

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN	2
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3 SOLUCIÓN PROPUESTA	3
1.4 OBJETIVOS	3
1.4.1 Objetivo general	3
1.4.2 Objetivos específicos	4
1.5 ALCANCES	4
1.6 METODOLOGÍA Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS	4
1.7 RESULTADOS ESPERADOS	5
1.8 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO	6
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	7
2.1 INTRODUCCIÓN A LAS VIBRACIONES	8
2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE VIBRACIONES	8
2.2.1 Modelo matemático de las vibraciones	10
2.2.2 Clasificación de las vibraciones	11
2.2.3 Clasificación de los amortiguamientos	12
2.3 PARÁMETROS SIGNIFICATIVOS DE LA ONDA VIBRATORIA	14
2.4 BANCO DE PRUEBAS DE VIBRACIONES MECÁNICAS	15
2.5 SENSORES DE VIBRACIÓN	16
2.6 ANALIZADOR DE VIBRACIONES PORTÁTIL	17
2.7 EXTRACTO NORMATIVA ISO 2372	18
2.7.1 Carta de diagnóstico de vibraciones	19
CAPÍTULO 3: PARÁMETROS PARA LA MEDICIÓN DE VIBRACIONES	20
3.1 PARÁMETROS EN EL BANCO DE PRUEBAS	21
3.1.1 Parámetros de trabajo para la medición de vibraciones	21
3.2 MODIFICACIONES DEL BANCO DE PRUEBAS	23
	iii

Índice general

3.2.1 Banco de pruebas en condiciones iniciales	23
3.2.2 Banco de pruebas en condiciones de desalineamiento angular	23
3.2.3 Banco de pruebas en condiciones de desalineamiento paralelo horizontal	23
3.2.4 Banco de pruebas con desbalanceo en un plano	24
CAPÍTULO 4: MEDICIONES DE VIBRACIÓN SEGÚN LA FALLA GENERADA	25
4.1 SEÑALES DE VIBRACIÓN SOBRE MESA Y PISO	27
4.2 MEDICIONES PARA DESALINEAMIENTO ANGULAR	31
4.2.1 Con descansos hidrodinámicos sin lubricar	31
4.2.2 Con descansos hidrodinámicos lubricados	34
4.2.3 Con descansos de rodamientos	36
4.3 MEDICIONES PARA DESALINEAMIENTO PARALELO HORIZONTAL	38
4.3.1 Con descansos hidrodinámicos sin lubricar	38
4.3.2 Con descansos hidrodinámicos lubricados	42
4.3.3 Con descansos de rodamientos	44
4.4 MEDICIONES PARA DESBALANCEO EN UN PLANO	48
4.4.1 Con descansos hidrodinámicos sin lubricar	48
4.4.2 Con descansos hidrodinámicos lubricados	52
4.4.3 Con descansos de rodamientos	54
CAPÍTULO 5: ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS	58
5.1 TENDENCIA DE LAS VIBRACIONES POR OPERACIÓN Y FALLA	59
5.1.1 Tendencia para desalineamiento angular	59
5.1.2 Tendencia para desalineamiento paralelo horizontal	62
5.1.3 Tendencia para desbalanceo	65
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS	68
6.1 CONCLUSIÓN	69
6.2 SUGERENCIAS	71
6.2.1 Sugerencias para el banco de pruebas	71
6.2.2 Sugerencias para la instrumentación	71
6.2.3 Sugerencias para el laboratorio	72
6.2.4 Sugerencias para experiencias de laboratorio	72
REFERENCIAS	73

