



Aumento de la vida útil del rodamiento para un tupi de banco mediante análisis tribológico

Increased bearing life for a bank tupi through tribological analysis

Maior vida útil do rolamento para um banco tupi através de análises tribológicas

Eduardo Segundo Hernández-Dávila ^I
edhernandez@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-4899-2371>

Ronnie Israel Guevara-Arias ^{II}
ronnnn.alfa7000@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6244-426X>

Fausto Abel Tapia-Moreno ^{III}
fausto1002tm@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-0361-2454>

Cristhian Sebastián Mendoza-Chugñay ^{IV}
mendogas1995@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-9546-9562>

Correspondencia: edhernandez@esPOCH.edu.ec

Ciencias técnicas y aplicadas
Artículo de investigación

***Recibido:** 28 de enero de 2020 ***Aceptado:** 27 de febrero de 2020 * **Publicado:** 10 de marzo de 2020

- I. Magíster en Gestión del Mantenimiento Industrial, Ingeniero de Mantenimiento, Docente en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- II. Estudiante, Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Industrial, Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- III. Estudiante, Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Industrial, Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- IV. Estudiante, Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Industrial, Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo determinar la eficacia de la selección del lubricante mediante el análisis tribológico para ambientes contaminados con aserrín, que es el ambiente de trabajo existente en una carpintería; con este propósito, se realizó una comparación estadística mediante la prueba t-student de los tiempos de vida de los rodamientos con grasa multipropósito y la seleccionada con el análisis respectivo. De acuerdo con las observaciones el tiempo de vida de los rodamientos con la grasa seleccionada con el análisis tribológico es superior al de los rodamientos con grasa multipropósito. Este incremento en la vida útil del rodamiento, es de relevancia puesto que con esto se incrementa el tiempo medio entre fallas, reduciéndose los costos de las reparaciones y las pérdidas por el lucro cesante producido durante el tiempo de indisponibilidad.

Palabras Claves: Rodamientos; selección de lubricantes; grasas; análisis tribológico; vida útil.

Abstract

The present investigation has as objective to determine the effectiveness of the selection of the lubricant by means of the tribological analysis for environments contaminated with sawdust, which is the work environment in a carpentry; For this purpose, a statistical comparison was made using the t-student test of bearing life times with multipurpose grease and the one selected with the respective analysis. According to the observations, the life time of bearings with the grease selected with the tribological analysis is longer than that of bearings with multipurpose grease. This increase in the useful life of the bearing is relevant since this increases the average time between failures, reducing the costs of repairs and the losses due to lost profits produced during the time of unavailability.

Keywords: Bearings; lubricant selection; fats; tribological analysis; useful life.

Resumo

O objetivo desta pesquisa é determinar a eficácia da seleção de lubrificantes por meio de análises tribológicas para ambientes contaminados com serragem, que é o ambiente de trabalho existente em uma carpintaria; para esse fim, foi feita uma comparação estatística usando o teste t-student dos tempos de vida dos rolamentos com graxa multiuso e o selecionado com a respectiva análise. De acordo com as observações, o tempo de vida útil dos rolamentos com a graxa selecionada com

a análise tribológica é maior que o tempo dos rolamentos com graxa multiuso. Esse aumento na vida útil do rolamento é relevante, pois aumenta o tempo médio entre falhas, reduzindo os custos de reparos e perdas devido à perda de ganhos durante o tempo de indisponibilidade.

Palavras-chave: Rolamentos; seleção de lubrificantes; gorduras; análise tribológica; vida util.

Introducción

La tribología es la ciencia que estudia la lubricación, desgaste y fricción de dos cuerpos sólidos en movimiento relativo. (Jarrett M. Link, 2019). Los fenómenos tribológicos básicos: fricción, desgaste y lubricación: todos están relacionados con la confiabilidad de los equipos, (Holmberg, 2001) en otros casos las fallas en rodamientos se basan en el empleo de registros de señales de vibración que juega en la actualidad un papel importante en el mantenimiento para analizar su comportamiento (Zulma Yadira Medrano-Hurtado, 2016).

El estudio de los pares cinemáticos de fricción, superiores e inferiores permite identificar los pares cinemáticos tribológicos ya que es una lubricación de tipo hidrodinámica. Este análisis cuantitativo consiente en apreciar la diferencia existente entre los dos tipos de lubricantes y ayuda a determinar cuál es óptimo para el sistema, y de esta manera mejorar el funcionamiento de la máquina. (Losada, Om, & Rodríguez, 2001).

La lubricación en rodamientos se emplea ampliamente en la industria debido a su simplicidad y bajo costo en aplicaciones de alta carga o alta velocidad, lo cual lo hace un tema de gran interés para todo el sector mecánico, ya que se busca mantener una rentabilidad económica alta. (Steven Chatterton, 2019).

