

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN – REY BALDUINO DE BÉLGICA**

**PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA CONFORMADORA DE
TUBOS EN INDAMA LMTDA**

Trabajo de Titulación para optar al Título de
Ingeniero en Mantenimiento Industrial.

Alumno:
Rosales Laguado Leonard Isrrael

Profesor Guía:
Larson Muñoz Guillermo Felipe

2024

Dedicatoria: Dedicado a Alejo, Valen y Esleiverth.

Soy un padre orgulloso.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por sobre todas las cosas, sin él nada es posible. Estoy profundamente agradecido con mis padres e hijos por su apoyo y por comprender el proceso que estoy viviendo. Especialmente quiero agradecerle a ti, querida Andrea, por acompañarme en todo este camino y por ser mi refugio.

A mis compañeros de trabajo y de estudio, quienes han compartido conmigo experiencias que me han enriquecido como persona, tanto en lo profesional como en lo académico. No quiero dejar de expresar mi gratitud a mis profesores, quienes, con su pedagogía y vasta experiencia, han formado una nueva generación de profesionales comprometidos y dispuestos.

Por último, quiero agradecer a ustedes, pueblo chileno, que me abrieron las puertas y me aceptaron como uno más de los suyos. Espero, en un futuro cercano, poder llamarlos compatriotas.

RESUMEN

El presente trabajo está enfocado en proponer un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM a una máquina conformadora de tubos de la empresa INDAMA Limitada, utilizando como criterio las normas SAE JA1011 y SAE JA1012. En primera instancia se recopilan los datos registrados en el software de mantenimiento de los tiempos de inactividad por fallos funcionales para calcular los indicadores MTBF, MTTR y la disponibilidad. Con esta información utilizamos las metodologías de Pareto y Jackknife para focalizar el epicentro de las averías y priorizar las actividades que se definirán en el plan de mantenimiento.

Posteriormente se delimitó el contexto operacional y las funciones de los distintos componentes del activo, para luego determinar los modos de fallos. Posterior a ello se definen las causas de las averías, así como sus consecuencias para finalmente determinar las acciones destinadas a evitarlas.

En base a esta información se elabora la propuesta de actividades que conformarán el plan de mantenimiento, evaluando los recursos necesarios para su ejecución en términos de horas hombres, repuestos e insumos.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
OBJETIVO GENERAL:	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	3
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO	7
1.1.1 Indama.....	7
1.1.2 Proceso productivo general	7
1.1.3 Proceso de conformado de perfiles cerrados	8
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	9
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	10
1.4 BENEFICIOS DEL PROYECTO.....	10
1.4.1 Beneficios a nivel operativo	11
1.4.2 Beneficios a nivel económico	11
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	13
2.1 MANTENIMIENTO	15
2.1.1 Definición.....	15
2.1.2 Tipos	15
2.1.3 Curva de Davies	16
2.1.4 Conceptos asociados al mantenimiento	18
2.2 HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS Y CUANTIFICACIÓN DE FALLOS.....	20
2.2.1 Diagrama de Pareto	20
2.2.2 Diagrama de Ishikawa	21
2.2.3 Diagrama de Jackknife.....	21
2.2.4 Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF)	22
2.2.5 Estimación de parámetros probabilísticos	23
2.3 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM).....	24
2.3.1 Definición.....	24
2.3.2 Metodología	25
CAPÍTULO III: PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM	29

3.1 RECOPIACIÓN DE DATOS.....	31
3.1.1 Cálculo MTBF, MTTR y disponibilidad	31
3.1.2 Diagrama de Pareto Conformadora TB2	35
3.1.3 Diagrama de Jackknife de conformadora TB2	37
3.1.4 Cálculo de confiabilidad y probabilidad de falla.....	38
3.2 ANÁLISIS FUNCIONAL.....	41
3.2.1 Análisis Funcional del devanador.....	42
3.2.2 Análisis funcional del carro de empalme.....	43
3.2.3 Análisis funcional del acumulador.....	45
3.2.4 Análisis funcional de formación	46
3.2.5 Análisis funcional del soldador	48
3.2.6 Análisis funcional de calibración	50
3.2.7 Análisis funcional del sistema de corte	51
3.2.8 Análisis funcional de mesa de salida	53
3.2.9 Análisis funcional de sistema de refrigeración	54
3-3 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLOS	56
3.3.1 Definiciones	56
3.3.2 Análisis de modo y efecto de fallas del devanador	58
3.3.3 Análisis de modo y efecto de fallas del carro de empalme	59
3.3.4 Análisis de modo y efecto de fallas del acumulador	61
3.3.5 Análisis de modo y efecto de fallas de formación.....	62
3.3.6 Análisis de modo y efecto de fallas del soldador	63
3.3.7 Análisis de modo y efecto de fallas de calibración.....	64
3.3.8 Análisis de modo y efecto de fallas de sistema de corte	65
3.3.9 Análisis de modo y efecto de fallas de mesa de salida.....	66
3.3.10 Análisis de modo y efecto de fallas del sistema de refrigeración	67
3.4 PLAN DE MANTENIMIENTO	68
3.4.1 Generalidades	68
3.4.2 Actividades de frecuencia diaria	69
3.4.3 Actividades de frecuencia semanal	70
3.4.4 Actividades de frecuencia quincenal	70
3.4.5 Actividades de frecuencia mensual	71
3.4.6 Actividades de frecuencia trimestral	73

3.4.7 Actividades de frecuencia semestral	75
3.4.8 Actividades de frecuencia anual	77
3.4.9 Actividades sin frecuencia definida	78
CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	81
4.1 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO TB2	83
4.2 COSTO DE PLAN DE MANTENIMIENTO RCM PROPUESTO	84
CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES	88
BIBLIOGRAFIA.....	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	Diagrama de procesos Indama	5
Figura 1-2	Tubo Redondo	6
Figura 1-3	Tubo Cuadrado	7
Figura 1-4	Tubo Rectangular	7
Figura 2-1	Curva de Davies	13
Figura 2-2	Diagrama de Pareto	16
Figura 2-3	Diagrama de Ishikawa	17
Figura 2-4	Diagrama de Jackknife	18
Figura 2-5	Hoja Típica de AMEF	19
Figura 2-6	Comparación distribución normal, exponencial y Weibull	20
Figura 2-7	Proceso de RCM	21
Figura 3-1	Diagrama de Pareto por cantidad de fallas	30
Figura 3-2	Diagrama de Pareto por horas de detención	31
Figura 3-3	Diagrama de Jackknife TB2	31
Figura 3-4	Distribución de fallos para evaluación de confiabilidad	34
Figura 3-5	Devanador	37
Figura 3-6	Carro de empalme	38
Figura 3-7	Acumulador de flejes	40
Figura 3-8	Bancada de formación	42
Figura 3-9	Soldador	43
Figura 3-10	Bancada de calibración	45
Figura 3-11	Sistema de corte	47
Figura 3-12	Mesa de salida	48
Figura 3-13	Tina de enfriamiento	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Cálculo MTBF, MTTR y disponibilidad del 2023	25
Tabla 2	Cálculo MTBF, MTTR y disponibilidad del 2024	28
Tabla 3	Probabilidad de fallo del devanador	33
Tabla 4	Probabilidad de fallo del carro de empalme	33
Tabla 5	Probabilidad de fallo del acumulador	34
Tabla 6	Niveles de severidad	51
Tabla 7	Clasificación de niveles de ocurrencia	51
Tabla 8	Clasificación de niveles de detección	52
Tabla 9	AMEF de devanador	53
Tabla 10	AMEF de empalmador	54
Tabla 11	AMEF de acumulador	55
Tabla 12	AMEF de bancada de formación	56
Tabla 13	AMEF de bancada de soldador	57
Tabla 14	AMEF de bancada de calibración	59
Tabla 15	AMEF de sistema de corte	60
Tabla 16	AMEF de mesa de salida	61
Tabla 17	AMEF de sistema de refrigeración	62
Tabla 18	Actividades de frecuencia diaria	63
Tabla 19	Actividades de frecuencia semanal	64
Tabla 20	Actividades de frecuencia quincenal	65
Tabla 21	Actividades de frecuencia mensual	66
Tabla 22	Actividades de frecuencia trimestral	67
Tabla 23	Actividades de frecuencia semestral	69
Tabla 24	Actividades de frecuencia anual	71
Tabla 25	Actividades sin frecuencia definida	73
Tabla 26	Presupuesto de mantenimiento 2024 para TB2	75
Tabla 27	Gastos en servicios externos 2024	75
Tabla 28	Descripción de servicios externos 2024	76
Tabla 29	Comparación de plan de mantenimiento y presupuesto 2024	76
Tabla 30	Repuestos e insumos para ejecución de actividades	77
Tabla 31	Servicios contemplados en plan RCM	79
Tabla 32	Costo de personal de mantenimiento	79

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

°C	:	Grados Celsius.
A	:	Amperios.
AC	:	Alternating Current (Corriente alterna).
ASTM	:	Sociedad estadounidense para prueba de materiales.
AMEF	:	Análisis de Modos y Efecto de Fallas.
DC	:	Direct Current (Corriente continua).
FRL	:	Filtro, regulador y lubricador.
KPI	:	Key Performance Indicator (Indicador Clave de Desempeño).
HF	:	High Frequency (Alta frecuencia).
Hz	:	Hertz.
HSS	:	High Speed Steel (Acero Rapido).
ISO	:	Internacional Organization for Standardization.
m	:	Metros.
mm	:	Milímetros.
m/m	:	Metros por minutos.
MTBF	:	Mean Time Between Failures (Tiempo medio Entre Fallas).
MTTF	:	Mean Time To Failure (Tiempo Medio Para Fallar).
MTTR	:	Mean Time to Repair (Tiempo Medio Para Reparación).
MyH	:	Máquinas y herramientas.
Nm	:	Newton metro.
PTFE	:	Politetrafluoroetileno (Teflón).
PSI	:	Pound per Square Inch (Libra por Pulgada al Cuadrado).
PM	:	Mantenimiento Preventivo.
PdM	:	Mantenimiento Predictivo.
Kg	:	Kilogramos.
OT	:	Orden de Trabajo.
Q	:	Caudal.
RCM	:	Reliability Centered Maintenance.
SAE	:	Society of Automotive Engineers.
TPM	:	Total Productive Maintenance (Mantenimiento Productivo Total)
V	:	Voltaje.
VDF	:	Variable Frequency Drive (Variador de Frecuencia).

INTRODUCCIÓN

Lo que se denomina primera generación del mantenimiento cubre el periodo desde el inicio de la revolución industrial hasta la primera guerra mundial. En estos días la industria no estaba altamente mecanizada, por lo que el tiempo de paro de máquina no era de mayor importancia. Esto significaba que la prevención de fallas en los equipos no era una prioridad para la mayoría de los gerentes. A su vez, la mayoría de los equipos eran simples, y una gran cantidad estaba sobredimensionada. Esto hacía que fueran fiables y fáciles de reparar. Como resultado no había necesidad de un mantenimiento sistematizado más allá de limpieza y lubricación, y por ello la base del mantenimiento era puramente correctiva (García, 2009).

Esta situación se mantuvo hasta la década de 1930, cuando, en función de la segunda guerra mundial y la necesidad de aumentar la rapidez de producción, la alta administración pasó a preocuparse, no solamente de corregir fallas sino también de evitar que las mismas ocurriesen, razón por lo cual el personal técnico de mantenimiento pasó a desarrollar el proceso de prevención de averías que, juntamente con la corrección, completaban el cuadro general de mantenimiento, formando una estructura tan importante como la operación (Tavares, 2002).

La difusión de las computadoras centrales, la creación de organizaciones de profesionales del mantenimiento y la sofisticación de los instrumentos de medición y protección, permitieron el desarrollo de técnicas de previsión o predicción de fallas a fin de optimizar el desempeño de los ejecutantes de mantenimiento. Estas técnicas conocidas como mantenimiento predictivo, fueron asociadas a métodos de planificación y control automatizados, reduciendo las tareas burocráticas de los ejecutantes (Jiménez, Milano, 2005).

Es así como la confiabilidad pasa a ser una disciplina clave en los procesos de mantenimiento, donde se aplican conceptos extremadamente útiles y simples, conceptos que permitieron que algunos autores hablen hoy de mantenimiento centrado en confiabilidad (Mesa, Ortiz, Pinzón, 2006).

Las industrias japonesas, después de la segunda guerra mundial, determinan que para competir ferozmente en el mercado internacional deben mejorar la calidad de sus productos. De esta forma se importan del continente americano técnicas de manufactura y de administración, las cuales adoptan rápidamente a sus sistemas industriales. Entre los conceptos importados se encuentra el mantenimiento preventivo, al que posteriormente le incorporan otros conceptos, como

mantenimiento productivo, prevención del mantenimiento, ingeniería de confiabilidad, etc. Con lo cual modifican en forma radical el ambiente industrial japonés para conformar lo que se conoce como TPM (Mora, 2009).

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Elaborar un plan de mantenimiento basado en RCM para máquina conformadora de tubos en la empresa INDAMA Limitada, con el objetivo de aumentar la disponibilidad y disminuir los costos de mantenimiento.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Utilizar herramientas de diagnóstico y evaluación para analizar el funcionamiento del activo e identificar sus componentes críticos.
- Aplicar los principios del mantenimiento centrado en confiabilidad para clasificar las funciones del activo y establecer estrategias de mantenimiento más adecuadas para componente.
- Elaborar un plan de mantenimiento optimizado en base a los resultados del análisis de fiabilidad y ciclo de vida de los componentes.
- Evaluar los recursos necesarios para implementar el plan de mantenimiento propuesto.

CAPÍTULO I:
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO.

1.1.1 Indama

Industrias de acero manufacturado es una empresa dedicada al rubro de la manufactura de perfiles, tubulares y galvanizados de acero, asentada en Chiguayante en la XIII región. Nace en el año como 1964 con el nombre de Pinturas y Materiales Luengo S.A cambiando el nombre a Industria de Acero Manquimávida Ltda. en el año de 1971. La situación económica de la década complicó el desempeño de la empresa y fue liquidada en el año de 1986 donde paso a manos del grupo Garibaldi, tomando el nombre que con el que se conoce en la actualidad.

Desde entonces, Indama comienza un proceso de inversiones y crecimiento al amparo de este grupo que hoy en día tuene presencia en Estados Unidos, México y Perú, además de cuatro empresas productivas en nuestro país, una de ellas Indama. (Boletín Indama, 2024).

1.1.2 Proceso productivo general

El proceso productivo de la empresa inicia con la recepción de bobinas de acero, las cuales son etiquetadas y almacenadas para su posterior uso según requerimiento. La siguiente parte del proceso es el corte de la bobina en varios rollos de menor anchura denominadas flejes para alimentar los procesos de fabricación. Los flejes son acopiados para ir retirando según las necesidades de producción.

Por medio de puentes grúas los flejes son trasladados a las conformadoras de tubos o conformadoras de perfiles (denominadas tuberías o perfiladoras) donde se procesan dichos flejes para transformarlos en perfiles abiertos o cerrados. Finalmente, el producto terminado es embalado y trasladado en los puentes grúas a las zonas de acopio, donde serán enviados a los clientes según las necesidades de despacho.

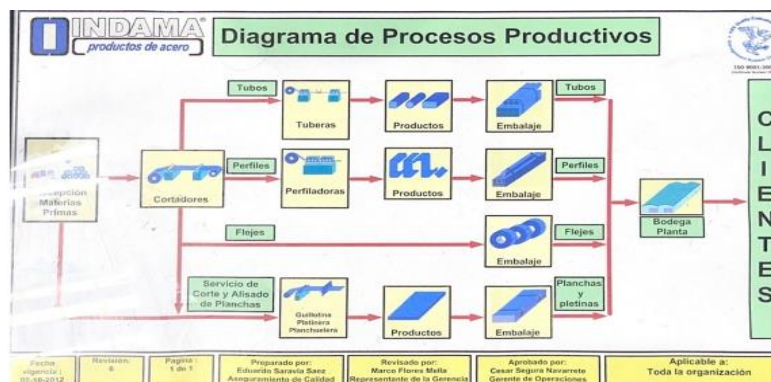


Ilustración 1-1 Diagrama de procesos de Indama. Fuente: Indama.

1.1.3 Proceso de conformado de perfiles cerrados

El proceso de conformado de tubos inicia con el montaje de flejes en un componente llamado devanador, donde el fleje es desenrollado por tracción mecánica desde otro componente llamado acumulador, por medio de movimiento rotacional. Éste último componente del activo es muy importante, pues permite acopiar la chapa metálica (varios flejes desenrollados) y alimentar de forma continua el proceso. Para unir la chapa metálica de dos flejes continuos, existe entre el devanador y el acumulador un componente llamado carro de empalme, el cuál utiliza tecnología TIG para soldar los extremos.

