

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
RESUMEN.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvi
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	2
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.3. SOLUCIÓN PROPUESTA.....	3
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Alcances del proyecto.....	4
1.6. Metodologías y herramientas utilizadas.....	5
1.7. RESULTADOS ESPERADOS.....	9
1.8. Organización del documento.....	10
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	11
2.1. Energía eólicas como fuente de energía eléctrica.....	12
2.1.1. La energía eólica en la actualidad.....	12
2.1.2. La energía eólica en Chile.....	13
2.1.3. La generación del viento.....	15
2.1.3.1. Calentamiento solar desigual.....	15

2.1.3.2.	La fuerza de Coriolis	16
2.1.3.3.	Geografía local	17
2.2.	Las turbinas eólicas.	18
2.2.1.	Clasificación de las turbinas eólicas.....	19
2.2.1.1.	Turbinas eólicas de eje horizontal o eje vertical	19
2.2.1.2.	Capacidad de la turbina eólica.	21
2.2.1.3.	Turbinas eólicas de accionamiento directo o por engranajes	22
2.2.1.4.	Turbinas eólicas terrestres o marítimas.....	22
2.3.	Análisis de las turbinas eólicas.....	23
2.3.1.	Componentes de una turbina eólica.....	23
2.3.1.1.	Rotor eólico	23
2.3.1.2.	Góndola, Chasis o Nacelle	24
2.3.1.3.	Caja de velocidad o Gearbox	25
2.3.1.4.	Generador eléctrico	26
2.3.1.5.	Regulación y control de potencia y de velocidad.....	26
2.3.1.6.	Sistema de orientación del rotor.....	27
2.3.1.7.	Torre de sustentación	28
2.3.1.8.	Veleta y Anemómetro	28
2.3.1.9.	Freno mecánico	29
2.4.	Gestión del riesgo.	29
2.4.1.	Técnicas de evaluación del riesgo	30
2.4.1.1.	Árbol de falla o FTA	30
2.4.1.2.	Análisis de modos de falla y efectos AMEF.....	32
2.4.1.2.1.	Estructura del sistema.	33
2.4.2.	Cuantificación de los riesgos.....	33

2.4.2.1.	Número de prioridad del riesgo (NPR)	33
2.4.2.2.	Riesgo (R)	35
2.4.3.	El Mantenimiento.	35
2.4.3.1.	Qué es el mantenimiento.	35
2.4.4.	Tipos de mantenimiento.	36
2.4.4.1.	Mantenimiento Correctivo.	36
2.4.4.2.	Mantenimiento Preventivo.	37
2.4.4.3.	Mantenimiento Predictivo o Basado en la Condición.	37
2.4.4.4.	Mantenimiento Proactivo.	37
2.4.4.5.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)	37
2.5.	Monitoreo de condición.	38
2.5.1.	Monitoreo de condición en turbinas eólicas.	38
2.5.1.1.	Sensorización.	38
2.5.1.2.	Curva P-F	39
2.5.2.	Análisis de Vibraciones	40
2.5.3.	Análisis de Lubricantes	42
2.5.4.	Termografía	45
2.5.5.	Ultrasonido	45
2.5.6.	Radiografía	46
2.5.6.1.	Radiografía de Rayos X	46
2.5.6.2.	Radiografía Gamma	46
2.6.	Normativa Ambiental.	46
2.6.1.	Impacto ambiental.	47
CAPÍTULO 3. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN A LA PROBLEMÁTICA		48
3.1.	Análisis técnico del aerogenerador Vestas v100-2.0mw.	49

