

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN
INGENIERÍA MECÁNICA**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

***DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA DE
EMISIONES ACÚSTICAS EN ELECTROHUSILLOS
PARA DETECCIÓN DEL GAP DE CONTACTO EN
APLICACIONES DE RECTIFICADO***

***DOCUMENTO 2 – LISTA DE FIGURAS, TABLAS,
GRÁFICOS Y ACRÓNIMOS***

Estudiante	<i>Valdezate, Cabornero, Egoitz</i>
Director	<i>Pombo, Rodilla, Iñigo</i>
Departamento	<i>Ingeniería Mecánica</i>
Curso académico	<i>2021/2022</i>

Bilbo, 26, junio, 2022

DOCUMENTO 2 – LISTA DE FIGURAS, TABLAS, GRÁFICOS Y ACRÓNIMOS

LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABLAS	9
LISTA DE GRÁFICOS	10
LISTA DE ACRÓNIMOS.....	10

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Centro tecnológico IK4-IDEKO	14
Figura 2. Instalaciones de IDEKO	15
Figura 3. Laboratorio DGIH	16
Figura 4. Esquema básico del proyecto	17
Figura 5. Esquema de rectificado plano y componentes de muela	18
Figura 6. Pérdida de filo en el tiempo	18
Figura 7. Proceso de diamantado	19
Figura 8. Onda longitudinal y transversal	24
Figura 9. Onda Rayleigh	24
Figura 10. Señal burst y continua	26
Figura 11. Parámetros de señal acústicas	27
Figura 12. Reflexión y refracción de onda	28
Figura 13. Atenuación geométrica	28
Figura 14. Atenuación por scatter y difracción	28
Figura 15. Interferencia entre dos ondas desfasadas	29
Figura 16. Esquema de diferentes sensores acústicos	29
Figura 17. Sensor acústico fijo en muela y diamantador	29
Figura 18. Sensor acústico de fluido en pieza cilíndrica	30
Figura 19. Sensor acústico rotativo en muela	30
Figura 20. Sensor acústico interno en husillo de disco diamantador	30
Figura 21. Sensor acústico de anillo en la brida de la muela	31
Figura 22. Componentes de onda EA	31
Figura 23. Enventanados	32
Figura 24. Tipos de wavelets madre	32
Figura 25. Comparación entre factor de escala estrecho y ancho	33
Figura 26. Espectrograma STFT vs Escalograma CWT	33
Figura 27. Distribución de frecuencias frente al tiempo en el escalograma	33
Figura 28. Cálculo de SK partiendo de STFT: (a) Señal temporal, (b) STFT, (c) SK función de frecuencia [15]	34
Figura 29. Estructura del banco de filtros de 1/3 de árbol binario	35
Figura 30. Sistema de monitorización (Inasaki and Okamura [1985])	37
Figura 31. Sistema EA (Webster, Marinescu and Bennett [1994])	38

Figura 32. Cadena típica de sistema de medición de EA.....	40
Figura 33. Umbral para detección de hits y extracción de características.....	43
Figura 34. Procedimiento de peak-picking incremental	44
Figura 35. Capacidad de detección y separación de transitorios solapados.....	44
Figura 36. Mecanismos de eliminación de material en rectificado	44
Figura 37. Espectro de emisión acústica según diferentes mecanismos de rectificado	46
Figura 38. Esquema de filtrado de señal	47
Figura 39. Esquema de la aplicación en Matlab	48
Figura 40. Módulo de kurtosis.....	48
Figura 41. Ejemplo de un kurtograma con tendencia a 400 kHz	49
Figura 42. Módulo de filtrado.....	50
Figura 43. Señal acústica muestreada a 2 MHz y filtrada a 50 Hz en las tres vías	51
Figura 44. Sensor acústico SEA-Mini	52
Figura 45. Sensor acústico RSA-2.....	52
Figura 46. Acelerómetro IMI	52
Figura 47. Sistema modular VM25	53
Figura 48. Caja de adquisición a 2 MHz.....	53
Figura 49. Disco diamantador Tyrolit	53
Figura 50. Disco diamantador Winter	54
Figura 51. Cable de adquisición	54
Figura 52. Tocho de acero	55
Figura 53. DS-630.....	55
Figura 54. Rectificadora LG-1000	56
Figura 55. Montaje del primer ensayo de diamantado.....	57
Figura 56. Montaje del segundo ensayo de diamantado.....	57
Figura 57. Montaje del cuarto ensayo de diamantado	59
Figura 58. Montaje del ensayo de rectificado	60
Figura 59. Barrido de kurtosis sin solapamiento de la prueba de detección de contacto	61
Figura 60. Barrido de kurtosis con solapamiento de 87,5% de la prueba de detección de contacto	62
Figura 61. Filtrado de la primera prueba de detección de contacto (completa)	62
Figura 62. Filtrado de la primera prueba de detección de contacto (RMS).....	63

