

Evaluación de parámetros significativos en el comportamiento de cojinetes planos mediante diagnóstico por vibraciones.

MSc. Ing. Orlando Inastrilla Armayor

INTRODUCCION

Los cojinetes planos constituyen uno de los elementos más importantes en algunos tipos de máquinas rotatorias, tales como turbogeneradores, ventiladores centrífugos, turbocompresores, etc.

Si se considera que las máquinas anteriormente mencionadas constituyen máquinas principales en cualquier industria, entonces, estas deben estar sometidas a un sistema de monitoreo periódico. En nuestra industria dicho monitoreo consiste en mediciones periódicas de parámetros síntomas, las cuales en ocasiones no es suficiente y produce falsas alarmas. De ahí la necesidad de evaluar parámetros significativos en el comportamiento de este tipo de cojinetes mediante el empleo de técnicas de diagnóstico vibroacústico. (4)

Entre los fallos más frecuentes vinculados a los cojinetes planos se encuentran, la inestabilidad que está asociada principalmente al “oil whirls” (1) (2) (3) el cual ha sido bien estudiado desde el punto de vista del diagnóstico y el sobrecalentamiento, y está asociado principalmente al rozamiento entre metales por no estar garantizadas las condiciones mínimas de lubricación hidrodinámica.

Existen diferentes factores que determinan el surgimiento y desarrollo de los defectos antes mencionados entre los cuales se encuentran la viscosidad del aceite, la holgura, la velocidad de rotación y la carga aplicada, entre otros, los cuales se caracterizan por el hecho de que todos influyen en los niveles de vibración representativos del estado técnico del cojinete.

Conocer la interrelación entre dichos factores y su incidencia en los niveles de vibración permite evitar falsas alarmas durante el proceso de diagnóstico y evaluar la factibilidad de estimar la holgura, como parámetro límite de carácter tecnológico a partir del conocimiento de las variables asociadas a un modelo dado, para lo cual se puede aprovechar la información obtenida a partir de un monitoreo periódico y las inspecciones de control, en las cuales se miden las holguras de techo, fondo y laterales de los cojinetes.

El presente trabajo constituye la primera etapa en el estudio exhaustivo de las características tecnológicas de los cojinetes y su interrelación con los parámetros vibratorios, así como la evaluación de la factibilidad de detectar defectos de explotación como son holgura excesiva o insuficiente y lubricación inadecuada, entre otros.

DESCRIPCION DE LOS EXPERIMENTOS

Si se considera a los cojinetes como un objeto técnico dentro de una máquina dada, puede formularse un modelo en el cual se relacionan los parámetros constructivos y funcionales con los parámetros síntomas, Fig. No. 1. En este sentido los parámetros constructivos y funcionales están caracterizados por los factores anteriormente mencionados, mientras que los parámetros síntomas están asociados a diferentes parámetros que permiten evaluar el nivel de las vibraciones, tales como la aceleración (A), velocidad (V), desplazamiento (D) e índice armónico (H) (4).

En el caso de los cojinetes planos los parámetros constructivos y funcionales son:

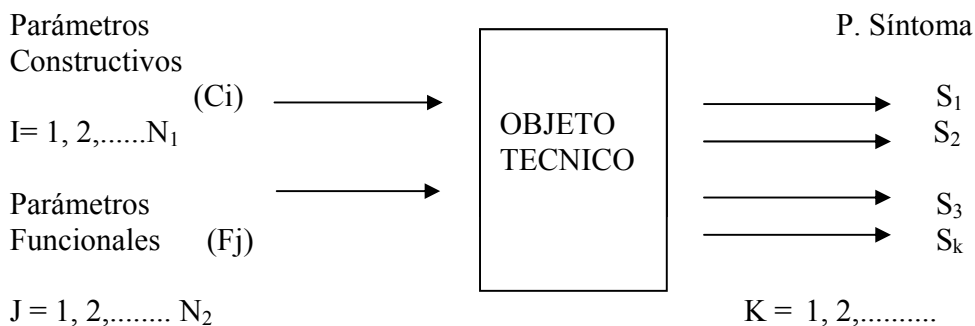
Parámetros constructivos:

- Relación entre el largo y el diámetro (L/D)
- Tipo de material
- Acabado superficial
- Holgura diametral

Parámetros funcionales:

- Velocidad de rotación (N)
- Condición de carga (Cc) (5)
- Temperatura del aceite (Ta)
- Viscosidad del aceite (μ)

Fig. No. 1 Modelo de Objeto Técnico



$$S_k = f \left(\sum_{i=1}^{N_1} C_i \right) + g \left(\sum_{j=1}^{N_2} F_j \right)$$

Siendo f y g funciones matemáticas.

