

Tabla de contenido

Resumen	i
Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Lista de Figuras	vi
Lista de Tablas	viii
1. Introducción	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo General	2
1.1.2. Objetivos Específicos	2
1.2. Alcances	2
2. Antecedentes	3
2.1. Velocidad Angular Instantánea y Vibraciones Torsionales	3
2.2. Principales métodos de análisis de señales	4
2.2.1. Local Mean Decomposition	4
2.2.2. Empirical Mode Decomposition	7
2.3. Parámetros Estadísticos	8
2.3.1. Root Mean Square (RMS)	8
2.3.2. Delta RMS	9
2.3.3. Peak	9
2.3.4. Peak to Peak	9
2.3.5. Media aritmética	9
2.3.6. Varianza	9
2.3.7. Kurtosis	10
2.3.8. Crest Factor	10
2.3.9. Skewness	11
2.3.10. Momentos Centrados	11
2.3.11. Energía de Shannon	12
2.3.12. Entropía de Shannon	12
2.3.13. Derivada discreta de una señal	13
2.3.14. Integral discreta de una señal	13
2.4. Parámetros en el dominio de frecuencias	13
2.4.1. Media aritmética para una banda de frecuencias	13
2.4.2. Media geométrica para una banda de frecuencias	14
2.4.3. Armónicos de un eje	14

2.5. Support Vector Machine	15
2.6. Clasificación	19
2.6.1. Exactitud	19
2.6.2. Precisión	20
2.6.3. Tasa de acierto	20
2.7. Algoritmos de selección de parámetros	20
3. Metodología	21
4. Resultados y análisis	23
4.1. Resultados primera etapa de estudios. Velocidades angulares instantáneas	23
4.2. Análisis de velocidades angulares instantáneas	26
4.3. Resultados primera etapa de estudios. Parámetros sobre vibraciones torsionales	27
4.4. Análisis de resultados, primera etapa de estudios. Parámetros sobre vibraciones torsionales	34
4.4.1. Análisis de parámetros calculados sobre la señal original IAS	34
4.4.2. Análisis de parámetros calculados sobre la derivada de la señal original IAS	35
4.4.3. Análisis de parámetros calculados sobre la integral de la señal original IAS	35
4.5. Resultados primera etapa de estudios. Parámetros sobre vibraciones transversales	36
4.6. Análisis de parámetros calculados sobre la señal del acelerómetro	37
4.7. Resultados segunda etapa de estudios: Grietas	38
4.8. Análisis de resultados. Segunda etapa de estudios. Vibraciones torsionales	45
4.9. Resultados segunda etapa de estudios. Vibraciones Transversales	49
4.10. Análisis de resultados. Segunda etapa de estudios. Vibraciones Transversales	50
4.11. Resultados finales	53
5. Comentarios y conclusiones	54
Bibliografía	56

Índice de figuras

2.1. Voltaje y tiempo en un sensor encoder. Fuente: Adaptado de Ahmed A. Gubran, et.al. “ <i>Shaft instantaneous angular speed for blade vibration in rotating machine</i> ” [1].	3
2.2. Velocidad Angular Instantánea para un eje sin vibraciones torsionales	4
2.3. Velocidad Angular Instantánea para un eje con vibraciones torsionales	4
2.4. Componentes de descomposición PFs de una señal. Fuente propia.	6
2.5. Ejemplo SVM para dos parámetros. Fuente: Valveny E, et.al [12].	15
2.6. Posibles hiperplanos separadores entre clases. Fuente: Valveny E, et.al [12].	15
2.7. Margen e hiperplanos de soporte en SVM. Fuente: Valveny E, et.al [12].	16
2.8. Hiperplanos de soporte, ecuaciones. Fuente: Valveny E, et.al [12].	17
2.9. Esquema de clasificación binaria de datos con daño y sanos.	19
3.1. Montaje experimental.	21
4.1. Partición de datos y confección de matriz "Parámetros", caso sano. Fuente propia. .	23
4.2. IAS Caso Sano.	26
4.3. IAS Caso Extremo.	26
4.4. IAS calculado por vuelta, Caso sano.	26
4.5. IAS calculado por vuelta, Caso extremo.	26
4.6. Parámetro 2. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	27
4.7. Parámetro 3. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	27
4.8. Parámetro 4. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	27
4.9. Parámetro 6. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	27
4.10. Parámetro 7. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	28
4.11. Parámetro 9. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	28
4.12. Parámetro 10. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	28
4.13. Parámetro 11. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	28
4.14. Parámetro 12. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	28
4.15. Parámetro 13. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	28
4.16. Parámetro 14. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	29
4.17. Parámetro 15. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	29
4.18. Parámetro 16. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	29
4.19. Parámetro 41. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	29
4.20. Parámetro 49. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	29
4.21. Parámetro 54. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	29
4.22. Parámetro 56. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	30
4.23. Parámetro 66. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	30
4.24. Parámetro 71. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	30
4.25. Parámetro 72. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	30
4.26. Parámetro 73. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	30
4.27. Parámetro 76. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	30

