

Índice de contenidos

Índice de contenidos	v
Índice de figuras	ix
Índice de tablas	xiii
Resumen	xv
Abstract	xvii
1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivo del proyecto integrador	2
1.3. Conceptos básicos de vibraciones	2
1.4. Monitoreo de condición utilizando vibraciones	3
1.4.1. Instrumentos de medición	6
1.4.2. Adquisición de señales vibratorias	8
1.4.3. Fenómenos relevantes	9
1.4.4. El teorema de muestreo de Shannon y Nyquist	10
1.4.5. Sistemas de monitoreo por vibraciones	11
1.5. Fundamentos y problemática a resolver: protección y monitoreo	12
2. Descripción, análisis y procesamiento de señales vibratorias	13
2.1. Parámetros descriptivos de las vibraciones	13
2.1.1. Análisis en el dominio temporal	13
2.1.2. Análisis en el dominio de frecuencias	15
2.1.3. Algunas definiciones estadísticas	18
2.2. Señales generadas por máquinas rotantes	19
2.2.1. Velocidad de giro y múltiplos de la velocidad de giro	19
2.2.2. Cojinetes de elementos rodantes	23
2.3. Técnicas de procesamiento digital de señales	24

2.3.1.	La transformada discreta de Fourier (DFT) y la transformada rápida de Fourier (FFT)	24
2.3.2.	La Densidad Espectral de Potencia	25
2.3.3.	Análisis de envolventes	26
3.	Normas y criterios para el monitoreo de vibraciones	29
3.1.	Norma ISO 10816 y 20816	29
3.1.1.	Alcance	29
3.1.2.	Consideraciones para efectuar mediciones	30
4.	Desarrollo del prototipo	37
4.1.	Descripción del prototipo	37
4.2.	Dispositivo de medición	38
4.3.	Electrónica de acondicionamiento	38
4.3.1.	Regulación de voltaje para alimentar la placa Arduino	40
4.3.2.	Circuito de alimentación del acelerómetro	40
4.3.3.	Circuito de acondicionamiento de señal	41
4.3.4.	Esquemático completo y circuito impreso	43
4.4.	Adquisición	43
4.4.1.	Vista desde Arduino	43
4.5.	Procesamiento de datos	44
4.5.1.	Vista desde Raspberry Pi	44
5.	Pruebas del dispositivo desarrollado	55
5.1.	Caracterización de la electrónica de acondicionamiento	55
5.2.	Adquisición de señales	56
5.3.	Descripción del banco de ensayos	57
5.4.	Caracterización de la dinámica del banco de ensayos	58
5.5.	Obtención de la máscara de referencia	63
5.6.	Uso del dispositivo para detección y diagnóstico de fallas	64
5.6.1.	Detección de golpes	64
5.6.2.	Detección de desbalanceo del eje	65
5.6.3.	Detección de desalineamiento del eje	65
5.6.4.	Detección de una falla no catalogada: aflojamiento	68
5.7.	Detección de fallas en rodamientos	70
6.	Contrastación del prototipo con un sistema de referencia	73
6.1.	Primera contrastación: adquisidores	74
6.2.	Segunda contrastación: adquisidores y electrónica de acondicionamiento de señal	79

6.3. Tercera contrastación: sistemas completos	81
6.4. Resultados de la contrastación y discusión	83
6.4.1. Criterios de aceptación	83
7. Análisis de costos	85
7.1. Comparación de costos entre sistemas	85
7.2. Estimación de costos para un rediseño	87
7.3. Estimación de costos de producción posterior al desarrollo	87
8. Conclusiones	89
8.1. Uso del dispositivo para la detección automática de fallas	89
8.2. Contrastación técnica con sistema de referencia	90
8.3. Análisis de costos	90
8.4. Trabajo futuro	90
A. Esquemático de electrónica de acondicionamiento	93
B. Código del programa desarrollado	95
B.1. Código de Arduino para adquisición de datos	96
B.2. Código de Python para procesamiento y diagnóstico	97
C. Datasheets	117
C.1. Datasheet acelerómetro mod. 805	118
Bibliografía	123
Agradecimientos	127