La chapa metálica es traccionada continuamente desde el acumulador por el sistema motriz de dos componentes llamados formación y calibración. En el proceso de formación la chapa metálica es deformada progresivamente conforme es forzada a pasar en rodillos matriceros. La chapa metálica toma forma de perfil y pasa a un componente llamado soldador, que sella los vértices del perfil por medio de tecnología de alta frecuencia y por la compresión mecánica de los bordes. En la bancada de calibración culmina la conformación del perfil cerrado (tubo), donde el perfil obtiene las medidas y tolerancias finales.

El tubo ya conformado pasa al sistema de corte donde se secciona el perfil a la longitud requerida. La cortadura se realiza por medio del método de corte en vuelo para mantener continuo el proceso. El perfil ya seccionado se evacúa en la mesa de salida, donde se desvían hacia los flancos de este componente para ser acopiado y embalado de forma manual.

El proceso genera calor, el cuál si no es evacuado correctamente, ocasiona tensiones en el perfil que dañan su geometría. Para resolver este problema existe un sistema de refrigeración que recircula un refrigerante soluble para disminuir la fricción, lavar la matricería y enfriar el tubo.


TUBOS REDONDOS		TUBOS ESTÁNDAR							
Esquema Lineal		Espesor				Peso			
Largo Estándar		A		B		C		D	
Otros Largos		A pedido		A pedido		A pedido		A pedido	
Dimensiones(mm)		Desde 3/4x1,5		hasta 21,2x3,0		Desde 3/4x1,5		hasta 21,2x3,0	
2 1/2	305	1,5	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
3	381	2	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14
4	508	2,5	1,52	1,52	1,52	1,52	1,52	1,52	1,52
5	635	3	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90
6	762	3,5	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28
8	1016	4,5	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03
10	1270	5,5	3,78	3,78	3,78	3,78	3,78	3,78	3,78
12	1524	6,5	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53
14	1778	7,5	5,28	5,28	5,28	5,28	5,28	5,28	5,28
16	2032	8,5	6,03	6,03	6,03	6,03	6,03	6,03	6,03
18	2286	9,5	6,78	6,78	6,78	6,78	6,78	6,78	6,78
20	2540	10,5	7,53	7,53	7,53	7,53	7,53	7,53	7,53
22	2794	11,5	8,28	8,28	8,28	8,28	8,28	8,28	8,28
24	3048	12,5	9,03	9,03	9,03	9,03	9,03	9,03	9,03
26	3302	13,5	9,78	9,78	9,78	9,78	9,78	9,78	9,78
28	3556	14,5	10,53	10,53	10,53	10,53	10,53	10,53	10,53
30	3810	15,5	11,28	11,28	11,28	11,28	11,28	11,28	11,28
32	4064	16,5	12,03	12,03	12,03	12,03	12,03	12,03	12,03
34	4318	17,5	12,78	12,78	12,78	12,78	12,78	12,78	12,78
36	4572	18,5	13,53	13,53	13,53	13,53	13,53	13,53	13,53
38	4826	19,5	14,28	14,28	14,28	14,28	14,28	14,28	14,28
40	5080	20,5	15,03	15,03	15,03	15,03	15,03	15,03	15,03
42	5334	21,5	15,78	15,78	15,78	15,78	15,78	15,78	15,78
44	5588	22,5	16,53	16,53	16,53	16,53	16,53	16,53	16,53
46	5842	23,5	17,28	17,28	17,28	17,28	17,28	17,28	17,28
48	6096	24,5	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03
50	6350	25,5	18,78	18,78	18,78	18,78	18,78	18,78	18,78
52	6604	26,5	19,53	19,53	19,53	19,53	19,53	19,53	19,53
54	6858	27,5	20,28	20,28	20,28	20,28	20,28	20,28	20,28
56	7112	28,5	21,03	21,03	21,03	21,03	21,03	21,03	21,03
58	7366	29,5	21,78	21,78	21,78	21,78	21,78	21,78	21,78
60	7620	30,5	22,53	22,53	22,53	22,53	22,53	22,53	22,53
62	7874	31,5	23,28	23,28	23,28	23,28	23,28	23,28	23,28
64	8128	32,5	24,03	24,03	24,03	24,03	24,03	24,03	24,03
66	8382	33,5	24,78	24,78	24,78	24,78	24,78	24,78	24,78
68	8636	34,5	25,53	25,53	25,53	25,53	25,53	25,53	25,53
70	8890	35,5	26,28	26,28	26,28	26,28	26,28	26,28	26,28
72	9144	36,5	27,03	27,03	27,03	27,03	27,03	27,03	27,03
74	9398	37,5	27,78	27,78	27,78	27,78	27,78	27,78	27,78
76	9652	38,5	28,53	28,53	28,53	28,53	28,53	28,53	28,53
78	9906	39,5	29,28	29,28	29,28	29,28	29,28	29,28	29,28
80	10160	40,5	30,03	30,03	30,03	30,03	30,03	30,03	30,03
82	10414	41,5	30,78	30,78	30,78	30,78	30,78	30,78	30,78
84	10668	42,5	31,53	31,53	31,53	31,53	31,53	31,53	31,53
86	10922	43,5	32,28	32,28	32,28	32,28	32,28	32,28	32,28
88	11176	44,5	33,03	33,03	33,03	33,03	33,03	33,03	33,03
90	11430	45,5	33,78	33,78	33,78	33,78	33,78	33,78	33,78
92	11684	46,5	34,53	34,53	34,53	34,53	34,53	34,53	34,53
94	11938	47,5	35,28	35,28	35,28	35,28	35,28	35,28	35,28
96	12192	48,5	36,03	36,03	36,03	36,03	36,03	36,03	36,03
98	12446	49,5	36,78	36,78	36,78	36,78	36,78	36,78	36,78
100	12700	50,5	37,53	37,53	37,53	37,53	37,53	37,53	37,53

Ilustración 1-2 Tubos Redondos. Fuente: Indama.

TUBOS CUADRADOS		TUBOS CUADRADOS INDAMA																																																																																																																																																																																																																																															
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Dimensiones</th> <th colspan="2">Peso</th> <th colspan="4">Propiedades</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>F</th> <th>Area A</th> <th>I</th> <th>J</th> <th>K</th> <th>T</th> </tr> <tr> <th>mm</th> <th>mm</th> <th>mm</th> <th>mm²</th> <th>mm⁴</th> <th>mm</th> <th>mm</th> <th>mm</th> </tr> </thead> <tr><td>10</td><td>1.0</td><td>0.59</td><td>0.75</td><td>0.02</td><td>0.29</td><td>0.24</td><td>0.04</td></tr> <tr><td>20</td><td>1.8</td><td>0.83</td><td>1.26</td><td>0.06</td><td>0.56</td><td>0.46</td><td>0.14</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td>1.05</td><td>1.34</td><td>0.09</td><td>0.89</td><td>0.75</td><td>0.25</td></tr> <tr><td>25</td><td>1.8</td><td>1.08</td><td>1.58</td><td>0.10</td><td>1.23</td><td>0.97</td><td>0.35</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td>1.36</td><td>1.74</td><td>0.14</td><td>1.65</td><td>1.32</td><td>0.45</td></tr> <tr><td>30</td><td>1.8</td><td>1.1</td><td>1.85</td><td>0.13</td><td>1.66</td><td>1.35</td><td>0.45</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td>1.69</td><td>2.14</td><td>0.20</td><td>2.07</td><td>1.61</td><td>0.55</td></tr> <tr><td>40</td><td>1.8</td><td>1.17</td><td>2.05</td><td>0.19</td><td>2.39</td><td>1.76</td><td>0.65</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td>2.21</td><td>2.94</td><td>0.30</td><td>3.07</td><td>2.37</td><td>0.85</td></tr> <tr><td>50</td><td>2</td><td>1.27</td><td>2.71</td><td>0.34</td><td>3.64</td><td>2.84</td><td>1.05</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td>2.24</td><td>3.29</td><td>0.50</td><td>4.42</td><td>3.42</td><td>1.30</td></tr> <tr><td>60</td><td>2</td><td>2.05</td><td>3.74</td><td>0.45</td><td>4.15</td><td>3.46</td><td>1.04</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td>4.25</td><td>6.41</td><td>1.04</td><td>7.96</td><td>6.18</td><td>2.19</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td>6.45</td><td>9.95</td><td>2.03</td><td>11.44</td><td>8.84</td><td>3.50</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>80</td><td>2</td><td>2.71</td><td>5.10</td><td>0.69</td><td>5.21</td><td>4.01</td><td>1.43</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td>3.59</td><td>6.52</td><td>1.10</td><td>6.21</td><td>4.85</td><td>1.80</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td>6.16</td><td>9.91</td><td>2.59</td><td>11.21</td><td>8.21</td><td>3.21</td></tr> <tr><td>75</td><td>2</td><td>4.8</td><td>6.74</td><td>0.88</td><td>6.88</td><td>5.38</td><td>2.07</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td>6.6</td><td>8.91</td><td>1.15</td><td>7.91</td><td>6.11</td><td>2.50</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td>8.79</td><td>10.9</td><td>1.65</td><td>9.21</td><td>7.11</td><td>2.87</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td>10.49</td><td>13.28</td><td>2.15</td><td>10.51</td><td>8.11</td><td>3.25</td></tr> <tr><td>100</td><td>2</td><td>6.67</td><td>11.74</td><td>1.55</td><td>10.59</td><td>8.19</td><td>3.00</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td>8.86</td><td>17.41</td><td>3.18</td><td>15.41</td><td>11.41</td><td>4.04</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td>11.7</td><td>24.6</td><td>5.69</td><td>21.21</td><td>16.21</td><td>6.09</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td>14.61</td><td>33.38</td><td>9.07</td><td>27.07</td><td>21.11</td><td>8.04</td></tr> </table>								Dimensiones		Peso		Propiedades				A	B	F	Area A	I	J	K	T	mm	mm	mm	mm²	mm⁴	mm	mm	mm	10	1.0	0.59	0.75	0.02	0.29	0.24	0.04	20	1.8	0.83	1.26	0.06	0.56	0.46	0.14		B	1.05	1.34	0.09	0.89	0.75	0.25	25	1.8	1.08	1.58	0.10	1.23	0.97	0.35		B	1.36	1.74	0.14	1.65	1.32	0.45	30	1.8	1.1	1.85	0.13	1.66	1.35	0.45		B	1.69	2.14	0.20	2.07	1.61	0.55	40	1.8	1.17	2.05	0.19	2.39	1.76	0.65		B	2.21	2.94	0.30	3.07	2.37	0.85	50	2	1.27	2.71	0.34	3.64	2.84	1.05		B	2.24	3.29	0.50	4.42	3.42	1.30	60	2	2.05	3.74	0.45	4.15	3.46	1.04		B	4.25	6.41	1.04	7.96	6.18	2.19		B	6.45	9.95	2.03	11.44	8.84	3.50		B							80	2	2.71	5.10	0.69	5.21	4.01	1.43		B	3.59	6.52	1.10	6.21	4.85	1.80		B	6.16	9.91	2.59	11.21	8.21	3.21	75	2	4.8	6.74	0.88	6.88	5.38	2.07		B	6.6	8.91	1.15	7.91	6.11	2.50		B	8.79	10.9	1.65	9.21	7.11	2.87		B	10.49	13.28	2.15	10.51	8.11	3.25	100	2	6.67	11.74	1.55	10.59	8.19	3.00		B	8.86	17.41	3.18	15.41	11.41	4.04		B	11.7	24.6	5.69	21.21	16.21	6.09		B	14.61	33.38	9.07	27.07	21.11	8.04
Dimensiones		Peso		Propiedades																																																																																																																																																																																																																																													
A	B	F	Area A	I	J	K	T																																																																																																																																																																																																																																										
mm	mm	mm	mm²	mm⁴	mm	mm	mm																																																																																																																																																																																																																																										
10	1.0	0.59	0.75	0.02	0.29	0.24	0.04																																																																																																																																																																																																																																										
20	1.8	0.83	1.26	0.06	0.56	0.46	0.14																																																																																																																																																																																																																																										
	B	1.05	1.34	0.09	0.89	0.75	0.25																																																																																																																																																																																																																																										
25	1.8	1.08	1.58	0.10	1.23	0.97	0.35																																																																																																																																																																																																																																										
	B	1.36	1.74	0.14	1.65	1.32	0.45																																																																																																																																																																																																																																										
30	1.8	1.1	1.85	0.13	1.66	1.35	0.45																																																																																																																																																																																																																																										
	B	1.69	2.14	0.20	2.07	1.61	0.55																																																																																																																																																																																																																																										
40	1.8	1.17	2.05	0.19	2.39	1.76	0.65																																																																																																																																																																																																																																										
	B	2.21	2.94	0.30	3.07	2.37	0.85																																																																																																																																																																																																																																										
50	2	1.27	2.71	0.34	3.64	2.84	1.05																																																																																																																																																																																																																																										
	B	2.24	3.29	0.50	4.42	3.42	1.30																																																																																																																																																																																																																																										
60	2	2.05	3.74	0.45	4.15	3.46	1.04																																																																																																																																																																																																																																										
	B	4.25	6.41	1.04	7.96	6.18	2.19																																																																																																																																																																																																																																										
	B	6.45	9.95	2.03	11.44	8.84	3.50																																																																																																																																																																																																																																										
	B																																																																																																																																																																																																																																																
80	2	2.71	5.10	0.69	5.21	4.01	1.43																																																																																																																																																																																																																																										
	B	3.59	6.52	1.10	6.21	4.85	1.80																																																																																																																																																																																																																																										
	B	6.16	9.91	2.59	11.21	8.21	3.21																																																																																																																																																																																																																																										
75	2	4.8	6.74	0.88	6.88	5.38	2.07																																																																																																																																																																																																																																										
	B	6.6	8.91	1.15	7.91	6.11	2.50																																																																																																																																																																																																																																										
	B	8.79	10.9	1.65	9.21	7.11	2.87																																																																																																																																																																																																																																										
	B	10.49	13.28	2.15	10.51	8.11	3.25																																																																																																																																																																																																																																										
100	2	6.67	11.74	1.55	10.59	8.19	3.00																																																																																																																																																																																																																																										
	B	8.86	17.41	3.18	15.41	11.41	4.04																																																																																																																																																																																																																																										
	B	11.7	24.6	5.69	21.21	16.21	6.09																																																																																																																																																																																																																																										
	B	14.61	33.38	9.07	27.07	21.11	8.04																																																																																																																																																																																																																																										

| **TUBULARES** | | | | | | | | | |

Ilustración 1-3 Tubos Cuadrados. Fuente: Indama.

