximadamente de 1 mm al de los rodamientos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Por último, se procedió a realizar el desmontaje del equipo el día 15 de octubre del 2017 de la línea de trituración terciaria para realizar las respectivas reparaciones pactadas con el proveedor.



Ilustración 11 Desmontaje de equipo de línea de trituración terciaria



Ilustración 12 Equipo desmontado en taller

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.2.4 Carcaza (chasis)

La carcaza central de la estructura debido a la corrosión y estar expuesto a la alta vibración generada por el cambio de velocidad de operación, evidenciaba un alto deterioro en su estructura, se encontraron problemas como fisuras, deformaciones y grietas a lo largo de toda la estructura.



Ilustración 13 Chasis con fisura



Ilustración 14 Fisura en lateral de estructura

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Ilustración 15 Lateral desgastado por la corrosión

La estructura también poseía placas anti- desgaste, las cuales ayudan absorber las vibraciones de los altos impactos, pero al igual que al resto de la estructura la corrosión y la alta vibración las deterioro notablemente, haciendo que estas se cayeran a pedazos, estas piezas deben ser reemplazadas en su totalidad, su fabricación no es de alta complejidad lo cual no implica un gasto económico muy notable.



Ilustración 16 Placa anti-desgaste deteriorada 1

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Ilustración 17 Placa anti-desgaste deteriorada 2

3.3 Cotización de equipos y servicios

Cuando el equipo salió de operación se procedió a realizar la cotización de un nuevo equipo; la empresa GECOLSA S.A presento dentro de su portafolio de negocios un triturador Barmac serie B modelo 9100 SE de eje vertical equipado con dos motores de 300 HP y un pesos aproximado de 14 toneladas; el cual tenía un precio de 266.678 USD, para la época un valor aproximado de 800 millones de pesos colombianos; este podría ser entregado en un plazo de 3 a 4 meses en la ciudad de Cartagena; lo cual no era una opción muy atractivo por los altos costos que traería esperar la llegada del equipo y la puesta a punto del mismo.

El equipo de mantenimiento estacionario, bajo la coordinación del ingeniero Pastor Alberto Zuluaga Ochoa se dio a la tarea de realizar la reconstrucción del equipo, para esto se realizó un proceso de licitación para la reconstrucción del cartucho central y carcaza principal, donde varias empresas presentaron su propuesta para realizar procesos de reconstrucción y recuperación para realizar los siguientes trabajos:

- Verificación de ajustes y linealidad de eje motriz.
- Verificación y recuperación de ajustes en cartucho soporte de eje motriz.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Fabricación de cilindro.
- Ensamble de brida.
- Reconstrucción de laterales en chasis.
- Cambio de empaquetado para desgaste.

EMPRESA PARTICIPANTE	PERSONAL A CARGO
FYMECOL	GUSTAVO SANCHEZ FRANCISCO GRACIANO HECTOR GONZALES
MABUM	ALBERTO RIVERA COPER BUILES
SISPRO S.A	MARIO GIRALDO VICTOR MOLANO
REMAAQ	YOURNAL CASTILLO

Tabla 1 empresas participantes en el proceso de licitación.

La empresa FYMECOL fue la seleccionada para realizar los trabajos requeridos en la licitación.

3.3.1 Contrato servicio de maquinado

La empresa FYMECOL fue la seleccionada para celebrar la licitación, se firmó el contrato donde se comprometían a realizar los siguientes trabajos en un plazo de 45 días y retornar el equipo a producción.

Servicio de maquinado:

- Reconstrucción de base principal de trituradora Barmac
- Fabricación de cilindro de soporte (Cartucho)

Valor contrato: 40.484.000.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.3.2 Cotización rodamientos cartucho central.

Teniendo en cuenta el problema presentado con los rodamientos instalados anteriormente, se procedió a realizar la cotización de los 3 rodamientos que cumplieran las especificaciones técnicas para la operación óptima del cartucho central; de nuevo la empresa RO realizo un análisis del tipo de rodamientos requeridos y presento la siguiente propuesta comercial.

- Rodamiento de rodillos cilíndricos SKF REF: UN 2326 ECML/C4
Unidades: 2 UND
Valor: 7.166.500 UND
- Rodamiento rigido de bolas SKF REF: 6326 M/ C3
Unidades: 1 UND
Valor: 2.301.200 UND

3.3.3 Cotización Rotor

El rotor del equipo en varias ocasiones había presentado daños estructurales, por lo cual la empresa REMMAQ era la encargada de realizar la reparación de este elemento del equipo en estas ocasiones, por lo tanto, este componente no requerido un trabajo especial y se tomó como una reparación rutinaria.

