

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Introducción	2
1.2. Objetivos	6
1.3. Metodología	7
1.4. Estructura de la Tesis	8
Bibliografía	11
2. Revisión Bibliográfica	13
2.1. Introducción	15
2.1.1. Definiciones teóricas en dinámica rotacional	17
2.2. Teoría sobre el movimiento de ejes	19
2.2.1. Movimiento armónico y no-armónico	21
2.2.2. Vibraciones lineales y no-lineales	22
2.3. Apoyos de ejes en turbocompresores	26
2.3.0.1. Fundamentos de lubricación en cojinetes radiales	29
2.3.0.2. Solución para la ecuación de Reynolds	30
2.3.0.3. Aproximaciones para la solución de la ecuación de Reynolds	31
2.3.1. Respuesta lineal y no-lineal de la película de lubricación	35
2.3.1.1. Estudios experimentales para identificar los coe- ficientes de la película de lubricación	38
2.3.1.2. Estudios teóricos y CFD de las características de la película de lubricación en cojinetes radiales	41

2.3.2.	Efectos de la película de lubricación (Oil Whirl y Oil Whip)	44
2.4.	Formas de analizar las vibraciones lineales y no-lineales en turbocompresores	44
2.4.0.1.	Diagrama de Campbell (análisis lineal)	44
2.4.0.2.	Análisis de frecuencias con diagramas de cascada o diagramas de espectros de frecuencias (análisis no-lineal)	46
2.5.	Análisis de la estabilidad en dinámica rotacional lineal y no-lineal	49
2.5.0.3.	Análisis de la estabilidad en dinámica rotacional lineal	49
2.5.0.4.	Análisis de la estabilidad en dinámica rotacional no-lineal	51
2.6.	Resultados experimentales y teóricos en condiciones críticas de funcionamiento	53
2.7.	Técnicas de medida del movimiento en ejes	58
2.8.	Resumen	60
	Bibliografía	61
3.	Técnicas desarrolladas para la medida del movimiento del eje en turbocompresores	67
3.1.	Introducción	69
3.2.	Técnica con imágenes para la medida del movimiento de ejes en turbocompresores	70
3.2.1.	Montaje experimental	71
3.2.2.	Metodología de medida del movimiento del eje	75
3.2.2.1.	Puntos de referencia y cálculo de la posición del eje	75
3.2.2.2.	Máxima excentricidad	79
3.2.2.3.	Movimiento del eje	80
3.2.2.4.	Análisis de luminosidad	82
3.3.	Técnica con sensores infrarrojos para la medida del movimiento de ejes en turbocompresores	91

3.3.1. Montaje y calibración de los sensores	91
3.3.2. Metodología de medida del movimiento del eje	92
3.3.2.1. Reducción de las fuentes de error	94
3.3.2.2. Máxima Excentricidad	99
3.3.2.3. Procesado de datos para la determinación del movimiento síncrono y subsíncrono del eje	99
3.4. Comparación de las técnicas de medida desarrolladas	105
3.5. Resumen	107
Bibliografía	110
4. Resultados de los ensayos y aplicación de las técnicas de me- dida	113
4.1. Introducción	115
4.2. Experimentación con turbocompresores en condiciones críticas	116
4.2.1. Características turbocompresores	118
4.2.2. Análisis de los resultados experimentales	121
4.3. Condiciones críticas en el sistema de lubricación	123
4.3.1. Baja presión en el sistema de lubricación	123
4.3.1.1. Ensayos de baja presión de aceite con ratio de aceleración bajo	123
4.3.1.2. Ensayos de baja presión de aceite con ratio de aceleración alto	129
4.3.2. Retraso en la lubricación	137
4.3.3. Interrupción de la lubricación	144
4.3.4. Arranque en frío	157
4.3.5. Cojinete axial con orificio de lubricación reducido	162
4.4. Fallos en partes mecánicas del turbocompresor	166
4.4.1. Álabes de la rueda del compresor dañados	166
4.4.2. Eje desbalanceado	171
4.4.3. Sobrerégimen	180
4.4.4. Excesivo hollín en la turbina	184

4.5. Análisis causa-efecto e identificación de mecanismos de fallo . . .	187
4.6. Resumen	192
Bibliografía	193
5. Modelo de dinámica rotacional en Turbocompresores de MCIA	195
5.1. Introducción	196
5.2. Preproceso	198
5.2.1. Geometría del rotor	198
5.2.2. Mallado del rotor	201
5.3. Definición del modelo	204
5.3.1. Parámetros de entrada	204
5.3.1.1. Cálculo de los coeficientes de rigidez y amorti- guación de la película de lubricación	204
5.3.1.2. Modelo de cojinete resolución analítica de Rey- nolds	205
5.3.1.3. Modelo CFD 2D de la película de lubricación .	213
5.3.2. Determinación de las fuerzas de desequilibrio que actúan sobre el rotor	220
5.3.3. Selección del módulo de Elasticidad	220
5.3.4. Configuración modelo	221
5.3.4.1. Efecto coriolis	221
5.3.4.2. Régimen de giro del eje	222
5.3.5. Ajuste de la órbita modelada y medida experimental- mente a 150krpm	222
5.4. Identificación de puntos críticos con modelo lineal	225
5.5. Resumen	232
Bibliografía	233
6. Conclusiones y trabajos futuros	235
6.1. Conclusiones	236
6.1.1. Conclusiones sobre las técnicas de medida	237

6.1.1.1.	Conclusiones sobre la técnica con imágenes para la medida del movimiento del eje	237
6.1.1.2.	Conclusiones sobre la técnica con sensores infrarrojos para la medida del movimiento del eje	237
6.1.2.	Conclusiones sobre los límites de funcionamiento	238
6.1.3.	Conclusiones sobre pautas para peritajes en turbocompresores que han sufrido daños en sus elementos.	239
6.1.4.	Conclusiones sobre los métodos de estimación de los coeficientes y el modelo lineal de la dinámica rotacional	241
6.2.	Trabajos futuros y recomendaciones	242
	Bibliografía	245
	Índice Bibliográfico	247