Los rodamientos al ser uno de los componentes más críticos, es un elemento que se usa ampliamente para evaluar el estado de una máquina rotativa. Cualquier falla inesperada del rodamiento desviaría el sistema mecánico del estado normal, como la pérdida de precisión, la reducción de la productividad e incluso el aumento de los riesgos de seguridad. (Yuanhang Chen, 2019). Una lubricación correcta necesita de la grasa idónea, en el momento oportuno y en un tiempo conveniente. Entre las causas más probables de fallas en rodamientos se encuentran distribuidas: 36% del resultado de una lubricación inadecuada; 34% resultado de una operación inadecuada como pudiera ser: cargas dinámicas excesivas sobre el rodamiento, producto de una falla de diseño de la máquina o de la presencia de fuerzas externas como desbalance y des-

alineamiento; 14% se debe a la contaminación, incluyendo humedad; y cerca de 16% son defectos originados en el proceso de montaje (mal manejo, causado por el almacenamiento, transportación e instalación inadecuada del rodamiento). (Zulma Yadira Medrano-Hurtado, 2016) Más del 90% del número total de rodamientos están lubricados con grasa. El resto está lubricado con aceite. Las grasas lubricantes son coloides altamente estructurados, compuestos de aceite base, espesante y aditivos que mejoran el rendimiento. (Sathwik Chatra K R, 2019).

Sin embargo, hoy en día estos análisis difícilmente son aplicados en máquinas de trabajo artesanal. Los tupíes de banco son equipos usados en carpintería, en donde no cuentan con personal capacitado para realizar análisis tribológicos. Así mismo, tampoco existen por parte de los fabricantes recomendaciones para la selección de lubricantes para máquinas artesanales.

La presente investigación tiene como objetivo determinar la eficacia de la selección del lubricante para ambientes contaminados con partículas abrasivas como es el aserrín, mediante el análisis tribológico; con este propósito, se realiza una comparación estadística mediante la prueba t-student de los tiempos de vida de los rodamientos con grasa multipropósito y la seleccionada con el análisis respectivo.

Por lo tanto, se busca reducir la velocidad de desgaste de los rodamientos y analizar las fallas mecánicas causadas por el comportamiento del sistema de lubricación, para de esta manera incrementar la disponibilidad del sistema. (Flores & Obed, 2017).

La relevancia consiste en que al seleccionar de manera apropiada el lubricante, se incrementa la vida útil del rodamiento, lo que implica un aumento del tiempo medio entre fallas y por ende de la disponibilidad, reduciéndose los costos de las reparaciones y las pérdidas por el lucro cesante producido durante el tiempo de indisponibilidad. (Hernández, Angulo, Fiallos, & Chávez, 2017).

Metodología

Configuración experimental

Para analizar el comportamiento de los rodamientos en un tupí de banco se sometió a condiciones que se puede encontrar en una carpintería que trabaja 12 horas al día, 6 días a la semana y está expuesto a contaminantes como son las partículas pequeñas de aserrín, estas partículas pueden ser de diferente tipo de madera una más agresiva que otra aumentando el daño al rodamiento, para este análisis se construyó un módulo de prueba mismo que se muestra en la Figura 1, al igual que

los elementos principales se encuentran montados en una placa base de acero AISI 1020 de 10mm de espesor.

La energía mecánica se suministró mediante un motor trifásico jaula de ardilla de 373 W y 4 polos cuyo eje conductor de acero inoxidable austenítico AISI 316L se encuentra acoplado a otro eje de similares características, en el cual se encuentra montada una polea de 128 mm que gira a una frecuencia de rotación de 1875 rpm con una relación de transmisión de 1 a 2 a la polea conducida de dimensión 64 mm acoplada a un tercer eje gira a una frecuencia de rotación de 3750 rpm, la transmisión de movimiento entre poleas se lo realiza gracias a una banda de tipo correa en V de perfil AP24 pulgadas con doble cubierta e impregnada con neopreno.

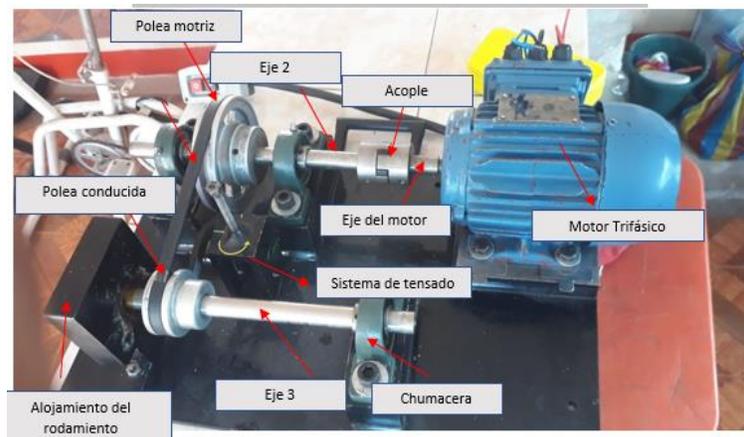


Figura 1: Banco de pruebas de vida acelerada de rodamiento

Las chumaceras se seleccionaron después de elegir el diámetro del eje, se decidió seleccionar unas chumaceras de marca CMB con designación HCP204 de la serie HC204.

El rodamiento por utilizar será un SKF 6206 mismo que se encuentra montado en el módulo de pruebas a un extremo del tercer eje, al girar a muy altas velocidades el daño del elemento se consigue en un tiempo muy reducido.

Para el incremento de la tensión en la banda se utilizó un sistema de templado que se detalla en la Figura 2, mismo que consta de un tornillo de ajuste y un rodamiento, gracias a este sistema se aumenta la carga en el rodamiento, de esta manera se consiguió reducir aún más la vida de éste.

