

## VERIFICACIÓN DEL TRIBOSISTEMA, UNA HERRAMIENTA PARA LA IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE FALLAS

Tribosistem Check, a tool for the identification and failure analysis

### RESUMEN

Esta investigación tiene la finalidad de presentar resultados experimentales apoyados y validados por la literatura, además del analizar el tribosistema y las condiciones en que interactúan las superficies y el entorno, que incluye los triboelementos para el par de rodamientos YET 210 (Soporte SY 510M) de marca SKF de una zaranda vibratoria en la industria minera de trituración de carbonato de calcio CaCO<sub>3</sub> (mármol). El análisis del tribosistema permitió identificar las causas de las averías y crear acciones para su eliminación, al mismo tiempo que disminuir la temperatura de los rodamientos, frecuencia de reengrase y aumentar la vida útil de los mismos.

**PALABRAS CLAVES:** Averías, Lubricación, Grasa, Tribosistema

### ABSTRACT

*This research aims to present experimental results supported and validated by the literature, in addition to analyzing the conditions tribosistem and they interact in the areas and the environment, which includes triboelements for the pair of bearings YET 210 (Support 510M SY) SKF brand of a shale shaker in the mining industry grinding calcium carbonate CaCO<sub>3</sub> (marble), identify the causes of breakdowns and create a proactive tool that enables their elimination, while decreasing the temperature of the bearings, frequency of lubrication and increase the life work.*

**KEYWORDS:** Failures, Lubrication, Grease, Tribosystem

### 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente en la industria minera el mantenimiento genera un bien real, el cual permite la reducción de costos, a través de la administración del mantenimiento correctivo, preventivo y ocasionalmente predictivo. Sin embargo, debido a la naturaleza abrasiva y agresiva de los minerales procesados, esta industria centra su estudio en el análisis de fallas [1].

De acuerdo con Tovar [2], la palabra falla es un término general que se utiliza para designar que un componente, equipo ó máquina ha fallado en servicio. Se considera que una pieza, máquina ó equipo ha fallado cuando este se vuelve completamente inoperable, cuando a pesar de ser operable no cumple con su función o cuando pierde su confiabilidad y representa un riesgo.

Según J. Díaz [3], para el análisis de fallas existen diversas metodologías, tales como diagrama de pareto, árbol de fallos que indican una secuencia lógica desde el evento inicial (causas) hasta el evento objeto del análisis (evento final) pasando por los distintos eventos contribuyentes. Dentro de estas se encuentra el análisis causa raíz (RCA por sus siglas en inglés) que permite representar gráficamente las relaciones de causa y efecto que nos conduce a descubrir el evento indeseable y cuál

**EDUARDO A. PÉREZ R.**

Ingeniero Mecánico, M.Sc.

Profesor Auxiliar

Universidad de Ibagué

eduardo.perez@unibague.edu.co

**FABIAN A. SANCHEZ Z.**

Estudiante de ingeniería Mecánica.

Asistente de investigación

Grupo DIMAS.

zuleta@walla.com

fue la causa-raíz del problema, y se apoya directamente en el diagrama de Ishikawa (figura 1).

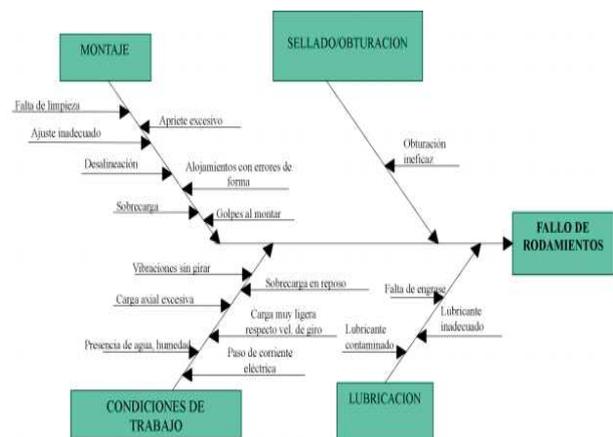


Figura 1 Análisis Causa-Raíz.