ANEXOS	76
ANEXO A.1: ANALIZADOR DE VIBRACIONES PORTÁTIL	77
ANEXO A.2: EXTRACTO DE NORMA ISO 2372 Y CARTA DE DIAGNÓSTICO	78
A.2.1 Clasificación de la norma ISO 2372	78
A.2.2 Cartas de diagnóstico	78
ANEXO A.3: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS COMPONENTES DEL BANCO DE PRUEBAS	78
A.3.1 Equipo de alineación SKF TKSA 11	79
A.3.2 Motor eléctrico Marathon Electric	79
A.3.3 Acoplamiento flexible Rocom	80
A.3.4 Datos técnicos del banco de pruebas Magnum	80
A.3.5 Características de soporte de rodamientos	81
A.3.6 Analizador de vibraciones SKF Microlog GX y acelerómetros CMSS 2200	81
ANEXO A.4: DESCANSOS HIDRODINÁMICOS	82
ANEXO A.5: DATOS BÁSICOS DE DESBALANCEO	83
A.5.1 Espectros de referencia para soldaduras mecánicas	85
A.5.2 Procedimiento para la medición de las vibraciones	86
ANEXO A.6: RESUMEN DE PARÁMETROS DE ALINEACIÓN DE LAS FALLAS	87
ANEXO A.7: SUGERENCIAS PARA EL LABORATORIO DE MANTENIMIENTO	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Representación de un sistema vibratorio ideal.	8
Figura 2.2. Modelo básico de un sistema vibratorio libre sin amortiguamiento.	9
Figura 2.3. Sistema con un grado de libertad sin amortiguamiento.	10
Figura 2.4. Clasificación básica de las vibraciones mecánicas.	11
Figura 2.5. Tipos de ondas de vibraciones generadas por fuerzas en función del tiempo.	12
Figura 2.6. Tipos de valores para la amplitud de onda.	14
Figura 2.7. Señales en el dominio del tiempo y la frecuencia.	15
Figura 2.8. Banco de pruebas de vibraciones mecánicas MAGNUM.	16
Figura 2.9. Acelerómetro SKF CMSS 2200.	17
Figura 2.10. Posicionamiento de sensores y direcciones de medición de vibraciones.	17
Figura 2.11. Sistema SKF Microlog Analyzer GX de recolección de datos de vibraciones.	18
Figura 3.1. Descripción de la ubicación y orientaciones de los puntos a medir.	22
Figura 3.2. Ilustración del desalineamiento angular vertical de acoplamiento de ejes.	23
Figura 3.3. Ilustración del desalineamiento paralelo horizontal de acoplamiento de ejes.	23
Figura 3.4. Deflexión en eje producto del desbalanceo en elemento no homogéneo.	24
Figura 4.1. Banco de pruebas instalado en laboratorio.	26
Figura 4.2. Espectro de diagnóstico para el desalineamiento angular.	31
Figura 4.3. Espectro de diagnóstico para el desalineamiento paralelo.	38
Figura 4.4. Espectro de diagnóstico para el desbalanceo estático.	48
Figura A.1. Visualización de funciones del analizador.	77
Figura A.2. Evolución de la vibración en el tiempo.	77
Figura A.3. Extracto de carta de diagnóstico de vibraciones.	78
Figura A.4. Alineador de ejes SKF TKSA 11.	79
Figura A.5. Acoplamiento flexible Rocom.	80
Figura A.6. a) Rodamiento MB ER-12K de los descansos. b) Especificaciones técnicas de los rodamientos. c) Descansos con rodamientos montados en el banco de pruebas.	81
Figura A.7. Kit sensor óptico CMSS 6155XK-U-CE SKF para el balanceo de máquinas.	82
Figura A.8. Película de aceite en el interior de descanso hidrodinámico.	82
Figura A.9. Configuración del sistema para ensayo de desbalanceo.	83
Figura A.10. Discos de inercia con pesos de prueba.	83
Figura A.11. Radios disponibles de los discos de inercia.	84
Figura A.12. Espectros para soldadura mecánica.	85
Figura A.13. Resumen de TKSA 11 para desalineamiento angular con descansos de buje.	87
Figura A.14. Resumen de TKSA 11 para desalineamiento angular con rodamientos.	87
Figura A.15. Resumen de TKSA 11 para desalineamiento paralelo horizontal con descansos de buje.	87