DETALLE	CANTIDAD	VALOR
RECONSTRUCCION DE COMPONENTE:		
- RECONSTRUCCIÓN DE ROTOR - LAMINA ANTI DESGASTE ½" 340X300MM - LAMINA ANTI DESGASTE ½" 340X50MM - LAMINA ANTIDESGASTE ¾" 340X130MM - LAMINA ANTIDESGASTE ¾ " 100X100MM - ANILLO ANTIDESGATE 1" X1" CON DIÁMETRO DE 900 MM	N/A	4.984.000,00

Tabla 2 Cotización servicios de maquinado rotor.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.3.4 Cotización Poleas

Para la cotización de las poleas se contó con el acompañamiento de la empresa RO la cual visito las instalaciones de Conasfaltos S.A, realizo un estudio del estado de las poleas con que contaba el equipo y presento la siguiente propuesta comercial.

- Polea 12 8V1320 MARTIN con mango de fijación – Fundición gris clase 30 balanceada estáticamente.
Valor: 10.006.181 más IVA
- Polea 12 8V1320 MARTIN con mango de fijación – Acero- balanceada dinámicamente.
Valor: 13.923.112 más IVA.

3.3.5 Cotización correas

Para la cotización se contó de nuevo con el apoyo de la empresa RO, después de observar el mal estado de las correas y en conjunto con las nuevas poleas que se debían comprar se cotizo la siguiente referencia.

- Correa 8VX 1800 CARLISLE
Valor: 418.500 más IVA.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.4 Resumen financiero materiales y servicios

Los gastos económicos por el concepto de materiales y servicios tuvo un valor final de 98.429.336 pesos más IVA (16%) , en el cual se incluía el acompañamiento del montaje de equipos por parte de los proveedores , en la siguiente tabla se puede apreciar:

RESUMEN FINANCIERO MATERIALES					
PROVEEDOR	CANT	DETALLE	REFERENCIA	SUBTOTAL	TOTAL
RODANDO S.A	2	RODAMIENTO DE RODILLOS CILÍNDRICOS	NU 2326 ECML/C4	14.333.000,00	16.626.280,00
RODANDO S.A	1	RODAMIENTO RÍGIDO DE BOLAS SKF	6362 M/C3	2.301.200,00	2.669.392,00
RODANDO S.A	2	POLEA MOTRIZ	POLEA 12 8V 1320 MARTIN-ACERO-BALACEADA DINÁMICAMENTE	23.390.828,16	27.846.224,00
RODANDO S.A	12	CORREA	CORREA 8VX 1800 CARLISLE	4.218.480,00	5.022.000,00
FYMECOL	1	LICITACION	SERVICIOS DE MAQUINADO: RECONSTRUCCIÓN CARCAZA Y CONSTRUCCIÓN DE CILINDRO (LICITACION)	34.006.560,00	40.484.000,00
REMAQQ	1	ROTOR	RECONSTRUCCION DE ROTOR	4.984.000,00	5.781.440,00
TOTAL:				83.234.068,16	98.429.336,00

Tabla 3 Resumen financiero materiales y servicios.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.4.1 Resumen financiero mano de obra interna

La mano de obra interna está comprendida desde el día 15 de noviembre del 2016 hasta el día 22 de noviembre del mismo año, en el cual se realizaron 2 turnos de 8 horas por día, para un total de 112 horas de trabajo en la instalación de equipo, en cada uno de los turnos laboro un mecánico clase A, un mecánico clase B, un mecánico clase C y un electricista industrial.

TARIFAS MANO DE OBRA 2016	
MECANICO CLASE A	\$ 16.930,00
MECANICO CLASE B	\$ 12.190,00
MECANICO CLASE C	\$ 10.969,00
ELECTRICISTA INDUSTRIAL	\$ 12.190,00

Tabla 4 Tarifas mano de obra interna

RESUMEN FINANCIERO MANO DE OBRA			
PERSONAL	CANTIDAD	HORAS	TOTAL
MECANICO CLASE A	2	112	\$ 1.896.160,00
MECANICO CLASE B	2	112	\$ 1.365.280,00
MECANICO CLASE C	2	112	\$ 1.228.528,00
ELECTRICISTA INDUSTRIAL	2	112	\$ 1.365.280,00
		TOTAL:	\$ 5.855.248,00

Tabla 5 Resumen financiero mano de obra.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.4.2 Resumen financiero global

Finalmente se logró acondicionar el equipo triturador y retornar a operación con inversión de 104.284.584 de pesos, lo cual significo un gran ahorro a comparación de la compra de un equipo nuevo que rebasaba alrededor de 9 veces este valor invertido.

RESUMEN FINANCIERO GLOBAL	
CONCEPTO	TOTAL
MANO DE OBRA INTERNA	\$ 98.429.336,00
MATERIALES Y SERVICIOS	\$ 5.855.248,00
TOTAL	\$ 104.284.584,00

Tabla 6 Resumen Materiales, mano de obra y servicios.