El análisis causa-raíz según Díaz, involucra el análisis y la relación de cuatro factores básicos como son: Métodos, Maquinaria, Materiales y Mano de obra, los cuales a pesar de ser factores fundamentales pueden llegar a desviar la correlación pues pueden atacar múltiples alternativas de análisis.

Por lo anterior, surge la importancia de resaltar la función de la tribología, la cual es una ciencia de acción multidisciplinaria que permite el estudio de la fricción, el desgaste y la lubricación de cuerpos en contacto bajo la acción de movimiento relativo [4] y que analiza el evento (falla) desde el análisis del tribosistema, el cual incluye los triboelementos y los medios mecánicos, donde las tasas de desgaste no solo dependen de las propiedades del material si no que es un comportamiento conjunto entre el medio ambiente y el material (figura 2).

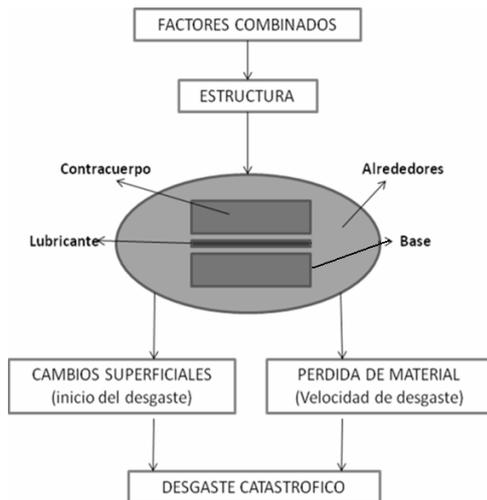


Figura 2 Entorno del tribosistema.

El objetivo de este estudio es el de presentar la importancia del análisis tribológico (análisis del tribosistema) como una herramienta proactiva en el análisis de fallas.

## 2. PROCEDIMIENTO

Actualmente, en la industria del procesamiento de mármol (carbonato de calcio) específicamente del departamento del Tolima, se emplea maquinaria operando sin un análisis en cuanto a cargas de trabajo, efectos de la contaminación, selección adecuada de lubricantes y materiales, generando fallas principalmente en los elementos rodantes utilizados a lo largo del proceso productivo

Dentro del sistema de producción, en una de las empresas de producción del carbonato de calcio, se encuentra que el sistema de elevación por cangilones descarga a una zaranda vibratoria una carga máxima de 12 tn/h trabajando a una velocidad de operación de 900 rpm y con un motor eléctrico de 2,5HP, la cual esta soportada sobre dos rodamientos YET 210, y soporte SY 510M a una distancia entre centros de 2 m. El aumento de la temperatura y la contaminación de la unidad de rodamiento, generan un aumento en la frecuencia de engrase y disminuyen la vida útil de los rodamientos.

El análisis del tribosistema estudiará las condiciones en que interactúan las superficies y el entorno que incluye los triboelementos además de los medios mecánicos.

Según el planteamiento expuesto y presentado a través de la figura 2 se tiene:

**Base y Contracuerpo:**

El elemento en análisis será la falla y excesivo aumento de la temperatura presentes en un rodamiento YET 210, de los cuales se identifica que la base es la pista rodante del sistema y el contracuerpo (quien aplica carga) es cada uno de los elementos rodantes tipo bolas.

**Lubricante:**

El lubricante encontrado es de tipo Grasa BEG de litio de extrema presión NLGI 3 EP. Sin embargo, se desconoce si la grasa y la cantidad utilizada es la adecuada, así como la respectiva frecuencia de engrase.

**Alrededores:**

La condición ambiental en la industria minera siempre será crítica y más aún en la trituración de carbonato de calcio, ya que la cantidad de talco en el ambiente es excesiva (imagen 1)



Imagen 1. Contaminación por talco suspendido en el aire.

Para analizar completamente el sistema se realizaron las siguientes acciones:

- Verificación del tipo de rodamientos a utilizar
- Verificación del tipo y frecuencia de lubricante a utilizar
- Condición ambiental

### 2.1 VERIFICACIÓN DE RODAMIENTOS

Rodamiento YET 210

Capacidad de carga dinámica 35,1 KN.

Capacidad de carga estática 23,2 KN.