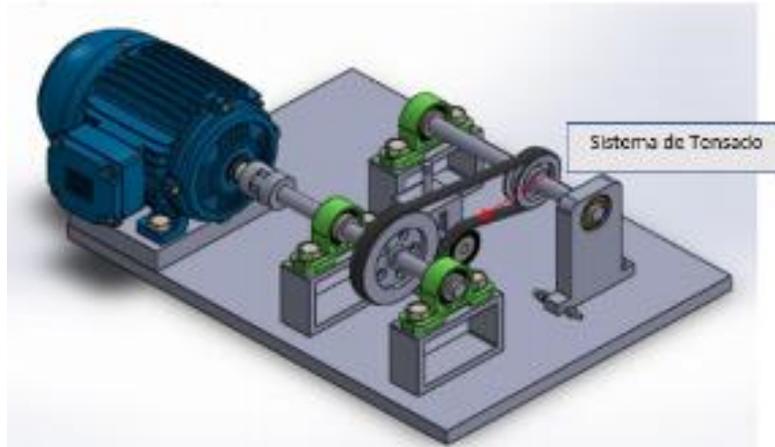


Figura 2: Diagrama del módulo de vida acelerada

Cálculo de la duración de la vida nominal del rodamiento

Según la norma ISO 281 la duración de la vida nominal del rodamiento en horas es igual a la razón de una constante igual a 10 elevado a la sexta y 60 veces la velocidad de giro en rpm todo esto a su vez multiplicado por la razón entre la capacidad de carga dinámica base en kN y la carga dinámica equivalente del rodamiento en kN elevado a un exponente de ecuación de vida útil.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad (1)$$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 n} L_{10} \quad (2)$$

Donde L_{10} es la vida nominal básica, C es la capacidad de carga dinámica básica, P es la carga dinámica equivalente de rodamiento, p es un exponente de la ecuación de la vida útil (3 para rodamientos de bolas y $10/3$ para rodamientos de rodillos) y n es la velocidad de giro.

La capacidad de carga dinámica C se consiguió de los catálogos de SKF de acuerdo con el tipo de rodamiento a utilizar.

Selección del lubricante

Antes de seleccionar el lubricante ideal mediante cálculo se tomó en cuenta el lubricante utilizado en el tupí de banco, mismo que es un multipropósito usado para la lubricación en general de

mecanismos sin exigencias elevadas, que trabajen a temperaturas hasta 100 ° C, para todo tipo de industrias, así como en automoción, chasis, cojinetes de ruedas, ferrocarriles y maquinaria (REPSOL, 2019).

Se consideró que el lubricante multipropósito se encuentra mezclado con viruta procedente de los procesos de carpintería realizados en el tupí de banco.

Por esta razón en el módulo de pruebas de vida acelerada se incluyó en el lubricante seleccionado una cantidad medida de viruta para simular las condiciones de trabajo en el que se encuentra el rodamiento.

Para la selección teórica del lubricante se utilizó una tabla SKF (Martínez, 1993) misma que se detalla en la Figura 3, para trabajar en la misma se requieren las dimensiones del rodamiento y su velocidad de operación, así como también la temperatura de operación.

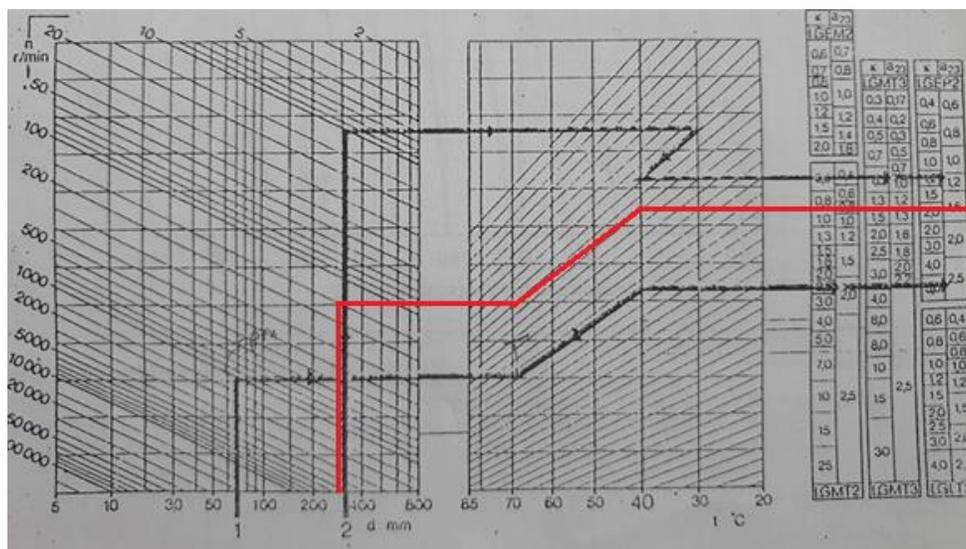


Figura 3: Tabla de selección de lubricantes

Análisis de vibraciones

Bajo condiciones normales de funcionamiento, los rodamientos fallan por desgaste o fatiga del material, cuando comienzan a fallar se incrementan las vibraciones de los generadores síncronos y los niveles de emisión acústica aumentan. Estas frecuencias de falla se encuentran en función de la geometría y la velocidad de marcha (Averías de los rodamientos. Reconocimiento de daños e inspección de rodamientos) (NTN-SNR, 2019) (Palomino M., 2007) cada uno de los componentes del rodamiento presenta una frecuencia de falla única y se definen en al menos

cuatro frecuencias características que se producen en los mismos, cuando la falla se produce en la pista exterior, Ball Pass Frequency of Theouerrace (BPFO) en la pista interior, Ball Pass Frequency of the Inner Race (BPFI), en los elementos rodantes, Ball Spin Frequency (BSF), en la jaula, Fundamental Train Frequency (FTF).

