

# Tabla de Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos . . . . .	1
1.2. Alcances . . . . .	1
<b>2. Metodología</b>	<b>2</b>
2.1. Recopilaciones de Antecedentes . . . . .	2
2.2. Generación de Diagramas de Sistema . . . . .	2
2.3. Análisis FMEA/FMECA . . . . .	2
2.4. Análisis de Modos de Falla Críticos . . . . .	2
2.5. Experimentación Preliminar . . . . .	2
2.6. Análisis Preliminar . . . . .	2
2.7. Análisis de Mantenimiento Predictivo . . . . .	3
2.8. Experimentación Final . . . . .	3
2.9. Análisis Final y Gestión de Activos Físicos . . . . .	3
<b>3. Antecedentes</b>	<b>4</b>
3.1. Dense Plasma Focus . . . . .	4
3.2. Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN) . . . . .	5
3.3. Funcionamiento de Sistemas PF . . . . .	5
3.4. FMEA / FMECA . . . . .	6
3.5. Distribuciones de Tiempos de Falla . . . . .	7
<b>4. Funcionamiento PF-2J</b>	<b>10</b>
4.1. Antecedentes Específicos . . . . .	10
4.2. PF-2J . . . . .	10
4.3. Generación de Plasma . . . . .	14
<b>5. Experimentación Preliminar</b>	<b>17</b>
5.1. Introducción . . . . .	17
5.2. Montaje Experimental . . . . .	17
5.3. Resultados Preliminares . . . . .	19
5.3.1. Análisis FMECA . . . . .	19
5.3.2. Resultados Experimentales . . . . .	22
5.4. Análisis de Resultados Preliminares . . . . .	29
<b>6. Análisis de Correlación de Datos</b>	<b>32</b>
6.1. Estimación de N por Combinación Lineal . . . . .	32
6.2. Estimación de N Mediante Redes Neuronales . . . . .	35
<b>7. Análisis de Disponibilidad y Predicción de Dip</b>	<b>38</b>
7.1. Fenómeno de Dip . . . . .	38
7.2. Disponibilidad de PF . . . . .	39
7.3. Pre-tratamiento de Señales . . . . .	40
7.4. Clasificación Usando Neural Networks . . . . .	44

<b>8. Experimentación Final</b>	<b>47</b>
8.1. Montaje . . . . .	47
8.2. Resultados Finales . . . . .	48
8.2.1. Identificación de Dip Mediante NN . . . . .	48
8.2.2. Pronósticos de Disponibilidad . . . . .	49
<b>9. Análisis Final</b>	<b>55</b>
9.1. Análisis de Resultados . . . . .	55
9.2. Propuestas de Mantenimiento . . . . .	55
9.3. Discusión . . . . .	57
<b>10. Conclusiones</b>	<b>59</b>
<b>11. Bibliografía</b>	<b>60</b>
<b>12. Anexos</b>	<b>62</b>
A. Plano Conjunto de Equipo PF-2J . . . . .	62
B. Plano de Aislante de PF-2J . . . . .	63
C. Código Python para Ventana de Selección de Datos con 'Dip' . . . . .	64
D. Código Python para Feature Extraction de Perfiles Característicos . . . . .	72
E. Código Python para Limpieza de Datos Repetidos . . . . .	79
F. Código Python para Lectura y Pre-tratamiento de Datos . . . . .	82
G. Código Python para Entrenamiento Red Neuronal . . . . .	88
H. Código Python para Comparar Predicciones con Datos Pre-clasificados . . . . .	92
I. Código Python para Pronosticos de Disponibilidad y Predicciones de Falla . . . . .	95

## Índice de Figuras

3.1. Diagrama Equipo PF <sup>1</sup> . . . . .	4
3.2. Generación de Pinch en PF <sup>2</sup> . . . . .	5
3.3. Sistema Dense Plasma Focus <sup>3</sup> . . . . .	6
3.4. Distribución de Probabilidad de Fallas <sup>4</sup> . . . . .	7
3.5. Tasa de Falla <sup>5</sup> . . . . .	8
4.1. Dense Plasma Focus 2J <sup>6</sup> . . . . .	10
4.2. Dibujo Isométrico PF-2J <sup>7</sup> . . . . .	11
4.3. Dibujo de Conjunto PF-2J <sup>7</sup> . . . . .	11
4.4. Dibujo en Corte de PF-2J <sup>7</sup> . . . . .	12
4.5. Detalle de Interior Cámara de Descarga <sup>7</sup> . . . . .	13
4.6. Fenómeno de z-pinch en PF <sup>9</sup> . . . . .	14
4.7. Diagrama de Bloques de PF 2J <sup>10</sup> . . . . .	15
5.1. Diagrama del Montaje Experimental <sup>11</sup> . . . . .	17
5.2. Montaje Experimental <sup>12</sup> . . . . .	18
5.3. Computador y Osciloscopio Contenidos en Jaula de Faraday <sup>12</sup> . . . . .	18
5.4. Matriz de Criticidad para PF-2J <sup>18</sup> . . . . .	21
5.5. Señales Características: Derivada de corriente (superior) y Voltaje (inferior), en función del tiempo <sup>20</sup> . . . . .	22

