

Análisis de los rodamientos usados en electro-ventiladores del sistema de refrigeración de motores Hyundai

Bearing analysis for the electro-fans in the water cooling system of Hyundai motors

Jorge Enrique Estévez-Rodríguez^I, José Manuel Bernal-de Lázaro^{II, *}

I. Ministerio de Energía y Minas, Empresa de Generación Eléctrica Fuel-Oíl. Santiago de Cuba, Cuba

II. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Facultad de Telecomunicaciones y Automática. La Habana, Cuba

*Autor de correspondencia: jbernal@automatica.cujae.edu.cu

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Recibido: 17 de diciembre de 2018

Aceptado: 2 de febrero de 2019

Resumen

En este trabajo se presentó el diseño de un banco de ensayos para simular condiciones reales de cargas axial y radial en rodamientos 6005zz, a fin de obtener patrones de vibración que identifiquen los fallos ocurridos en los electro-ventiladores del sistema de refrigeración existente en el emplazamiento de generación distribuida con motores Hyundai (2,5 MW). Para el análisis de las vibraciones y caracterización de los fallos se empleó el método de impulso de choque y se consideró la velocidad angular, temperatura de los rodamientos y tiempo de explotación bajo condiciones

reales. Los resultados obtenidos mostraron que los rodamientos utilizados no son adecuados para este tipo de electro-ventilador dada su carga axial. A fin de extender el tiempo de vida útil de los electro-ventiladores y mantener una extracción de calor constante en los motores, se recomendó sustituir los rodamientos 6005zz por rodamientos de rodillos cónicos 32005x.

Palabras claves: electro-ventiladores, rodamientos, vibraciones, diagnóstico, motores Hyundai.

Abstract

In this work is proposed a mechanical testing bench to simulate real conditions of axial and radial load in 6005zz bearings. The designed device is used to obtain the fault vibration patterns for the cooling system's electro-fans on the distributed generation substations with Hyundai motors (2,5 MW). Angular velocity, bearing temperature and operating time were considered critical variables in this study. Shock pulse method was used as vibration analysis method. The

obtained results shown that the 6005zz bearings are not suitable due to the axial load of the electro-fan. In order to extend useful time of the electro-fans, the use of 32005x bearings was recommended.

Key words: electro-fans, bearings, vibrations, diagnosis, Hyundai motors.

Cómo citar este artículo:

Estévez Rodríguez JE, Bernalde Lázaro JM. Análisis de los rodamientos usados en electro-ventiladores del sistema de refrigeración de motores Hyundai. Ingeniería Mecánica. 2019;22(2):85-91. ISSN 1815-5944.

Introducción

Las condiciones económicas y ambientales actuales, exigen un mayor grado de eficiencia en la generación distribuida con grupos electrógenos [1,2]. En este contexto, numerosos estudios se han centrado en la disponibilidad, monitorización y criticidad de los subsistemas que componen los grupos electrógenos[3-7]. La evaluación de los índices de consumo de aceite y combustible, su impacto ambiental [8, 9, 10], así como el diagnóstico de los fallos que ocurren en sus componentes [11,12] son temas de gran interés para la comunidad técnica que busca una explotación más eficiente de estos equipos.

Un problema típico en los emplazamientos de motores *fuel-oil* es la ocurrencia de fallos en el sistema de refrigeración. El proceso de enfriamiento en los motores Hyundai 9H25/33 incluye una la etapa de refrigeración de alta temperatura y una etapa de refrigeración de baja temperatura [12]. En ambos casos, la extracción de calor resulta vital para conservar la viscosidad del aceite pues su disminución puede causar un aceleramiento en el desgaste por fricción de las piezas, como son los cilindros, culatas, pistones, cuerpos de las válvulas de escape, el colector de escape, los turbo-compresores, inyectores, así como las coronas de los pistones, en especial, en motores de alta potencia o caballaje [13]. Por otra parte, el incremento de la temperatura del aire de carga por la salida de servicio de los electro-ventiladores utilizados para la refrigeración del agua de baja temperatura del motor origina un proceso deficiente de mezcla aire-combustible que se evidencia en el estado

de inyección y la potencia por cilindro, aumentando el consumo de combustible con respecto a la media del motor.