3.5 Montaje de equipo a línea de trituración

El día 15 de noviembre del 2016 se procede a ensamblar la estructura del equipo en las instalaciones de Conasfaltos S.A, este proceso finalizo el día 22 de noviembre del 2016, finalizando con la conexión de los motores del equipo. En este proceso requirió acompañamiento de equipo de grúa para el ensamble de los elementos del conjunto restaurado, a continuación se describirá el proceso de instalación y calibración de cada uno de los elementos restaurados en el equipo.



Ilustración 18 Piezas del equipo para ensamble en CPPB

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.5.1 Poleas

El día 19 de noviembre del 2016 el equipo de RO, se presentó a las instalaciones de Conasfaltos S.A, para realizar el acompañamiento del montaje de las poleas, previamente el equipo de mantenimiento estacionario había realizado el montaje físico de las poleas, con el objetivo de que el equipo técnico de RO realizara la calibración de los equipos.

Al revisar el montaje se encontró una desalineación angular y paralela en ambos sistemas (Para facilitar la alineación se tomó la transmisión como sistemas diferentes, uno por cada motor del sistema), de este modo el equipo técnico de RO recomendó fabricación de placas calibradas y de un nuevo buje espaciador para el motor 1, para poder realizar la adecuada alineación los días 20 y 21 de noviembre.



Ilustración 19 Equipo de medición- polea desalineada

En la imagen se aprecia el equipo de medición utilizado para determinar la linealidad entre las poleas en su respectivo montaje; se puede observar la franja roja no coincide con franja negra, las cuales deben coincidir cuando los equipos se encuentran alineados.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Ilustración 20 Calibración de polea

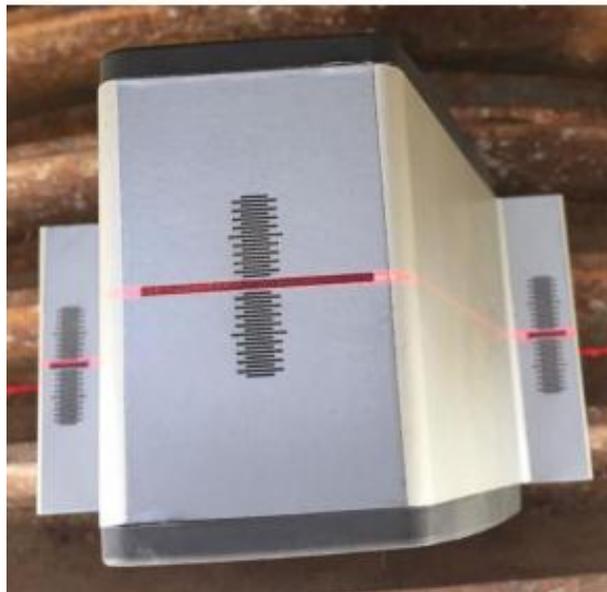


Ilustración 21 Equipo de medición- Polea totalmente alineada

Después de ejecutar las sugerencias por parte del equipo técnico de RO , el lunes 21 de noviembre se encontró nuevamente desalineados los equipos, pero se pudo resolver fácilmente con las placas previamente construidas corrigiendo la posición de los motores.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la imagen # se puede apreciar que los equipos están totalmente alineados al coincidir la franja roja con la negra.

3.5.2 Correas

Para la tensión se realizó el montaje primero con el motor 1 y posteriormente con el motor 2, permitiendo de esta forma la verificación de la medición de la tensión de las correas cuantas veces sea necesario hasta que los valores de las tensiones sean iguales, para la correa 8VX 1800 CARLISLE se recomienda una tensión de 2386 N, en la imagen se puede apreciar que se consiguieron valores muy cercanos a los sugeridos.



Ilustración 22 Equipo de medición- Tensión de correas

Durante la siguiente semana a la instalación de los equipos se evidencio un aumento en la vibración del equipo, se identificó que este problema se debía por falta de ajuste en elementos de la máquina. Al medir las corrientes de ambos motores se encontraron valores de 97 A y 107 A respectivamente a cada motor, evidenciando una mejora en la diferencia de corrientes que existía con los equipos anteriores.

Por último, el proveedor recomendó realizar seguimiento en la corriente y temperatura de los motores, como realizar ajustes periódicos a todos los elementos de fijación de la máquina.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.5.3 Carcaza o base principal

La empresa FYMECOL dentro de la licitación, debía realizar la recuperación y reparación de la carcaza principal del equipo y adicional debía fabricar las placas anti-desgaste de esta. Para esto se procedió a desmantelar el equipo y llevar el componente a las instalaciones de FYMECOL , donde se procedió a retirar las placas anti-desgaste en mal estado del chasis.