Resultados y Discusión

Mediante el análisis a 10 rodamientos, la primera mitad realizados con una grasa multipropósito y la otra mitad con grasa SKF LGMT2 4/2,5 se obtuvo mediante la tabla de selección de lubricantes (Figura 3) en donde se requiere el diámetro interno del rodamiento $d = 30$ mm obtenido de las tablas SKF, la velocidad de rotación del rodamiento $n = 3750$ rpm se consiguió con los datos de placa del motor y haciendo la relación de transmisión de las poleas de 1 a 2, la temperatura de trabajo del rodamiento $T = 60$ °C medida con una cámara termográfica.

En la Tabla 1 se muestra las frecuencias características de fallos en los rodamientos obtenidas mediante el software MAINTraQ Predictive, para el presente análisis se va a tomar en cuenta solo el armónico de frecuencia de paso de bola externo BPFO ya que es el primero que tiende a elevarse cuando un rodamiento falla.

Tabla 1: Frecuencias características de fallos

Armónico	Frecuencia [Hz]
FTF	23,562
BSF	137,505
BPFO	212,296
BPFI	323,204

En la Figura 4 se muestra el espectro obtenido mediante el análisis de vibraciones, mismo que fue realizado en un rodamiento en buen estado al principio de la prueba y en el que se puede observar

que el armónico que coincide con el BPFO se encuentra muy bajo, lo que indica que el rodamiento está en buen estado.

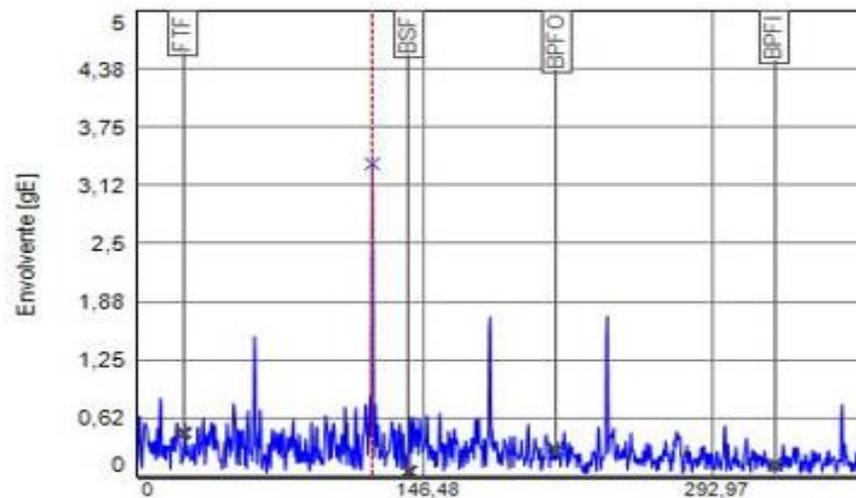


Figura 4: Espectro envolvente de un rodamiento en buen estado.

En la Figura 5 se muestra el espectro obtenido mediante un análisis de vibraciones realizado en un rodamiento en falla, todos estos fueron considerados en mal estado cuando el armónico que coincide con la frecuencia de paso de bola externa BPFO alcanza una amplitud entre 0,025 gB hasta 0,0529 gB. En este espectro se puede notar como el armónico BPFO empieza a elevarse; en este punto se considera ya al rodamiento en estado de falla.