En este artículo se propone, un banco de ensayo para simular condiciones reales de carga axial y radial, a fin de generar patrones de vibración mediante los cuales caracterizar los fallos que ocurren en los rodamientos empleados por los electro-ventiladores del sistema de refrigeración de los motores Hyundai (2,5 MW) y así satisfacer las condiciones anteriores. El banco de ensayo propuesto y los análisis aquí desarrollados son la principal contribución de este trabajo, y resultan de interés para la gerencia del emplazamiento de generación distribuida (GD) donde se desarrolla la investigación puesto que no existe ningún estudio previo que analice los fallos de los electro-ventiladores en el sistema refrigeración del agua de baja temperatura del motor. Para el análisis de las vibraciones y caracterización de los fallos, en el presente trabajo se empleó el Método de Impulso de Choque y se consideró la velocidad angular, temperatura de los rodamientos y tiempo de explotación bajo condiciones reales. A partir del banco de ensayos diseñado se determinó la existencia de desajustes entre los rodamientos 6005zz y el alojamiento de los mismos. Además, se confirmó la relación de este fenómeno con el incremento de los valores de vibración, y temperatura una vez que se pierde la lubricación en el rodamiento, así con la disminución de los valores de velocidad angular hasta el momento en que el rodamiento y electro-ventilador quedaban fuera de servicio. Como parte de la solución propuesta a este problema, se recomendó la sustitución de los rodamientos rígidos de bolas 6005zz por los rodamientos de rodillos cónicos 32005x.

Métodos y Materiales

El presente estudio se desarrolla en un emplazamiento de generación distribuida (GD) donde existen 24 motores Hyundai 9H25/33 y 672 electro-ventiladores. En este emplazamiento, como promedio, unos siete motores quedan anualmente fuera de servicio a causa de las unidades de ventilación, fundamentalmente debido a problemas en sus rodamientos. El análisis integral de estos electro-ventiladores requiere considerar la velocidad angular y temperatura de sus rodamientos, así como su régimen de trabajo bajo condiciones reales.

Seguidamente se describen las condiciones y características del banco de ensayos diseñado. Se describe, además, la instrumentación empleada y las variables de interés para la aplicación. Por último, se resume el Método de Impulso de Choque empleado para detectar fallos que están asociados a problemas en la instalación del rodamiento y a una lubricación insuficiente.

Condiciones de explotación y características del banco de ensayos

El proceso de refrigeración en los motores Hyundai 2,5 MW considera cuatro unidades de ventilación para la refrigeración del sistema de alta temperatura y otras 24 unidades de ventilación para la refrigeración del agua de baja temperatura que se encuentran distribuidas como muestra la figura 1. Todas las unidades de ventilación se encuentran protegidas por una estructura metálica que impide la medición directa de vibraciones. En consecuencia, se dificulta determinar el estado real de los rodamientos, y obtener patrones de fallos que permitan hacer el diagnóstico de los mismos de manera adecuada.

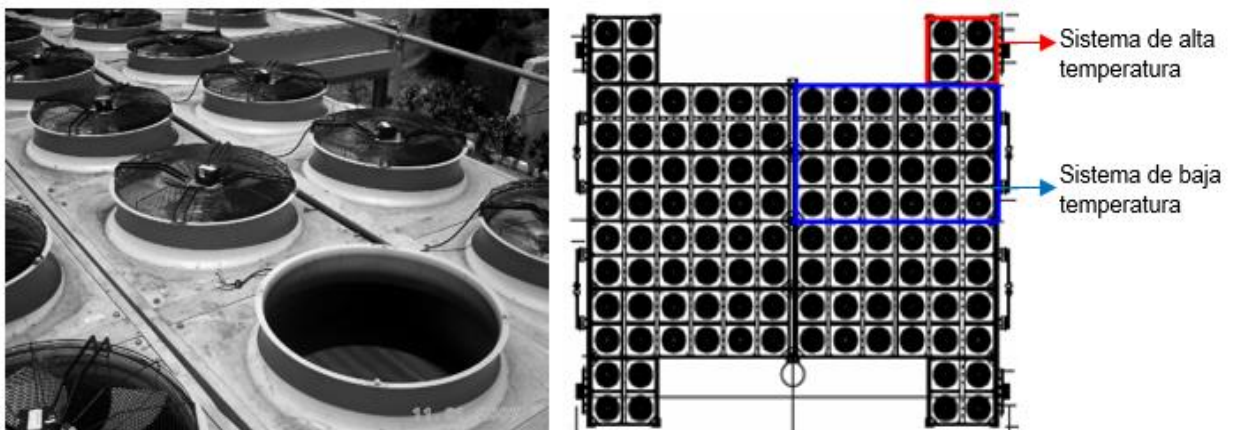


Fig. 1. Estructura física y distribución geométrica de las unidades de ventilación del motor Hyundai de 2,5 MW

