

# *INDICE:*

• Resumen .....	8.
• Abstract .....	10.
• <b>CAPITULO 1</b> .....	12.
• 1.1 Reseña histórica .....	13.
• 1.2 Tecnología de análisis de vibraciones para el control no destructivo de rodaduras .....	15.
• 1.3 Cojinetes de elementos rotantes, criterios de diseño, operación y fallas.. .....	18.
• 1.3.1 Diseño de cojinetes de elementos rotantes .....	19.
• 1.3.2 Fallas de los cojinetes de elementos rotantes .....	21.
• 1.3.3 Ejemplos de fallas de los cojinetes de elementos rotantes.. .....	23.
Fallas de los materiales .....	23.
Fallas de fabricación .....	24.
Fallas de instalación .....	24.
Daños causados por el uso .....	25.
Daños causados por sobrecalentamiento.. .....	25.
Daños producidos por la corriente.. .....	26.
Corrosión/ Daños de detención .....	26.
• <b>CAPITULO II</b> .....	28.
• 2.1 Detección de fallas en cojinetes.. .....	29.
Supervisión de la temperatura en cojinetes.. .....	29.
Análisis de aceite espectral.. .....	30.
Supervisión de desplazamiento de los cojinetes de elementos rotantes.. .....	30.
Medidor RMS.. .....	30.
Medidor de pulso de choque.. .....	32.
Detección de fallas acústicas incipientes .....	32.
• <b>CAPITULO III</b> .....	34.
3 Descripción de las facilidades de ensayos.. .....	35.
• 3.1 El Banco de Ensayos de cojinetes en el CAB. I .....	35.
• 3.2 El Banco de Ensayos de cojinetes en el IKPH .....	36.
• 3.3 Banco de Ensayos de cajas de engranajes.. .....	38.
• 3.4 Ventilador de aire fresco.. .....	39.
• <b>CAPITULO IV</b> .....	41.
• 4.1 Excitación de la vibración.. .....	42.
Vibraciones lineales.. .....	42.
Vibraciones no lineales .....	45.
Vibraciones en máquinas.. .....	46.
• 4.2 Vibraciones forzadas en máquinas en operación .....	47.
• 4.2.1 Excitación periódica relacionada con la velocidad de la rotación.. .....	47.
Excitaciones de engrane .....	49.
Desalineado, excitaciones relacionadas.. .....	51.
Excitaciones relacionadas a los cojinetes de elementos rotantes.. .....	52.
Excitación relacionada a los motores eléctricos .....	54.

4.2.2	Excitaciones periódicas (no relacionadas a la velocidad de rotación)	57
	Sistema de resonancias	57
	Resonancias de fluidos	58
4.2.3	Fuentes de excitación estocásticas	60
	Fricción (inducida, mecánica y por fluido)	60
	Cavitación	60
•	<b>CAPITULO V</b>	61
•	5 Instrumentación, Adquisición y Procesamiento de Datos	62
4	5.1 Instrumentación del Banco de Ensayos	62
4	5.2 Adquisición y Procesamiento de Datos	65
•	<b>CAPITULO VI</b>	70
•	6 Análisis de señales de vibraciones	71
	6.1 Análisis matemático en el dominio del tiempo	71
	6.2 Análisis matemático en el dominio de la frecuencia	78
•	<b>CAPITULO VII</b>	81
•	7 Análisis y diagnóstico de los resultados de las mediciones	82
	7.1 Análisis en el Dominio del Tiempo	82
	7.2.1 Valores estadísticos	86
	7.2.2 Análisis de Dominio de Frecuencia	88
	I Diagnóstico para la detección de fallas en cojinetes	90
•	<b>CAPITULO VIII</b>	91
	Ensayo de calidad objetivo y no destructivo de una caja de engranajes de automóvil	92
	8.1 Introducción	92
	8.2 Facilidad experimental de laboratorio	93
	8.3 Caracterización de la fuente	93
	8.4 Resultados	95
	8.4.1 Técnica de muestreo sincrónico (angular)	95
	8.4.2 Técnica de muestreo no sincrónico (libre)	95
	8.5 Conclusiones	97
•	<b>CAPITULO IX</b>	98
	9 Investigación del ruido eléctrico en un generador sincrónico diseñado como sensor de vibraciones torsionales	99
	Teoría de funcionamiento y simulación de una máquina eléctrica rotante	99
	9.1 Análisis del torque de una máquina eléctrica rotante (motor asincrónico) debido a cargas normales en las rodaduras	99
	Definición del resbalamiento del rotor	101
	9.2 Análisis aproximado de la interacción entre la carga y el eje-rodamiento en Banco de Ensayo	105
	9.2.1 Introducción	105
	9.2.2 Ecuaciones que describen la interacción en la rodadura del cojinete de bolas	106
	9.2.3 Estimación del espesor equivalente de la capa lubricante en función de la carga aplicada	107

• 9.3 Las ecuaciones de torque que describen el movimiento del sistema eje-rodadura.	108
• 9.4 Modelado de un generador sincrónico utilizado como sensor.	110
• 9.4.1 Sensor eléctrico tipo tacómetro.	110
• 9.5 Simulación de los conceptos analizados.	112
• 9.5.1 Entradas y salidas del modelo.	112
• 9.5.2 Diagrama en bloques de los procesos físicos involucrados en una máquina electromecánica rotante.	112
• 9.5.3 Diagrama en bloques del proceso de simulación.	113
• 9.5.4 Diagrama en bloques del sistema de ensayo y prueba.	114
• 9.5.5 Resultados de las simulaciones.	114
• 9.5.5.1 Resultados de la simulación del sensor tipo generador sincrónico.	117
• 9.5.5.1.1 Generador sincrónico (taco). Ancho del espectro: 200 hz.	117
• CAPITULO X.	119
• 10.1 Resultados de las simulaciones de detección de cambios en la corriente del motor asincrónico monofásico.	120
• 10.2 Resultados experimentales.	122
• 10.2.1 Variación del torque-fricción con la carga.	128
• 10.3 Resultados experimentales con una máquina real.	129
• 10.3.1 Función de transferencia del motor asincrónico monofásico.	130
• 10.3.2 Bode de la función de transferencia del motor monofásico asincrónico.	130
• 10.3.3 Variación de la corriente de alimentación $I_s$ con la inductancia mutua $l_m$ .	131
• 10.4 Resultados y análisis de los datos experimentales.	132
• 10.4.1 Resultados de la falla tipo desbalance.	133
• 10.4.2 Resultados de la falla tipo desalineación.	137
• 10.4.3 Fallas del tipo golpes.	141
• CONCLUSIONES.	142
• APÉNDICE A.	144
• A Detalle de diferentes estados de rodaduras de los cojinetes de elementos rotantes, utilizados durante los ensayos. Análisis microscópico y termográfico.	145
• A.1 Ensayo termográfico de cojinetes.	150
• APÉNDICE B.	151
• REFERENCIAS.	153
• BIBLIOGRAFIA.	156
• PUBLICACIONES.	158
• ABREVIATURAS Y SIMBOLOS.	159