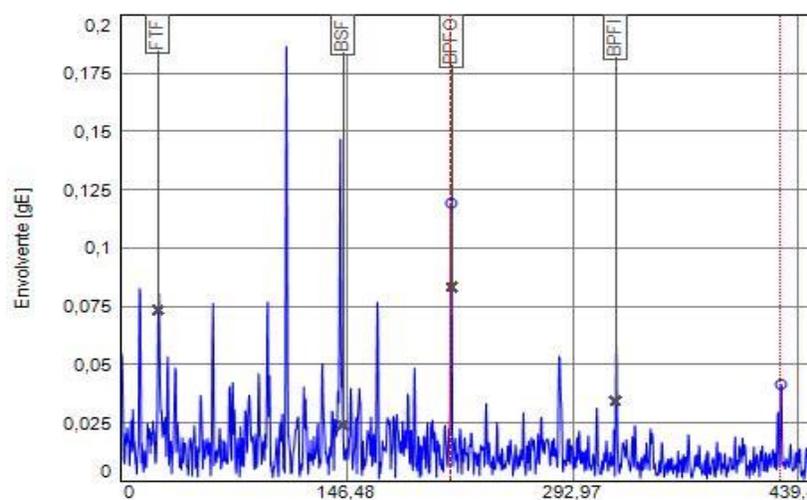


Figura 5: Espectro envolvente de un rodamiento en mal estado

En la Tabla 2 se indica los tiempos de vida de 5 rodamientos con grasa multipropósito y los tiempos de vida de 5 rodamientos con la grasa SKF LGMT2 4/2,5 mismos que fueron sometidos a la misma carga de trabajo, la cual fue determinada con el uso de la ecuación (2) y (1) respectivamente despejando L_{10} , donde $L_{10h} = 3$ h es la vida en horas estimada para el daño del rodamiento y $n = 3750$ rpm es la frecuencia de giro del mismo, se despejó P de la primera ecuación y con L_{10} previamente obtenido, con la carga dinámica base $C = 20,3$ kN sacada de las tablas de rodamientos SKF 6206 y la $p = 3$ para rodamientos de bolas, se obtuvo una carga $P = 23,14$ kN.

Tabla 2: Tiempo de vida de los rodamientos

Nº	BPFO [gE]	BPFO [dB]	Tiempo con la grasa multipropósito [h]	Tiempo con la grasa SKF LGMT2 4/2,5 [h]
1	0,0529	-36,17	3,2	5,3
2	0,0529	-36,17	2,8	6,2
3	0,0529	-36,17	3,6	4,5
4	0,0529	-36,17	3,1	5,1
5	0,0529	-36,17	2,9	6,3

Los resultados del análisis estadístico de los datos indicados en la tabla 2, se observa en la tabla 3, cuyos respectivos histogramas de frecuencias, están ilustrados en la figura 6.

Tabla 3: Estadística de los tiempos de falla

Variable	Mínimo [h]	Máximo [h]	Media [h]	Desviación estándar
Tiempo de vida con la grasa multipropósito	2,80	3,60	3,12	0,3114
Tiempo de vida con la grasa SKF LGMT2 4/2,5	4,50	6,30	5,48	0,7629

Para poder discernir el método para la comparación de las muestras entre paramétrico o no paramétrico; es imprescindible realizar en los datos, una prueba de normalidad; para tal propósito, se eligió el método de Shapiro-Wilk, cuyos resultados generados con el software estadístico R, se indican en la Tabla 4.

Tabla 4: Evaluación de normalidad con la prueba Shapiro-Wilk

Variable	W	P-valor	Normalidad
Tiempo de vida con la grasa multipropósito	0,94062	0,6703	Si
Tiempo de vida con la grasa SKF LGMT2 4/2,5	0,91795	0,5168	Si

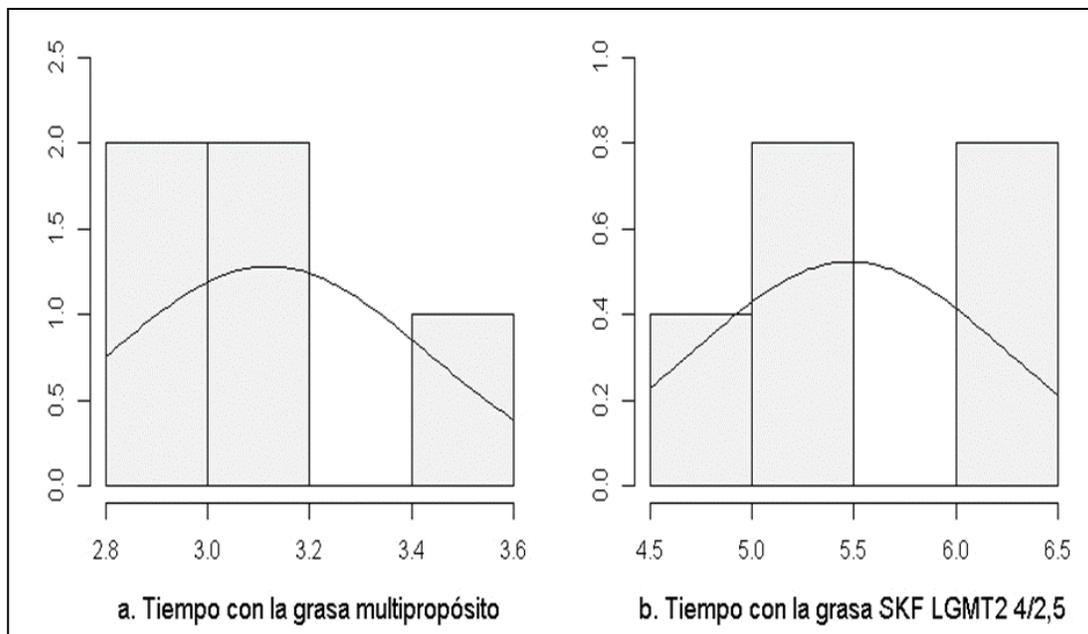


Figura 6: Histogramas de los tiempos de vida de los rodamientos

Como las dos muestras tienen un p-valor mayor a 0,05, se concluye que los datos se distribuyen normalmente con una confianza del 95%; por tal motivo, se selecciona el método de comparación de muestras paramétrico de t-student, cuyos resultados obtenidos con el software estadístico R, se indican en la Tabla 5.