Velocidad limite con eje de tolerancia H6 4000 rpm.

$P = Fr + Y_1 Fa$   $Fa/Fr = 0 < e$ ;  $P = Fr = 11772N$

Se encuentra por debajo del valor aceptado por el rodamiento según catalogo SKF [5], lo que indica que el

rodamiento utilizado debe soportar las condiciones de carga sin inconveniente.

## 2.2 VERIFICACIÓN DEL TIPO Y FRECUENCIA DE LUBRICANTE A UTILIZAR

A continuación se presenta el análisis para selección del lubricante. El lubricante recomendado por el fabricante:

LEGV 2 a base de litio.

Resistente a vibración severa y movimientos oscilantes.

Temperatura de trabajo  $-10^{\circ}\text{C}/120^{\circ}\text{C}$ .

Brinda excelente rendimiento EP

Buena resistencia al agua.

Estabilidad mecánica.

Tipo de grasa usada actualmente marca BEG

NLGI 3 EP base de litio

Aplicación en rodamientos de molinos de trabajo pesado

Temperatura de trabajo  $-10^{\circ}\text{C}/140^{\circ}\text{C}$

Brinda excelente rendimiento EP

Uso en cojinetes planos bajo condiciones de alta carga

Teniendo en cuenta que sus propiedades son muy similares a las recomendadas por el fabricante y el tiempo de trabajo de 2 años que brinda la menor tasa de cambio se ha aceptado este lubricante (grasa)

A continuación se presentan las variables requeridas para la selección de la frecuencia del lubricante.

Tipo de rodamiento: Rodamiento de bolas con anillo de fijación excéntricos ref. YET 210.

Diámetro interno del rodamiento 50 mm

Velocidad de rotación: 900 rpm

Apoyados en el periodo de lubricación, según SKF [6], se determina el intervalo de relubricación, considerando 900 rpm de velocidad del eje y 50mm como diámetro interno del rodamiento, obteniendo una frecuencia de cambio de 2000 horas.

Actualmente la frecuencia de reengrase que se lleva a cabo es de cada 30 horas, la cual es bastante baja al ser comparada con el análisis de la literatura. Sin embargo, vale anotar que, el análisis de la literatura no considera el nivel de contaminación en el entorno.

## 2.3 IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL PARTÍCULADO EN EL AMBIENTE

El mármol o Carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) se encuentra en forma de talco con una densidad de  $2,7136 \text{ gr/cm}^3$  y tamaño  $9 \text{ micras}$  (Imagen 2)



Imagen 2. Carbonato de calcio

## 2.4 ANÁLISIS DE TEMPERATURA DE TRABAJO

Como se observa en la imagen 3 y 4 se trabajan dos puntos de toma de temperatura (azul y rojo) en las partes interior y exterior del rodamiento. La medición se realizó tomando 25 datos en intervalos de 3 minutos iniciando desde una temperatura ambiente. Se observa que los elementos rodantes se encuentran en la parte exterior contaminados con grasa y talco de mármol el cual está generando calentamiento y contaminación al rodamiento y obstruyendo la grasera (circulo negro); el cual incide en la contaminación interna del mismo.

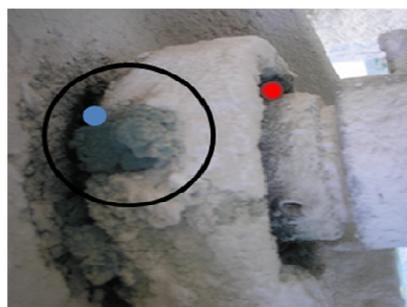


Imagen 3: Rodamiento contaminado zaranda (derecho)

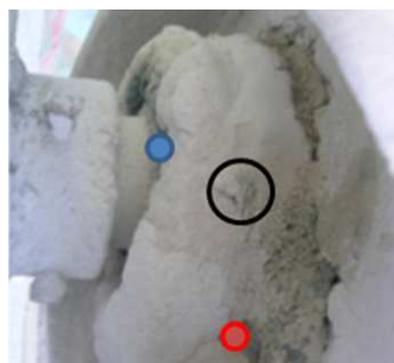


Imagen 4: Rodamiento contaminado zaranda (izquierdo)

Los datos obtenidos en las dos pruebas anteriormente nombradas se presentan en graficas individuales que determinan el tipo de tendencia que poseen. Luego se unifican las graficas para analizar que tan importante fue la limpieza de los rodamientos al haber eliminado los excesos de lubricante y de talco de mármol.