Figura 63. Ampliación de la señal filtrada RMS	63
Figura 64. Señal filtrada submuestreada a 50 Hz	63
Figura 65. Comparativa de señal sin taladrina (superior) y con taladrina (inferior) .	64
Figura 66. Comparativa de profundidad de pasada de 0,5 micras (superior) y 5 micras (inferior).....	65
Figura 67. Comparativa de mayor (superior) y menor (inferior) velocidad de giro disco/muela	65
Figura 68. Comparativa de menor (superior) y mayor (inferior) velocidad de giro de muela	66
Figura 69. Comparativa de mayor (superior) y menor (inferior) velocidad de avance	66
Figura 70. Perfil de la muela CBN	67
Figura 71. Barrido kurtosis de séptima prueba diamantado monopunta.....	68
Figura 72. Comparativa entre 180-220 kHz y 10-200 kHz.....	68
Figura 73. Comparativa entre 180-220 kHz y caja Nordmann	69
Figura 74. Barrido kurtosis de última prueba de rectificado	70
Figura 75. Filtro de última prueba de rectificado.....	70
Figura 76. Barrido kurtosis con 25600 líneas espectrales	71
Figura 77. Barrido kurtosis con 102400 líneas espectrales	72
Figura 78. Barrido kurtosis con 102400 líneas espectrales con resta del primer kurtograma	72
Figura 79. Pasabanda 210 – 230 kHz y RMS.....	73
Figura 80. Ajuste de banda en VM25	73

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros básicos.....	19
Tabla 2. Diagrama de Gantt.....	22
Tabla 3. Velocidades de onda según material.....	25
Tabla 4. Impedancias acústicas según material	27
Tabla 5. Aclaración de valores del kurtograma	35
Tabla 6. Polinomios de Butterworth	36
Tabla 7. Porcentajes de composición química aproximada de F1140 (UNE 36011) .	55
Tabla 8. Parámetros del primer ensayo de diamantado	57
Tabla 9. Parámetros del segundo ensayo de diamantado	58

Tabla 10. Parámetros del tercer ensayo de diamantado	58
Tabla 11. Parámetros del cuarto ensayo de diamantado	59
Tabla 12. Parámetros del ensayo de rectificado	60
Tabla 13. Presupuesto desglosado correspondiente al ingeniero	74
Tabla 14. Resumen de influencia de parámetros.....	76

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Respuesta de Butterworth.....	35
Gráfico 2. Filtro pasabaja 500 kHz de Butterworth de diferente orden	36
Gráfico 3. EA _{RAW} de un proceso de rectificado externo	39
Gráfico 4. EA _{RMS} empleando diferentes constantes de tiempo de integración	40
Gráfico 5. Sensibilidad para ondas longitudinales con diferentes acoplantes.....	41
Gráfico 6. Relación entre EA _{RMS} y velocidad de giro de muela	42
Gráfico 7. Relación entre EA-velocidad de avance y EA-profundidad de pasada	42
Gráfico 8. EA frente a la profundidad de corte y tasa de arranque	45

LISTA DE ACRÓNIMOS

CBN	Cubic Boron Nitride (Nitruro de Boro Cúbico)
CWT	Continious Wavelet Transform (Transformada Continua de Wavelet)
EA	Emisiones Acústicas (AE – Acoustic Emissions)
HP	High Pass (Pasa alto)
LP	Low Pass (Pasa bajo)
NDT	Non Destructive Tests (Ensayos No Destructivos)
RMS	Root Mean Square (Media cuadrática)
SK	Spectral Kurtosis (Kurtosis Espectral)
STFT	Short-Time Fourier Transform (Transformada Rápida de Fourier)
TF	Transformada de Fourier
TIC	Tecnologías de la Información y de la Comunicación
TW	Transformada de Wavelet