3.1.1.	Comportamiento del aerogenerador con el viento.....	49
3.1.2.	Componentes del aerogenerador.	51
3.1.2.1.	Componentes Mecánicos.....	51
3.1.2.1.1.	Rotor:	51
3.1.2.1.2.	Palas:	51
3.1.2.1.3.	Sistema Pitch:	52
3.1.2.1.4.	Transmisión:	53
3.1.2.1.5.	Sistema Yaw:	53
3.1.2.1.6.	Generador:	54
3.1.2.1.7.	Transformador:	55
3.1.2.1.8.	Torre:	55
3.2.	Análisis árbol de falla de los componentes Principales.....	56
3.2.1.	Torre y Cimentación.	58
3.3.	ANÁLISIS DE CRITICIDAD VESTAS V100-2MW.....	59
3.3.1.	Taxonomía Turbina Eólica.	59
3.3.2.	Cálculo de la criticidad.	60
3.4.	Desarrollo del FMECA.....	62
3.4.1.	Probabilidad de falla de la turbina eólica	63
3.4.2.	Severidad, Ocurrencia y Detectabilidad.	64
3.4.3.	Desarrollo matriz del FMECA	67
3.5.	Propuesta de mantenimiento para los subsistemas críticos	67
3.5.1.	Estrategia de mantenimiento seleccionada.	68
3.5.2.	Técnicas de monitorización.	70
3.5.3.	Desarrollo de propuesta de mantenimiento Sintomático.....	72
3.5.4.	Desarrollo de la propuesta de Sensorización	75

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	79
4.1. Definición	80
4.2. Las causas de fallo y su valor NPR para los subsistemas.....	80
4.2.1. Rotor	80
4.2.1.1. Palas	80
4.2.1.2. Pitch.....	82
4.2.1.2.1. Cilindros Hidráulicos.....	82
4.2.1.2.2. Válvula Proporcional.....	83
4.2.1.2.3. Controlador Electrónico.....	84
4.2.1.3. Buje.....	85
4.2.1.3.1. Buje-Eje Principal.....	85
4.2.1.3.2. Buje-Palas	86
4.3. Análisis de los Subsistemas con alta criticidad.....	87
4.3.1. Subsistema con alta criticidad	87
4.3.2. Análisis subsistemas con alta criticidad.....	88
CONCLUSIONES.....	92
REFERENCIAS	99
ANEXO 1: PARQUES EÓLICOS EN CHILE.....	118
ANEXO 2: PROPIEDADES	120
ANEXO 3: DESARROLLO ÁRBOLES DE FALLA	122
ANEXO 4: DESARROLLO FMECA.....	133
ANEXO 5: PROPUESTAS DE MANTENIMIENTOS PREDICTIVO.....	155
ANEXO 6: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	160
ANEXO 7: PROPUESTA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	189

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Instalación de energía eólicas en Estados Unidos año 2020. Fuente: GWEC. [8] .13	
Figura 2.2: Instalación de energía eólicas en América Latina año 2020. Fuente: GWEC. [8] .13	
Figura 2.3: Generación eléctrica de Chile en el mes de Marzo. Fuente: Coordinador eléctrico nacional [11].....	14
Figura 2.4: Circulación atmosférica ideal. Fuente: Wind power generation and wind turbine design. [12].....	16
Figura 2.5: Estructura capa límite. Fuente: Altura de la capa de mezcla. [13].....	18
Figura 2.6: Evolución de las turbinas eólicas. Fuente: Introduction to wind energy systems [14]	19
Figura 2.7: Turbina eólica de eje horizontal: Fuente: General Specification Vestas [15].....	20
Figura 2.8: Tipos de turbinas eólicas con eje vertical. Fuente: Wind power generation and wind turbine design. [12].....	21
Figura 2.9: Componentes principales de un Aerogenerador. Fuente: Vestas [16].....	23
Figura 2.10: Caja de velocidades de ejes Paralelos. Fuente: Wind energy explained [18]	25
Figura 2.11: Despiece de una caja de velocidades Planetario. Fuente: Wind energy explained [18]	25
Figura 2.12: Aerogenerador con sistema activo Pitch. Fuente: Ingeniería de la Energía Eólica [17]	27
Figura 2.13: Accionamiento sistema YAW. Fuente: Ingeniería de la Energía Eólica [17]	27
Figura 2.14: Torre de celosía (a) y Torre tubular (b). Fuente: Wind energy explained [18].....	28
Figura 2.15: Conjunto Veleta y Anemómetro. Fuente: Fuente de energía [19]	29
Figura 2.16:Ejemplo de un diagrama de árbol de fallas con sus partes principales. Fuente: Risk Assessment [25].....	31
Figura 2.17: Jerarquía del sistema. Fuente: Análisis de criticidad, efectos y modos de fallo (FMECA) [29]	33
Figura 2.18: Ejemplo de una matriz de criticidad. Fuente: Elaboración propia [29].	35
Figura 2.19: Tipos de mantenimientos. Fuente: Elaboración propia [31] [32].	36
Figura 2.20: Diagrama de la curva P-F. Fuente: Errores típicos en la interpretación de la curva P-F [44].....	39