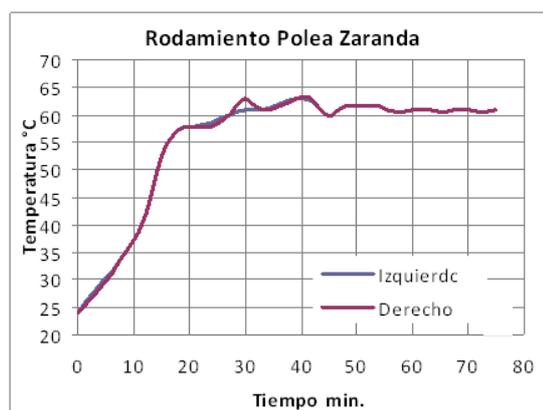
### 3. RESULTADOS

Las temperaturas medidas en el rodamiento se indican con un punto rojo y uno azul, esta medición fue realizada a una temperatura inicial de 24°C. A continuación en la tabla 1 se presentan las mediciones obtenidas en el rodamiento en las condiciones actuales de trabajo y después de la limpieza.

En la grafica 1 se observa el comportamiento de la temperatura del rodamiento, indicando con una línea azul la parte izquierda del rodamiento y en rojo la parte derecha del rodamiento. El comportamiento de los dos puntos es muy similar y tienen la misma tendencia 60 °C, por tanto, para la respectiva comparación el rodamiento se realizó limpieza y medición para el registro de la temperatura, la cual fue similar en los dos puntos de estudio, por lo que como se observa en las tablas 1 y 2 la medición de temperatura solo contempla una medición.

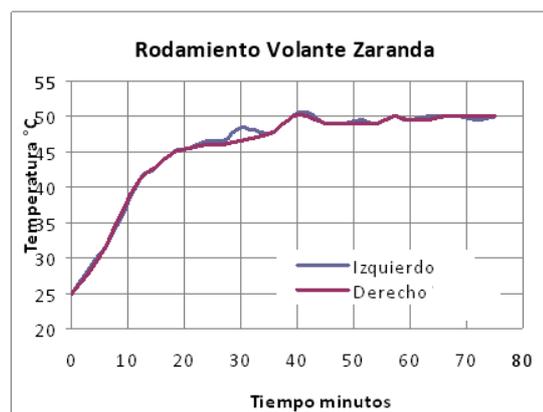
T min	Izquierdo °C	Derecho °C	Rodamiento limpio
0	24,0	24,0	22,5
3	28,0	27,5	34,5
6	31,5	31,0	39,0
9	36,0	36,0	41,5
12	42,0	42,0	42,0
15	52,0	52,0	44,0
18	57,0	57,0	44,5
21	58,0	58,0	44,0
24	58,5	58,0	45,0
27	60,0	60,0	47,5
30	61,0	63,0	46,5
33	61,0	61,0	50,0
36	62,0	61,5	49,0
39	63,0	63,0	50,5
42	62,5	63,0	50,5
45	60,0	60,0	50,0
48	61,5	61,5	50,5
51	61,5	61,5	51,0
54	61,5	61,5	50,5
57	60,5	60,5	50,5
60	61,0	61,0	50,0
63	61,0	61,0	50,0
66	60,5	60,5	50,0
69	61,0	61,0	50,5
72	60,5	60,5	50,5
75	61,0	61,0	50,0

Tabla 1: comportamiento de la temperatura rodamiento derecho.



Grafica 1: comportamiento de la temperatura en el rodamiento derecho.

En la grafica 2 se puede observar que el rodamiento alcanza una temperatura máxima de 50°C que se estabiliza a los 50 minutos. Este rodamiento se encuentra 10 grados por debajo del rodamiento derecho; sin embargo, esta mantiene una temperatura de trabajo moderada.