5.6. Señales Características con 'Dip': Derivada de corriente (superior) y Voltaje (inferior), en función del tiempo <sup>21</sup>	23
5.7. GUI Desarrollada para Identificar 'Dip' <sup>22</sup>	24
5.8. Distribución Estadística del Dip (cada barra corresponde a 200 disparos) <sup>23</sup>	24
5.9. Peak Picking <sup>24</sup>	26
5.10. Kurtosis y Crest Indictor en función de numero de disparos <sup>25</sup>	27
5.11. Shape Indicator y Clearance Indicator en función de numero de disparos <sup>25</sup>	27
5.12. Máximos y Mínimos globales en función de numero de disparos <sup>25</sup>	28
5.13. Amortiguamiento y Entropía de Shannon en función de numero de disparos <sup>25</sup>	28
6.1. Estimaciones de $N$ Mediante Combinación Lineal de Parámetros <sup>28</sup>	34
6.2. Diagrama de Red Neuronal Implementada <sup>29</sup>	35
6.3. Sigmoide <sup>30</sup>	36
6.4. Ejemplo de Backpropagation <sup>31</sup>	37
6.5. Estimaciones de $N$ Mediante Red Neuronal <sup>32</sup>	37
7.1. Instancias de Dip Acopladas <sup>33</sup>	39
7.2. Instancia de Dip Leve <sup>33</sup>	39
7.3. Multiplicación de Densidades de Probabilidad Normales <sup>34</sup>	41
7.4. Señales Características Pre-tratadas sin Insancia de Dip <sup>35</sup>	42
7.5. Señales Características Pre-tratadas con Instancia de Dip <sup>35</sup>	42
7.6. Resta de Señales con Curva $S(t)$ <sup>36</sup>	43
7.7. Resta de Señales con Curva Filtrada <sup>37</sup>	44
7.8. Red Neuronal para Clasificación de Dip <sup>38</sup>	45
7.9. Comparación de Identificación de Dip en Datos Finales <sup>39</sup>	46
8.1. Montaje Experimental Final <sup>40</sup>	47
8.2. Error de Última capa de NN <sup>41</sup>	48
8.3. Comparación de Identificación de Dip en Datos Finales <sup>42</sup>	49
8.4. Pronosticos de Disponibilidad de Datos Preliminares (1) <sup>43</sup>	50
8.5. Pronosticos de Disponibilidad de Datos Preliminares (2) <sup>43</sup>	51
8.6. Pronosticos de Disponibilidad de Datos Finales (1) <sup>44</sup>	52
8.7. Pronosticos de Disponibilidad de Datos Finales (2) <sup>44</sup>	53
8.8. Predicciones de Momento de Falla de Datos Preliminares <sup>45</sup>	54
8.9. Predicciones de Momento de Falla de Datos Finales <sup>46</sup>	54
9.1. Sistema de Mantenimiento Predictivo Asistido <sup>47</sup>	56
9.2. Sistema de Mantenimiento Predictivo Automático <sup>48</sup>	57

## Índice de Tablas

4.1. Detalle de Elementos PF-2J <sup>8</sup>	12
5.1. Tabla de Valores de Severidad de Falla <sup>13</sup>	19
5.2. Tabla de Valores de Probabilidad de Falla <sup>14</sup>	19
5.3. Tabla de Valores de Detectabilidad de Falla <sup>15</sup>	20
5.4. Tabla de Análisis FMECA PF-2J <sup>16</sup>	20
5.5. Tabla 2 de Análisis FMECA PF-2J <sup>17</sup>	21
5.6. Elementos Críticos PF-2J <sup>19</sup>	22
5.7. Variación de Parámetros Durante la Vida del Equipo <sup>26</sup>	30
5.8. Cambio Porcentual de Parámetros <sup>27</sup>	31