Índice de figuras

Figura A.16. Resumen de TKSA 11 para desalineamiento paralelo horizontal con rodamientos.	88
Figura A.17. Resumen de TKSA 11 para desbalanceo en un plano.	88
Figura A.18. a) Estructura soportante anclada al piso. b) Sistema de fijación y amortiguamiento entre el banco de pruebas y estructura de soporte.	88
Figura A.19. Banco de pruebas MAGNUM con equipamiento adicional.	89
Figura A.20. Experiencia de laboratorio para determinar los parámetros básicos en sistemas con MAS.	89
Figura A.21. Experiencia de laboratorio para determinar frecuencias de resonancia de una viga en voladizo.	89
Figura A.22. Estructura de adquisición de datos para señales vibratorias.	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Rangos de severidad para la vibración de máquinas según norma ISO 2372.	19
Tabla 4.1. Porcentajes de cambio de la vibración con y sin falla de M2A_SLUB_VEL.	32
Tabla 4.2. Porcentajes de cambio de la vibración con y sin falla de L1A_SLUB_VEL.	34
Tabla 4.3. Porcentajes de cambio de la vibración con y sin falla de M2A_LUB_VEL.	35
Tabla 4.4. Porcentajes de cambio de la vibración con y sin falla de L1A_LUB_VEL.	36
Tabla 4.5. Porcentajes de cambio de la vibración con y sin falla de M2A_ROD_VEL.	37
Tabla 4.6. Porcentajes de cambio de la vibración con y sin falla de L1A_ROD_VEL.	38
Tabla 4.7. Porcentajes de cambio de la vibración con y sin falla de M2()_SLUB_VEL.	40
Tabla 4.8. Porcentajes de cambio de la vibración con y sin falla de L1()_SLUB_VEL.	41
Tabla 4.9. Porcentajes de cambio de la vibración con y sin falla de M2()_LUB_VEL.	43
Tabla 4.10. Porcentaje de cambio de la vibración con y sin falla de L1()_LUB_VEL.	44
Tabla 4.11. Porcentajes de cambio de la vibración con y sin falla de M2()_ROD_VEL.	46
Tabla 4.12. Porcentajes de cambios de la vibración con y sin falla de L1()_ROD_VEL.	47
Tabla 4.13. Porcentajes de cambio de la vibración con y sin falla de L1()_SLUB_VEL.	50
Tabla 4.14. Porcentajes de cambio de la vibración con y sin falla de L2()_SLUB_VEL.	51
Tabla 4.15. Porcentajes de cambio de la vibración con y sin falla de L1()_LUB_VEL.	53
Tabla 4.16. Porcentajes de cambio de la vibración con y sin falla de L2()_LUB_VEL.	54
Tabla 4.17. Porcentajes de cambio de la vibración con y sin falla de L1()_ROD_VEL.	56
Tabla 4.18. Porcentajes de cambio de la vibración con y sin falla de L2()_ROD_VEL.	57
Tabla 5.1. Mediciones de referencia antes de cada falla.	59
Tabla 5.2. Mediciones con desalineamiento angular.	59
Tabla 5.3. Mediciones con desalineamiento paralelo horizontal.	62
Tabla 5.4. Mediciones con desbalanceo.	65
Tabla A.1. Frecuencias paramétricas de los rodamientos con régimen de giro a 60 Hz.	81