Para resolver la problemática planteada desde el punto de vista de la experimentación se plantearon dos objetivos principales.

1. Determinar la dependencia de los niveles de vibración con respecto a L/D , μ , C_c .
2. Estudiar el comportamiento de los niveles de vibración con respecto a la holgura, las sobrecargas y las condiciones de lubricación.

Para el cumplimiento de dichos objetivos se desarrollaron cuatro experimentos consistentes en:

- ✚ Experimento activo con el objetivo de obtener un modelo a partir de un diseño de experimento factorial a dos niveles de las variables declaradas en el Objetivo No. 1 utilizando como variable resultado los niveles totales de aceleración, velocidad, desplazamiento e índice armónico.

Los niveles utilizados para las variables antes mencionadas aparecen en la tabla No. 1.

Tabla No. 1: Niveles de las variables dependientes para el experimento No. 1

Nivel	Variable dependiente		
	L/D	μ [Pa s]	Condición de carga (C_c)
+ 1	0.7142	0.1318	Máxima carga
- 1	0.5357	0.0880	Condición intermedia

La condición de carga intermedia fue definida como la condición media entre la condición de máxima carga y la condición de mínima fricción. (5)

- ✚ Experimento para determinar las frecuencias a las cuales se manifiestan variaciones significativas al variar la holgura, para condiciones estacionarias de funcionamiento.
- ✚ Experimento para detectar las frecuencias a las cuales se observan cambios significativos, hasta llegar a la condición de agarrotamiento, cuando el cojinete transita desde un régimen adecuado de lubricación hasta el régimen de lubricación límite.
- ✚ Experimento para definir las frecuencias a las cuales se observan variaciones significativas, cuando el cojinete es sometido a sobrecargas para un mismo nivel de viscosidad del lubricante.

Para desarrollar los experimentos anteriormente mencionados se diseñó y construyó una instalación para el ensayo de cojinetes planos (6), así como un sistema de medición el cual aparece representado en la figura No. 2.

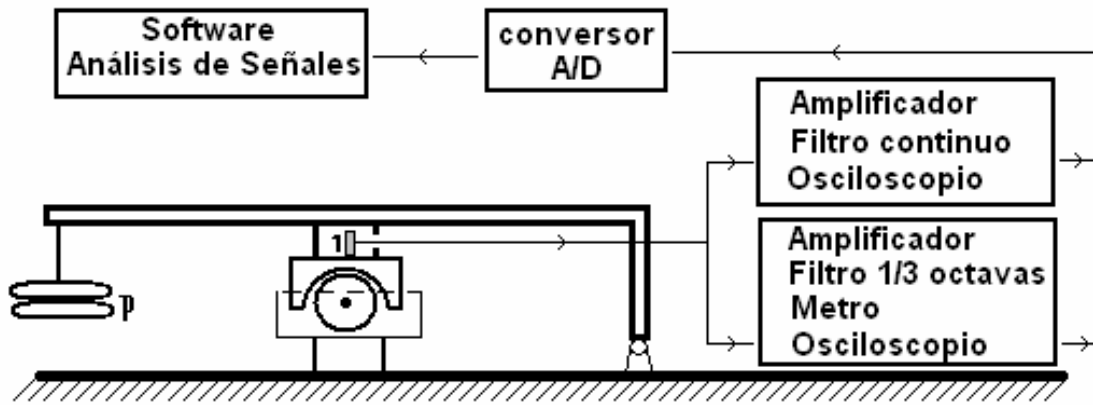


FIG. No. 2 Sistema de Medición.

Los equipos utilizados, así como el valor de respuesta lineal de cada elemento aparece en la tabla No. 2.