Ilustración 23 Carcaza con placas en estado de oxidación



Ilustración 24 Placas en alto estado de oxidación

Luego se procedio a retirar la oxidacion de toda la estructura, para identificar los puntos de fractura de la estructura y realizar la toma de medidas de todo el equipo para su posterior modelacion. En el chasis se evidenciaron dos aspectos importantes, primero que existian

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

puntos donde había ruptura y segundo que existían deformaciones en los laterales en la parte superior de la estructura.



Ilustración 25 Ruptura en estructural de carcaza



Ilustración 26 Deformaciones en Carcaza

Después se procedió a realizar la reparación del chasis se debieron reemplazar algunas partes y adicionar soldadura en algunos puntos para reparar las diferentes fisuras existentes en la estructura y posteriormente se realizó un proceso de maquinado para pulir la pieza y aplicar una capa de pintura anticorrosiva. Simultáneamente se realizó la fabricación de las placas anti-desgaste.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

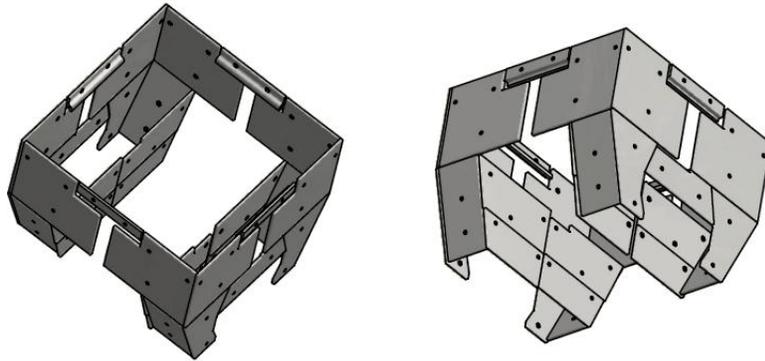


Ilustración 27. Modelado placas anti desgaste de carcaza

Finalmente se realizó la instalación de las nuevas placas anti-desgaste en el chasis reparado y pintado.



Ilustración 28 Carcaza reparada vista superior.



Ilustración 29 Carcaza reparada vista lateral.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.5.4 Cartucho central

La empresa FYMECOL S.A procedió a realizar la labor de recuperación de componentes, donde se logró recuperar en buen estado el eje central, por lo tanto, no existieron costos adicionales por la fabricación de este. posteriormente se realizó la fabricación del cilindro de soporte y alojamiento del cartucho central, estos se fabricaron con base a la medida de los nuevos rodamientos que integrarían el sistema, para garantizar el ajuste necesario que requería el sistema.



Ilustración 30 Fabricación de cilindro(house) en torno- instalaciones FYMECOL.



Ilustración 31 Modelo 3D de alojamiento superior.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Ilustración 32 Alojamiento instalado en cilindro .

Para el sábado 22 de octubre del 2016, la empresa RO, junto personal técnico de CF, se presentaron a las instalaciones de FYMECOL S.A, para realizar el montaje de los 3 rodamientos que hacen parte del cartucho central.

Como no se tiene una dirección definida para la carga, se debe tener un ajuste de interferencia en los rodamientos tanto internos como externos, esta interferencia debe estar en un rango de ± 5 centésimas de milímetro. Por lo tanto, se procedió a realizar las medidas de todos los elementos para que cumpliera esta condición, y se obtuvieron los siguientes datos:

RODAMIENTO	DIAMETRO DEL AGUJERO RODAMIENTO (INTERIOR)	DIAMETRO MEDIDO EN EL EJE	DIAMETRO EXTERIOR DEL RODAMIENTO	DIAMETRO PROMEDIO EN EL ALOJAMIENTO
6326 M/C3	130 mm	130.019mm	280 mm	279.979mm
UN 2326 ECML/C4 (PARTE SUPERIOR CARTUCHO)	130mm	130.021 mm	280mm	279.976mm
UN 2326 ECML/C4 (PARTE INFERIOR CARTUCHO)	130mm	130.033mm	280mm	279.966mm

Ilustración 33 Medidas de rodamientos y alojamiento

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Posteriormente se comenzó a realizar el montaje de los rodamientos haciendo uso de un calentador TIH 100 de SKF; con este equipo se realizó el calentamiento de las pistas internas de los rodamientos UN 2326 ECML/C4, realizando primero el montaje de la pista que estaría posicionada abajo y luego el que estaría arriba, para después calentar el rodamiento 6362 M/C3 en la parte superior del eje para instalarlo.



Ilustración 34 Eje con rodamiento 6326 M/C3 instalado.



Ilustración 35 Pista interna de rodamiento Nu 2326 EMLC/C4 instalado en la parte inferior del eje.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Después se procedió a calentar el alojamiento (cilindro) con soplete de acetileno, para dilatar el alojamiento y permitir un montaje suave de la pista externa y elementos rodantes de los rodamientos 2326 ECML/C4 y del rodamiento 6326 ya instalado en el eje.



Ilustración 36 Proceso de dilatación de alojamiento.