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1. Tipos de amortiguamiento.	13
Gráfico 4.1. Espectros de M2A_LUB_VEL.	27
Gráfico 4.2. Espectro y onda temporal de la falla en M2A_LUB_VEL sobre la mesa.	27
Gráfico 4.3. Espectro y onda temporal de la falla en M2A_LUB_VEL sobre el piso.	27
Gráfico 4.4. Espectro y onda temporal de la falla en L1A_LUB_VEL sobre la mesa.	28
Gráfico 4.5. Espectro y onda temporal de la falla en L1A_LUB_VEL sobre el piso.	29
Gráfico 4.6. Espectro y onda temporal de la falla en L2A_LUB_VEL sobre la mesa.	29
Gráfico 4.7. Espectro y onda temporal de la falla en L2A_LUB_VEL sobre el piso.	30
Gráfico 4.8. Espectro de M2A_SLUB_VEL.	32
Gráfico 4.9. Espectro de L1A_SLUB_VEL.	33
Gráfico 4.10. Onda temporal de L1A_SLUB_VEL.	33
Gráfico 4.11. Espectro de M2A_LUB_VEL.	34
Gráfico 4.12. Espectro de L1A_LUB_VEL.	35
Gráfico 4.13. Onda temporal de L1A_LUB_VEL.	35
Gráfico 4.14. Espectro de M2A_ROD_VEL.	36
Gráfico 4.15. Espectro de L1A_ROD_VEL.	37
Gráfico 4.16. Onda temporal de L1A_ROD_VEL.	37
Gráfico 4.17. Espectros de M2V_SLUB_VEL sin y con desalineamiento paralelo.	39
Gráfico 4.18. Espectros de M2H_SLUB_VEL sin y con desalineamiento paralelo.	39
Gráfico 4.19. Espectros de L1V_SLUB_VEL sin y con desalineamiento paralelo.	40
Gráfico 4.20. Espectros de L1H_SLUB_VEL sin y con desalineamiento paralelo.	41
Gráfico 4.21. Espectros de M2V_LUB_VEL sin y con desalineamiento paralelo.	42
Gráfico 4.22. Espectros de M2H_LUB_VEL sin y con desalineamiento paralelo.	42
Gráfico 4.23. Espectros de L1V_LUB_VEL sin y con desalineamiento paralelo.	43
Gráfico 4.24. Espectros de L1H_LUB_VEL sin y con desalineamiento paralelo.	44
Gráfico 4.25. Espectros de M2V_ROD_VEL sin y con desalineamiento paralelo.	45
Gráfico 4.26. Espectros de M2H_ROD_VEL sin y con desalineamiento paralelo.	45
Gráfico 4.27. Espectros de L1V_ROD_VEL sin y con desalineamiento paralelo.	46
Gráfico 4.28. Espectros de L1H_ROD_VEL sin y con desalineamiento paralelo.	47
Gráfico 4.29. Ondas temporales radiales de L1()_ROD_VEL desalineamiento paralelo.	47
Gráfico 4.30. Espectros de L1V_SLUB_VEL sin y con desbalanceo.	48
Gráfico 4.31. Espectros de L1H_SLUB_VEL sin y con desbalanceo.	49
Gráfico 4.32. Ondas temporales radiales del punto L1()_SLUB_VEL con desbalanceo.	49
Gráfico 4.33. Espectros de L2V_SLUB_VEL sin y con desbalanceo.	50

Índice de gráficos

Gráfico 4.34. Espectros de L2H_SLUB_VEL sin y con desbalanceo.	51
Gráfico 4.35. Espectros de L1V_LUB_VEL sin y con desbalanceo.	52
Gráfico 4.36. Espectros de L1H_LUB_VEL sin y con desbalanceo.	52
Gráfico 4.37. Espectros de L2V_LUB_VEL sin y con desbalanceo.	53
Gráfico 4.38. Espectros de L2H_LUB_VEL sin y con desbalanceo.	54
Gráfico 4.39. Espectros de L1V_ROD_VEL sin y con desbalanceo.	55
Gráfico 4.40. Espectros de L1H_ROD_VEL sin y con desbalanceo.	55
Gráfico 4.41. Espectros de L2V_ROD_VEL sin y con desbalanceo.	56
Gráfico 4.42. Espectros de L2H_ROD_VEL sin y con desbalanceo.	57
Gráfico 5.1. Tendencia de las vibraciones con desalineamiento angular.	60
Gráfico 5.2. Tendencia de las vibraciones con desalineamiento paralelo horizontal.	63
Gráfico 5.3. Tendencia de las vibraciones con desbalanceo.	66