Tabla 5: Comparación de variables con la prueba t-student

Variable	T	DF	P-valor
Tiempo de vida teórico - con la grasa multipropósito	0,86155	4	0,4375
Tiempo de vida con la grasa mutipropósito - SKF LGMT2 4/2,5	-6,4042	5,2973	0,0011

Para comparar si los tiempos de vida del rodamiento con grasa multipropósito corresponde al teórico, que fue calculado con las ecuaciones (1) y (2); se establece que, la hipótesis nula (H_0) corresponde a la igualdad de la muestra con el valor teórico (media), que indica que los tiempos de vida del rodamiento con grasa multipropósito corresponde a 3h.

Como el p-valor obtenido con la prueba t student es mayor que 0,01 (ver Tabla 5); se acepta la H_0 y se concluye que no existe suficiente evidencia para establecer la diferencia de la muestra con el 99% de confianza; por consecuencia, los tiempos de vida del rodamiento con grasa multipropósito corresponde a 3h.

Para la comparación de los tiempos de vida con los dos distintos tipos de grasa investigados; se define la hipótesis nula (H_0) como la igualdad de las muestras, que indica que las dos grasas proporcionan el mismo tiempo.

Como el p-valor obtenido con la prueba t student es menor que 0,01 (ver Tabla 5); se rechaza la H_0 y se concluye que las muestras son diferentes con el 99% de confianza; por este motivo y en función del diagrama de cajas de la Figura 7; se evidencia que, los tiempos de vida del rodamiento con la grasa SKF LGMT2 4/2,5 son mayores a los correspondientes con la grasa multipropósito.

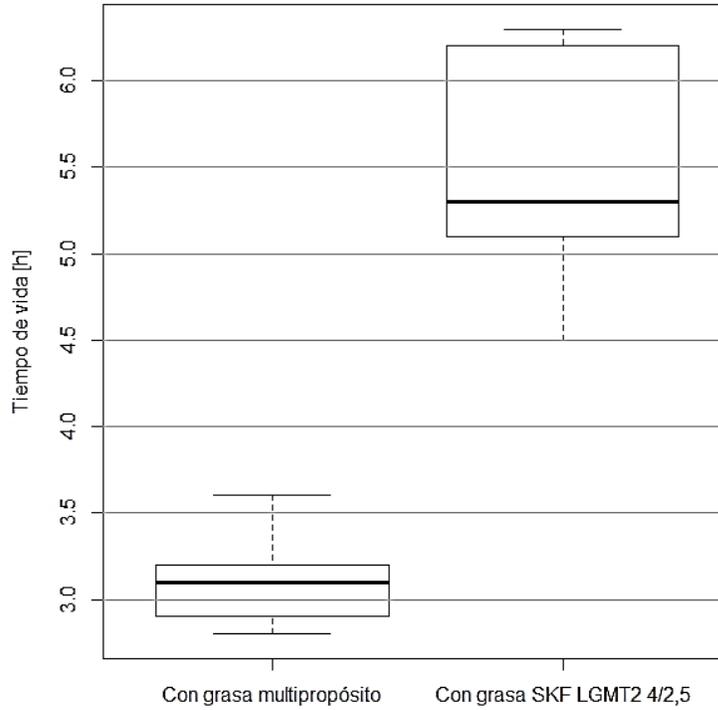


Figura 7: Comparación de las variables mediante diagrama de cajas.

Con la ayuda de la librería Renext del software estadístico R, se obtiene los parámetros de forma y escala de Weibull, por medio del método de máxima verosimilitud. Estos resultados se indican en la Tabla 6.

Tabla 6: Parámetros de Weibull de los tiempos de vida.

Variable	Parámetro de forma	Parámetro de escala [h]
Tiempo de vida con la grasa multipropósito	11,254971	3,253071
Tiempo de vida con la grasa SKF LGMT2 4/2,5	9,385950	5,782931

Una vez encontrados los parámetros de forma y escala; se procedió a verificar si los tiempos encontrados se distribuyen de acuerdo con Weibull; para lo cual, se recurrió a la prueba estadística de Kolmogorov-Smirnov, obteniendo los resultados de la Tabla 7.

Tabla 7: Prueba de Kolmogorov-Smirnov

Variable	D	P-valor
Tiempo de vida con la grasa multipropósito	0,23561	0,8862
Tiempo de vida con la grasa SKF LGMT2 4/2,5	0,25376	0,8328

Como el p-valor de los resultados de la Tabla 7 son mayores que 0,05, se concluye que los tiempos de vida de la Tabla 2 se asemejan a la distribución de Weibull con una confianza del 95%.

La vida promedio estimada se ajusta mucho a los datos obtenidos con la grasa multipropósito; por lo que, es confiable utilizar las ecuaciones (1) y (2) para estimar la carga de trabajo de los rodamientos.

De acuerdo con las observaciones plasmadas en las Figuras 4 y 5 se puede confirmar el buen o mal estado de los rodamientos mediante un análisis continuo en los mismos, asegurando una exactitud al momento de determinar su estado de falla.