TUBOS RECTANGULARES		TUBOS RECTANGULARES INDAMA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Dimensiones</th> <th colspan="2">Peso</th> <th colspan="6">Propiedades</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>F</th> <th>Area A</th> <th>I</th> <th>J</th> <th>K</th> <th>T</th> <th>U</th> <th>V</th> </tr> <tr> <th>mm</th> <th>mm</th> <th>mm</th> <th>mm²</th> <th>mm⁴</th> <th>mm</th> <th>mm</th> <th>mm</th> <th>mm</th> <th>mm</th> </tr> </thead> <tr><td>30</td><td>30</td><td>1.5</td><td>1.08</td><td>1.30</td><td>1.36</td><td>1.36</td><td>1.36</td><td>0.94</td><td>0.94</td><td>0.78</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td></td><td>1.29</td><td>1.74</td><td>1.84</td><td>1.29</td><td>1.29</td><td>1.22</td><td>1.22</td><td>0.74</td></tr> <tr><td>40</td><td>40</td><td>1.8</td><td>1.3</td><td>1.66</td><td>2.07</td><td>1.83</td><td>1.83</td><td>1.41</td><td>1.41</td><td>1.1</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td></td><td>1.68</td><td>2.19</td><td>4.05</td><td>2.02</td><td>1.28</td><td>1.34</td><td>1.34</td><td>0.78</td></tr> <tr><td>50</td><td>50</td><td>1.8</td><td>1.54</td><td>1.86</td><td>4.97</td><td>2.16</td><td>1.8</td><td>1.8</td><td>1.81</td><td>1.27</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td></td><td>1.96</td><td>2.64</td><td>5.46</td><td>2.74</td><td>1.67</td><td>1.67</td><td>1.67</td><td>1.17</td></tr> <tr><td>60</td><td>60</td><td>1.8</td><td>1.83</td><td>1.86</td><td>5.76</td><td>2.81</td><td>1.76</td><td>1.66</td><td>1.66</td><td>1.09</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td></td><td>1.99</td><td>2.54</td><td>7.27</td><td>3.09</td><td>1.69</td><td>1.69</td><td>1.69</td><td>1.01</td></tr> <tr><td>80</td><td>80</td><td>1.8</td><td>2.17</td><td>2.26</td><td>8.84</td><td>3.97</td><td>1.83</td><td>1.83</td><td>1.83</td><td>1.06</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td></td><td>2.57</td><td>3.34</td><td>9.84</td><td>4.81</td><td>1.8</td><td>4.29</td><td>1.86</td><td>1.21</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td></td><td>3.23</td><td>5.27</td><td>16.8</td><td>5.71</td><td>1.79</td><td>5.98</td><td>2.77</td><td>1.76</td></tr> <tr><td>90</td><td>90</td><td>1.8</td><td>2.61</td><td>2.75</td><td>10.4</td><td>5.16</td><td>2.02</td><td>1.81</td><td>1.81</td><td>1.08</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td></td><td>3.05</td><td>3.41</td><td>12.2</td><td>6.44</td><td>1.88</td><td>1.88</td><td>1.88</td><td>1.07</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td></td><td>3.81</td><td>5.07</td><td>18.8</td><td>7.28</td><td>1.86</td><td>7.28</td><td>2.36</td><td>1.25</td></tr> <tr><td>100</td><td>100</td><td>1.8</td><td>3.06</td><td>3.74</td><td>12.4</td><td>6.79</td><td>2.05</td><td>1.71</td><td>1.85</td><td>1.05</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td></td><td>3.52</td><td>4.61</td><td>14.1</td><td>8.07</td><td>1.94</td><td>2.08</td><td>2.08</td><td>1.01</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td></td><td>4.35</td><td>6.41</td><td>22.23</td><td>8.95</td><td>1.88</td><td>6.86</td><td>2.81</td><td>1.25</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td></td><td>5.05</td><td>8.34</td><td>27.56</td><td>9.84</td><td>1.87</td><td>10.79</td><td>3.36</td><td>1.57</td></tr> <tr><td>120</td><td>120</td><td>2</td><td>3.78</td><td>4.81</td><td>16.18</td><td>7.92</td><td>2.07</td><td>1.92</td><td>1.92</td><td>1.09</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td></td><td>4.71</td><td>6.83</td><td>24.69</td><td>10.15</td><td>2.75</td><td>11.3</td><td>10.87</td><td>1.58</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td></td><td>5.64</td><td>9.87</td><td>34</td><td>14.5</td><td>2.88</td><td>16</td><td>16</td><td>1.88</td></tr> <tr><td>150</td><td>150</td><td>2</td><td>4.5</td><td>5.74</td><td>19.89</td><td>10.68</td><td>2.01</td><td>20.27</td><td>10.27</td><td>1.11</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td></td><td>5.6</td><td>8.41</td><td>29.24</td><td>13.27</td><td>2.06</td><td>26.87</td><td>14.38</td><td>1.27</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td></td><td>6.69</td><td>11.68</td><td>39.69</td><td>16.74</td><td>2.1</td><td>34.74</td><td>17.48</td><td>1.64</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td></td><td>7.82</td><td>15.98</td><td>50.27</td><td>21.24</td><td>2.14</td><td>43.92</td><td>20.83</td><td>1.98</td></tr> <tr><td>180</td><td>100</td><td>2</td><td>11.28</td><td>14.45</td><td>480.05</td><td>81.49</td><td>3.83</td><td>147.86</td><td>49.93</td><td>4.14</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td></td><td>14.26</td><td>18.85</td><td>695.05</td><td>106.05</td><td>3.95</td><td>178.86</td><td>65.93</td><td>4.74</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td></td><td>18.28</td><td>25.45</td><td>744.05</td><td>106.85</td><td>4.15</td><td>184.86</td><td>66.74</td><td>4.96</td></tr> <tr><td>200</td><td>70</td><td>2</td><td>14.14</td><td>25.25</td><td>866.54</td><td>85.89</td><td>4.87</td><td>185.77</td><td>102.31</td><td>3.85</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td></td><td>18.36</td><td>35.28</td><td>1179.86</td><td>117.28</td><td>5.05</td><td>227.86</td><td>102.31</td><td>2.86</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td></td><td>19.74</td><td>37.45</td><td>955.05</td><td>86.85</td><td>5.26</td><td>178.86</td><td>102.85</td><td>4.27</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td></td><td>18.08</td><td>27.89</td><td>1005.05</td><td>105.88</td><td>7.33</td><td>470.82</td><td>82.19</td><td>4.02</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td></td><td>24.28</td><td>44.42</td><td>1485.05</td><td>144.88</td><td>7.77</td><td>446.82</td><td>96.55</td><td>4.74</td></tr> </table>										Dimensiones		Peso		Propiedades						A	B	F	Area A	I	J	K	T	U	V	mm	mm	mm	mm²	mm⁴	mm	mm	mm	mm	mm	30	30	1.5	1.08	1.30	1.36	1.36	1.36	0.94	0.94	0.78		B		1.29	1.74	1.84	1.29	1.29	1.22	1.22	0.74	40	40	1.8	1.3	1.66	2.07	1.83	1.83	1.41	1.41	1.1		B		1.68	2.19	4.05	2.02	1.28	1.34	1.34	0.78	50	50	1.8	1.54	1.86	4.97	2.16	1.8	1.8	1.81	1.27		B		1.96	2.64	5.46	2.74	1.67	1.67	1.67	1.17	60	60	1.8	1.83	1.86	5.76	2.81	1.76	1.66	1.66	1.09		B		1.99	2.54	7.27	3.09	1.69	1.69	1.69	1.01	80	80	1.8	2.17	2.26	8.84	3.97	1.83	1.83	1.83	1.06		B		2.57	3.34	9.84	4.81	1.8	4.29	1.86	1.21		B		3.23	5.27	16.8	5.71	1.79	5.98	2.77	1.76	90	90	1.8	2.61	2.75	10.4	5.16	2.02	1.81	1.81	1.08		B		3.05	3.41	12.2	6.44	1.88	1.88	1.88	1.07		B		3.81	5.07	18.8	7.28	1.86	7.28	2.36	1.25	100	100	1.8	3.06	3.74	12.4	6.79	2.05	1.71	1.85	1.05		B		3.52	4.61	14.1	8.07	1.94	2.08	2.08	1.01		B		4.35	6.41	22.23	8.95	1.88	6.86	2.81	1.25		B		5.05	8.34	27.56	9.84	1.87	10.79	3.36	1.57	120	120	2	3.78	4.81	16.18	7.92	2.07	1.92	1.92	1.09		B		4.71	6.83	24.69	10.15	2.75	11.3	10.87	1.58		B		5.64	9.87	34	14.5	2.88	16	16	1.88	150	150	2	4.5	5.74	19.89	10.68	2.01	20.27	10.27	1.11		B		5.6	8.41	29.24	13.27	2.06	26.87	14.38	1.27		B		6.69	11.68	39.69	16.74	2.1	34.74	17.48	1.64		B		7.82	15.98	50.27	21.24	2.14	43.92	20.83	1.98	180	100	2	11.28	14.45	480.05	81.49	3.83	147.86	49.93	4.14		B		14.26	18.85	695.05	106.05	3.95	178.86	65.93	4.74		B		18.28	25.45	744.05	106.85	4.15	184.86	66.74	4.96	200	70	2	14.14	25.25	866.54	85.89	4.87	185.77	102.31	3.85		B		18.36	35.28	1179.86	117.28	5.05	227.86	102.31	2.86		B		19.74	37.45	955.05	86.85	5.26	178.86	102.85	4.27		B		18.08	27.89	1005.05	105.88	7.33	470.82	82.19	4.02		B		24.28	44.42	1485.05	144.88	7.77	446.82	96.55	4.74
Dimensiones		Peso		Propiedades																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
A	B	F	Area A	I	J	K	T	U	V																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
mm	mm	mm	mm²	mm⁴	mm	mm	mm	mm	mm																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
30	30	1.5	1.08	1.30	1.36	1.36	1.36	0.94	0.94	0.78																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	B		1.29	1.74	1.84	1.29	1.29	1.22	1.22	0.74																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
40	40	1.8	1.3	1.66	2.07	1.83	1.83	1.41	1.41	1.1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	B		1.68	2.19	4.05	2.02	1.28	1.34	1.34	0.78																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
50	50	1.8	1.54	1.86	4.97	2.16	1.8	1.8	1.81	1.27																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	B		1.96	2.64	5.46	2.74	1.67	1.67	1.67	1.17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
60	60	1.8	1.83	1.86	5.76	2.81	1.76	1.66	1.66	1.09																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	B		1.99	2.54	7.27	3.09	1.69	1.69	1.69	1.01																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
80	80	1.8	2.17	2.26	8.84	3.97	1.83	1.83	1.83	1.06																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	B		2.57	3.34	9.84	4.81	1.8	4.29	1.86	1.21																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	B		3.23	5.27	16.8	5.71	1.79	5.98	2.77	1.76																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
90	90	1.8	2.61	2.75	10.4	5.16	2.02	1.81	1.81	1.08																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	B		3.05	3.41	12.2	6.44	1.88	1.88	1.88	1.07																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	B		3.81	5.07	18.8	7.28	1.86	7.28	2.36	1.25																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
100	100	1.8	3.06	3.74	12.4	6.79	2.05	1.71	1.85	1.05																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	B		3.52	4.61	14.1	8.07	1.94	2.08	2.08	1.01																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	B		4.35	6.41	22.23	8.95	1.88	6.86	2.81	1.25																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	B		5.05	8.34	27.56	9.84	1.87	10.79	3.36	1.57																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
120	120	2	3.78	4.81	16.18	7.92	2.07	1.92	1.92	1.09																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	B		4.71	6.83	24.69	10.15	2.75	11.3	10.87	1.58																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	B		5.64	9.87	34	14.5	2.88	16	16	1.88																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
150	150	2	4.5	5.74	19.89	10.68	2.01	20.27	10.27	1.11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	B		5.6	8.41	29.24	13.27	2.06	26.87	14.38	1.27																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	B		6.69	11.68	39.69	16.74	2.1	34.74	17.48	1.64																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	B		7.82	15.98	50.27	21.24	2.14	43.92	20.83	1.98																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
180	100	2	11.28	14.45	480.05	81.49	3.83	147.86	49.93	4.14																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	B		14.26	18.85	695.05	106.05	3.95	178.86	65.93	4.74																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	B		18.28	25.45	744.05	106.85	4.15	184.86	66.74	4.96																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
200	70	2	14.14	25.25	866.54	85.89	4.87	185.77	102.31	3.85																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	B		18.36	35.28	1179.86	117.28	5.05	227.86	102.31	2.86																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	B		19.74	37.45	955.05	86.85	5.26	178.86	102.85	4.27																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	B		18.08	27.89	1005.05	105.88	7.33	470.82	82.19	4.02																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	B		24.28	44.42	1485.05	144.88	7.77	446.82	96.55	4.74																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										

| **TUBULARES** | | | | | | | | | | | |

Ilustración 1-4 Tubos Rectangulares. Fuente: Indama.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En los inicios de la empresa el mantenimiento era abordado de un modo meramente correctivo y a partir del siglo XXI la estrategia preventiva comenzó a tomar relevancia. La conformadora Yoder fue adquirida como maquinaria de segunda mano en el 2004 e instalada en el mismo año, ya iniciada la fase preventiva. Esto implicó el cambio sistemático de componentes que mostraron un aumento de la disponibilidad de los activos evitando detenciones inesperadas. No obstante, muchos de estos componentes estaban lejos del fin de su vida útil. La sustitución de partes sin necesidad real de reemplazo representó un aumento de costos por la adquisición de estos elementos utilizados para mantener el stock necesario en pañol de repuestos.

Con la aplicación del mantenimiento preventivo se evidenció también que a pesar de que este tipo de tareas representaba el 80% de las ejecuciones de OT, persistió una

importante cantidad de fallas funcionales que ocasionaron detenciones no programadas. Esto se debió a que muchas de estas actividades son irrelevantes para garantizar el funcionamiento continuo de la máquina, es decir, su impacto en la disponibilidad es mínima.

Otra problemática notoria se presentó al intervenir equipos, donde al reanudar la producción se presentaron condiciones de fallos que no existían antes del mantenimiento preventivo. La pericia del técnico que ejecuta la tarea de mantenimiento es relevante para evitar retrabajos por intervenciones deficientes en cuanto a calidad técnica y repuestos.

En consecuencia, se propone desarrollar un plan de mantenimiento basado en la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) utilizando como criterio las normas SAE JA1011 y SAE JA1012. Para diagnóstico previo se realizan cálculos claves de gestión, se cuantifican fallos y se resaltan los puntos críticos del activo, empleando datos del sistema de gestión de mantenimiento de la empresa e información de la bitácora del departamento de producción.

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

Si bien la situación expuesta previamente en la descripción del proyecto es propia en todos los activos de la empresa, se decide elaborar el plan de mantenimiento optimizado en la conformadora de tubos Yoder, conocida en la empresa como Tubera 2 por ser la segunda máquina de este tipo instalada en planta. La justificación radica en la responsabilidad económica que representa el activo en la empresa.

La conformadora Yoder es para la empresa el segundo equipo con mayor producción anual por metros lineales y el tercero en cuanto a tonelaje. No obstante, todo el producto que procesa es de gran demanda en el mercado, por lo que presenta una alta rotación de los mismos. De igual forma, la conformadora Yoder es el único activo de ese tipo en la organización que procesa tubos galvanizados, los cuales generan utilidades importantes para el negocio.

1.4 BENEFICIOS DEL PROYECTO.

El desarrollo del plan de mantenimiento basado en RCM, de ser implementado, ofrece una serie de beneficios a nivel operativo y económico que impactarán positivamente en la optimización de los procesos productivos, la reducción de costos y mejora en la fiabilidad del activo en estudio.

1.4.1 Beneficios a nivel operativo

- Al identificar y priorizar los puntos críticos que pueden ocasionar fallos funcionales, se puede establecer actividades de mantenimiento adecuadas para cada componente, minimizando los tiempos de inactividad por averías. Esto se traduce en una mayor disponibilidad del activo.
- El enfoque estructurado RCM proporcionará información que facilitará la toma de decisiones basado en datos detallado de los modos de fallos y las condiciones del activo. Se prevé una mejora en la planificación y gestión del mantenimiento de la conformadora.
- Incremento en la seguridad del proceso de conformado al identificar y eliminar los modos de fallos que puedan comprometer un ambiente de trabajo seguro, reduciendo las posibilidades de accidentes laborales.

1.4.2 Beneficios a nivel económico

- Gestión eficiente de recursos al enfocar las actividades en las áreas más críticas, evitando intervenciones innecesarias que generan desperdicio de recursos en actividades que no aportan valor.
- Control eficiente de inventario de repuestos que garantiza el stock adecuado sin generar sobrecostos por exceso de adquisiciones o costos innecesarios por el reemplazo de componentes de forma prematura.
- Beneficio en rentabilidad de la empresa a largo plazo al extender la vida útil de la conformadora, reduciendo la necesidad de inversiones en nuevo equipamiento y reemplazo de equipos costosos.

CAPÍTULO II:
MARCO TEÓRICO

2.1 MANTENIMIENTO

2.1.1 Definición

El mantenimiento puede ser definido como el conjunto de acciones destinadas a mantener o reacondicionar un componente, equipo o sistema, en un estado en el cual sus funciones pueden ser cumplidas. Entendiendo como función cualquier actividad que un componente, equipo o sistema desempeña, bajo el punto de vista operacional (Kardek, Nascif, 2002).

La principal función del mantenimiento es sostener la funcionalidad de los equipos y el buen estado de las máquinas a través del tiempo. Bajo esta premisa se puede entender la evolución del área de mantenimiento al atravesar las distintas épocas, acorde con las necesidades de sus clientes, que son todas aquellas dependencias o empresas de procesos o servicios, que generan bienes reales o intangibles mediante la utilización de estos activos para producirlos (Gutiérrez, 2009).

2.1.2 Tipos

2.1.2.1 Mantenimiento Correctivo

La norma ISO 14224 lo define como el mantenimiento llevado a cabo después de la detección de una falla hasta completar la restauración. Engloba todas las tareas ejecutadas una vez ocurrida una falla funcional. Las desventajas de esta política radican en que las fallas se vuelven impredecibles, pudiendo ocurrir en cualquier momento, lo cual vuelve el proceso productivo poco fiable.

En la mayor parte de las empresas difícilmente las ventajas del correctivo puro superarán sus inconvenientes. La mayor parte de las empresas que basan su mantenimiento en las tareas del tipo correctivo no han analizado en profundidad si esta es la manera más rentable y segura de abordar el mantenimiento (García, 2009).

2.1.2.2 Mantenimiento Preventivo

La norma ISO 14224 lo define como el mantenimiento llevado a cabo para mitigar la degradación y reducir la probabilidad de falla. Generalmente aborda la sustitución periódica de componentes antes del fin de su vida útil, rutas de lubricación y otro tipo de tareas basadas en el tiempo u horas de uso. Estas actividades son planificadas de antemano para ser ejecutadas en los tiempos más convenientes para la empresa.