Figura 2.21: Técnicas de monitorización aplicada a las turbinas eólicas. Fuente: Wind turbine condition [33]	40
Figura 2.22: Límites de vibración según norma ISO 10816-3. Fuente: Rodesprex [34]	42
Figura 3.1: Características técnicas del viento para los aerogeneradores de 2 MW. Fuente: Vestas [46].....	50
Figura 3.2: Velocidades del viento mensual y promedio. Fuente: Explorador Eólico Chile. [47]	50
Figura 3.3: Árbol de fallas de la Torre y la Cimentación. Fuente: Elaboración propia en el programa Edraw Max.	59
Figura 3.4: FMECA con los subsistemas más críticos. Fuente: Elaboración propia en Excel..	69
Figura 3.5: END y Análisis aplicados a los distintos componentes de la turbina eólica V100-2MW. Fuente Elaboración propia en Excel	71
Figura 3.6: Imagen en corte de la transmisión PEAB 4440. Fuente: Winergy [128].....	75
Figura 3.7: Transmisión PEAB 4440 con los distintos símbolos. Fuente: Winergy [128]	77
Figura 4.1: Parque eólicos operativos en Chile. Fuente: Generadoras y The wing power.....	118
Figura 4.2: Parque eólicos operativos en Chile. Fuente: Generadoras y The wing power.....	118
Figura 4.3: Próximos parque eólicos presentes en Chile. Fuente: Generadoras y The wing power.	119
Figura 4.4: Los 10 parque eólicos más grandes de Chile. Fuente: Ministerio de Energía.	119
Figura 4.5: Propiedades acústica de los materiales. Fuente: Manual de pruebas no destructivas (NDT) [39].....	121
Figura 4.6: Árbol de fallas del sistema Yaw. Elaboración propia en el programa Edraw Max.	123
Figura 4.7: Árbol de fallas del sistema del Rotor. Elaboración propia en el programa Edraw Max.....	124
Figura 4.8: Árbol de fallas del sistema de Palas. Elaboración propia en el programa Edraw Max.....	126
Figura 4.9: Árbol de fallas del sistema eléctrico y electrónico. Elaboración propia en el programa Edraw Max.	128
Figura 4.10: Árbol de fallas del tren de poder. Elaboración propia en programa Edraw Max.	132

Figura 4.11: Desarrollo FMECA parte 1. Fuente: Elaboración propia en Excel	135
Figura 4.12: Desarrollo FMECA parte 2. Fuente: Elaboración propia en Excel	136
Figura 4.13: Desarrollo FMECA parte 3. Fuente: Elaboración propia en Excel	137
Figura 4.14: Desarrollo FMECA parte 4. Fuente: Elaboración propia en Excel	138
Figura 4.15: Desarrollo FMECA parte 5. Fuente: Elaboración propia en Excel	139
Figura 4.16: Desarrollo FMECA parte 6. Fuente: Elaboración propia en Excel	140
Figura 4.17: Desarrollo FMECA parte 7. Fuente: Elaboración propia en Excel	141
Figura 4.18: Desarrollo FMECA parte 8. Fuente: Elaboración propia en Excel	142
Figura 4.19: Desarrollo FMECA parte 9. Fuente: Elaboración propia en Excel	143
Figura 4.20: Desarrollo FMECA parte 10. Fuente: Elaboración propia en Excel	144
Figura 4.21: Desarrollo FMECA parte 11. Fuente: Elaboración propia en Excel	145
Figura 4.22: Desarrollo FMECA parte 12. Fuente: Elaboración propia en Excel	146
Figura 4.23: Desarrollo FMECA parte 13. Fuente: Elaboración propia en Excel	147
Figura 4.24: Desarrollo FMECA parte 14. Fuente: Elaboración propia en Excel	148
Figura 4.25: Desarrollo FMECA parte 15. Fuente: Elaboración propia en Excel	149
Figura 4.26: Desarrollo FMECA parte 16. Fuente: Elaboración propia en Excel	150
Figura 4.27: Desarrollo FMECA parte 17. Fuente: Elaboración propia en Excel	151
Figura 4.28: Desarrollo FMECA parte 18. Fuente: Elaboración propia en Excel	152
Figura 4.29: Desarrollo FMECA parte 19. Fuente: Elaboración propia en Excel	153
Figura 4.30: Desarrollo FMECA parte 20. Fuente: Elaboración propia en Excel	154