Grafica 2: comportamiento de la temperatura en el rodamiento izquierdo de la zaranda

En la Tabla 2 se muestran los datos obtenidos en el rodamiento izquierdo de la zaranda.

T min limpia	Izquierdo C	Derecho C	Rodamiento limpio
0	25,0	25,0	25,0
3	28,5	28,0	26,5
6	31,5	31,5	28,5
9	36,0	36,5	30,0
12	41,0	41,0	31,5
15	43,0	43,0	32,0
18	45,0	45,0	34,0
21	45,5	45,5	35,0
24	46,5	46,0	37,0
27	46,5	46,0	38,0
30	48,5	46,5	38,0
33	48,0	47,0	38,0
36	48,0	48,0	40,0
39	50,0	50,0	40,5
42	50,5	50,0	40,5

45	49,0	49,0	40,0
48	49,0	49,0	39,0
51	49,5	49,0	40,5
54	49,0	49,0	40,0
57	50,0	50,0	40,5
60	49,5	49,5	40,5
63	50,0	49,5	41,0
66	50,0	50,0	40,5
69	50,0	50,0	40,5
72	49,5	50,0	40,0
75	50,0	50,0	40,5

Tabla 2: comportamiento de la temperatura rodamiento izquierdo de la zaranda vibratoria.

Los rodamientos presentan una temperatura de trabajo mayor a 50 °C lo cual nos indica que se deben tomar acciones para reducir la temperatura de estos rodamientos ya que se busca que trabajen por debajo de este rango, la grasa en el exterior de la chumacera no está brindado ningún tipo de protección a los rodamientos ya que el talco de mármol que se adhiere forma una capa semidura que se convierte en un aislante aumentando su temperatura de trabajo.

Después de la limpieza realizada, tal se observa en las imágenes 5 y 6, se evidencia el cambio en la cantidad de material compactado en la parte exterior. Esta limpieza permite revisar la existencia de daños en las chumaceras, en la graseira u otros componentes haciendo que la inspección visual sea más efectiva.

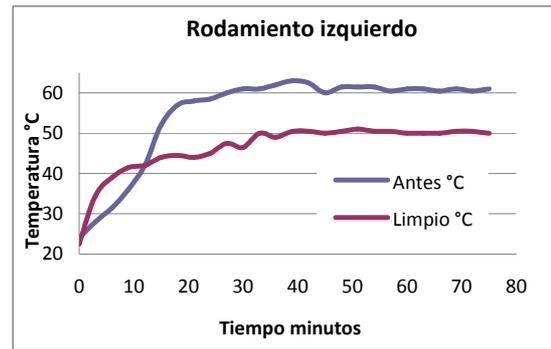


Imagen 5: Antes y después de la limpieza de elemento rodante izquierdo de la zaranda.

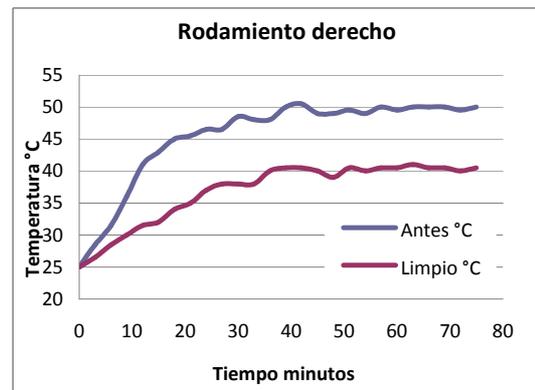


Imagen 6: Antes y después de la limpieza de elemento rodante derecho de la zaranda.

En las gráficas 3 y 4 se presenta el comportamiento de la temperatura en los rodamientos después de realizada la limpieza.



Grafica 3: Comparación rodamiento izquierdo de la zaranda antes y después de la limpieza.



Grafica 4: Comparación rodamiento derecho de la zaranda antes y después de la limpieza.

Como se puede observar en las graficas 3 y 4, la disminución de la temperatura, en aproximadamente 10C, es considerable. El resultado indica que el exceso de grasa, en la chumacera y en el eje, afectan directamente al rodamiento. Lo anterior sugiere que es necesario conservar pequeñas cantidades de grasa en el exterior del rodamiento, únicamente, con el objetivo de impedir el ingreso de partículas al interior (piedras y talco de mármol),.