El mantenimiento sistemático es muy eficaz en equipos e instalaciones que requieren de una disponibilidad media o alta, de cierta importancia en el sistema productivo y cuyas averías causen trastornos en el plan de producción de la empresa y por tanto no puede esperarse que den síntomas de fallo (García, 2009).

2.1.2.3 Mantenimiento Predictivo

Esta estrategia se fundamenta en el monitoreo en intervalos predeterminados de variables físicas que obedecen a un estado operacional del equipo, donde cualquier cambio en estas, involucra una modificación en la condición del activo.

La principal ventaja radica en la velocidad de detención de la avería (en forma anticipada y temprana al hecho), mientras que en otros casos solo es posible establecer una frecuencia. A su vez, las acciones predictivas incorporan algunas variables que aumentan la información del estado de los equipos. La cantidad de información que proporciona este tipo de mantenimiento, sumado a la rapidez con que se mida la información, supera ampliamente a las acciones de mantenimiento descritas anteriormente (Navarro, Pastor, Tejedor y Mugaburu, 1997).

2.1.3 Curva de Davies

Es un modelo que representa de forma gráfica el ciclo de vida de un activo en tres periodos bien definidos: mortalidad infantil, rodaje o vida útil y envejecimiento u obsolescencia. Para la gestión del mantenimiento, la curva de la bañera es relevante

para definir estrategias de conservación en función de la fase del ciclo de vida de los activos. Este enfoque nos permite aumentar la disponibilidad de los equipos sin la ejecución de actividades de mantenimiento innecesarias.

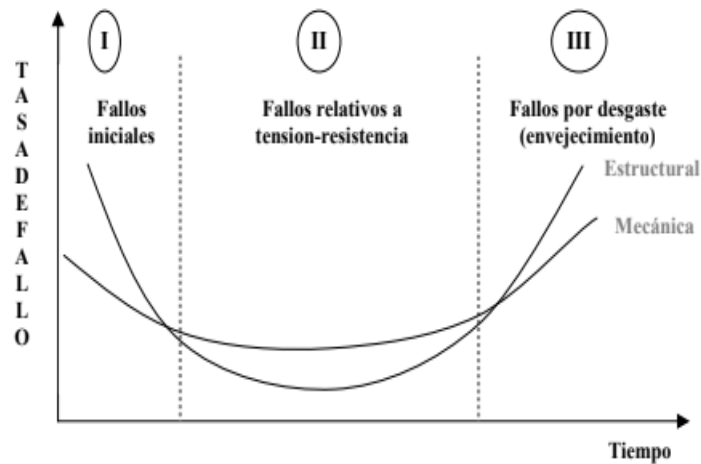


Ilustración 2-1 Curva de Davies. Fuente: Muñoz, B. [s.a.].

2.1.3.1 Zona de Mortandad Infantil

Engloba los fallos consumados en la puesta en marcha de nueva maquinaria. Generalmente son consecuencia de errores de diseño, defectos de montaje o puesta a punto del equipo a las condiciones reales de funcionamiento. En esta fase del ciclo de vida, las averías van en decrecimiento hasta alcanzar una frecuencia de fallo constante al alcanzar el punto óptimo de operación.

2.1.3.2 Zona de Rodaje o Vida Útil

Corresponde a los fallos que aleatoriamente ocurren durante la vida útil del activo. Las averías son aproximadamente constantes durante un extenso intervalo de tiempo. En este tiempo el equipo entra una etapa de funcionamiento estable y predecible.

2.1.3.3 Zona de Envejecimiento

Se refiere a las averías que son consecuencia del desgaste y agotamiento de los componentes del activo producto de su operación a través del tiempo. En este periodo, la tasa de falla es creciente a medida de las horas de funcionamiento, lo cual convierte a el mantenimiento en una estrategia costosa en términos económicos.

2.1.4 Conceptos asociados al mantenimiento

2.1.4.1 Tiempo medio entre fallas (MTBF)

El tiempo medio entre fallas se define como el promedio que transcurre entre dos averías en un mismo equipo reparable. Es un indicador clave en mantenimiento y medida de la fiabilidad de los sistemas porque nos muestra el tiempo en que un equipo funciona sin interrupciones. Se calcula de la siguiente forma:

$$MBTF: (Tiempo Total Disponible - Tiempo de Inactividad) / Numero de Paradas$$

2.1.4.2 Tiempo medio para fallar (MTTF)

El tiempo medio entre fallas se define como el promedio que transcurre entre fallos en un equipo. A diferencia del MTBF este indicador solo es aplicable a sistemas no reparables.

Se calcula como:

$$MTTF: Horas de funcionamiento / Número de equipos$$

2.1.4.3 Tiempo medio de reparación (MTTR)

Es una métrica que refleja la eficiencia de las actividades de mantenimiento, indicando el tiempo medio necesario para reestablecer un equipo a su condición operativa después de una falla (Vázquez, R. 2012).

$$MTTR: \text{Tiempo de inactividad} / \text{Número de paradas}$$

2.1.4.4 Confiabilidad

Se define como la probabilidad de que un activo realice una función requerida, en unas condiciones establecidas, durante un periodo de tiempo determinado. Se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Confiabilidad } (t): e^{-\lambda t}$$

La letra Lambda representa la tasa de fallas del sistema y t representa el tiempo considerado para el cálculo. La letra e se refiere a la base del logaritmo natural.

2.1.4.5 Disponibilidad

La disponibilidad, objetivo principal del mantenimiento, puede ser definida como la confianza de que un componente o sistema que sufrió mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente (Pinto, 1997). Se puede calcular de con la siguiente ecuación:

$$\text{Disponibilidad: } MTBF / (MTBF + MTTR)$$

2.1.4.6 Mantenibilidad

Propiedad de un equipo o sistema que representa la cantidad de esfuerzo requerido para conservar su funcionamiento normal o para restituirlo una vez se halla presentado un evento de falla. Se dirá que un sistema es altamente mantenible cuando el esfuerzo asociado a la restitución sea bajo. Sistemas pocos mantenibles o de baja mantenibilidad requieren de grandes esfuerzos (horas-hombres, supervisión, repuestos, insumos) para sostenerse o restituirse (Montilla, C. 2019).

2.2 HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS Y CUANTIFICACIÓN DE FALLOS

2.2.1 Diagrama de Pareto

Es un método gráfico que nos permite clasificar de forma ordenada datos de un proceso determinado y conocer aquellas variables o factores que tienen mayor impacto en el proceso. Está basada la regla del 80/20, también conocida como la ley de los "pocos vitales" y los "muchos triviales". Según este concepto, si se tiene un problema con muchas causas, se puede decir que el 20% de las causas resuelven el 80% del problema.

Este diagrama de Pareto resulta ser muy útil para identificar visualmente en una sola revisión a las partes más relevantes que son vitales y a las que hay que prestarle mayor atención, con la finalidad de utilizar los recursos necesarios y no malgastar esfuerzos (Sales, 2013).

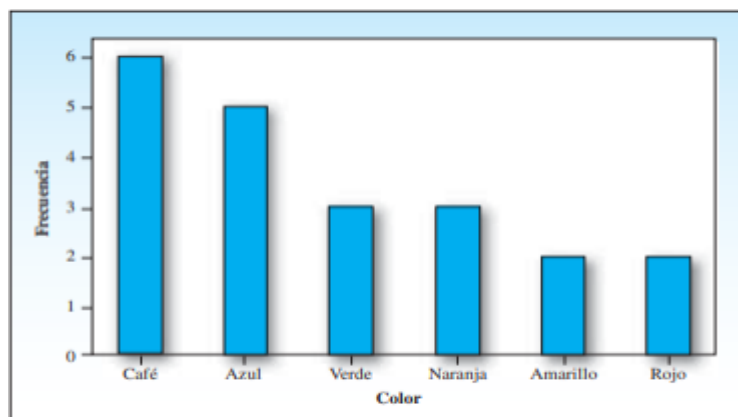


Ilustración 2-2 Diagrama de Pareto. Fuente: Mendenhall, W. (2015).

2.2.2 Diagrama de Ishikawa

También conocido como diagrama causa-efecto, es una herramienta que nos permite identificar las distintas causas que pueden derivar en un problema específico. El método consta en agrupar en segmentos (materiales, máquina, método, recurso humano) las posibles causas que puedan originar el problema que se está analizando.

La toma de decisiones con métodos multicriterio se utiliza para valorar diferentes alternativas de decisión y el contexto sea con distintos objetivos en el conflicto y para un entorno incierto. El utilizar este tipo de métodos permite integrar a la toma de decisiones conocimientos subjetivos como objetivos, los cuales son definidos en términos de variables cualitativas y cuantitativas (Romero, Sanabria, 2018).

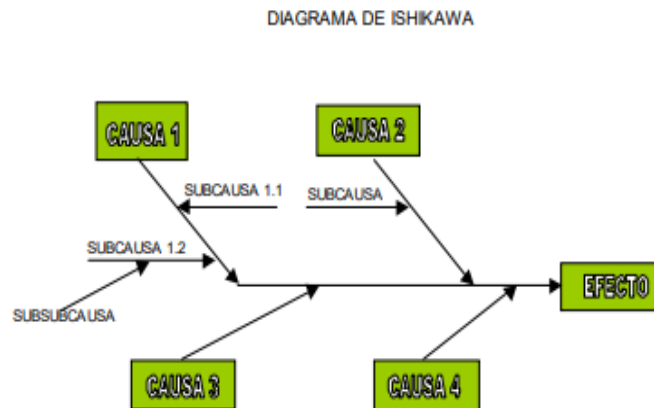


Ilustración 2-3 Diagrama de Ishikawa. Fuente: Díaz, J. (2010).

2.2.3 Diagrama de Jackknife

El método de Jackknife usa diagramas de dispersión para analizar los tiempos de inactividad de un sistema. Esta herramienta engloba las fallas en cuatro cuadrantes en función de su frecuencia de ocurrencia en relación a sus tiempos de detención intrínsecos, lo cual permite identificar patrones de fallos y visualizar los elementos críticos del proceso. La categorización de las averías se realiza de la siguiente manera:

Leves o bajo control: Fallas con baja frecuencia y bajo tiempo de reparación.

Agudas: Fallas con baja frecuencia y alto tiempo de reparación.

Crónicas: Fallas con alta frecuencia y bajos tiempo de reparación.

Agudo/Crónico o Crítico: Fallas con alta frecuencia y altos tiempo de reparación.

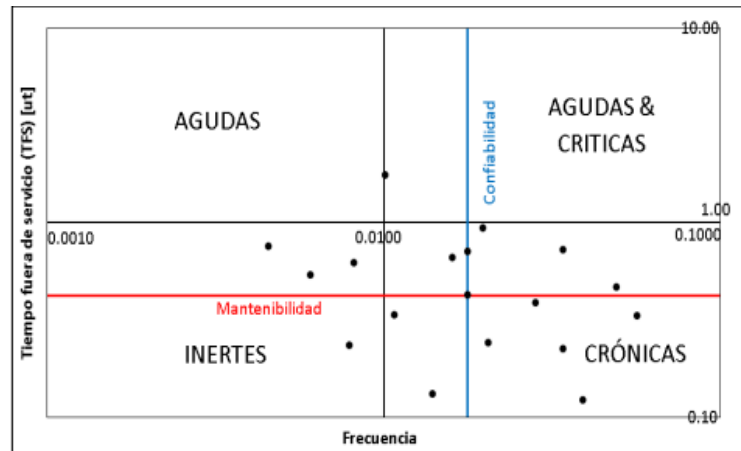


Ilustración 2-4 Diagrama de Jackknife. Fuente: Aulestia, J. y Guerrero, A. (2022).

2.2.4 Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF)

El análisis de modos y efectos de fallas es una metodología utilizada para identificar problemas potenciales, sus causas y los efectos en un sistema o proceso, con la finalidad de priorizarlos, para facilitar la toma de decisiones relacionadas con la asignación de recursos destinados a la prevención de esos problemas y/o a la mitigación de sus consecuencias (Villegas, C. 2021).

La metodología de análisis de fallas parte de la base de la presencia o detección repentina de una situación fuera de estándar, que manifiesta de alguna forma la falta de funcionalidad total o parcial de una máquina o elemento. Como problema o efecto causante se describe una falla que aún no se soluciona o erradica. Como modo de falla se pueden enunciar las deficiencias que se observan o se perciben en el sistema o la máquina en el momento de reportar la falla (Mora, 2009).

El AMEF utiliza un cálculo para determinar la criticidad de los fallos y efectos declarados en el análisis. Esta evaluación se realiza en base a la ponderación de la severidad, la ocurrencia y la detectabilidad, cuyo producto se conoce como índice de prioridad de riesgo (RPN).

Proceso / Función	Falla Potencial	Modo de Falla	Efecto	Control Prevención / Detección	Si	Oi	Di	NPRi	Acción Recomendada
Inyección de pieza	Acabado con rebabas	Presión excesiva	Retrabajo	Presión regulada por el operador e inspección visual de la falla	9	6	10	540	Instalar sensores y válvula limitadora de presión en la inyectora

Ilustración 2-5 Hoja de trabajo típica de AMEF. Fuente: Villegas, C. (2021).

2.2.5 Estimación de parámetros probabilísticos

2.2.5.1 Distribución normal

Es una distribución discreta que se presenta con frecuencia, cuando la vida útil de los componentes se ve afectada desde el comienzo por el desgaste. Sirve para describir muy bien los fenómenos de envejecimiento de equipos, modelos de fatiga y fenómenos naturales. En esta distribución las fallas tienden a distribuirse de forma simétrica alrededor de la vida media (Mora, A. 2009).

2.2.5.2 Distribución Exponencial

La distribución exponencial es un caso especial de la distribución Gamma, y es la más común entre las distribuciones de fallas: su importancia radica en el hecho de casi todos los componentes tienen, durante su periodo de operación normal, una intensidad de falla constante (Mora, A. 2009).

2.2.5.3 Distribución de Weibull

Una de las ventajas significativas que ofrece la distribución Weibull consiste en que es muy manejable y se acomoda a las tres zonas (infancia o rodaje, madurez o vida útil y envejecimiento de la curva de la bañera o de Davies) (Rojas, 1975).

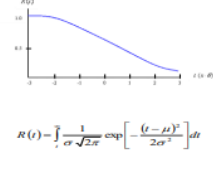
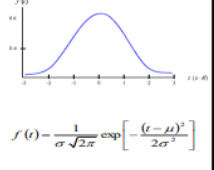
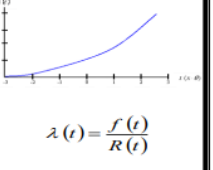
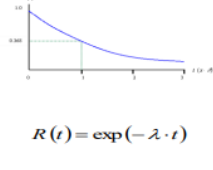
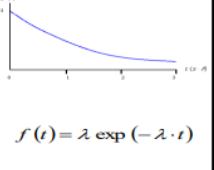
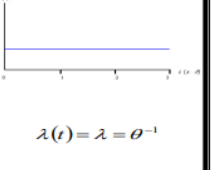
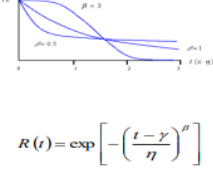
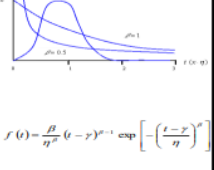
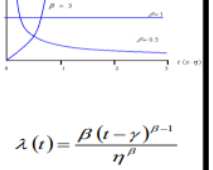
Tipo de Distribución	Parámetros	Función de Confiabilidad $R(t) = 1 - F(t)$	Función de Densidad de Probabilidad de Fallo $f(t)$	Función de Tasa de Fallo $\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$	Aplicaciones Principales
Normal	Media, μ Desviación estándar, σ	 $R(t) = \int_0^t \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt$	 $f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$	 $\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$	Distribución de vida de componentes de alto esfuerzo
Exponencial	MTBF, θ $\theta = \lambda^{-1}$	 $R(t) = \exp(-\lambda \cdot t)$	 $f(t) = \lambda \exp(-\lambda \cdot t)$	 $\lambda(t) = \lambda = \theta^{-1}$	Distribución de vida de equipos complejos no reparables. Distribución de vida de algunos componentes en el período de rodaje.
Weibull	Posición, γ Escala, η Forma, β Curvas mostradas para $\gamma=0$	 $R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$	 $f(t) = \frac{\beta}{\eta^\beta} (t-\gamma)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$	 $\lambda(t) = \frac{\beta (t-\gamma)^{\beta-1}}{\eta^\beta}$	Resistencia a la corrosión. Distribuciones de vida de muchos componentes básicos, como capacitores, relays, rodamientos de bola y ciertos motores.

Ilustración 2-6 Comparación de distribución normal, exponencial y Weibull. Fuente: Mora, A. (2009).