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4-1: Causas de los fallos con su valor NPR para las Palas. Fuente: Elaboración propia	82
Gráfico 4-2: Causas de los fallos con su valor NPR para los cilindros hidráulicos. Fuente: Elaboración propia.....	83
Gráfico 4-3: Causas de los fallos con su valor NPR para la válvula proporcional. Fuente: Elaboración propia.....	84
Gráfico 4-4: Causas de los fallos con su valor NPR para el controlador electrónico. Fuente: Elaboración propia.....	85
Gráfico 4-5: Causas de los fallos con su valor NPR para el Buje-Eje principal. Fuente: Elaboración propia.....	86
Gráfico 4-6: Causas de los fallos con su valor NPR para el Buje - Palas . Fuente: Elaboración propia.....	87
Gráfico 4-7: Causas de los fallos para los subsistemas críticos. Fuente: elaboración propia....	90
Gráfico 4-8: Causas de los fallos con su valor NPR para el Rodamiento principal. Fuente: Elaboración propia.....	161
Gráfico 4-9: Causas de los fallos con su valor NPR para eje principal. Fuente: Elaboración propia.....	162
Gráfico 4-10: Causas de los fallos con su valor NPR para el Acoplamiento y Freno. Fuente: Elaboración propia.....	163
Gráfico 4-11: Causas de los fallos con su valor NPR para la Transmisión. Fuente: Elaboración propia.....	164
Gráfico 4-12: Causas de los fallos con su valor NPR para los Engranajes. Fuente: Elaboración propia.....	165
Gráfico 4-13: Causas de los fallos con su valor NPR para el sistema de lubricación. Fuente: Elaboración propia.....	166
Gráfico 4-14: Causas de los fallos con su valor NPR para el Eje de transmisión. Fuente: Elaboración propia.....	167
Gráfico 4-15: Causas de los fallos con su valor NPR para los Rodamientos. Fuente: Elaboración propia.....	168

Gráfico 4-16: Causas de los fallos con su valor NPR para el Anemómetro-Veleta. Fuente: Elaboración propia.....	170
Gráfico 4-17: Causas de los fallos con su valor NPR para el Anemómetro. Fuente: Elaboración propia.....	170
Gráfico 4-18: Causas de los fallos con su valor NPR para el Motor-Reductor. Fuente: Elaboración propia.....	172
Gráfico 4-19: Causas de los fallos con su valor NPR para el Aro dentado. Fuente: Elaboración propia.....	172
Gráfico 4-20: Causas de los fallos con su valor NPR para el Rodamiento Yaw. Fuente: Elaboración propia.....	173
Gráfico 4-21: Causas de los fallos con su valor NPR para el Freno. Fuente: Elaboración propia.....	174
Gráfico 4-22: Causas de los fallos con su valor NPR para la Estructura cilíndrica. Fuente: Elaboración propia.....	175
Gráfico 4-23: Causas de los fallos con su valor NPR para las Fijaciones y la loza de hormigón. Fuente: Elaboración propia.....	176
Gráfico 4-24: Causas de los fallos con su valor NPR para el Generador. Fuente: Elaboración propia.....	177
Gráfico 4-25: Causas de los fallos con su valor NPR para los Rodamientos. Fuente: Elaboración propia.....	178
Gráfico 4-26: Causas de los fallos con su valor NPR para Estator y Rotor. Fuente: Elaboración propia.....	180
Gráfico 4-27: Causas de los fallos con su valor NPR para el Convertidor. Fuente: Elaboración propia.....	181
Gráfico 4-28: Causas de los fallos con su valor NPR para el Transformador. Fuente: Elaboración propia.....	182
Gráfico 4-29: Causas de los fallos con su valor NPR para el Cuadro eléctrico de control y comunicación. Fuente: Elaboración propia.....	184
Gráfico 4-30: Causas de los fallos con su valor NPR para el Tanque, Tuberías y Válvulas. Fuente: Elaboración propia.....	185