Finalmente se procedió con el montaje restante, primero se instaló en la parte inferior del alojamiento (cilindro) la tapa del cartucho y con la ayuda de un montacargas se instaló el eje en el alojamiento quedando finalmente ensamblado el cartucho.



Ilustración 37 Instalación de eje en alojamiento.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Ilustración 38 Eje instalado en alojamiento.



Ilustración 39 Pruebas finales en cartucho.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Al finalizar el montaje se procedió a envolver el cartucho en crystalflex para evitar que este tuviera contacto en algún momento con elementos contaminantes que pudieran afectar su desempeño.



Ilustración 40 Cartucho empacado, listo para su traslado.



Ilustración 41 Equipo instalado en línea de trituración.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Ilustración 42 Equipo en operación.

Finalmente, después de aproximadamente 3 meses de funcionamiento continuo en el CPPB, sin presentar ninguna falencia técnica, se procede desmantelar y transportar el equipo a la planta de trituración CPPV en el municipio de Fredonia, donde a la fecha opera sin presentar ningún problema en los componentes anteriormente restaurados.

4.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El día 08 de febrero del 2017 se realizan pruebas en el equipo triturador para realizar el respectivo seguimiento de operación del equipo, esto después de que el equipo opero durante algunos meses y se le realizaran algunos ajustes de rutina.

4.1 Especificaciones pruebas a doble mando

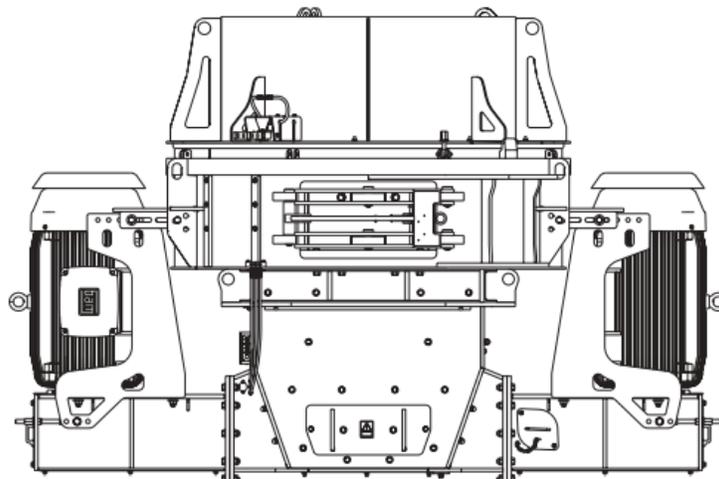


Ilustración 43 Configuración doble mando.

Fuente Impactor eje vertical Barmac serie B.

BARMAC VSI B9100SE	
ESPECIFICACIONES	
TAMAÑO MATERIAL ALIMENTACION:	3/8 Y 1 1/2 SECO
POTENCIA INSTALADA:	440 KW- 600 HP
RANGO RPM DE MOTOR:	1200 RPM
TEMPERATURA DE RODAMIENTO :	77°C (120 °C MAX)
CANTIDAD DE CORREAS:	12
CORRIENTE NOMINAL DE PLACA:	350 AMPERIOS MAX
ALIMENTACION:	240 TONELADAS.HORA
TIEMPO DE TRABAJO:	2 HORAS

Tabla 7 Especificaciones a 2 mandos

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.1.1 Prueba 1

PRUEBA 1	
CORRIENTE DE ARRANQUE 2 MOTORES:	1413 AMPERIOS
CORRIENTE EN VACIO 2 MOTORES:	289 AMPERIOS
CORRIENTE CON CARGA 2 MOTORES:	540 AMPERIOS

Tabla 8 Prueba 1

4.1.2 Prueba 2

PRUEBA 2	
CORRIENTE DE ARRANQUE MOTOR 1:	1413 AMPERIOS
CORRIENTE EN VACIO MOTOR 1:	98 AMPERIOS
CORRIENTE CON CARGA MOTOR 1 :	288 AMPERIOS

Tabla 9 Prueba 2

4.1.3 Prueba 3

PRUEBA 3	
CORRIENTE DE ARRANQUE MOTOR 2:	1413 AMPERIOS
CORRIENTE EN VACIO MOTOR 2:	99 AMPERIOS
CORRIENTE CON CARGA MOTOR 2:	280 AMPERIOS

