

## Tabla de contenido

1.	Introducción .....	1
1.1.	Antecedentes Generales .....	1
1.1.1.	Detección de Impactos.....	1
1.1.2.	Análisis de Vibraciones .....	2
1.1.3.	Algoritmos utilizados en Detección de Impactos .....	3
1.2.	Motivación .....	3
1.3.	Objetivos .....	4
1.3.1.	Objetivo General.....	4
1.3.2.	Objetivos Específicos .....	4
1.4.	Alcances .....	4
2.	Metodología .....	5
3.	Antecedentes Específicos .....	6
3.1.	Vibraciones Mecánicas en un sistema de un grado de libertad .....	6
3.2.	Respuesta de un sistema de un grado de libertad a un impulso .....	10
3.3.	Procesamiento de Señales .....	13
3.3.1.	Ventanas .....	13
3.3.2.	Transformada de Hilbert.....	13
3.4.	Análisis de Componentes Principales.....	15
3.5.	Principio de Máxima Entropía.....	16
3.6.	Método de aproximación lineal basado en el Principio de Máxima Entropía .....	17
3.7.	Multiplicadores de Lagrange .....	21
3.8.	Evaluación de Métodos de Detección de Impactos .....	23
4.	Desarrollo .....	24
4.1.	Estrategia de identificación de impactos.....	24
4.1.1.	Lectura de datos.....	25
4.1.2.	Expansión de la base de entrenamiento .....	25
4.1.3.	Aplicación de PCA .....	26
4.1.4.	Aplicación de LME .....	26
4.1.5.	Determinación del Error .....	26
4.2.	Montaje Experimental.....	27
4.2.1.	Placa Compuesta .....	27
4.2.2.	Placa Simple .....	34
4.3.	Resultados Placa Simple .....	37
4.3.1.	Resultados LME .....	37

4.3.2.	Resultados PCA + LME .....	38
4.4.	Resultados Placa Compuesta .....	43
4.4.1.	Resultados LME .....	43
4.4.2.	Resultados PCA + LME .....	48
4.5.	Discusiones .....	53
5.	Conclusiones .....	57
	Bibliografía.....	58
	Anexos .....	59
	Anexo A: Código MATLAB - Leer Datos de Entrenamiento .....	59
	Anexo B: Código MATLAB - Leer Datos de Prueba.....	61
	Anexo C: Código MATLAB - Expandir Base.....	63
	Anexo D: Código MATLAB - Aplicar PCA .....	64
	Anexo E: Código MATLAB - Aplicar LME.....	66
	Anexo F: Código MATLAB - Cálculo Error.....	67
	Anexo G: Posiciones de los impactos y sensores en placa compuesta. ....	68
	Anexo H: Posiciones de los impactos y sensores en placa simple. ....	72

## Índice de tablas

Tabla 4.1: Características del Aluminio Al6061. ....	29
Tabla 4.2: Características del sensor piezoeléctrico 7BB-20-6L0. ....	29
Tabla 4.3: Características de la tarjeta de adquisición ECON-MI7016. ....	30
Tabla 4.4: Características del martillo modal LC-01A.....	31
Tabla 4.5: Resultados Placa Simple para algoritmo LME.....	37
Tabla 4.6: Resultados Placa Simple para algoritmo PCA+LME. ....	41
Tabla 4.7: Resultados Placa Compuesta para algoritmo LME. ....	45
Tabla 4.8: Resultados Placa Compuesta para algoritmo PCA+LME. ....	51
Tabla 4.9: Comparación entre algoritmos disponibles en literatura y el presente trabajo.....	55
Tabla 4.10: Comparación de resultados. ....	55
Tabla G.1: Posiciones de los sensores en placa compuesta.....	68
Tabla G.2: Posiciones de los impactos de entrenamiento en placa compuesta. ....	68
Tabla G.3: Posiciones de los impactos de prueba en placa compuesta. ....	70
Tabla H.1: Posiciones de los sensores en placa simple. ....	72
Tabla H.2: Posiciones de los impactos de entrenamiento en placa simple.....	72
Tabla H.3: Posiciones de los impactos de prueba en placa simple. ....	75