Como solución a este problema se diseñó el banco de ensayos mostrado en la figura 2 el cual permite simular los valores de carga real a los que se encuentran sometidos los rodamientos 6005zz. Está formado por una estructura que aísla cada uno de los elementos mecánicos de la superficie de contacto, con tal de evitar las resonancias y vibraciones externas. La estructura del banco es lo suficientemente pesada como para evitar que la misma se desplace por el efecto de las vibraciones. Las piezas son fijadas a la estructura mediante pernos a fin de que sea posible modificarla.

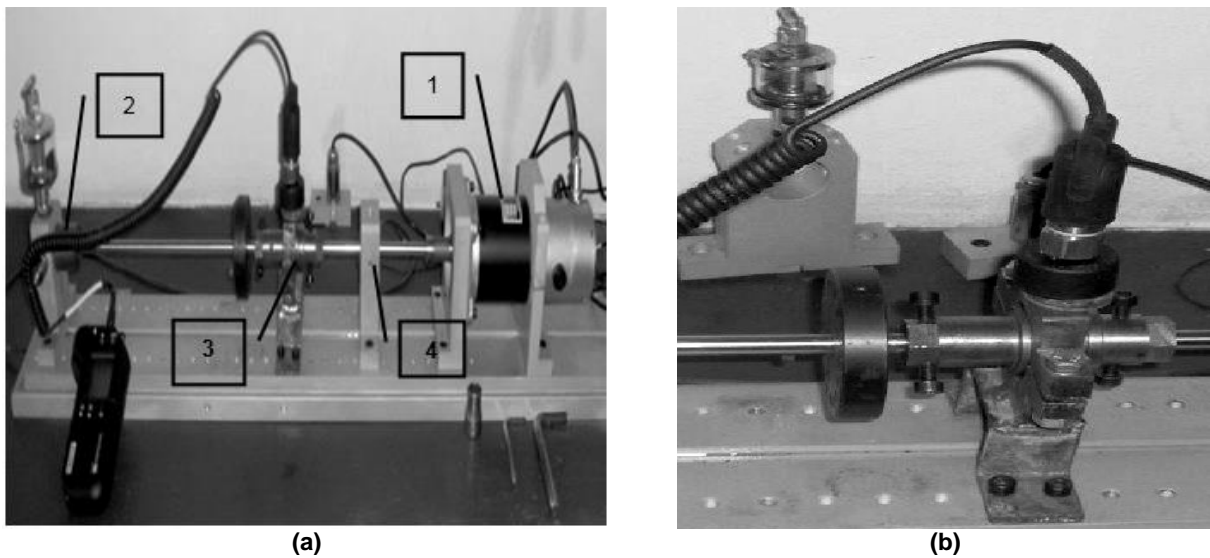


Fig. 2. Banco de ensayos diseñado para la medición de vibraciones en rodamientos de bolas 6005zz.
 1- Motor eléctrico con regulador de velocidad, 2- Punto de apoyo, 3- Pedestal con transductor, 4- Punto de apoyo

Tal como se muestra en la figura 2(a), entre los elementos fundamentales del banco se incluye un motor eléctrico con regulador de velocidad, varios puntos de apoyo, y un pedestal con transductor. Los análisis de vibraciones realizados con el banco de ensayo fueron dirigidos a detectar los siguientes problemas: desalineación, desequilibrio y falta de fijación. El motor eléctrico de corriente alterna (240 V – 60 Hz) empleado alcanza un valor de hasta 1550 rpm para generar el movimiento rotatorio a los elementos mecánicos del banco. Tal como se muestra en la figura 2(b), la fijación del transductor al banco de ensayos se realizó mediante imán, por lo que el material de la zona a colocar el transductor se construyó de material ferromagnético. Las mediciones se realizaron tanto en el plano axial como en el plano radial al eje. Para simular los valores de carga real en el banco de ensayo se necesitó calcular la fuerza del aire (F) sobre el ventilador con la ley de impulso y cantidad de movimiento [14], y luego determinar la fuerza resultante (F_{result}).