Tabla No. 2: Equipos utilizados.

No.	Elemento	Marca	Respuesta Lin. [Hz]
1	Acelerómetro	KD-35 40501	10000
	Amplificador	Robotrón 00028	20000
	Filtro continuo	Robotrón 01013	20000
	Metro	Robotrón 02036	-
	Osciloscopio	Robotrón 02050	-
	Filtro 1/3 oct.	Robotrón	20000
	Conversor A/D	Quatec	51000
	Computadora		

RESULTADOS

Una vez procesada la información se obtuvo un modelo cuya forma general es:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_1X_2 + b_5X_2X_3 + b_6X_1X_3 + b_7X_1X_2X_3$$

Siendo:

$$X_1 = L/D$$

$$X_2 = \mu$$

$$X_3 = Cc \text{ (Condición de carga)}$$

Dependiendo de la variable independiente utilizada se obtuvieron los siguientes coeficientes para el modelo anteriormente propuesto. (Tabla No. 3)

Tabla No. 3: Coeficientes de regresión

Coeficientes de regresión					
No.	Descrip.	A (mm/s ²)	V (mm/s)	D (mm)	H (s/mm)
1	b ₀	2.66	3.3125	0.245625	0.0214171
2	b ₁	0.11	-0.4771	-0.005012	-0.0004625
3	b ₂	-0.03	-0.1325	-0.000962	0.0011475
4	b ₃	-0.2	-0.1375	-0.000337	0.0006924
5	b ₄	-0.01	-0.0325	0.000212	-0.0002250
6	b ₅	-0.12	-0.3375	-0.000812	0.0006625
7	b ₆	-0.13	-0.1425	-0.000262	0.0011025
8	b ₇	-0.02	0.2225	-0.000587	0.0005420

Como elemento evaluativo de la calidad del modelo fue utilizado el coeficiente de determinación R² (Tabla No. 4)

Tabla No. 4: Coeficientes de determinación R².

A [mm/s ²]	V [mm/s]	D [mm]	H [s/mm]
0.2833	0.3105	0.3983	0.4575

Los valores de este coeficiente se encuentran entre 1 y 0 y nos permite evaluar la utilidad de los términos de la regresión así como su calidad.

Se pudo observar que el coeficiente más elevado es el de índice armónico (H), por lo que es el más adecuado a los propósitos del presente trabajo.

CONCLUSIONES

1. De los modelos analizados, utilizando regresión lineal múltiple en función de L/D , μ , C_c , el más acertado a los propósitos del presente trabajo es el de Índice Armónico, aunque no resulta ser lo suficientemente bueno.
2. Existe una relación directa entre la holgura y el nivel de vibración
3. La fricción excesiva con tendencia al agarrotamiento, está condicionada por la holgura.
4. Existe una relación directa entre el % de sobrecarga y el nivel de vibración, aunque teniendo en cuenta el comportamiento no lineal de la película de aceite, esta relación debe ser más estudiada.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Shw.M.C. Analysis and lubrication of bearings. McGraw-hill, 1949.
- (2) B&K: Technical Review No. 1. 1987.
- (3) Muszywska A. Fluid generated instabilities or rotor, Orbit april 1984.
- (4) Cempel C: Diagnostically oriented measures of vibroacustical processes, Journal of Sound and vibration, 1980.
- (5) Shigley. J. E.: el proyecto en la ingeniería mecánica. Edición revolucionaria, La Habana, 1986.
- (6) Inastrilla O. Aplicación de técnicas avanzadas de diagnóstico en cojinetes planos, Tesis de Diploma, 1994, ISPJAE, La Habana.
- (7) Mourdoch F, Inastrilla O. Aplicación de técnicas avanzadas de diagnóstico en cojinetes planos, Proceeding, VIII Conferencia Científica de Arquitectura e Ingeniería, La Habana.

Datos del autor.

MSc. Ing. Orlando Inastrilla Armayor,
Ingeniero Mecánico, ISPJAE, 1994
Máster en Mantenimiento Industrial, ISPJAE, 1997
Rosario 4410 esq. Ave. Carolina, SMP, La Habana. Cuba.