Tabla 10 Prueba 3

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.1.4 Resultados

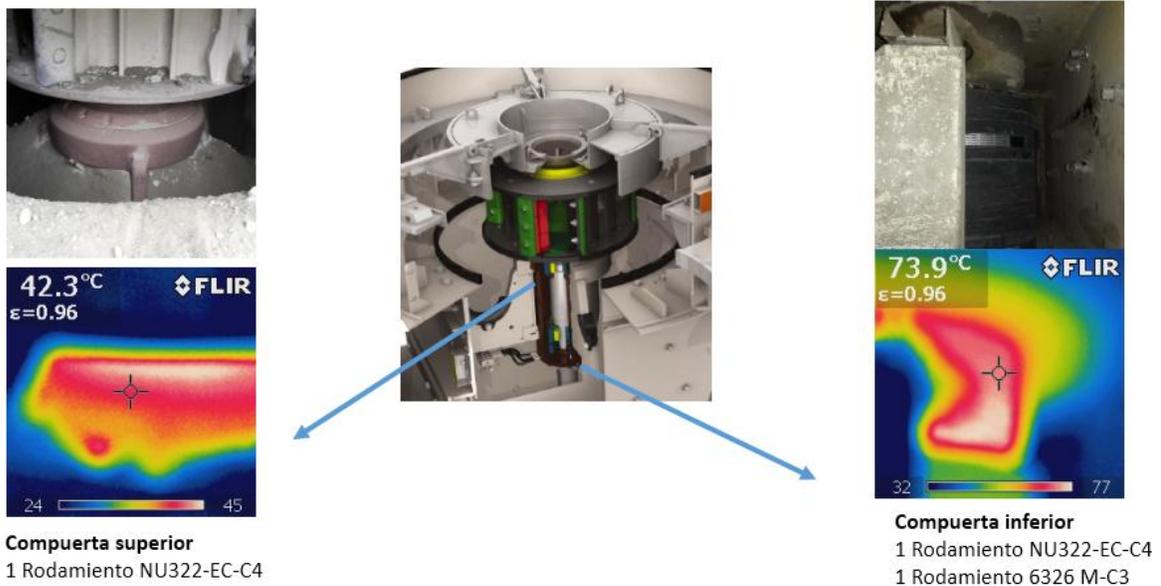


Ilustración 44 Pruebas en rodamientos de cartucho central.

Análisis de vibraciones (Actividad realizada por RO)

Motores

- En el momento el equipo no presenta amplitudes globales y espectros que generen alerta a su condición de operación.
- No se identifican frecuencias de falla de rodamientos para las referencias 6349 y nu322 @ 1200 rpm
- observándose en alta frecuencia vibración transmitida del rotor con amplitudes bajas que no generan riesgo para el equipo.

Rotor

- El equipo presenta niveles de vibración moderados en todas las variables y direcciones.
- En alta frecuencia se observan frecuencias asociadas con la operación del rotor y de su mecanismo interno, sin identificar actividad armónica o impactos en la forma de onda que hagan sospechar de alguna holgura o desgaste prematuro de los rodamientos.

4.2 Especificaciones mando simple

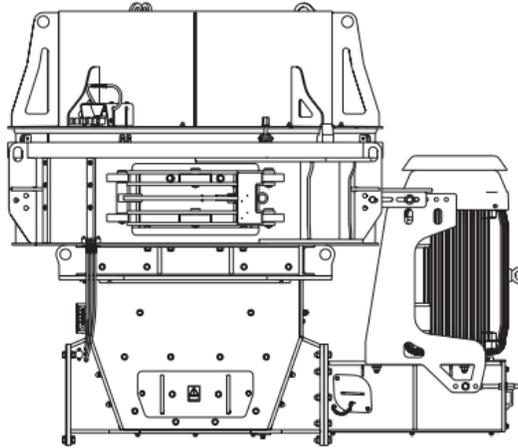


Ilustración 45 Configuración de un mando.

Fuente Impactor eje vertical Barmac serie B.

BARMAC VSI B9100SE	
ESPECIFICACIONES	
TAMAÑO MATERIAL ALIMENTACION:	3/8 Y 1 1/2 SECO
POTENCIA INSTALADA:	220 KW- 300 HP
RANGO RPM DE MOTOR:	1200 RPM
TEMPERATURA DE RODAMIENTO:	85°C (120°C)
CANTIDAD DE CORREAS:	12
CORRIENTE NOMINAL DE PLACA:	350 AMPERIOS MAX
ALIMENTACION:	192 TONELADAS.HORA (75% APERTURA CAHLA)
TIEMPO DE TRABAJO:	8 HORAS