Como se observa en las Tablas 1 y 2 y en la Figura 7, el tiempo de vida de los rodamientos con grasa SKF LGMT2 4/2,5 es superior al tiempo de vida de los rodamientos sometidos a grasa multipropósito, esto corrobora la correcta selección del lubricante mediante la Figura 3, comprobando así el incremento de la vida de los rodamientos al usar grasas que se ajusten al funcionamiento real de los mismos.

Referencias

1. FAG. (1997). Lubricación de rodamientos. Barcelona: TECFA®GROUP.

2. Flores, M., & Obed, D. (2017). Análisis de desgastes mecánicos por tribología. Huancayo.
3. Hernández, E. Angulo, B. Fiallos, P. & Chávez, V. (2017). Método para el cálculo del costo de la indisponibilidad en procesos productivos. Perfiles, vol. 1, pp. 90–98.
4. Holmberg, K. (2001). Reliability aspects of tribology. Tribology International, 34(12), 2.
5. ISO. (1997). Tribology based monitoring and diagnostics of machines.
6. Jarrett M. Link, E. Y. (2019). The tribology of cartilage: Mechanisms, experimental techniques, and relevance to translational tissue engineering. Clinical Biomechanics, 1.
7. Losada, C., Om, N., & Rodríguez, J. (2001). Tribología y lubricación en ensayo de banco. CIENCIA ergo-sum (1405-0269).
8. Martínez, C. R. (1993). Lubricación de Elementos de Maquinas.
9. Medrano-Hurtado Zulma Yadira, P.-T. C.-S.-P. (2015). Metodología de diagnóstico de fallas en rodamientos en una máquina síncrona por procesamiento de señales vibroacústicas utilizando energía Densi. sciencedirect, XVII (1), 13.
10. Montalvo, D. (2013). Análisis de medios lubricantes de los rodamientos. Ambato.
11. Mott, R. (2006). Diseño de elementos de máquinas. Mexico: Pearson Education.
12. NTN-SNR. (13 de 12 de 2019). Obtenido de Análisis Vibratorio, 2004: http://www.ntn-snr.com/industry/es/es-es/index.cfm?page=/industry/home/services/maintenance/analyse_vibratoire
13. Palomino M., E. (2007). Elementos de medición y análisis de vibraciones mecánica en máquinas rotatorias. Habana. Cuba: Centro de Estudios Ingeniería de Mantenimiento.
14. REPSOL. (13 de 12 de 2019). REPSOL. Obtenido de Catálogo de Grasas Lubricantes de Repsol de Alto Rendimiento: https://www.repsol.com/imagenes/global/es/af-catalogo-grasas_tcm13-37191.pdf
15. REPSOL. (s.f.). Lubricantes para la industria.
16. Sathwik Chatra K R, P. M. (2019). Channeling behavior of lubricating greases in rolling bearings: Identification and characterization. Tribology International, 1.
17. SKF. (2015). Rodamientos.
18. Steven Chatterton, P. P. (2019). Tribo-design of lubricants for power loss reduction in the oil-film bearings of a process industry machine: Modelling and experimental tests. Tribology International, 130, 1.
19. Stolarski, T. (2000). Tribology in Machine Design. London: Plant a Tree.

20. Widman, R. (s.f.). La Vida Útil de Rodamientos y Cojinetes Lubricados por Grasa. Santa Cruz: Widman International SRL.
21. Yuanhang Chen, G. P. (2019). A novel deep learning method based on attention mechanism for bearing remaining useful life prediction. *Applied Soft Computing*, 2.
22. Zulma Yadira Medrano-Hurtado, C. P.-T.-S.-P. (2016). Nueva metodología de diagnóstico de fallas en rodamientos en una máquina síncrona mediante el procesamiento de señales vibro-acústicas empleando análisis de densidad de potencia. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 17(1), 74-75.

References

1. FAG. (1997). Lubrication of bearings. Barcelona: TECFA@GROUP.
2. Flores, M., & Obed, D. (2017). Analysis of mechanical wear by tribology. Huancayo
3. Hernández, E. Angulo, B. Fiallos, P. & Chávez, V. (2017). Method for calculating the cost of unavailability in production processes. *Profiles*, vol. 1, pp. 90–98.
4. Holmberg, K. (2001). Reliability aspects of tribology. *Tribology International*, 34 (12), 2.
5. ISO. (1997). Tribology based monitoring and diagnostics of machines.
6. Jarrett M. Link, E. Y. (2019). The tribology of cartilage: Mechanisms, experimental techniques, and relevance to translational tissue engineering. *Clinical Biomechanics*, 1.
7. Losada, C., Om, N., & Rodríguez, J. (2001). Tribology and lubrication in bank test. *SCIENCE ergo-sum* (1405-0269).
8. Martínez, C. R. (1993). Lubrication of Machine Elements.
9. Medrano-Hurtado Zulma Yadira, P.-T. C.-S.-P. (2015). Methodology for diagnosing bearing failures in a synchronous machine by processing vibroacoustic signals using Densi energy. *sciencedirect*, XVII (1), 13.
10. Montalvo, D. (2013). Analysis of lubricating means of the bearings. Ambato
11. Mott, R. (2006). Design of machine elements. Mexico: Pearson Education.
12. NTN-SNR. (13 of 12 of 2019). Obtained from Vibratory Analysis, 2004: http://www.ntn-snr.com/industry/es/es-es/index.cfm?page=/industry/home/services/maintenance/analyse_vibratoire
13. Palomino M., E. (2007). Measuring elements and mechanical vibration analysis in rotary machines. Havana Cuba: Center for Maintenance Engineering Studies.