$$F = Q \cdot \rho (V_f - V_0) \quad (1)$$

donde se considera que la velocidad inicial del aire (V_0) es despreciable. En tanto, el flujo del aire (Q), tiene un valor de 5,5 m³/s y la densidad del aire (ρ) se asume como 1,25 Kg/m³. La velocidad final (V_f) se obtiene como:

$$V_f = \frac{Q}{A_{ef}} \quad (2)$$

El valor A_{ef} representa el área efectiva dada por la diferencia entre el área del alojamiento del ventilador con radio $r_1 = 425\text{ mm}$ y el área del núcleo con radio $r_2 = 95\text{ mm}$. Para un valor de $V_f = 11\text{ m/s}$, se obtiene que la fuerza requerida es $F = 756\text{ N}$. Dado que se trata de un ventilador de tiro axial con flujo ascendente también han de considerarse todas las reacciones contrarias a las fuerzas generadas en sentido del aire que fluye entre las aspas del mismo. La fuerza resultante depende entonces de la fuerza que genera el aire sobre el ventilador y la carga axial (K_a) derivada del peso del ventilador, siendo $F_{result} = 122,6\text{ Kg} \cdot f$. Por otra parte, en los ventiladores de flujo axial las fuerzas radiales son compensadas debido a las características constructivas del equipo. Sin embargo, cuando existe un flujo mixto (flujo de tipo radial y axial), será necesario calcular también el valor de fuerzas radiales. Lo mismo ocurre en el caso de producirse algún tipo de desbalance en los elementos del ventilador. En este caso, la fuerza circunferencial (F_C) actúa en la periferia de las aspas del ventilador y está determinada por el valor del momento torsor generado en el eje del rotor y el radio (r) del ventilador.

$$F_C = \frac{1948 \cdot 10^4 \cdot N_{vent}}{r \cdot n_{vent}} \quad (3)$$

donde la potencia del ventilador es $N_{vent} = 2,27$ KW y el número de revoluciones es $n_{vent} = 1100$ rpm, para una fuerza circunferencial de $F_C = 50,25$ N.

A fin de lograr estos valores de carga radial y axial durante los experimentos, se aplica un torque en la chumacera y en el eje interno del banco de ensayos, figura 3. El ajuste de este torque se calibra utilizando celdas de carga de medición radial y axial. Una vez calculada la fuerza circunferencial y determinadas las reacciones de apoyo, se determinó que los valores de torque deben ser de 20 N-m y 160 N-m, respectivamente

La figura 3 muestra tres vistas del dispositivo diseñado como parte del banco de ensayos para generar los valores reales de carga axial y radial que presenta el rodamiento durante su explotación.

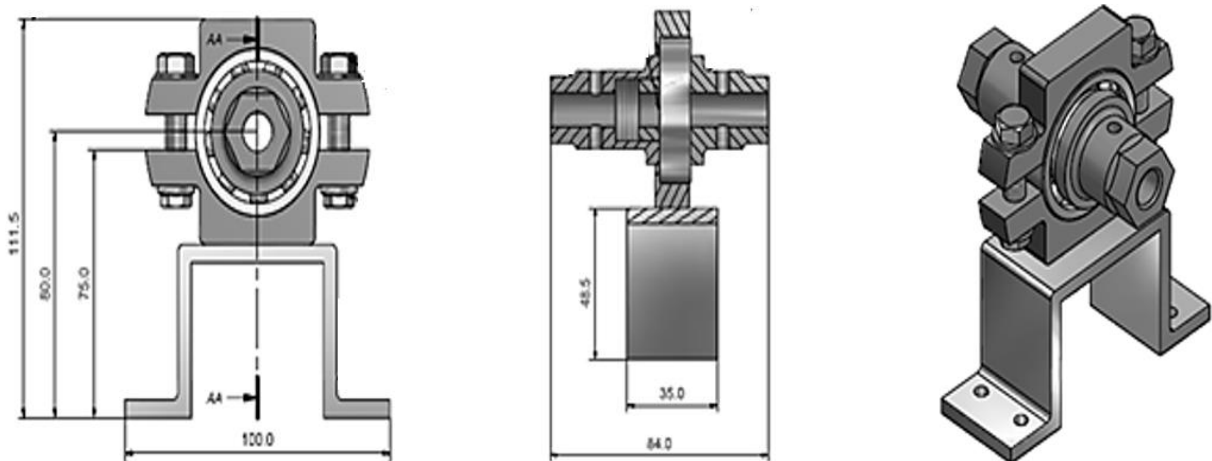


Fig. 3. Ensamblaje del dispositivo mecánico para generar carga axial y radial en el banco diseñado