Tabla 11 Prueba a un mando

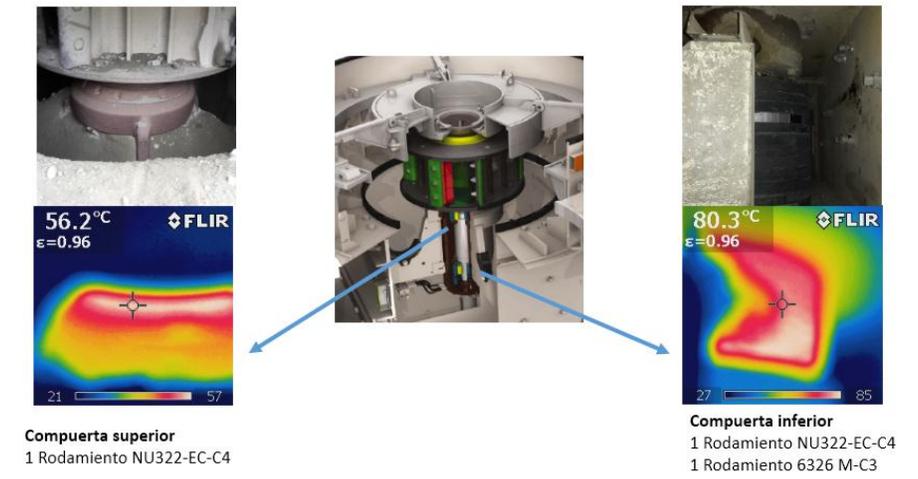
4.2.1 Prueba 4

PRUEBA 4	
CORRIENTE DE ARRANQUE MOTOR 1:	1413 AMPERIOS
CORRIENTE EN VACIO MOTOR 1:	115 AMPERIOS
CORRIENTE CON CARGA MOTOR 1 :	280-310 AMPERIOS

Tabla 12 Prueba 4

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.2.2 Resultados



Conclusiones

- Aumento de temperatura en 7°C al trabajar con un solo motor en el rodamiento superior
- Aumento de temperatura en 12°C al trabajar con un solo motor en el rodamiento inferior
- No se percibe aumento en vibración del equipo
- Se presenta poco material de protección en el cuerpo del Barmac el cual puede ocasionar desgaste prematuro al impacto; se debe tener en cuenta % de humedad para que el material pegue y forme capa protectora.
- Debe existir restricción de carga por los consumos de corriente (Relación kWh/ton)
- Respecto a las metas de producción del CPBE, se debe evaluar consumo de energía Vs. Producción planificada; al trabajar con el rotor existente.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5.CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Se concluye que el equipo presento una serie de fallas, hasta llegar a la finalización de su vida útil, por un sinnúmero de malas prácticas en la operación y reparaciones previas del equipo, tales como la modificación de sus parámetros nominales para aumentar el porcentaje de producción y la selección de repuestos inadecuados como poleas y rodamientos para las reparaciones previas a la sucesión del equipo.

Realizado todo el proceso de reconstrucción del equipo se recomienda tener en cuenta las siguientes consideraciones para que el equipo opere en una forma óptima y se mitigue el desgaste:

- Restringir el volumen de carga por parte de producción para evitar sobre corrientes en los motores y sobrecalentamiento en los rodamientos de todo el sistema.
- Realizar balanceo de rotor y eje de forma dinámica, ya que si estos giran a más de 1000 RPM puede existir descompensaciones que no son solucionadas en un balanceo estático.
- Garantizar que entre el eje del cartucho central y los rodamientos exista un ajuste de interferencia de ± 5 centésimas de milímetro.
- Cuando se requiera realizar el cambio de alguna polea del sistema, realizar el cambio de todo el conjunto, ya que al instalar una nueva pueden existir descompensaciones por desgaste en la polea más vieja y se generarían problemas en consumo de corriente, desgaste prematuro y descompensación de carga en el cartucho central.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Actualmente el equipo opera con un solo motor en el centro de producción de Piedra verde, con la capacidad de procesar un volumen de 192 Ton/hora; con la creciente demanda de materiales en el sector se pretende en un futuro cercano restaurar el sistema a operar con 2 motores para aumentar el volumen de 192 Ton/Hora a 240 Ton/Hora, disminuyendo costos en operación del equipo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- Conasfaltos. (1982). Concretos y asfaltos S.A. Retrieved from <https://conasfaltos.com/>
- Estupiñan, Edgar, & Saavedra, P. (2014). Analisis de vibraciones aplicado a las maquinas rotatorias de baja velocidad, pp. 1–6.
- Metso Minerals. (2004a). *Impactor eje vertical Barmac serie B*. Matamata, New Zeland.
- Metso Minerals. (2004b). *Triturador de eje vertical Barmac serie B*. Matamata, New Zeland.
- Metso Minerals. (2006). *Trituradora Barmac VSI Serie B1100 Manual de operacion y mantenimiento*.
- Noriega anzola, J. C. (2012). *Estandarizacion de procesos de reconstruccion de componentes de maquinaria pesada*. Universidad Simon Bolivar.
- White, G. (2010). *Introduccion al analisis de vibraciones*. (Azima DLI, Ed.). Woburn.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE IMÁGENES