A continuación en las tablas 3 y 4 se presentan, según [7] la cantidad de grasa y frecuencia de relubricación que se deben utilizar para la lubricación de los rodamientos.

$$Ga=0,005*D*B$$

Rodamiento zaranda	Diámetro exterior (D) (mm)	Ancho (B) (mm)	Cantidad de grasa (gr.)
Motor	114,5	34	19,46
Eje	100	27	13,5

Tabla 3. Cantidad de grasa adecuada para rodamientos SKF

Maquina zaranda	RP M	Diámetro interior del rodamiento	Periodo de lubricación actual en h.	Periodo de lubricación en horas
Motor	1800	3,5 cm	30	2000
M polea	900	5 cm	30	2000

Tabla 4. Períodos de reengrase de rodamientos SKF

#### 4. ANALISIS

El uso del tribosistema para analizar una falla es de gran importancia ya que como se observó en las graficas 3 y 4 el aumento de la temperatura debido a la contaminación por el material articulado incrementan la temperatura de trabajo de los rodamientos en 10°C aproximadamente.

En cuanto a la frecuencia de relubricación, la teoría sugiere una tasa de cambio cada 2000 horas. Sin embargo, por la misma condición de polución que experimenta la planta esta frecuencia debe ser reducida como acción preventiva. Sin embargo, es necesario un plan de acciones correctiva en el proceso para evitar la cantidad de material particulado que actualmente se presenta en el ambiente y que esta afectando la condición adecuada de trabajo de los rodamiento.

En este aspecto, la limpieza constante permite evidenciar que la disminución en 10°C permite una mayor durabilidad, lo que se refleja en una posible reducción en 1/3 del tiempo de relubricacion y un alargamiento de la vida del rodamiento [6,7].

#### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis del tribosistema, fricción, desgaste y lubricación, permite identificar, en el caso de rodamientos, causas de falla y degradación de los elementos.

La limpieza, selección y adecuada relubricación permiten que los elementos, en este caso rodamientos, trabajen sin inconvenientes y permitan aprovechar al máximo los procesos productivos.

A pesar que, como práctica común en el medio industrial, la lubricación excesiva de grasa es una solución parcial a los problemas de introducción de elementos contaminantes en los rodamientos, es necesario realizar tareas de limpieza, para evitar que la grasa al compactarse junto con el material particulado reduzcan la transferencia de calor hacia el medio, originando un sobrecalentamiento en el sistema de trabajo.

La tasa de relubricación que es sugerida por los fabricantes debe ser analizada por el personal de mantenimiento de la planta, ya que durante el análisis no se consideran las condiciones y tamaños de partículas

contaminantes, particular en cada aplicación. Por lo anterior, la lubricación de los elementos debe ser una tarea dirigida y supervisada, realizando un constante control en las condiciones tribológicas (fricción, desgaste y lubricación) para asegurar la correcta vida útil del elemento.

#### 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] M.J. Neale and M Gee, Guide to wear problems and testing for industry, Tribology in Practice series, London and Bury St Edmunds. UK, 2000, p.17
- [2] G. Tovar, Análisis de falla de componentes de ingeniería, revista de ingeniería, 1999, vol. 9 pp. 75-83
- [3] J. Díaz Navarro, Análisis de averías, Ingeniería y Gestión de mantenimiento, <http://www.alcion.es/DOWNLOAD/ArticulosPDF/gai/gratis/10articulo.pdf>
- [4] I.M. Hutchings, Tribology friction and wear of engineering materials, Edward Arnold, London, 1992
- [5] Catalogo SKF. <http://www.skf.com/skf/productcatalogue>
- [6] Cantidad y frecuencia de Engrase en grasas, Manual Lubricación SKF, [www.mantenimientoplanificado.com](http://www.mantenimientoplanificado.com) extraído del manual de SKF [www.skf.es](http://www.skf.es)
- [7] Albarracín A. Pedro, "Tribología y lubricación industrial y automotriz", LITOCHOA, 2da. Edición, Bucaramanga 1993