Variables de interés e instrumentación empleada

La temperatura y el número de revoluciones son variables críticas para el diagnóstico de los fallos que pueden ocurrir en los electro-ventiladores del sistema de refrigeración de los motores Hyundai (2,5 MW), pues caracterizan la condición real de los rodamientos. La operación normal de un rodamiento se establece a partir de los valores nominales proporcionados por el fabricante [15]. En este caso, la temperatura debe ser inferior a 110 °C, para rodamientos con diámetros exterior hasta 240 mm. En tanto, para los valores de velocidad angular se toma como patrón el valor de 1100 rpm.

Para el estudio de los fallos de los electro-ventiladores se realizó la medición de temperatura y velocidad angular durante un periodo de 14 meses (junio-septiembre), a fin de tener mediciones en cada una de las estaciones del año, pero fundamentalmente de los meses de verano. Un total de 15 mediciones bajo condiciones reales de explotación fueron realizada mensualmente. En el caso de la temperatura, las mediciones se realizaron mediante una pistola termo-gráfica tipo IR-364, con termómetro de rango -50 °C a 900 °C. Para la medición de los valores de velocidad angular se empleó un Estroboscopio (SMS 300B, precisión 0,01 %). Como instrumentación en el banco de ensayos diseñados se empleó el colector de datos VIBROTIP (ISO 10816), con sensor piezo-eléctrico con rango de frecuencias de 10 Hz a 1 KHz, y rango de medición 0-50 mm/s / 0-2 in/s RMS. El uso de este sensor puede verificarse en la figura 2(a).

Análisis de las señales de vibración adquiridas

Numerosos son los enfoques de diagnóstico de fallos que en la actualidad emplean las señales de vibración para determinar la condición de un rodamiento [16,17]. Entre ellos, el presente trabajo empleó el Método de Impulso de Choque. Esta es una técnica que utiliza el valor máximo de impulso de choque (dBn) para indicar la intensidad de choque en la conducta rotativa del rodamiento y así detectar daños iniciales en la rodadura [17, 18]. Los impulsos de choque se generan en la superficie de contacto entre el elemento de rodadura y el anillo de rodadura del rodamiento. Dicha superficie origina variaciones en la presión de la película de aceite, que separa las superficies móviles, así como también las colisiones entre las crestas de las superficies. Estos factores dan lugar a impulsos de choque que se extienden a través del rodamiento, la envuelta del rodamiento y cualquier pieza de máquina que esté adyacente. En estos casos, el 'nivel valle' de impulsos de choque indica el nivel de ruido base del rodamiento, el cual se incrementa debido a problemas de lubricación, desgaste general de rodadura, juego insuficiente del rodamiento o daños progresivos por instalación inapropiada. Los valores cresta entre 0 dBn y 20 dBn corresponden a un estado de funcionamiento normal. Los impulsos de choque con valores superiores, junto con un valor valle relativamente bajo, indican que el rodamiento está dañado o que existen partículas extrañas en el lubricante. En tanto, elevados valores de valle junto a valores cresta ligeramente superior, indican problemas en la instalación del rodamiento y una lubricación insuficiente.

Resultados y Discusión

Medición de vibraciones a partir del banco de ensayos diseñado

Para realizar las mediciones de este trabajo se tomaron en consideración el estado del rodamiento y el número de revoluciones que presentaba en el momento en el cual se sustituyó. Para las mediciones se utilizaron un total de ocho rodamientos diferentes, un rodamiento 6005zz nuevo, cuatro rodamientos con un total de 4000 horas de operación continuas y tres rodamientos con 6000 h de operación. Las mediciones se realizaron en un intervalo de tres horas utilizando el banco de ensayos diseñado. Una muestra del estado de los valores valle y cresta resultante del experimento se representa en la figura 4.