2.3 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

2.3.1 Definición

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es una estrategia que permite identificar y priorizar los modos de falla, asegurando que se mantengan las funciones críticas de los equipos (Vilanova, R. 2009).

Se define el RCM como una metodología estructurada para analizar los sistemas y determinar el mantenimiento necesario para optimizar su disponibilidad y reducir costos (López, J. 2013).

Mantenimiento centrado en confiabilidad no solo se ha convertido en una metodología de alta aplicación en las empresas industriales cuyos activos requieren de una alta disponibilidad y una optimización de los costos operativos, sino también para atender las mayores exigencias que cada día tenemos en los aspectos de seguridad (Ortiz, D. 2016).

2.3.2 Metodología

La necesidad de una norma que establezca criterios para implementar RCM culmina con el surgimiento en el año de 1999 de la norma SAE JA1011 y en el 2002 de la norma SAE JA1012. Ambas normas establecen los criterios que cualquier proceso de análisis de fallos deberá cumplir para ser denominado RCM.

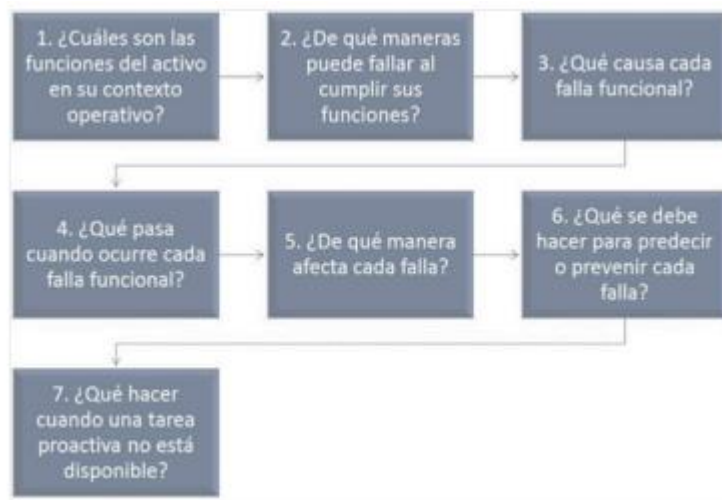


Ilustración 2-7 Proceso de RCM. Fuente: Campos, O. y Varios (2019).

2.3.2.1 Funciones y especificaciones de operación

En este apartado se define el contexto operativo del activo a estudiar, las funciones que dicho activo cumple en el proceso y los parámetros necesarios para satisfacer la demanda operativa.

El contexto operativo engloba las condiciones y el entorno organizacional donde se desenvuelve el activo. Cada activo fue adquirido para un propósito determinado. Ese propósito es definido como su función principal y, a su vez, cada componente tiene funciones secundarias asociadas que permiten el correcto desenvolvimiento de su función principal. También es importante determinar el estándar operacional del equipo, que no es más que el nivel cuantitativo de las variables involucradas en la operación del mismo.

2.3.2.2 Fallos funcionales y potenciales

Para el RCM una falla funcional total es aquella donde su función principal o unas de sus funciones secundarias ha sido comprometida. En otras palabras, el activo no es capaz de ejercer una función específica a un nivel de desempeño previamente declarado en su contexto operacional. Para el RCM una falla funcional total es aquella donde su función principal o unas de sus funciones secundarias ha sido comprometida. En otras palabras, el activo no es capaz de ejercer una función específica a un nivel de desempeño previamente declarado en su contexto operacional.

2.3.2.3 Modos de fallos

Los modos de fallos son aquellos eventos o circunstancias que pueden causar una falla funcional en el sistema. Cada uno de estos modos de fallos puede tener múltiples causas para que este se lleve a cabo. La norma específica que en el análisis de los modos de fallos deben analizarse aquellos que de manera razonable pueden concretarse. Los errores humanos y de diseño también deben ser incluidos, debido a que algunas averías son provocadas por una incorrecta operación del activo y otras son intrínsecas a un diseño deficiente.

2.3.2.4 Consecuencia de fallas

Toda avería tiene algún tipo de efecto en el sistema independientemente de la gravedad de esta. Los efectos de las fallas se clasifican de acuerdo con el impacto que éstas puedan causar en la seguridad, en el medio ambiente, en la capacidad

operacional y los costos que pueden generar en la organización. La metodología dispone los aspectos de seguridad a las personas y a el medio ambiente en un nivel prioritario sobre las afectaciones al proceso productivo y los costos asociados.

Es fundamental determinar la gravedad de las averías puesto que debido a esta evaluación predominarán algunas activades sobre otras.

2.3.2.5 Determinación de medidas preventivas

Determinado el contexto operacional, los tipos y modos de fallas, las causas y sus efectos en el proceso, se desarrolla el plan de acción para eliminar o mitigar las consecuencias de las fallas funcionales. De este análisis derivan tareas de mantenimiento predictivas destinadas a detectar fallos potenciales, tareas de reparaciones o reemplazo programado, tareas de búsqueda de fallas e incluso tareas de rediseño cuando las estrategias mencionadas no son adecuadas para aplicarse a un modo de falla crítico del proceso.

CAPÍTULO III:
PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM

3.1 RECOPIACIÓN DE DATOS

Los datos recopilados fueron extraídos del sistema de Gestman, el cuál es el sistema informático de gestión de mantenimiento de planta. Este software es propio de la empresa, creado por personal contratado y en él se generan los requerimientos de mantenimiento por parte de personal de operaciones y personal de mantenimiento. Se recolectaron los datos del sistema en el lapso transcurrido entre el mes de enero 2023 y el mes de septiembre de 2024.

La información de los tiempos programados de operación fue suministrada por el departamento de producción. En contraste, los tiempos reales de operación se obtuvieron del horómetro instalado en el activo estudiado.

3.1.1 Cálculo MTBF, MTTR y disponibilidad

3.1.1.1 Cálculo MTBF, MTTR y disponibilidad 2023

TB2 - 2023							
MES	Tiempo Detención Fallas (min)	Cantidad de Fallas	Tiempo Real Operación (min)	Tiempo Programado Operación (min)	MTTR	MTBF	Disponibilidad
Enero	2749	16	6015	22350	171,8	1225,0625	88%
Febrero	811	18	9653	22800	45,1	1221,61111	96%
Marzo	2078	29	12122	26160	71,7	830,413793	92%
Abril	721	17	12055	21780	42,4	1238,76471	97%
Mayo	759	24	11601	25140	31,6	1015,875	97%
Junio	804	23	10873	22800	35,0	956,347826	96%
Julio	436	14	9477	23970	31,1	1681	98%
Agosto	832	23	7032	12600	36,2	511,652174	93%
Septiembre	492	14	6359	10500	35,1	714,857143	95%
Octubre	436	8	8108	11550	54,5	1389,25	96%
Noviembre	1297	19	9699	17700	68,3	863,315789	93%
	11415	205	102994	217350	55,7	1004,56098	95%

Tabla 1 Cálculo MTBF, MTTR y disponibilidad 2023. Fuente: Elaboración Propia.

La conformadora TB2 mantuvo su operación durante 2023 en dos turnos por cinco días a la semana desde el mes de enero hasta el mes de noviembre. Durante mes de diciembre el activo no estuvo rodaje por periodo de vacaciones. La tabla 2-1 muestra el desempeño mensual del activo. De un total de 217350 minutos disponibles, se contabilizan en el sistema un total de 205 detenciones por averías con 11415 minutos implicados en dichas paradas. Calculando el valor anual de cada indicador tenemos:

Tiempo medio entre fallos:

MTBF: (Tiempo Total Disponible – Tiempo de Inactividad)/Numero de Paros

$$MTBF: \frac{217350 - 11415}{205} : 1005 \text{ min}$$

Tiempo medio de reparación:

MTTR: Tiempo de inactividad/Número de paradas

$$MTTR: 11415/205 : 56 \text{ minutos}$$

Disponibilidad

Disponibilidad: MTBF/(MTBF + MTTR)

$$Disponibilidad: \frac{1005}{1005 + 56} * 100: 95 \%$$

3.1.1.2 Cálculo MTBF, MTTR y disponibilidad 2024

La conformadora TB2 mantuvo su operación en dos turnos por cinco días a la semana desde el mes de enero hasta el mes de julio. Desde esa fecha a la actualidad el equipo opera en un solo turno de 8 horas. La tabla 2-2 indica el desempeño mensual del 2024. De un total de 166350 minutos disponibles, se contabilizan en el sistema un total de 300 detenciones por averías con 20486 minutos implicados en dichas paradas.

Calculando el valor anual de cada indicador tenemos:

Tiempo medio entre fallos:

MBTF: (Tiempo Total Disponible – Tiempo de Inactividad) ÷ Numero de Paradas

$$MBTF: \frac{166350 - 20486}{300} : 486 \text{ min}$$

Tiempo medio de reparación:

MTTR: Tiempo de inactividad/Número de paradas

$$MTTR: 20486/300 : 68 \text{ minutos}$$

Disponibilidad

Disponibilidad: $MTBF / (MTBF + MTTR)$

$$Disponibilidad: \frac{486}{486 + 68} * 100: 88 \%$$

TB2 - 2024							
MES	Tiempo Detención Fallas (min)	Cantidad de Fallas	Tiempo Real Operación (min)	Tiempo Programado Operación (min)	MTTR	MTBF	Disponibilidad
Enero	6415	55	12363	20010	116,6	247,181818	68%
Febrero	1923	36	12078	23970	53,4	612,416667	92%
Marzo	3446	53	8096	16530	65,0	246,867925	79%
Abril	1964	33	10380	21480	59,5	591,393939	91%
Mayo	1712	27	6206	16680	63,4	554,37037	90%
Junio	1270	32	9962	21210	39,7	623,125	94%
Julio	1753	34	10748	23880	51,6	650,794118	93%
Agosto	938	13	5859	12720	72,2	906,307692	93%
Septiembre	1065	17	6316	9870	62,6	517,941176	89%
	20486	300	82008	166350	68,3	486,213333	88%

Tabla 2 Cálculo MTBF, MTTR y disponibilidad 2024. Fuente: Elaboración Propia.

2.2.1.3 Cálculo MTBF, MTTR y disponibilidad total

Tiempo medio entre fallos:

*MTBF: (Tiempo Total Disponible – Tiempo de Inactividad)
÷ Numero de Paradas*

$$MTBF: \frac{383700 - 31901}{505}: 697 \text{ min}$$

Tiempo medio de reparación:

MTTR: Tiempo de inactividad/Número de paradas

MTTR: 31901/505 : 63 minutos

Disponibilidad

Disponibilidad: MTBF/(MTBF + MTTR)

*Disponibilidad: $\frac{697}{697 + 63} * 100: 92 \%$*

3.1.2 Diagrama de Pareto Conformadora TB2

3.1.2.1 Diagrama de Pareto por cantidad de fallas

La ilustración 4 muestra la cantidad de fallos por componentes de la conformadora durante todo el periodo en estudio. El soldador HF lidera el ranking con un total de 161 averías que equivalen aproximadamente al 32% de las averías. La mesa de salida es el siguiente componente de la lista con una frecuencia de aparición de 94 eventos, representando aproximadamente el 19% del total. El tercer componente con mayor cantidad de percances corresponde a la bancada de calibración con 67 imprevistos con un 13 % de las averías.

La sumatoria de los eventos del soldador HF y la mesa de salida contabilizan el 51% de todas las detenciones correctivas.

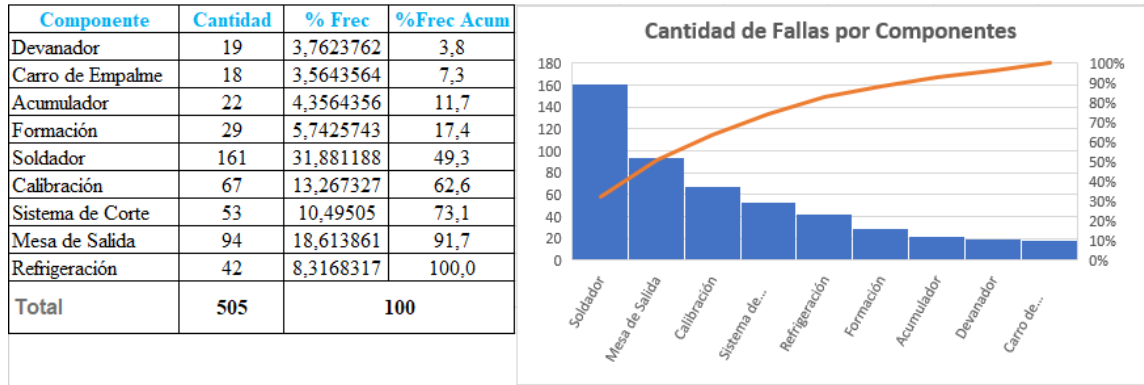


Ilustración 3-1 Diagrama de Pareto por cantidad de fallas. Fuente: Elaboración propia.

3.1.2.2 Diagrama de Pareto por horas de detención

La ilustración 5 muestra el tiempo perdido por fallas en la conformadora por durante todo el periodo en estudio. De forma análoga al diagrama por cantidad de averías, el soldador HF lidera el ranking con un total de 7682 minutos que equivalen al 24% del tiempo totalizado. Le sigue el sistema de refrigeración con 6322 minutos perdidos que representan aproximadamente el 20% del tiempo total. La mesa de salida es el tercero de la lista con un total de 5350 minutos y aproximadamente el 17% del total.

De los 31901 minutos reportados, los tiempos combinados del soldador y el sistema de refrigeración suman 14004 minutos, es decir, el aproximado del 44% del total.

Componente	Tiempo	% Frec	%Frec Acum
Devanador	1880	5,8932322	5,9
Carro de Empalme	1295	4,0594339	10,0
Acumulador	1367	4,2851321	14,2
Formación	1152	3,6111721	17,8
Soldador	7682	24,08075	41,9
Calibración	3851	12,071722	54,0
Sistema de Corte	3002	9,4103633	63,4
Mesa de Salida	5350	16,770634	80,2
Refrigeración	6322	19,817561	100,0
Total	31901		100

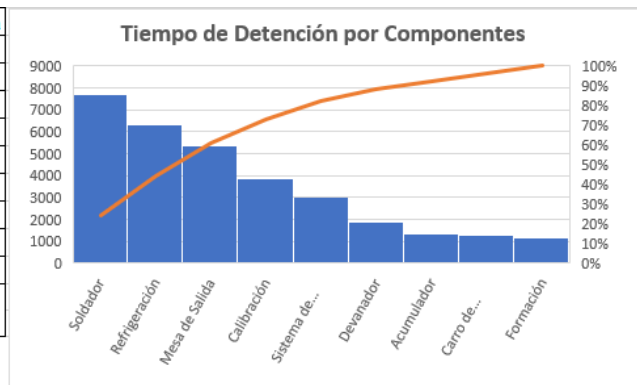


Ilustración 3-2 Diagrama de Pareto por horas de detención. Fuente: Elaboración propia.

3.1.3 Diagrama de Jackknife de conformadora TB2

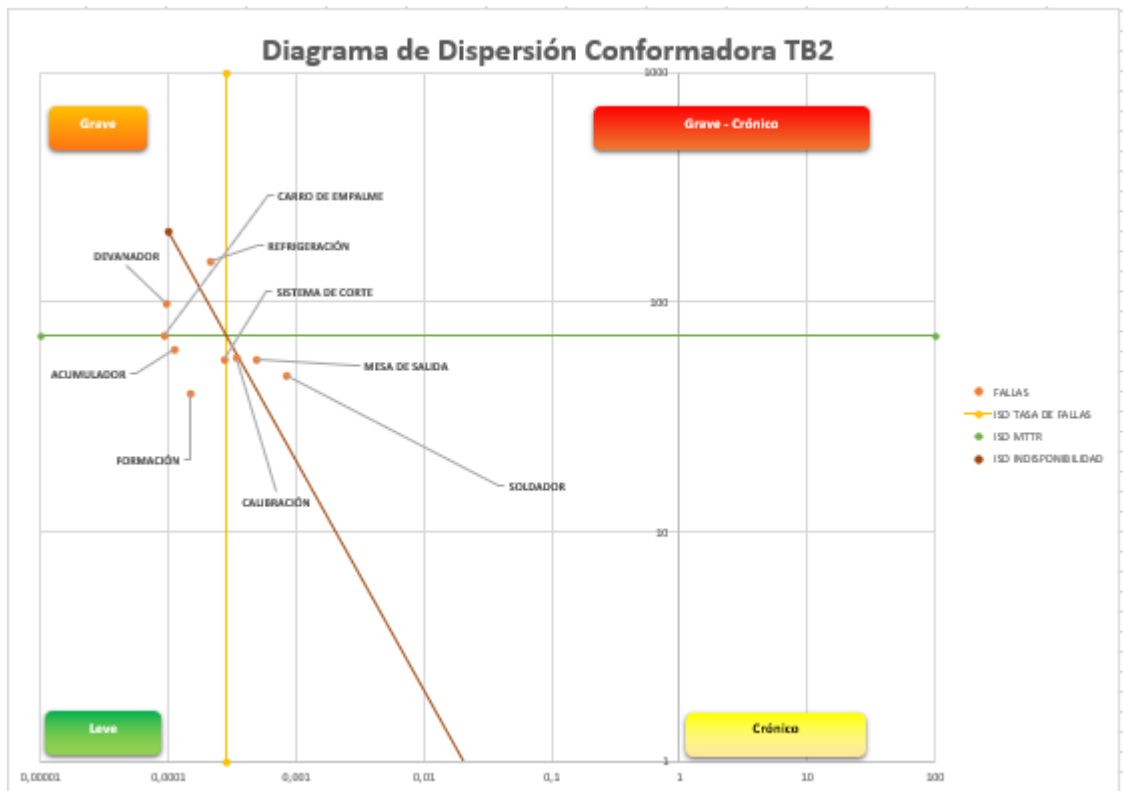


Ilustración 3-3 Diagrama de Jackknife TB2. Fuente: Elaboración propia.