<i>Ilustración 1</i>	<i>Equipo Barmac VSI 9100</i>	7
<i>Ilustración 2</i>	<i>Equipo desmontado de línea de trituración</i>	8
<i>Ilustración 3</i>	<i>Alimentación en cascada</i>	12
<i>Ilustración 5</i>	<i>Trituradora VS Barmac I B9110 vista exterior</i>	12
<i>Ilustración 6</i>	<i>Trituradora VS Barmac B9110 vista interior</i>	13
<i>Ilustración 7</i>	<i>Parte superior de cartucho central averiado</i>	16
<i>Ilustración 8</i>	<i>Canal de polea desgastada</i>	17
<i>Ilustración 9</i>	<i>Canal que no cumple las medidas estándares para el tipo de correa</i>	18
<i>Ilustración 10</i>	<i>Correa en V- Agrietamiento en tramo</i>	19
<i>Ilustración 11</i>	<i>Agrietamiento en tramo</i>	19
<i>Ilustración 12</i>	<i>Desmontaje de equipo de línea de trituración terciaria</i>	21
<i>Ilustración 13</i>	<i>Equipo desmontado en taller</i>	21
<i>Ilustración 14</i>	<i>Chasis con fisura</i>	22
<i>Ilustración 15</i>	<i>Fisura en lateral de estructura</i>	22
<i>Ilustración 16</i>	<i>Lateral desgastado por la corrosión</i>	23
<i>Ilustración 17</i>	<i>Placa anti-desgaste deteriorada 1</i>	23
<i>Ilustración 18</i>	<i>Placa anti-desgaste deteriorada 2</i>	24
<i>Ilustración 25</i>	<i>Piezas del equipo para ensamble</i>	30
<i>Ilustración 26</i>	<i>Equipo de medición- polea desalineada</i>	31
<i>Ilustración 27</i>	<i>Calibración de polea</i>	32
<i>Ilustración 28</i>	<i>Equipo de medición- Polea totalmente alineada</i>	32
<i>Ilustración 29</i>	<i>Equipo de medición- Tensión de correas</i>	33
<i>Ilustración 30</i>	<i>Carcaza con placas en estado de oxidación</i>	34
<i>Ilustración 31</i>	<i>Placas en alto estado de oxidación</i>	34
<i>Ilustración 32</i>	<i>Ruptura en estructural de carcaza</i>	35
<i>Ilustración 33</i>	<i>Deformaciones en Carcaza</i>	35
<i>Ilustración 34</i>	<i>Modelado placas anti desgaste de carcaza</i>	36
<i>Ilustración 35</i>	<i>Carcaza reparada vista superior</i>	36
<i>Ilustración 36</i>	<i>Carcaza reparada vista lateral</i>	36
<i>Ilustración 37</i>	<i>Fabricación de cilindro(house) en torno- instalaciones FYMECOL</i>	37
<i>Ilustración 38</i>	<i>Modelo 3D de alojamiento superior</i>	37
<i>Ilustración 39</i>	<i>Alojamiento instalado en cilindro</i>	38
<i>Ilustración 40</i>	<i>Tabla de medidas de rodamientos y alojamiento</i>	38
<i>Ilustración 41</i>	<i>Eje con rodamiento 6326 M/C3 instalado</i>	39
<i>Ilustración 42</i>	<i>Pista interna de rodamiento Nu 2326 EMLC/C4 instalado en la parte inferior del eje</i>	39
<i>Ilustración 43</i>	<i>Proceso de dilatación de alojamiento</i>	40
<i>Ilustración 44</i>	<i>Instalación de eje en alojamiento</i>	40
<i>Ilustración 45</i>	<i>Eje instalado en alojamiento</i>	41
<i>Ilustración 46</i>	<i>Pruebas finales en cartucho</i>	41

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

<i>Ilustración 47 Cartucho empacado, listo para su traslado</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 48 Equipo instalado en línea de trituración</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 49 Equipo en operación</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 50 Configuración doble mando.....</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 55 Pruebas en rodamientos de cartucho central.....</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 56 Configuración de un mando.....</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 59 Pruebas en rodamientos de cartucho central</i>	<i>48</i>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 empresas participantes en el proceso de licitación.</i>	25
<i>Tabla 2 Cotización servicios de maquinado rotor.</i>	26
<i>Tabla 3 Resumen financiero materiales y servicios.</i>	28
<i>Tabla 4 Tarifas mano de obra interna</i>	29
<i>Tabla 5 Resumen financiero mano de obra.</i>	29
<i>Tabla 6 Resumen Materiales, mano de obra y servicios.</i>	30
<i>Tabla 7 Especificaciones a 2 mandos.</i>	44
<i>Tabla 8 Prueba 1.</i>	45
<i>Tabla 9 Prueba 2.</i>	45
<i>Tabla 10 Prueba 3.</i>	45
<i>Tabla 11 Prueba a un mando</i>	47
<i>Tabla 12 Prueba 4.</i>	47

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES _____

JUAN PABLO AGUIRRE CHAVEIRA

FIRMA ASESOR JUAN SE 17/10/2017
INT. FINAL

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO ___ ACEPTADO ___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES ___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____