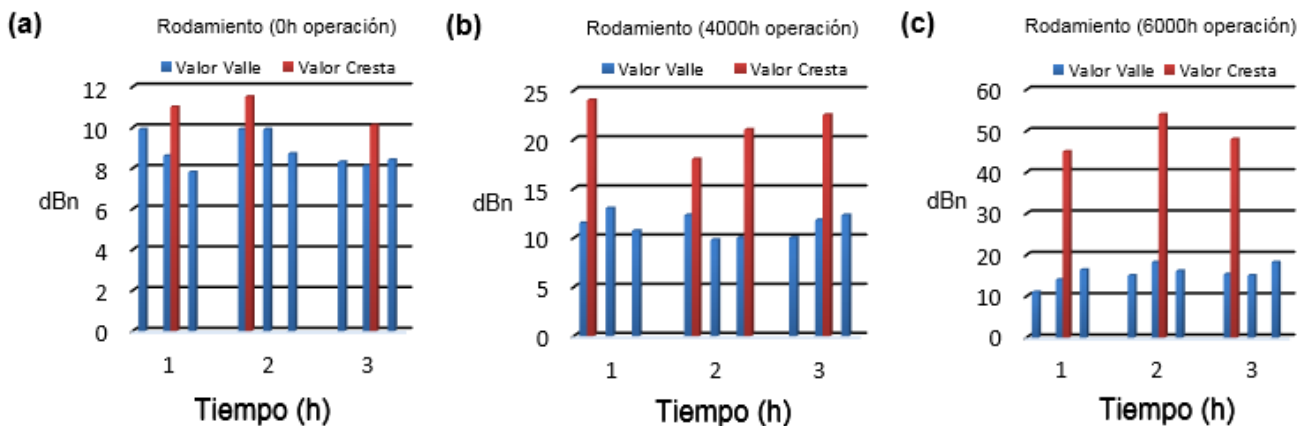


Fig. 4. Valores valle y cresta para rodamientos con 0 horas, 4000 horas y 6000 horas de operación

Los resultados mostrados en la figura 4 revelan el deterioro creciente del rodamiento hasta llegar a la completa inutilización a las 6000 horas de operación. En la figura 4a) se analiza la operación de un rodamiento totalmente nuevo. En este caso los valores de valle y cresta obtenidos se encuentran por debajo de los 20 dBn, lo cual indica que no existen problemas de lubricación, ni presencia de daños en alguno de sus elementos. Para rodamientos con 4000 horas de explotación, la figura 4b) muestra una tendencia hacia un estado de operación crítico. En este caso se observan valores valle entre 9 y 12 dBn, lo cual evidencia que los problemas de lubricación comienzan a traer consecuencias. Este mismo fenómeno se comprueba para valores de cresta que varían entre 11 y 24 dBn, punto en el cual es inminente la necesidad de engrasar el rodamiento y volver a realizar las mediciones, y en caso tal de que las misma mantengan su valor, debe sustituirse. Para rodamientos con 6000 horas de explotación se obtuvieron valores de valle entre los 12 dBn y 18 dBn. Por otra parte, a las 6000 horas de explotación los valores de cresta se encuentran entre 45 dBn y 54 dBn lo cual indica debe realizarse la sustitución del rodamiento por el estado tan desfavorable que presentan los elementos que lo componen.

En tanto, la figura 5 muestra como el aumento de los valores de temperatura debido al deterioro en la lubricación del rodamiento produce una disminución de la velocidad angular en el motor. Este deterioro se confirma para valores límites de valle y cresta que sobrepasa los permitidos.

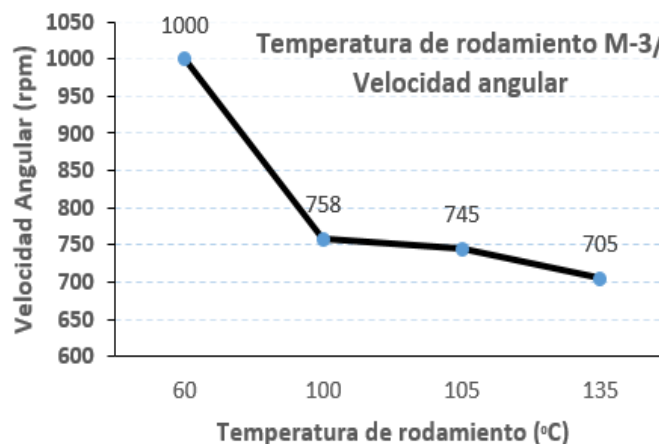


Fig. 5. Relación de velocidad angular y temperatura medidas para un rodamiento 6005zz