## Índice de figuras

Figura 1.1: Esquema de un montaje experimental típico de detección de impactos [1].	1
Figura 1.2: Respuesta de un sistema de un grado de libertad a un impulso [3].	2
Figura 3.1: Sistema de un grado de libertad masa resorte horizontal [3].	6
Figura 3.2: Sistema de un grado de libertad con amortiguador [3].	7
Figura 3.3: Respuesta de un sistema de un grado de libertad con amortiguamiento débil [3].	9
Figura 3.4: Respuesta de un sistema de un grado de libertad sobreamortiguado [3].	9
Figura 3.5: Fuerza de tipo impulso con respecto al tiempo [3].	11
Figura 3.6: Respuesta de un sistema de un grado de libertad a un impulso en un tiempo $t$ [3].	12
Figura 3.7: Ventana rectangular [5].	13
Figura 3.8: Señal original del sensor frente a un impacto.	14
Figura 3.9: Envolvente de la señal del sensor frente a un impacto.	15
Figura 4.1: Diagrama de flujo de estrategia de identificación de impactos.	24
Figura 4.2: Diagrama del montaje experimental para placa compuesta.	27
Figura 4.3: Placa compuesta.	28
Figura 4.4: Estructura interna de placa compuesta.	28
Figura 4.5: Sensor piezoeléctrico 7BB-20-6L0.	29
Figura 4.6: Sistema de Adquisición de Datos ECON MI-7016.	30
Figura 4.7: Martillo Modal LC-01A.	31
Figura 4.8: Montaje Experimental Placa Compuesta.	32
Figura 4.9: Impactos de entrenamiento de placa compuesta.	33
Figura 4.10: Impactos para configuración de parámetros de placa compuesta.	33
Figura 4.11: Impactos de prueba de placa compuesta.	34
Figura 4.12: Montaje experimental placa simple.	35
Figura 4.13: Impactos de entrenamiento de placa simple.	35
Figura 4.14: Impactos para configuración de parámetros de placa simple.	36
Figura 4.15: Impactos de prueba de placa simple.	36
Figura 4.16: Resultados algoritmo LME para Placa Simple [1].	37
Figura 4.17: Error de área en función de los parámetros $nv$ y $rd$ para placa simple PCA+LME.	38
Figura 4.18: Error de fuerza en función de los parámetros $nv$ y $rd$ para placa simple PCA+LME.	39
Figura 4.19: Error combinado en función de los parámetros $nv$ y $rd$ para placa simple PCA+LME.	40
Figura 4.20: Resultado fuerza para placa simple PCA+LME.	41
Figura 4.21: Resultado coordenada $x$ para placa simple PCA+LME.	42
Figura 4.22: Resultado coordenada $y$ para placa simple PCA+LME.	42
Figura 4.23: Resultado localización impactos para placa simple PCA+LME.	43
Figura 4.24: Error de área en función de $nv$ para placa compuesta LME.	44
Figura 4.25: Error de fuerza en función de $nv$ para placa compuesta LME.	44
Figura 4.26: Error combinado en función de $nv$ para placa compuesta LME.	45
Figura 4.27: Resultado fuerza para placa compuesta LME.	46

Figura 4.28: Resultado coordenada $x$ para placa compuesta LME. ....	46
Figura 4.29: Resultado coordenada $y$ para placa compuesta LME. ....	47
Figura 4.30: Resultado localización impactos para placa compuesta LME. ....	47
Figura 4.31: Error de área en función de los parámetros $nv$ y $rd$ para placa compuesta PCA+LME. .....	48
Figura 4.32: Error de fuerza en función de los parámetros $nv$ y $rd$ para placa compuesta PCA+LME. ....	49
Figura 4.33: Error combinado en función de los parámetros $nv$ y $rd$ para placa compuesta PCA+LME. ....	50
Figura 4.34: Resultado fuerza para placa compuesta PCA+LME. ....	51
Figura 4.35: Resultado coordenada $x$ para placa compuesta PCA+LME. ....	52
Figura 4.36: Resultado coordenada $y$ para placa compuesta PCA+LME. ....	52
Figura 4.37: Resultado localización impactos para placa compuesta PCA+LME. ....	53
Figura 4.38: Comparación de señales de impacto cercano (izquierda) y lejano (derecha) al sensor. .....	56