Gráfico 4-31: Causas de los fallos con su valor NPR para la bomba hidráulica. Fuente:
Elaboración propia.....186

Gráfico 4-32: Causas de los fallos con su valor NPR para el Motor eléctrico. Fuente:
Elaboración propia.....188

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características técnicas del Rotor. Fuente: General Specification V100. [48]	51
Tabla 2: Características técnicas de las Palas. Fuente: General Specification V100. [48].....	52
Tabla 3: Características técnicas del sistema Pitch. Fuente: General Specification V100. [48]	52
Tabla 4: Características técnicas de la Transmisión. Fuente: General Specification V100. [48]	53
Tabla 5: Características técnicas del Sistema Yaw . Fuente: General Specification V100. [48]	54
Tabla 6: Características técnicas del Generador . Fuente: General Specification V100. [48] ..	54
Tabla 7: Características técnicas del Transformador . Fuente: General Specification V100. [48]	55
Tabla 8: Características técnicas de la Torre . Fuente: General Specification V100. [48].....	56
Tabla 9: Principales causas de los fallos en las turbinas eólicas. Fuentes: Failure Modes and Effects. [49]	56
Tabla 10: Principales modos de fallas en las turbinas eólicas: Fuente: Modes and Effects Analysis [49]	57
Tabla 11: Principales eventos en la Torre y Cimentación. Fuente: Elaboración propia	58
Tabla 12: Factores de frecuencia y consecuencia. Fuente elaboración propia [112] [114].....	60
Tabla 13: Matiz de criticidad. Fuente: Elaboración propia	61
Tabla 14: Cálculo de criticidad de subsistemas. Fuente: Elaboración propia [41] [71] [74] [116] [117].....	62
Tabla 15: Frecuencia de fallo y tiempo de inactividad para los distintos subsistemas. Fuente: Elaboración propia [71] [74]	63
Tabla 16: Escala de calificación para la severidad. Fuente: elaboración propia [73]	65
Tabla 17: Escala de calificación para la ocurrencia. Fuente: elaboración propia [73].....	65
Tabla 18: Escala de calificación para la detectabilidad. Fuente: elaboración propia [73]	66
Tabla 19: Clasificación valores de NPR. Fuente: Elaboración propia.	66
Tabla 20: Abreviaturas de los END y los Análisis. Fuente: Elaboración propia.	70

Tabla 21: Propuesta de mantenimiento sintomático-Transmisión. Fuente: Elaboración propia.	73
Tabla 22: Descripción de los componentes fundamentales de la transmisión. Fuente: Winergy [128]	76
Tabla 23: Descripción de los distintos símbolos usados en la transmisión. Fuente: Elaboración propia.....	77
Tabla 24: Modos y causas de los fallos en las Palas. Fuente: Elaboración propia con FMECA.	81
Tabla 25: Modos y causas de los fallos de los cilindros hidráulicos. Fuente: Elaboración propia con FMECA.....	83
Tabla 26: Modos y causas de los fallos de la válvula proporcional. Fuente: Elaboración propia con FMECA.....	84
Tabla 27: Modo y causas del fallo del controlador electrónico. Fuente: Elaboración propia con FMECA.	85
Tabla 28: Modo y causas del fallo en el Buje- Eje principal. Fuente: Elaboración propia con FMECA.	86
Tabla 29: Modo y causas del fallo en el Buje - Palas. Fuente: Elaboración propia con FMECA	86
Tabla 30: Comparación entre el análisis de criticidad y FMECA. Fuente: Elaboración propia	87
Tabla 31: Causas de los fallos de los subsistemas con mayor criticidad. Fuente: Elaboración propia con FMECA	89
Tabla 32: Propiedades de los lubricantes. Fuente: Lubrication Management [37]	120
Tabla 33: Requerimiento de sensores para el análisis de vibraciones. Fuente: [42]	120
Tabla 34: Principales eventos del sistema Yaw. Fuente: Elaboración propia	122
Tabla 35: Principales eventos del Rotor. Fuente: Elaboración propia	123
Tabla 36: Principales eventos en el sistema de Palas. Fuente: Elaboración propia.....	125
Tabla 37: Principales eventos en el sistema eléctrico. Fuente: Elaboración propia.....	127
Tabla 38: Principales eventos en el tren de poder. Fuente: Elaboración propia.....	129
Tabla 39: clasificación para la ocurrencia de una falla (O). Fuente: Elaboración propia [72]	133
Tabla 40: clasificación para la severidad de una falla (S). Fuente: Elaboración propia [72]..	133