La ilustración número 6 ordena los componentes del activo en estudio con respecto a su criticidad. De este diagrama podemos extraer la siguiente información:

- El diagrama no refleja ningún componente dentro del cuadrante catalogado como grave crónico.
- Se identifican como grave el devanador y el sistema de refrigeración, que, a pesar de poseer baja frecuencia de ocurrencia, implican tiempos relativamente altos para reparación.
- El soldador, la mesa de salida y la bancada de calibración se encuadran en la casilla de crónico, fundamentado en su frecuencia y bajos tiempos de reparación en comparación al total de componentes. El sistema de corte se encuentra en el límite de este cuadrante (se considera crónico).
- Catalogados como componentes controlados, en este cuadrante se clasifica el acumulador, la bancada de formación y el carro de empalme (en el límite), por su ocurrencia con relación a los tiempos bajos de reparación.

3.1.4 Cálculo de confiabilidad y probabilidad de falla

Los datos recopilados en el periodo de tiempo estudiado mostraron una tendencia al alza en la tasa de fallas entre 2023 y 2024. La curva de Davies nos ubica en la fase de desgaste, donde el estudio probabilístico se adapta mejor a la distribución de Gauss. Para la estimación de la confiabilidad y probabilidad de fallo se tomó como referencia una operación de 1500 horas. La Gráfica de función distribución acumulada nos indica directamente la probabilidad de falla, mientras que la confiabilidad la obtenemos con la siguiente ecuación:

$$R(t): 1 - F(T)$$

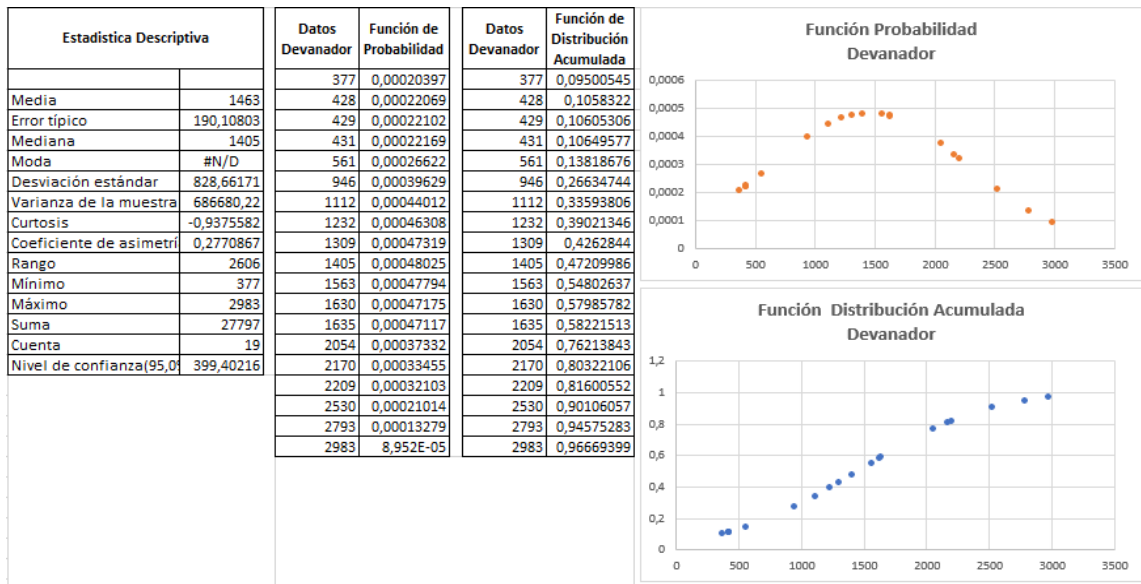


Tabla 3 Probabilidad de fallo del devanador. Fuente: Elaboración propia.

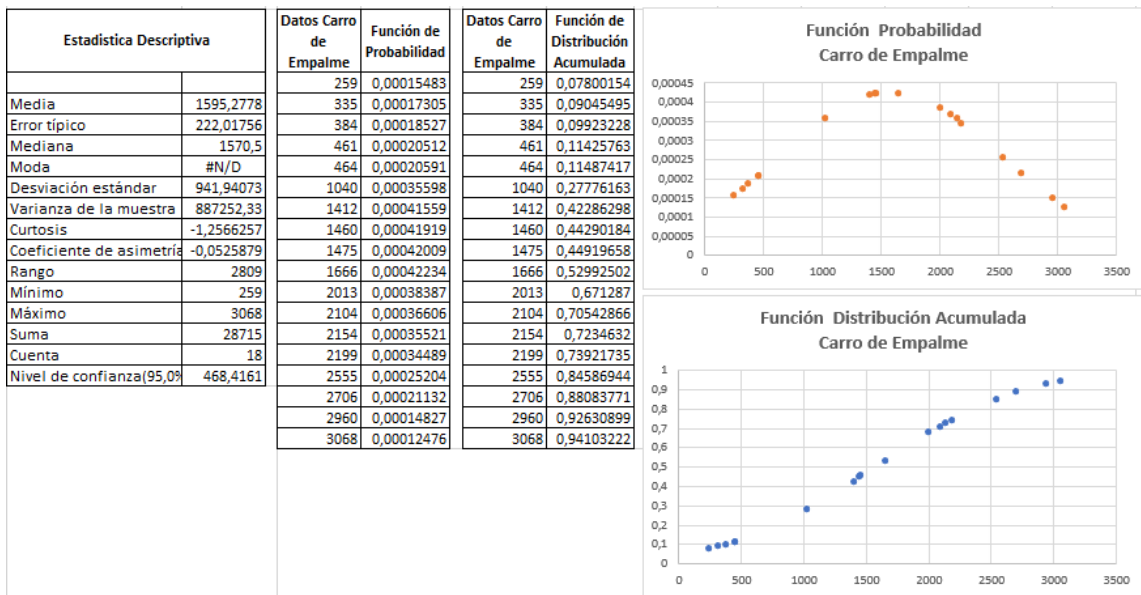


Tabla 4 Probabilidad de fallo de carro de empalme. Fuente: Elaboración propia.

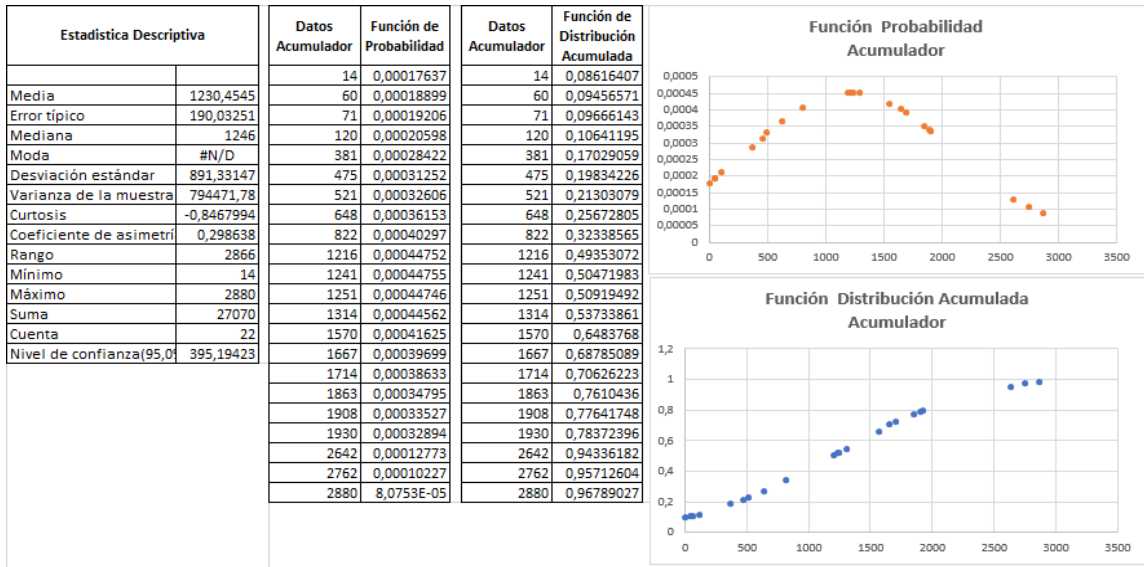


Tabla 5 Probabilidad de fallo de acumulador. Fuente: Elaboración propia.

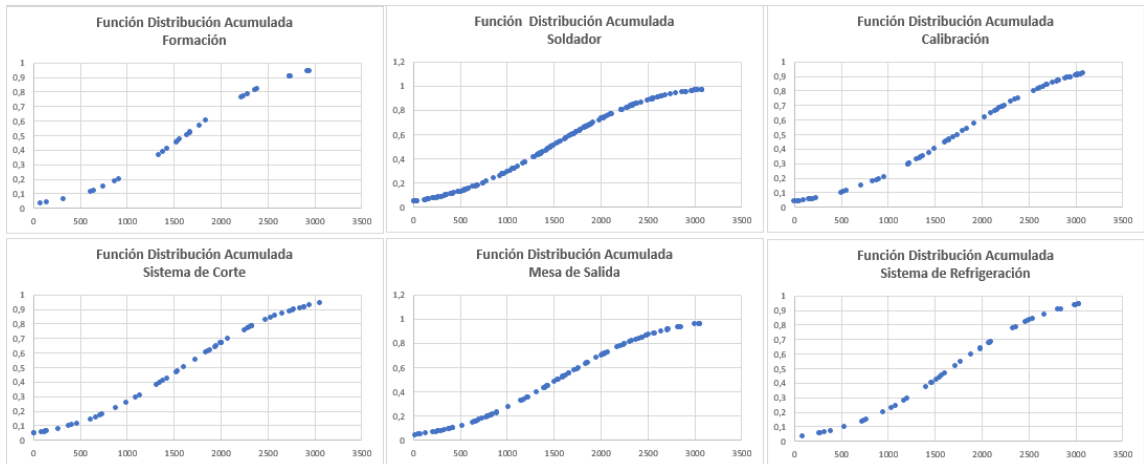


Ilustración 3-4 Distribución de fallos para evaluación de confiabilidad. Fuente: Elaboración propia.

Las gráficas presentan los siguientes datos por componente:

- Devanador: La probabilidad de fallo a las 1500 horas es de 58%, lo que resulta en una confiabilidad del 42%.
- Carro de empalme: La probabilidad de fallo a las 1500 horas es del 42%, lo que corresponde a una confiabilidad del 58%.

- Acumulador: La probabilidad de fallo a las 1500 horas es de 63% con una confiabilidad 37%.
- Formación: La probabilidad de fallo a las 1500 horas es de 45%, correspondiendo a una confiabilidad 55%.
- Soldador: La probabilidad de fallo a las 1500 horas es de 50 % con una confiabilidad del 50%.
- Calibración: La probabilidad de fallo a las 1500 horas es de 40%, lo que representa una confiabilidad del 60%.
- Sistema de corte: La probabilidad de fallo a las 1500 horas es de 48%, lo cual representa una confiabilidad del 52%.
- Mesa de salida: La probabilidad de fallo a las 1500 horas es de 43%, lo cual equivale a una confiabilidad del 57%.
- Sistema de refrigeración: La probabilidad de fallo a las 1500 horas es de 42%, lo que resulta en una confiabilidad 58%.

La conformadora funciona bajo un modelo de componentes en serie, sin contar con equipos auxiliares redundantes. Debido a esto, la confiabilidad de la tubera para las 1500 horas se detalla de la siguiente manera:

$$R_s(t): R_1(t) * R_2(t) * \dots * R_n(t)$$

$$R_s(t): 0,42 * 0,52 * 0,37 * 0,55 * 0,50 * 0,60 * 0,52 * 0,57 * 0,58$$

$$R_s(t): 4\%.$$

La confiabilidad total de la máquina corresponde a un 4%.

3.2 ANÁLISIS FUNCIONAL

La conformadora Yoder está diseñada para producir perfiles cerrados redondos y perfiles cerrados cuadrados. Los formatos para tubos redondos van desde los 20 a los

33,7 mm de diámetro con espesores dentro del rango de 1 mm a 3 mm. Los tubulares cuadrados se manufacturan desde el formato 15x15 al formato 50x50 y los tubulares rectangulares desde 30x20 al 70x30 con espesores dentro del mismo rango de los redondos, es decir, de 1 a 3 mm.

El material de los flejes de acero utilizados en el proceso de la máquina es acero ASTM653-A36 y acero galvanizado. Dichos flejes tienen un desarrollo dentro del intervalo de 68 a 191 mm, con un peso que se encuentra en el rango de 1200 a 3500 kg.

3.2.1 Análisis Funcional del devanador

3.2.1.1 Contexto operacional

El proceso de carga del devanador es realizado de forma manual con apoyo de teclé, en un espacio abierto sometido a la humedad y temperatura que ronda entre 8 y 30°C según la temporada estacional. El componente opera 18 horas diarias, divididos en 2 turnos de 9 horas durante 5 días a la semana. Según necesidades las horas pueden aumentar a 11 horas diarias.

3.2.1.2 Función primaria

Permitir el devanado del fleje mediante tracción de este desde otro componente del proceso denominado acumulador.

3.2.1.3 Funciones secundarias

- Sujetar los flejes de acero mediante un sistema expansor.
- Controlar la velocidad de desenrollado del fleje.

3.2.1.4 Estándar operacional

- Presión neumática: 15-45 psi.
- Presión hidráulica: 58 Bar.
- Amperaje de bomba: 5.5 A.
- Temperatura de aceite: 40-60°C.
- Volumen de aceite: 73 L.



Ilustración 3-5 Devanador. Fuente: Indama

3.2.2 Análisis funcional del carro de empalme

3.2.2.1 Contexto operacional

El equipo es controlado de forma manual mediante el accionamiento de pedales y el proceso de soldeo es automático previa parametrización. Opera en la nave bajo condiciones de humedad y temperatura que ronda entre 8 y 30°C según la temporada estacional. El componente opera 18 horas diarias, divididos en 2 turnos de 9 horas durante 5 días a la semana. Según necesidades las horas pueden aumentar a 11 horas diarias.

3.2.2.2 Función Primaria

Empalmar los extremos de dos flejes consecutivos para permitir continuidad de la chapa metálica.

3.2.2.3 Funciones secundarias

- Seccionar los tramos finales de los flejes.
- Soportar y sujetar los extremos de los flejes.
- Avanzar y retroceder conforme a la línea central de proceso.
- Trasladar torcha de soldeo de forma uniforme.

3.2.2.4 Estándar operacional

- Presión neumática: 90 psi.
- Presión hidráulica: 70 Bar.
- Amperaje equipo TIG: 80-105 A.
- Temperatura de aceite: 40-60°C.
- Volumen de aceite: 23 L.



Ilustración 3-6 Carro de empalme. Fuente: Indama.

3.2.3 Análisis funcional del acumulador

3.2.3.1 Contexto operacional

Su funcionamiento es controlado desde una consola de mando donde se regulan los parámetros de operación. Opera en la nave bajo condiciones de humedad y temperatura que ronda entre 8 y 30°C según la época del año. El lugar de trabajo se caracteriza por una alta concentración de polvo metálico proveniente del acero del proceso. El componente opera 18 horas diarias, divididos en 2 turnos de 9 horas durante 5 días a la semana. Según necesidades las horas pueden aumentar a 11 horas diarias.

3.2.3.2 Función principal

Acopiar una determinada cantidad de flejes para permitir la continuidad del proceso y evitar detenciones durante el agotamiento de estos.

3.2.3.3 Funciones secundarias

- Traccionar el fleje desde el devanador.
- Sincronizar las velocidades de enrollado y tracción.
- Soportar, nivelar y guía la chapa metálica en el proceso.
- Frenar la chapa metálica para mantener rigidez longitudinal.