Chequeo y sustitución de rodamientos

Dado que los principales esfuerzos a los cuales están sometidos los electro-ventiladores se originan por la existencia de cargas axiales y no radiales, el uso de los rodamientos 6005zz de bolas resulta inadecuado. Considerando los resultados anteriores, y teniendo en cuenta el elevado número de unidades de ventilación fuera de servicio por la operación de rodamientos 6005zz, se propuso su sustitución por rodamientos 32005x de rodillos.

cónicos. A continuación, se presenta una comparación de la capacidad de carga dinámica (C) de los rodamientos 6005zz de bolas cilíndricas y los rodamientos 32005x de rodillos cónicos, respectivamente. Al compararla capacidad de carga dinámica de ambos rodamientos con el valor patrón del catálogo del fabricante, se puede evaluar si el uso de éstos es pertinente para los electro-ventiladores del sistema de refrigeración de los motores Hyundai.

Los ensayos realizados muestran que con la disminución de la carga (P) en ambos rodamientos se aumenta el tiempo de vida útil o duración en millones de ciclos (L). La variación entre estas dos magnitudes, como en todo fenómeno de fatiga, cumple una dependencia exponencial de la forma:

$$P^{\frac{1}{P}} \cdot L = const \quad (4)$$

Por otra parte, la capacidad de carga dinámica sin la aparición de la fatiga por cariado, para una duración de un millón de ciclos es:

$$C = L^P \cdot P \quad (5)$$

Mientras el tiempo de vida útil del rodamiento, viene dado por:

$$L = (6 \cdot 10^{-5} \cdot n \cdot L_h)^{1/3} \quad (6)$$

Donde L_h es la duración en hora, y el parámetro n representa la frecuencia de rotación en r/min. Como se muestra en la tabla 1, el rodamiento 6005zz presenta un valor de carga dinámica máxima de $C_{cat} = 8800$ N. En tanto, para el rodamiento 32005x el fabricante establece una carga dinámica máxima de $C_{cat} = 23500$ N. Conocidas las fuerzas de reacciones implícitas en el electro-ventilador, para valores de $K_a = 1226$ N, $F_{result} = 2,7 \text{ Kg} \cdot f$, $L_h = 20\,000$ h y $n = 1100$ rpm, se determina el valor de $L^P = 8,63$. Utilizando la ecuación. 5 se obtiene que $C_{6005zz} = 12\,831,7$ N. Se realizan los mismos cálculos para el rodamiento de rodillos cónicos 32005x, obteniéndose un valor de carga dinámica real igual a $C_{32005x} = 15\,027,8$ N. Como se muestra en la tabla 1 el valor de carga dinámica real obtenido para el rodamiento 6005zz es superior a la carga máxima permitida por el fabricante. Este resultado está asociado a la carga axial a la cual está expuesto el rodamiento y evidencia una incorrecta selección del mismo. Desde un punto de vista comparativo, la tabla 1 muestra que el valor de la carga dinámica real del rodamiento 32005x no supera el valor máximo emitido por el fabricante. Nótese también que este valor resulta superior a la carga real soportada por el rodamiento 6005zz, lo que permite que el rodamiento 32005x sea adecuado para los electro-ventiladores del sistema de refrigeración

Tabla 1. Comparación Carga dinámica vs. Carga Catálogo de rodamientos 6005zz y 32005x

Rodamiento 6005zz		Rodamiento 32005x	
Carga dinámica máxima por Catálogo	8 800 N	Carga dinámica máxima por Catálogo	23 500 N
Carga dinámica real	12 831,7 N	Carga dinámica real	15 027,8 N

Se recomienda adicionar al banco de ensayos un módulo para generar y medir las condiciones reales de temperatura a las que se encuentra expuesto el rodamiento; esta es una limitación del banco.

Conclusiones

Mediante los experimentos realizados, se determinó la existencia de desajustes entre los rodamientos 6005zz y el alojamiento de los mismos. Además, se confirmó la relación de este fenómeno con el incremento de los valores de vibración y la pérdida de lubricación en el rodamiento hasta el momento en que el rodamiento y electro-ventilador quedaban fuera de servicio. Los resultados obtenidos mostraron que los rodamientos 6005zz no son adecuados para este tipo de electro-ventilador dada la carga axial a la cual está expuesto el mismo, recomendándose su sustitución por los rodamientos de rodillos cónicos 32005x.