4.28. Parámetro 79. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	31
4.29. Parámetro 80. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	31
4.30. Parámetro 81. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	31
4.31. Parámetro 82. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	31
4.32. Parámetro 83. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	31
4.33. Parámetro 84. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	31
4.34. Parámetro 85. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	32
4.35. Parámetro 86. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	32
4.36. Parámetro 88. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	32
4.37. Parámetro 92. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	32
4.38. Parámetro 93. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	32
4.39. Parámetro 94. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	32
4.40. Parámetro 95. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	33
4.41. Parámetro 96. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	33
4.42. Parámetro 97. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	33
4.43. Parámetro 98. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	33
4.44. Parámetro 99. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	33
4.45. Parámetro 100. Sano (Izquierda), extemo (derecha).	33
4.46. Parámetro 2 (acelerómetro). Sano (Izq), extremo (der).	36
4.47. Parámetro 5 (acelerómetro). Sano (Izq), extremo (der).	36
4.48. Parámetro 16 (acelerómetro). Sano (Izq), extremo (der).	36
4.49. Parámetro 86 (acelerómetro). Sano (Izq), extremo (der).	36
4.50. Parámetro 87 (acelerómetro). Sano (Izq), extremo (der).	37
4.51. Parámetro 90 (acelerómetro). Sano (Izq), extremo (der).	37
4.52. Álabes con grietas.	38
4.53. IAS para cada caso (sin centrar).	39
4.54. Parámetro 87 Normalizado. Sano-grietas.	41
4.55. Parámetro 72 Normalizado. Sano-grietas.	41
4.56. Parámetro 3 Normalizado. Sano-grietas.	41
4.57. Parámetro 88 Normalizado. Sano-Grietas.	43
4.58. Parámetro 97 Normalizado. Sano-Grietas.	43
4.59. Parámetro 25 Normalizado. Sano-Grietas.	44
4.60. Parámetro 5 Normalizado. Sano-Grietas.	44
4.61. Parámetro 99 Normalizado. Sano-Grietas.	44
4.62. Parámetro 86 Normalizado. Sano-Grietas.	44
4.63. Parámetro 100 Normalizado. Sano-Grietas.	44
4.64. Parámetro 1 Normalizado. Sano-Grietas.	44
4.65. Parámetro 91 Normalizado. Sano-Grietas.	45
4.66. Parámetro 2 Normalizado. Sano-Grietas.	45

Índice de tablas

4.1. Parámetros señal original.	24
4.2. Parámetros para la derivada e integral de la señal original.	25
4.3. Designación de álabes con grietas. Tamaño y posición respecto al centro del rotor. .	38
4.4. Errores porcentuales de selección para cada caso de clasificación.	40
4.5. Lista de parámetros seleccionados. Caso <i>vi</i> : Sano y grietas 4, 5 y 6.	41
4.6. Clasificación de grietas por separado. Resultados estadísticos.	42
4.7. Clasificación de Grietas por separado. Parámetros seleccionados en cada clasificación.	43
4.8. Errores porcentuales de clasificación (acelerómetro).	49
4.9. Clasificación de grietas por separado. Acelerómetro. Resultados estadísticos. . . .	50
4.10. Parámetros finales.	53