3.2.3.4 Estándar operacional

- Presión neumática: 105 psi.
- Amperaje de motor de tracción: 45-50 A.
- Temperatura de motor de tracción: 25-30°C.
- Nivel vibratorio motor de tracción: 1,4-2,3 mm/s².

- Amperaje de motor de enrollado: 70-78 A.
- Temperatura de motor de enrollado: 30-45°C.
- Nivel vibratorio motor enrollado: 1,4-2,3 mm/s².
- Velocidad de tracción: 25-35 m/min.
- Velocidad de enrollado: 25-35 m/min.
- Capacidad de almacenamiento: 5000 kg.



Ilustración 3-7 Acumulador de flejes. Fuente: Indama.

3.2.4 Análisis funcional de formación

3.2.4.1 Contexto operacional

Su funcionamiento es controlado desde una consola de mando principal donde se regula la velocidad de operación. La regulación y nivelación es manual mediante la manipulación de los pedestales y guías laterales. Opera en la nave bajo condiciones de temperatura que ronda entre 8 y 30°C según la temporada. El lugar de trabajo se caracteriza por una alta concentración de borra proveniente de polvo metálico expedido del acero del proceso mezclado con refrigerante soluble. La humedad del sector es más elevada que otras partes de la máquina por la recirculación de soluble. El componente opera 18 horas diarias, divididos en 2 turnos de 9 horas durante 5 días a la semana. Según necesidades las horas pueden aumentar a 11 horas diarias.

3.2.4.2 Función principal

La función principal del componente es entregar las medidas finales al perfil procesado.

3.2.4.3 Funciones secundarias

- Traccionar la chapa metálica.
- Soportar, nivelar y guiar la chapa metálica durante el proceso.
- Variar la velocidad de conformado.
- Absorber desalineamientos mecánicos concernientes al proceso.
- Transmitir movimiento entre pasos consecutivos.
- Disipar calor de las transmisiones secundarias por recirculación forzada de lubricante.

3.2.4.4 Estándar operacional

- Velocidad de línea: 10-54 m/min.
- Amperaje de motor: 135-185 A.
- Nivel vibratorio de motor: 1,4-2,3 mm/s².
- Temperatura de motor: 35-45°C.
- Nivel vibratorio de reductor principal: 1,4-2,3 mm/s².
- Temperatura de reductor principal: 45-70°C.
- Volumen de lubricante de reductor principal: 22 L.
- Temperatura de reductores secundarios: 55-70°C.
- Volumen de lubricante de reductores secundarios: 28 L.
- Temperatura de rodamientos: 30-35°C.
- Temperatura de acoplamientos: 25-35°C.
- Volumen de lubricante de central: 294 L.
- Caudal de lubricante: 30 L/min.



Ilustración 3-8 Bancada de formación. Fuente: Indama.

3.2.5 Análisis funcional del soldador

3.2.5.1 Contexto operacional

El funcionamiento del soldador HF es controlado desde una consola de mando donde se regula la potencia de soldeo. Los componentes auxiliares se controlan desde la consola de mando principal. El proceso de soldeo se realiza con rangos de temperatura elevados de forma localizada sin contacto para generar la fusión de los bordes, por lo que el calor es mayor en esta área de la máquina, bajo condiciones de temperatura que ronda entre 15 y 40°C. El lugar de trabajo se caracteriza por una alta concentración de borra proveniente de polvo metálico expedido del acero del proceso mezclado con refrigerante soluble y de gases provenientes de la soldadura. La humedad del sector es la más alta de la máquina por la recirculación de soluble que tiende a evaporarse. El componente opera 18 horas diarias, divididos en 2 turnos de 9 horas durante 5 días a la semana. Según necesidades las horas pueden aumentar a 11 horas diarias.

3.2.5.2 Función principal

La función principal del equipo es sellar longitudinalmente los vértices de la chapa metálica mediante soldadura HF, para crear de esta manera el perfil cerrado.

3.2.5.3 Funciones secundarias

- Propiciar compresión mecánica para fusionar los cantos del perfil.
- Limpiar la superficie soldada por arranque de viruta.
- Seccionar la viruta extraída de la costura del perfil.
- Extraer los gases del proceso.
- Disipar temperatura de la electrónica de potencia.
- Disipar la temperatura del impeder o ferrita.
- Soportar, nivelar y guiar la chapa metálica durante el proceso.

3.2.5.4 Estándar operacional

- Amperaje de oscilador: 300-600 A.
- Voltaje de oscilador: 180-380 V.
- Temperatura de circuito refrigeración soldador: 25-35°C.
- Volumen de circuito refrigeración soldador: 250 L.
- Temperatura de circuito refrigeración impeder: 25-35°C.
- Volumen de circuito refrigeración impeder: 420 L.
- Velocidad de corte de viruta: 40-70 m/min.
- Amperaje de extractor: 12-15 A.



Ilustración 4-9 Soldador. Fuente: Indama.

3.2.6 Análisis funcional de calibración

3.2.6.1 Contexto operacional

Su funcionamiento es controlado desde una consola de mando principal donde se regula la velocidad de operación. La regulación y nivelación es manual mediante la manipulación de los pedestales y guías laterales. Opera en la nave bajo condiciones de temperatura que ronda entre 8 y 30°C según la temporada. El lugar de trabajo se caracteriza por una alta concentración de borra proveniente de polvo metálico expedido del acero del proceso mezclado con refrigerante soluble. La humedad del sector es más elevada que otras partes de la máquina por la recirculación de soluble. El componente opera 18 horas diarias, divididos en 2 turnos de 9 horas durante 5 días a la semana. Según necesidades las horas pueden aumentar a 11 horas diarias.

3.2.6.2 Función principal

La función principal del componente es entregar las medidas finales al perfil procesado.

3.2.6.3 Funciones secundarias

- Traccionar la chapa metálica.
- Soportar, nivelar y guiar la chapa metálica durante el proceso.
- Variar la velocidad de conformado.
- Absorber desalineamientos mecánicos concernientes al proceso.
- Transmitir movimiento entre pasos consecutivos.
- Disipar calor de las transmisiones secundarias por recirculación forzada de lubricante.
- Enderezar a la salida el perfil contrarrestando las tensiones que originan ladeo de este.

3.2.6.4 Estándar operacional

- Velocidad de línea: 10-54 m/min.
- Amperaje de motor: 135-185 A.
- Nivel vibratorio de motor: 1,4-2,3 mm/s².
- Temperatura de motor: 35-45°C.
- Nivel vibratorio de reductor principal: 1,4-2,3 mm/s².
- Temperatura de reductor principal: 45-70°C.
- Volumen de lubricante de reductor principal: 22 L.
- Temperatura de reductores secundarios: 55-70°C.
- Volumen de lubricante de reductores secundarios: 28 L.
- Temperatura de rodamientos: 30-35°C.
- Temperatura de acoplamientos: 25-35°C.
- Volumen de lubricante de central: 294 L.
- Caudal de lubricante: 30 L/min.



Ilustración 3-10 Bancada de calibración. Fuente: Indama

3.2.7 Análisis funcional del sistema de corte

3.2.7.1 Contexto operacional

El equipo funciona de manera automática con parametrización y puesta en marcha ejecutada desde consola de mando propia, en un espacio abierto sometido a una temperatura que ronda entre 8 y 30°C según la temporada estacional. El lugar de trabajo además está expuesto a proyección y acumulación de partículas metálicas propias del proceso de corte. Existe de igual forma la humedad en esta zona es mayor debido a la recirculación de refrigerante soluble para disipar la temperatura de la sierra. El componente opera 18 horas diarias, divididos en 2 turnos de 9 horas durante 5 días a la semana. Según necesidades las horas pueden aumentar a 11 horas diarias.

3.2.7.2 Función principal

La función principal del equipo es seccionar el perfil cerrado a la longitud determinada según especificaciones.

3.2.7.3 Funciones secundarias

- Soportar, nivelar y guiar el perfil durante el proceso.
- Sujetar el perfil en el momento del corte.
- Avanzar y retroceder en sentido longitudinal para permitir el corte en sincronización con el avance del perfil.
- Monitorear continuamente la longitud del tubo.

3.2.7.4 Estándar operacional

- Velocidad de avance longitudinal: 10-54 m/min.
- Velocidad de avance de corte: 5-28 m/min.
- Presión neumática: 110 psi.
- Amperaje servomotor de avance: 16-20 A.
- Amperaje servomotor de accionamiento corte: 10-12 A.
- Amperaje motor accionamiento sierra: 18-22 A.
- Volumen de reductor: 20 L.



Ilustración 3-11 Sistema de corte. Fuente Indama.

3.2.8 Análisis funcional de mesa de salida

3.2.8.1 Contexto operacional

El componente opera de forma automática y su parametrización es ejecutada desde la consola de mando principal. El lugar de emplazamiento está sometido a las condiciones del ambiente, con una temperatura que ronda entre 8 y 30°C según la época del año. La humedad en este sector de la máquina es mayor al promedio a causa del soluble que decanta en los canales de retorno. La acumulación de borra metálica en los canales adyacentes en el componente es común. El equipo al igual que el resto de componentes, opera 18 horas diarias, divididos en 2 turnos de 9 horas durante 5 días a la semana. Según necesidades las horas pueden aumentar a 11 horas diarias.

3.2.8.2 Función principal

Desalojar los perfiles ya procesados para su posterior armado en lotes.

3.2.8.3 Funciones secundarias

- Desviar los tubos de la línea central del proceso hacia los flancos de la estructura.
- Soportar y nivelar los tubos durante el proceso.
- Detener el funcionamiento de la máquina en presencia de perfiles no seccionados.

3.2.8.4 Estándar operacional

- Velocidad de evacuación: 70 m/min.
- Presión neumática: 90 psi.
- Amperaje de motor: 22-25 A.



Ilustración 3-12 Mesa de salida. Fuente: Indama

3.2.9 Análisis funcional de sistema de refrigeración

3.2.9.1 Contexto operacional

El funcionamiento del sistema es controlado desde la consola de mando principal, a excepción de la bomba de retorno, cuyo funcionamiento es controlado de manera automática por medio de sensores de nivel. Como sistema auxiliar de la máquina, el

sistema de refrigeración está presente desde la bancada de formación hasta la mesa de salida, estando sometido a las condiciones ambientales descritas en dichos componentes. Existe un valor de temperatura relativamente alto en la tina de enfriamiento debido al intercambio de calor del perfil recién soldado con el soluble, la cual entra en un rango de 50 a 60°C. El componente opera 18 horas diarias, divididos en 2 turnos de 9 horas durante 5 días a la semana.

3.2.9.2 Función principal

Enfriar y lubricar el tubo durante su conformación para disminuir la fricción y tensiones que deformen su geometría.

3.2.9.3 Funciones secundarias

- Limpiar los rodillos matriceros de las partículas adheridas en su superficie.
- Filtrar las partículas desprendidas de la chapa metálica durante el proceso de conformado.
- Disipar a la atmósfera parte del calor extraído del proceso.
- Refrigerar la bobina del soldador HF y la sierra HSS.
- Evacuar el soluble contenido en los canales de la máquina.

3.2.9.4 Estándar operacional

- Concentración de soluble: 1 M.
- Amperaje de bomba de recirculación: 13 A.
- Caudal de bomba de recirculación: 400 L/min.
- Amperaje bomba de retorno: 8 A.
- Caudal bomba de retorno 510 L/min.
- Volumen de refrigerante en estanque: 300 L.
- Temperatura de soluble en tina: 50-60°C.
- Temperatura de soluble en estanque: 40-45°C.



Ilustración 3-13 Tina de enfriamiento. Fuente: Indama.

3-3 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLOS

3.3.1 Definiciones

En este paso se describen todos los fallos funcionales de cada componente del activo junto a todos los modos de fallas posibles que pudieran ocurrir durante la operación. Para determinar la severidad se utilizó la clasificación implementada en la empresa, la cual está definida por el departamento de producción, el departamento de mantenimiento y el departamento de seguridad, salud ocupacional y medio ambiente.

ÍNDICE DE SEVERIDAD				
Valorización	Medio Ambiente (10%)	Seguridad (15%)	Costos de Producción (40%)	Costos de Mantenimiento (35%)
5	Revocación de la resolución de calificación ambiental.	Muerte.	Más de \$3.000.000	Más de \$3.000.000
4	Cierre definitivo o parcial.	Gran invalidez.	Entre \$3.000.000 y \$2.000.000	Entre \$3.000.000 y \$2.000.000
3	Multa de 1 a 10 UTM.	Invalidez Total.	Entre \$2.000.000 y \$1.000.000	Entre \$2.000.000 y \$1.000.000
2	Amonestación por escrito.	Invalidez parcial.	Entre \$1.000.000 y \$100.000	Entre \$1.000.000 y \$100.000
1	Nada.	Invalidez temporal.	Menor a \$100.000	Menor a \$100.000

Tabla 6 Niveles de severidad. Fuente: Indama

La clasificación de los niveles de ocurrencia está tabulada por el departamento de mantenimiento en una escala de valoración de 5 niveles según su repetición.

ÍNDICE DE OCURRENCIA		
Valorización	Probabilidad posible de falla	
5	1/10	Alta
4	1/25	Frecuente
3	1/50	Ocasional
2	1/100	Poco Probable
1	1/500	Remota

Tabla 7 Clasificación de niveles de ocurrencia. Fuente: Indama

Para estipular el índice de detección se utilizó la clasificación empleada por el departamento de mantenimiento.

ÍNDICE DE DETECCIÓN		
Valorización	Detección	
5	Nula	No se puede detectar una causa potencial / mecanismo y modo de falla subsecuente.
4	Muy baja	Baja probabilidad para detectar causas potenciales mecanismos y modos de fallas subsecuentes.
3	Moderada	Mediana probabilidad para detectar causas potenciales / mecanismos y modos de fallas subsecuentes.
2	Alta	Casi siempre se detectarán causas potenciales / mecanismos y modos de fallas subsecuentes.
1	Segura	Siempre se detectarán causas potenciales / mecanismos y modos de fallas subsecuentes.

Tabla 8 Clasificación de niveles de detección. Fuente: Indama

En el método AMEF se emplea un análisis de criticidad de los posibles fallos funcionales mediante un índice de prioridad de riesgo (IPR) que responde al producto de los índices de severidad, ocurrencia y detección.

$$IPR: SxOxD$$

Donde S corresponde a la severidad, la letra O corresponde a la ocurrencia o repetibilidad y la letra D a la detección del modo de falla.

3.3.2 Análisis de modo y efecto de fallas del devanador

En el análisis AMEF se identificaron cinco fallos funcionales y once modos de fallos diferentes. El IPR más elevado corresponde a la interrupción de la energía eléctrica, donde la detectabilidad del modo de fallo y los costos de producción son la causa directa de dicho valor. Por lo tanto, la interrupción del suministro de energía por

perturbaciones en la red tendrá el mayor IPR en la mayoría de los componentes de la conformadora, no solo por los factores previamente nombrados, sino por la imprevisibilidad de la ocurrencia y por la incertidumbre en la reposición del servicio.

Falla Funcional	Modo de Falla	Causas	S	O	D	C
Central hidráulica se apaga en operación	Interrupción de energía eléctrica	Perturbación en el suministro de energía	1,8	3	5	27
	Flickers y fluctuaciones de voltaje	Perturbación en el suministro de energía	1	3	5	15
	Protección eléctrica activada	Cortocircuito en bomba	2,15	2	4	17,2
		Cortocircuito en cableado	1,8	2	3	10,8
		Sobrecarga mecánica	2,15	3	2	12,9
Fleje no se desenrolla correctamente	Frenos no accionan	Presión neumática de línea nula	1,4	3	2	8,4
		Válvula manual cerrada o averiada	1	3	1	3
		Pasador de diafragma caído	1	2	1	2
	Frenado deficiente	Baja presión neumática	1,4	3	2	8,4
		Desgaste de frenos	2,15	4	1	8,6
		Disco de frenado deforme	3,3	2	2	13,2
		Rotura de diafragma neumático	2,9	1	5	14,5
	Soltura de aspo	Chaveta de eje cortada	2,95	2	4	23,6
	Avería en mecanismo	Rodamientos averiados	2,95	3	3	26,6
	Desplazamiento lateral del fleje	Soltura de bases	1,15	4	1	4,6
Aletas de fijación no instaladas		1	2	1	2	
Equipo no sujeta el fleje	Cilindro de expansor no acciona	Central hidráulica desenergizada	1	3	1	3
		No existe señal eléctrica de activación	1,4	2	4	11,2
		Relé de conmutación dañado	1,4	2	5	14
		Electroválvula averiada	2,15	1	5	10,8
	Tope de expansor dañado	Tuerca de sujeción averiada	2,55	2	3	15,3
		Hilo de eje dañado	3,3	2	2	13,2
Fleje se suelta durante proceso	Caída de presión hidráulica	Central hidráulica desenergizada	1	3	1	3
		Bajo nivel de aceite de central	1	3	1	3
		Bomba hidráulica deficiente	1,75	2	4	14
		Desgaste de sellos de cilindro	2,6	1	5	13

Tabla 9 AMEF de devanador. Fuente: Elaboración propia.

