

Índice

Lista de Figuras	i
Lista de Tablas	v
Abreviaciones	vi
1. Introducción	7
1.1 Introducción general.....	7
1.2 Estado del arte	3
1.2.1 Engranajes	3
1.2.2 Análisis de señales	5
1.2.3 Resúmenes estadísticos	6
1.2.4 Machine learning.....	7
1.2.5 Engranajes y el aprendizaje de máquinas.....	8
1.2.6 Resolución estado del arte.....	9
1.3 Objetivos	10
1.3.1 Objetivo General	10
1.3.2 Objetivos Específicos	10
1.4 Alcances y limitaciones.....	11
1.4.1 Alcances	11
1.4.2 Limitaciones	11
1.5 Metodología	11
1.5.1 Estudio de la estructura y fallas de los engranajes	11
1.5.2 Estudio teórico y análisis de mantenimiento predictivo.....	12
1.5.3 Estudio de análisis estadísticos en análisis de vibraciones	12
1.5.4 Estudio del lenguaje de programación Python y sklearn	12
1.5.5 Implementación de las metodologías a utilizar	13
1.5.6 Análisis de resultados.....	13
1.6 Organización de la memoria	13
2. Análisis descriptivo	14
2.1 Tipos de engranajes y sus fallas.	14
2.1.1 Tipos de engranajes.....	14
2.1.2 Tipos de fallas	17
2.2 Herramienta de software utilizada.....	24
2.2.1 Lenguaje de programación	24

2.2.2	Google Colaboratory	25
2.2.3	Comparación Google colab vs GPU tradicional	25
2.3	Adquisición de datos	27
2.3.1	Datos del Engrane	27
2.4	Procesamiento de datos	28
2.5	Parámetros relevantes.....	30
2.5.1	Procesamiento de datos engrane	30
2.6	Análisis de vibraciones.....	32
2.6.1	Gráficos representativos en dominio del tiempo y la frecuencia para los diferentes estados del engranaje	33
2.6.2	Parámetros Estadísticos.....	36
3.	Algoritmos de clasificación.	47
3.1	Planteamiento y desarrollo modelo de inteligencia artificial para engranajes. ..	47
3.1.1	Introducción	47
3.1.2	Monitoreo de la condición.....	48
3.1.3	Detección de anomalías.....	49
3.1.4	KPI	50
3.1.5	Algoritmos de clasificación.....	52
3.1.6	K-nearest neighbor (K- vecinos más cercanos).....	53
3.1.7	Random Forest Classifier (Clasificador de bosque aleatorio).....	65
3.1.8	SVM (Support vector machine)	82
4.	Conclusión.....	109
4.1	Introducción	109
4.2	Conclusiones	109
4.3	Trabajos futuros.....	110
	Bibliografía	112
5.	Anexos.....	116
5.1	Código análisis de vibraciones.....	116
5.2	Código de transformada de Fourier.....	117
5.3	Código de parámetros estadísticos	121
5.4	Código de K-nearest neighbor.....	130
5.5	Código de Random forest.....	131
5.6	Código de SVM.....	132