Tabla 41: clasificación para la detectabilidad de una falla (D). Fuente: Elaboración propia [71]	134
Tabla 42: Propuesta de mantenimiento sintomático-Palas. Fuente: Elaboración propia.	155
Tabla 43: Propuesta de mantenimiento sintomático-Generador. Fuente: Elaboración propia	156
Tabla 44: Propuesta de mantenimiento sintomático-Transformador. Fuente: Elaboración propia	158
Tabla 45: Propuesta de mantenimiento sintomático-Torre. Fuente: Elaboración propia	159
Tabla 46: Modos y causas de los fallos en el Rodamiento principal. Fuente: Elaboración propia con FMECA	160
Tabla 47: Modos y causas de los fallos en el Eje principal. Fuente: Elaboración propia con FMECA	162
Tabla 48: Modos y causas de los fallos del Acoplamiento y del Freno. Fuente: Elaboración propia con FMECA	163
Tabla 49: Modo y causas de los fallos de la Transmisión. Fuente: Elaboración propia con FMECA	164
Tabla 50: Modo y causas de los fallos de los Engranajes. Fuente: Elaboración propia con FMECA	165
Tabla 51: Modo y causas de los fallos en la Lubricación. Fuente: Elaboración propia con FMECA	166
Tabla 52: Modos y causas de los fallos del Eje de transmisión. Fuente: Elaboración propia con FMECA	167
Tabla 53: Modo y causas de los fallos para los Rodamientos. Fuente: Elaboración propia con FMECA	168
Tabla 54: Modo y causas de los fallos para el Anemómetro y Veleta. Fuente: Elaboración propia con FMECA	169
Tabla 55: Modos y causas de los fallos del Anemómetro. Fuente: Elaboración propia con FMECA	170
Tabla 56: Modos y causas de los fallos del Motor-Reductor. Fuente: Elaboración propia con FMECA	171
Tabla 57: Modo y causas de los fallos para la Corona. Fuente: Elaboración propia con FMECA	172

Tabla 58: Modo y causas de los fallos para los Rodamientos Yaw. Fuente: Elaboración propia con FMECA.....	173
Tabla 59: Modo y causas de los fallos para el Freno. Fuente: Elaboración propia con FMECA	173
Tabla 60: Modos y causas de los fallos en la Estructura cilíndrica. Fuente: Elaboración propia con FMECA.....	175
Tabla 61: Modos y causas de los fallos en la Loza de hormigón y Fijaciones. Fuente: Elaboración propia con FMECA	176
Tabla 62: Modo y causas de los fallos en el Generador. Fuente: Elaboración propia con FMECA	177
Tabla 63: Modo y causas de los fallos en los Rodamientos. Fuente: Elaboración propia con FMECA	178
Tabla 64: Modos y causas de los fallos en el Rotor y Estator. Fuente: Elaboración propia con FMECA	179
Tabla 65: Modos y causas de los fallos del Convertidor. Fuente: Elaboración propia con FMECA	180
Tabla 66: Modos y causas de los fallos del Transformador. Fuente: Elaboración propia con FMECA	182
Tabla 67: Modos y causas de los fallos del Cuadro eléctrico, control y comunicación. Fuente: Elaboración propia con FMECA	183
Tabla 68: Modos y causas de los fallos del Tanque, Tuberías y Válvulas. Fuente: Elaboración propia con FMECA	185
Tabla 69: Modos y causas de los fallos de la Bomba hidráulica. Fuente: Elaboración propia con FMECA.....	186
Tabla 70: Modos y causas de los fallos del Motor eléctrico. Fuente: Elaboración propia con FMECA	187
Tabla 71: Propuesta de mantenimiento Predictivo. Fuente: Elaboración propia [134] [135] .	189