Agradecimientos

Los autores agradecen el financiamiento proporcionado por la Empresa de Mantenimiento y generación Eléctrica Fuel-Oil de Santiago de Cuba, Cuba.

Referencias

- Francisco Fernández M, Díaz Fuentes R, Castro Fernández, M, et al. Calidad de la energía y generación distribuida en Cuba. Revista Cubana de Ingeniería. 2010; 1(3):41-50.
- Sioshansi, Fereidoon P. Evolution of Global Electricity Markets: New paradigms, new challenges, new approaches. USA: Academic Press; 2013.
- Pérez Bermúdez RA, Torna del Río D. Evaluación de la disponibilidad de los motores en la central eléctrica Cayo Santa María. UCE Ciencia. 2015; 3(1):1-12.
- Bárzaga Quesada J, Morales Leslie J, Beltrán Reyna R, et al. Evaluación del comportamiento de los motores pertenecientes a una planta eléctrica mediante los indicadores de mantenimiento. UTCiencia. 2016; 3(3):197-209.

5. Pardo Llosas Y, Haber Guerra, R, Cobos Castro A, et al. Herramienta de monitorización para mejorar las prestaciones de los grupos electrógenos *Fuel-oil* en Cuba. *Dyna*. 2015;90(1):34-39.
6. Hourné Calzada MB, Brito Vallina ML, del Castillo Serp, AM, et al. Análisis de criticidad de grupos electrógenos de la tecnología *Fuel-oil* en Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 2012;21(3):55-61.
7. Alfonso Padura Y, García Tol A.E, Díaz Concepción A, et al. Análisis de criticidad en los sistemas mecánicos de los grupos electrógenos. *Ingeniería Energética*. 2017;38(3):224-230.
8. Hechavarría Pérez JR, Castañeda Sandes JC, Iskander Concepción Y. Análisis del consumo de aceite de motor en grupos electrógenos de la provincia de Holguín. *Revista Ciencias Holguín*. 2014;11:1-12.
9. Noa Ramírez A., Montero Laurencio R. Legrá Lobaina A, et al. Comportamiento operacional de grupos electrógenos: particularidades del índice de consumo específico de combustible. *Ingeniería Mecánica*. 2018; 21(1):19-27.
10. Martínez Varona M, Fernández Arocha A, Molina Esquivel E, et al. Grupos electrógenos y su impacto ambiental. *Higiene y Sanidad Ambiental*. 2007;7:217-221.
11. Llanes Cedeño E, Rocha Hoyos J, Tipan L, et al. Análisis Comparativo de los Gases Residuales de la Combustión y Fallas en Motores HYUNDAI Modelo 9H21/32, en Estación de Generación Eléctrica Distribuida. *INNOVA Research Journal*. 2017,2(3):27-41.
12. Gutiérrez Moraga Y. Metodología para solución de fallas en los generadores Hyundai de la empresa termoeléctrica de Felton. *Ciencia y Futuro*. 2013;3(4):32-51.
13. Palacio Revé R. Rehabilitación del sistema automático en radiadores para el enfriamiento de agua en los motores Hyundai de 2,5 MW en la termoeléctrica de Felton. *Ciencia y Futuro*. 2015;5(1):36-51.
14. Cheremisinoff N, Cheremisinoff, P. *Compressors and Fans*. USA: Prentice Hall; 1992.
15. Bernard H, Bo J, Steven S. *Elementos de Máquinas*. México: Editorial Mc. Graw Hill; 2000.
16. Palomino Marín E., Cabrera Gómez J, Cepero Aguilera Y. Monitorado de condición en grupos electrógenos basado en análisis de vibraciones por bandas espectrales. *Ingeniería Mecánica*. 2018;21(3):130-137.
17. Kumar Patel V, Soni A. Analyses of water contaminants lubricated deep groove ball bearing through vibration, shock pulse and temperature measurement. *International Research Journal of Engineering and Technology*. 2017; 4(11):41-49.
18. Sun P, Liao Y, Lin J. The shock pulse index and its application in the fault diagnosis of rolling element bearings. *Sensors*. 2017;17(535):1-23.