Lista de Figuras

Figura 1.1. Engranaje recto, cónico y helicoidal. [8]	4
Figura 1.2. Espectro de frecuencia. Fuente: [9].....	6
Figura 1.3. Coeficiente de curtosis. Fuente: [11]	7
Figura 1.4. Mapa conceptual machine learning. Fuente: Elaboración propia.	8
Figura 2.1. Engranaje recto. Fuente: [8].....	15
Figura 2.2. Engranaje helicoidal. Fuente: [8]	16
Figura 2.3. Engranaje cónico. Fuente:[8]	17
Figura 2.4. Backlash y holgura en engranajes. Fuente: [22].	19
Figura 2.5. Desgaste excesivo engranaje. Fuente: [23]	20
Figura 2.6. Desgaste abrasivo en engranaje. Fuente: [24].....	21
Figura 2.7. Desgaste corrosivo engranaje. Fuente: [24].....	21
Figura 2.8. Efectos del sentido de deslizamiento sobre un diente de un engranaje. Fuente: [25].	22
Figura 2.9. Fractura por picaduras. Fuente: [25].....	23
Figura 2.10. Desprendimiento de diente por sobretensión. Fuente: [25].	23
Figura 2.11. Puntuación asignación GPU Google Colab. Fuente: [28].....	26
Figura 2.12. Comparación GPU GTX 1080 vs Google colab. Fuente: [28].	26
Figura 2.13. Figuras de distintos estados del engranaje. Fuente: [30].	28
Figura 2.14. Preanálisis de datos. Fuente: Elaboración propia.....	29
Figura 2.15. Subcategorías de la extracción de datos. Elaboración propia	29
Figura 2.16. Comparación de 2 ensayos de vibraciones en estado normal. Fuente: Elaboración propia.....	31
Figura 2.17. Transformada de Fourier para estado sano 1. Fuente: Elaboración propia.....	31
Figura 2.18. Transformada de Fourier para estado sano 2. Fuente: Elaboración propia.....	31
Figura 2.19. Sensor de aceleración piezoeléctrico. Fuente: [32].....	33
Figura 2.20. Estado sano, dominio tiempo y frecuencia. Fuente: Elaboración propia.	33
Figura 2.21. Diente faltante, dominio tiempo y frecuencia. Fuente: Elaboración propia. ...	34

Figura 2.22. Diente roto, dominio tiempo y frecuencia. Fuente: Elaboración propia.	34
Figura 2.23. Diente picado, dominio tiempo y frecuencia. Fuente: Elaboración propia.	34
Figura 2.24. Diente astillado 1, dominio tiempo y frecuencia. Fuente: Elaboración propia.	35
Figura 2.25. Diente astillado 2, dominio tiempo y frecuencia. Fuente: Elaboración propia.	35
Figura 2.26. Diente astillado 3, dominio tiempo y frecuencia. Fuente: Elaboración propia.	35
Figura 2.27. Diente astillado 4, dominio tiempo y frecuencia. Fuente: Elaboración propia.	36
Figura 2.28. Diente astillado 5, dominio tiempo y frecuencia. Fuente: Elaboración propia.	36
Figura 2.29. Valor RMS engranajes. Fuente: Elaboración propia.	37
Figura 2.30. Valor Peak engranajes. Fuente: Elaboración propia.	38
Figura 2.31. Valor Peak to Peak engranajes. Fuente: Elaboración propia. Fuente: Elaboración propia.	39
Figura 2.32. Valor de la media aritmética engranajes. Fuente: Elaboración propia.	40
Figura 2.33. Varianza engranajes. Fuente: Elaboración propia.	41
Figura 2.34. Curtosis engranajes. Fuente: Elaboración propia.	42
Figura 2.35. Factor cresta engranajes. Fuente: Elaboración propia.	43
Figura 2.36. Asimetría engranajes. Fuente: Elaboración propia.	44
Figura 3.1. Mapa conceptual machine learning. Fuente: Elaboración propia.	47
Figura 3.2. Gráfico detección de anomalías. Fuente: [34].	49
Figura 3.3. Medición de la distancia entre el dato de testeo y las muestras. Fuente: Elaboración propia.	54
Figura 3.4. Estimación de K vecinos. Fuente: Elaboración propia.	54
Figura 3.5. Visualización del Algoritmo ball tree. Fuente: [37].	56
Figura 3.6. Árbol Kd tree. Fuente: [37].	57
Figura 3.7. Concepto distancia de manhattan. Fuente: [38].	58
Figura 3.8. Gráfico elección de K. Fuente: Elaboración propia.	61
Figura 3.9. Matriz de confusión. Fuente: Elaboración propia.	63
Figura 3.10. Esquema random forest. Fuente: Elaboración propia.	65
Figura 3.11. Validación de puntuación fuera de bolsa (OOB). Fuente: [40]	69
Figura 3.12. Factor del tiempo según el método de criterio. Fuente: [41].	74