14. REPSOL. (13 of 12 of 2019). REPSOL Obtained from the High Performance Repsol Lubricant Grease Catalog: https://www.repsol.com/imagenes/global/es/af-catalogo-grasas_tcm13-37191.pdf
15. REPSOL. (s.f.). Lubricants for the industry.
16. Sathwik Chatra K R, P. M. (2019). Channeling behavior of lubricating greases in rolling bearings: Identification and characterization. *Tribology International*, 1.
17. SKF. (2015). Bearings.
18. Steven Chatterton, P. P. (2019). Tribo-design of lubricants for power loss reduction in the oil-film bearings of a process industry machine: Modeling and experimental tests. *Tribology International*, 130, 1.
19. Stolarski, T. (2000). *Tribology in Machine Design*. London: Plant a Tree.
20. Widman, R. (s.f.). *The Useful Life of Grease Lubricated Bearings and Bearings*. Santa Cruz: Widman International SRL.
21. Yuanhang Chen, G. P. (2019). A novel deep learning method based on attention mechanism for bearing remaining useful life prediction. *Applied Soft Computing*, 2.
22. Zulma Yadira Medrano-Hurtado, C. P.-T.-S.-P. (2016). New methodology for diagnosing bearing failures in a synchronous machine through the processing of vibro-acoustic signals using power density analysis. *Engineering, Research and Technology*, 17 (1), 74-75.

Referências

1. FAG. (1997). *Lubrificação de rolamentos*. Barcelona: TECFA@GROUP.
2. Flores, M., & Obed, D. (2017). *Análise do desgaste mecânico por tribologia*. Huancayo
3. Hernández, E. Angulo, B. Fiallos, P. & Chávez, V. (2017). Método para calcular o custo da indisponibilidade nos processos de produção. *Perfis*, vol. 1, pp. 90-98.
4. Holmberg, K. (2001). Aspectos de confiabilidade da tribologia. *Tribology International*, 34 (12), p. 2.
5. ISO (1997). *Monitoramento e diagnóstico baseado em tribologia de máquinas*.

6. Jarrett M. Link, E.Y. (2019). A tribologia da cartilagem: Mecanismos, técnicas experimentais e relevância para a engenharia de tecidos translacionais. *Biomecânica Clínica*, 1.
7. Losada, C., Om, N. & Rodríguez, J. (2001). Tribologia e lubrificação em teste bancário. *CIÊNCIA ergo-sum* (1405-0269).
8. Martínez, C. R. (1993). Lubrificação de elementos da máquina.
9. Medrano-Hurtado Zulma Yadira, P.-T. C.-S.-P. (2015). Metodologia para diagnosticar falhas de rolamentos em uma máquina síncrona, processando sinais vibroacústicos usando energia Densi. *sciencedirect*, XVII (1), 13.
10. Montalvo, D. (2013). Análise dos meios de lubrificação dos rolamentos. Ambato
11. Mott, R. (2006). Projeto de elementos de máquinas. México: Pearson Education.
12. NTN-SNR. (13 de 12 de 2019). Obtido da Vibratory Analysis, 2004: http://www.ntn-snr.com/industry/es/es-es/index.cfm?page=/industry/home/services/maintenance/analyse_vibratoire
13. Palomino M., E. (2007). Elementos de medição e análise de vibração mecânica em máquinas rotativas. Havana Cuba: Centro de Estudos de Engenharia de Manutenção.
14. REPSOL. (13 de 12 de 2019). REPSOL Obtido no catálogo de graxa lubrificante Repsol de alto desempenho: https://www.repsol.com/imagenes/global/es/af-catalogo-grasas_tcm13-37191.pdf
15. REPSOL. (s.f.). Lubrificantes para a indústria.
16. Sathwik Chatra KR, P.M. (2019). Comportamento de canalização de graxas lubrificantes em rolamentos: identificação e caracterização. *Tribology International*, 1.SKF. (2015). Rolamentos.
17. Steven Chatterton, P. P. (2019). Projeto tribal de lubrificantes para redução de perda de potência nos rolamentos de filme de óleo de uma máquina da indústria de processo: modelagem e testes experimentais. *Tribology International*, 130, p. 1.
18. Stolarski, T. (2000). Tribologia em Design de Máquinas. Londres: Plante uma árvore.
19. Widman, R. (s.f.). A vida útil de rolamentos e rolamentos lubrificadas com graxa. Santa Cruz: Widman International SRL.

20. Yuanhang Chen, G.P. (2019). Um novo método de aprendizado profundo baseado no mecanismo de atenção para suportar a previsão de vida útil restante. *Computação suave aplicada*, 2.
21. Zulma Yadira Medrano-Hurtado, C. P.-T.-S.-P. (2016). Nova metodologia para diagnosticar falhas de rolamentos em uma máquina síncrona através do processamento de sinais vibroacústicos usando análise de densidade de potência. *Engenharia, Pesquisa e Tecnologia*, 17 (1), 74-75.

©2019 por el autor. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).