Figura 3.13. Matriz de confusión. Árboles: 1000, método: Gini. Fuente: Elaboración propia.	76
Figura 3.14. Matriz de confusión. Árboles: 1000, método: Entropía. Fuente: Elaboración propia.	77
Figura 3.15. Matriz de confusión. Árboles: 100, método: Gini. Fuente: Elaboración propia.	79
Figura 3.16. Matriz de confusión. Árboles: 100, método: Entropía. Fuente: Elaboración propia.	80
Figura 3.17. Hiperplano 2 dimensiones. Fuente: Elaboración propia.	83
Figura 3.18. SVM: dos clases. Fuente: Elaboración propia.	84
Figura 3.19. Distintas representaciones de una línea de decisión. Fuente: Elaboración propia.	84
Figura 3.20. Estimación margen b_1 y b_2 . Fuente: Elaboración propia.	85
Figura 3.21. Vectores de soporte en el margen de línea de decisión. Fuente: Elaboración propia.	86
Figura 3.22. Planteamiento matemático. Fuente: Elaboración propia.	86
Figura 3.23. Clasificación lineal no perfecta. Fuente: Elaboración propia.	88
Figura 3.24. Errores de clasificación. Fuente: Elaboración propia.	88
Figura 3.25. Medición del error de las diferentes clases con respecto a la línea de decisión. Fuente: Elaboración propia.	89
Figura 3.26. Planteamiento no lineal. Fuente: Elaboración propia.	90
Figura 3.27. Transformación geométrica no lineal. Fuente: Elaboración propia.	91
Figura 3.28. SVM lineal en nuevo sistema de coordenadas. Fuente: Elaboración propia.	91
Figura 3.29. Línea de decisión aplicada el método geométrico inverso. Fuente: Elaboración propia.	92
Figura 3.30. Nueva línea de decisión. Fuente: Elaboración propia.	93
Figura 3.31. Comparación $break_ties = False$ y $break_ties = True$. Fuente:[43].	96
Figura 3.32. Comparación entre C y $gamma$. Fuente: [44].	99
Figura 3.33. Matriz de confusión. Datos predeterminados, con un $C=5$. Fuente: Elaboración propia.	101
Figura 3.34. Matriz de confusión. Datos predeterminados, con un $C=1000$. Fuente: Elaboración propia.	101

Figura 3.35. Matriz de confusión. Datos predeterminados, kernel lineal. Fuente: Elaboración propia.....	103
Figura 3.36. Matriz de confusión. Datos predeterminados, kernel polinomial. Fuente: Elaboración propia.....	104
Figura 3.37. Matriz de confusión. Datos predeterminados, kernel sigmoide. Fuente: Elaboración propia.....	105

Lista de Tablas

Tabla 2.1. Conjunto de datos Engranaje.....	28
Tabla 2.2. KPI por modo de falla, método K-vecinos. Fuente: Elaboración propia	62
Tabla 2.3. KPI por método de falla. Árboles: 1000 método: Gini. Fuente: Elaboración propia.....	76
Tabla 2.4. KPI por método de falla. Árboles: 1000 método: Entropía. Fuente: Elaboración propia.....	77
Tabla 2.5. KPI por método de falla. Árboles : 100 método: Gini. Fuente: Elaboración propia.....	79
Tabla 2.6. KPI por método de falla. Árboles : 100 método: Entropía. Fuente: Elaboración propia.....	80
Tabla 2.7. KPI por método de falla.	100
Tabla 2.8. KPI por método de falla.	102
Tabla 2.9. KPI por método de falla.	103
Tabla 2.10. KPI por método de falla.	104
Tabla 2.11. KPI por método de falla.	105