3.3.3 Análisis de modo y efecto de fallas del carro de empalme

El análisis AMEF determinó ocho fallos funcionales del componente con diecisiete modos de fallas distintos. Con una ponderación de 28,5 el modo de falla con mayor IPR corresponde a la alimentación de argón deficiente por fuga en el circuito que conlleva al fallo funcional de empalme deficiente. Este valor numérico definido se debe en parte a la dificultad para detectar la fuga durante el proceso productivo y el riesgo de detención del proceso por la ruptura del empalme durante el proceso de tracción.

Falla Funcional	Modo de Falla	Causas	S	O	D	C		
Equipo no enciende	Interrupción de energía eléctrica	Perturbación en el suministro de energía	1,8	3	5	27		
	Protección eléctrica activada	Cortocircuito en equipo TIG Cortocircuito en cableado	1,4 1,9	3 2	5 4	21 15,2		
Equipo no solda	No existe flujo de corriente	Equipo incorrectamente parametrizado Soldadura de conexión a tierra	1 1	3 3	1 1	3 3		
	Fallo electrónico en circuito	Fusible abierto Tarjeta electrónica averiada	1,4 2,15	2 1	3 5	8,4 10,8		
		Arco eléctrico defectuoso	Incorrecta regulación de amperaje Electrodo incorrectamente posicionado Desgaste de electrodo Polaridad incorrecta Conexión a tierra floja	1,55 1,55 1,9 1,55 1	3 2 1 2 3	2 1 2 2 2	9,3 3,1 3,8 6,2 6	
Alimentación de gas inerte nula o deficiente	Cilindro de argón vacío Electroválvula de paso no acciona Regulador manual cerrado Fuga de argón en el sistema Presión y/o caudal de gas incorrecto		1 1,9 1,15 1,9 1,55	5 2 4 3 3	1 5 1 5 1	5 19 4,6 28,5 4,65		
	Desplazamiento de torcha deficiente		Equipo incorrectamente parametrizado Desgaste de escobillas de motor Suciedad en guías y/o husillo Rodamientos averiados Acoplamiento dañado	1 1,9 1,55 1,9 1,9	4 2 5 4 3	1 5 1 1 2	4 19 7,75 7,6 11,4	
			Mordazas no se activan	Central hidráulica desenergizada Pedal de accionamiento averiado Relé de conmutación dañado	1 1,75 1,4	3 3 2	1 4 5	3 21 14
				Caida de presión hidráulica	Central hidráulica desenergizada Bajo nivel de aceite de central Bomba hidráulica deficiente	1 1,4 2,5	3 2 2	1 1 5
Accionamiento irregular de cilindros de prensas		Presión hidráulica baja Carrera de cilindros incorrecta Desgaste de sellos Fuga de aceite en circuito			1 1,4 2,5 1,5	2 1 2 3	3 3 5 1	6 7,5 15 4,5
	Superficies de contacto irregular	Desgaste de mordazas Suciedad y/o escoria en mordazas Chapa metálica deforme	2,15 1,4 1,4		3 5 1	2 1 2	12,9 7 2,8	
		Caida de presión hidráulica	Central hidráulica desenergizada Bajo nivel de aceite de central Bomba hidráulica deficiente	1 1,4 2,5	2 2 2	1 1 5	2 2,8 25	
Accionamiento irregular de cilindro de cuchillos			Presión hidráulica baja Carrera de cilindro incorrecta Desgaste de sellos Fuga de aceite en circuito	1 1,8 2,65 1,5	2 1 2 3	3 3 5 1	6 5,4 26,5 4,5	
	Superficie de corte fuera de estandar		Desgaste de cuchillos Cuchillos quebrados Calibración de cuchillos incorrecta	2,55 2,55 2,2	3 2 2	3 2 3	23 10,2 13,2	
		Cilindro de desplazamiento no acciona	Presión neumática nula Pedal de accionamiento averiado Horquilla de cilindro desacoplada	1,7 1,75 1,8	3 3 1	1 4 2	5,1 21 3,6	
Accionamiento irregular de cilindros de prensas			Presión neumática baja Regulación de caudal deficiente Carrera de cilindros incorrecta Desgaste de sellos Fuga de aire en circuito	1 1 1,4 2,15 1,4	2 2 1 2 4	2 3 3 5 1	4 6 4,2 21,5 5,6	
	Deterioro de estructura		Desgaste de ruedas Desgaste de rieles	1,9 1,9	4 1	1 1	3,8 1,9	

Tabla 10 AMEF de empalmador. Fuente: Elaboración propia.

3.3.4 Análisis de modo y efecto de fallas del acumulador

Falla Funcional	Modo de Falla	Causas	S	O	D	C
Equipo se detiene en funcionamiento	Interrupción de energía eléctrica	Perturbación en el suministro de energía	2,6	3	5	39
	Flickers y fluctuaciones de voltaje	Perturbación en el suministro de energía	1,4	3	5	21
	Protección eléctrica activada	Cortocircuito en motores	2,3	2	4	18,4
		Cortocircuito en cableado	2,3	2	3	13,8
	Alarma activada	Sobrecarga en operación	1	3	3	9
Tornamesa no gira		Parada de emergencia activada	1	3	2	6
	Protección eléctrica activada	Cortocircuito en motor	2,15	3	4	25,8
		Cortocircuito en cableado	2,3	2	3	13,8
	Alarma activada	Sobrecarga en operación	1,4	3	3	12,6
		Parada de emergencia activada	1	3	2	6
	Avería en reductor	Chaveta cortada de pinón	2,95	2	4	23,6
Tornamesa no acumula su capacidad nominal		Desgaste en engranajes y rodamientos	2,9	3	5	43,5
	Reductor desplazado	Soltura mecánica en bases	1,4	3	2	8,4
	Junta cardánica caída	Pernos de sujeción caídos	1,4	2	1	2,8
	Desincronización en velocidades	Error operacional	1	4	1	4
		Error operacional	1,55	4	2	12,4
	Frenado no activado	Electroválvula trabada	1,9	3	2	11,4
		Señal eléctrica nula	1,55	3	3	14
		Presión neumática de frenado nula	1,55	3	2	9,3
	Frenado deficiente	Desgaste de balatas	2,3	5	2	23
		Presión neumática de frenado baja	1	3	1	3
Giro de tornamesa opera a tirones	Frenos no cumplen recorrido	Trabamiento por suciedad en guías	1,4	5	2	14
		Carrera de cilindro incorrecta	1,4	2	3	8,4
	Fleje mal acopiado	Operación incorrecta	1,95	4	3	23,4
Alimentador auxiliar no funciona	Avería en reductor	Desgaste en engranajes y rodamientos	1,75	2	5	17,5
	Avería en transmisión	Desgaste de corona de tornamesa	4	3	3	36
	Protección eléctrica activada	Cortocircuito en motor	2,3	2	2	9,2
		Cortocircuito en cableado	2,3	2	2	9,2
	Alarma activada	Sobrecarga en operación	1	2	3	6
Alimentador auxiliar no tracciona correctamente		Parada de emergencia activada	1	3	2	6
	Avería en mecanismo de giro	Correas rotas o sueltas	1,75	3	2	10,5
		Rodillo tractor trabado	2,15	3	3	19,4
	Desincronización en velocidades	Error de parametrización	1,4	3	2	8,4
	Deslizamiento en transmisión	Correas destensadas o desgastadas	1,75	4	2	14
		Poleas con desgaste	2,15	2	3	12,9
	Cilindro de accionamiento rodillo de contacto sin fuerza	Baja presión neumática de rodillo	1	3	1	3
		Desgaste de sellos	1,75	3	5	26,3
		Fuga de aire en circuito	1	3	1	3
Rodillo de contacto no presiona el fleje	Desgaste de rodillos	2,15	2	2	8,6	
	Trabamiento por suciedad en guías	1,4	4	1	5,6	
	Carrera de cilindro incorrecta	1,4	3	3	12,6	

Tabla 11 AMEF de acumulador. Fuente: Elaboración propia.

En el análisis AMEF se distinguen un total de seis fallas funcionales con dieciocho modos de fallas diferentes, de los cuales, cinco de estos se repiten en averías funcionales distintas. El IPR más elevado con 43,5 corresponde a la avería del reductor de la tornamesa debido a la nula posibilidad de detectar a tiempo daños en los componentes internos del mismo.

3.3.5 Análisis de modo y efecto de fallas de formación

Falla Funcional	Modo de Falla	Causas	S	O	D	C
Equipo se detiene en funcionamiento	Interrupción de energía eléctrica Flickers y fluctuaciones de voltaje	Perturbación en el suministro de energía	2,6	3	5	39
		Perturbación en el suministro de energía	1,4	3	5	21
	Protección eléctrica activada	Cortocircuito en motor	1,9	2	4	15,2
		Cortocircuito en cableado	1,9	2	3	11,4
		Sobrecarga mecánica	1	3	3	9
Alarma activada	Parada de emergencia activada	1	3	2	6	
Bancada no tracciona	Protección eléctrica activada	Cortocircuito en motor	2,15	3	4	25,8
		Cortocircuito en cableado	2,3	2	3	13,8
	Alarma activada	Sobrecarga en operación	1,4	3	3	12,6
		Parada de emergencia activada	1	3	2	6
	Avería en reductor	Chaveta de engranaje cortada	2,95	2	4	23,6
		Desgaste en engranajes	2,9	3	5	43,5
	Avería en acoplamientos principales	Grilla quebrada	1,4	2	1	2,8
Chaveta de acople cortada		2,55	2	4	20,4	
Tracción irregular en bancada de pedestales	No existe tracción entre pedestales de pasos consecutivos	Acoplamiento entre pasos dañado	2,55	3	5	38,25
		Eje transversal entre pasos cortado	2,95	2	3	17,7
		Engrane de eje transversal averiado	2,95	3	5	44,25
	No existe tracción en el eje de un pedestal	Junta cardánica caída	1,95	3	2	11,7
		Chaveta de acoplamiento cortada o caída	1,8	2	3	10,8
Avería interna de reductor	3,3	3	4	39,6		
Geometría de perfil incorrecta	Fallo en matriceria	Rodillos matriceros con desgaste	2,2	3	2	13,2
		Rodillos matriceros con incrustaciones	2,2	3	1	6,6
		Rodillos matriceros no alineados	2,2	4	3	26,4
		Chaveta de rodillos matriceros cortada	1,8	2	2	7,2
		Eje de superior o inferior con juego axial	1,8	4	2	14,4
	Avería mecánica en pedestal	Rodamiento de eje de pedestal averiado	2,15	4	3	25,8
		Sistema de levante de cabezal dañado	1,4	3	2	8,4
		Poco caudal de soluble refrigerante	1,4	3	1	4,2
	Deformación por alta temperatura en perfil	Soluble con alta temperatura	1,8	4	1	7,2
	Perfil se dobla	Trabamiento en transmisión	Caja reductora averiada	2,15	3	3
Acoplamiento entre pasos dañado			2,55	3	5	38,25
Junta cardánica caída o averiada			1,95	3	2	11,7
Desincronización de velocidades		Error de parametrización de VDF	1	3	1	3
		Fallo en control electrónico	2,9	3	5	43,5
Funcionamiento irregular de sistema de lubricación forzada	Derrame de lubricante en bancada	Válvula de retorno cerrada	2,4	2	1	4,8
		Incorrecta regulación de caudal	2,4	4	3	28,8
		Cañerías o fitting quebrado	2,4	3	3	21,6
		Sellos de reductores averiados	2,8	3	2	16,8
	Lubricante no fluye	Bajo nivel de lubricante en estanque	1,75	3	1	5,25
		Bomba descebada o averiada	2,1	2	4	16,8
		Reguladores de caudal cerrados	1,75	2	2	7
	Lubricante con alta temperatura	Sobrecarga mecánica de reductores	1,75	2	5	17,5
		Intercambiador de calor averiado	2,1	2	2	8,4
		Bajo nivel de lubricante en estanque	1,75	3	1	5,25

Tabla 12 AMEF de formación. Fuente: Elaboración propia.

En el análisis se determinan seis fallas funcionales y diecinueve modos de fallos, de los cuales cuatro de ellos se repiten en fallos funcionales distintos. Con un valor de 44,25 en el índice de riesgo, el fallo funcional de mayor ponderación es la pérdida de tracción de la chapa metálica durante su conformado, cuando su modo de fallo es la avería de caja reductora debido a fallo de engranaje. La nula posibilidad de detectar el deterioro del componente, sumado al impacto en costos de mantenimiento y pérdidas productivas por detención del activo, contribuyen a esta medida.

3.3.6 Análisis de modo y efecto de fallas del soldador

Falla Funcional	Modo de Falla	Causas	S	O	D	C
Equipo se detiene en funcionamiento	Interrupción de energía eléctrica	Perturbación en el suministro de energía	2,6	3	5	39
	Flickers y fluctuaciones de voltaje	Perturbación en el suministro de energía	1,4	3	5	21
	Protección eléctrica activada	Cortocircuito en motor	1,9	2	4	15,2
		Cortocircuito en cableado	1,9	2	3	11,4
	Alarma activada	Sobrecarga mecánica	1	3	3	9
Equipo no solda	Fallo en control electrónico	Parada de emergencia activada	1	3	2	6
		Regulador de HF descalibrado	2,55	2	5	25,5
		Tarjeta de control dañada	2,55	2	5	25,5
	Fallo en electrónica de potencia	Alarma activada	1,4	3	3	12,6
		Circuito rectificador averiado	2,55	2	4	20,4
		Circuito oscilador averiado	2,55	2	4	20,4
		Transformador defectuoso	2,55	2	4	20,4
		Fuga de corriente HF	2,15	2	5	21,5
		Alarma activada	1,4	3	3	12,6
	Alta impedancia em el sistema	Impeder dañado	1,8	4	3	21,6
		Bobina de cabezal averiada	2,15	3	3	19,35
		Baja regulación de potencia	1,4	4	1	5,6
Soldadura de perfil defectuosa	Fallo en control electrónico	Regulador de HF descalibrado	2,55	2	5	25,5
		Baja regulación de potencia	1,4	4	1	5,6
		Potenciómetro defectuoso	1,75	3	2	10,5
	Campo electromagnético deficiente	Impeder incorrecto	2,6	3	1	7,8
		Impeder defectuoso	2,6	3	3	23,4
		Bobina de cabezal incorrecta	2,6	3	1	7,8
		Bobina de cabezal defectuosa	2,6	3	3	23,4
	Compresión mecánica deficiente	Ajuste incorrecto de rodillos soldadores	1,4	4	2	11,2
		Rodillos soldadores topados	2,95	3	2	17,7
		Rodamientos de rodillos dañados	2,95	3	2	17,7
Acabado de costura fuera de estandar	Arranque de viruta defectuoso	Herramienta de corte defectuosa	1,95	4	1	7,8
		Incorrecta regulación de herramienta	1,15	4	1	4,6
		Soltura de portaherramienta	1,55	3	2	9,3
Corte de virutas defectuoso	Corte discontinuo de virutas	Cuchillos dañados	2,7	4	2	21,6
		Calibración de cuchillos incorrecta	1,95	3	2	11,7
		Juego axial o desplazamiento de eje	3,1	3	3	27,9
	No existe tracción de virutas	Rodillos tractores desgastados	2,7	3	2	16,2
		Soltura en transmisión de cadena	1,9	3	2	11,4
		Avería de reductor de accionamiento	2,3	2	4	18,4
	Viruta se corta al ser traccionada	Correa cortada	2,3	2	3	13,8
		Desincronización de velocidades	1,17	5	1	5,85
		Guía de viruta fuera de posición	1,55	3	1	4,65
Sistema de refrigeración no disipa temperatura	Alta temperatura en agua desmineralizada	Alta potencia en el circuito	1,8	4	1	7,2
		Bajo nivel de estanque	2,1	3	1	6,3
		Válvula cerrada	1	2	1	2
		Impulsor de bomba suelto	2,2	2	5	22
	Baja presión de agua desmineralizada	Intercambiador de calor obstruido	2,95	2	5	29,5
		Bajo nivel de estanque	2,1	3	1	6,3
		Filtros obstruidos	1,4	2	1	2,8
		Fuga en circuito	2,3	3	2	13,8
Evacuación incorrecta de gases del proceso	No se evacuan los gases	Válvula incorrectamente aperturada	1	2	1	2
		Correa de accionamiento cortada	2,8	2	3	16,8
		Correa de giro invertido	1,5	1	2	3
	Evacuación deficiente de gases	Rodamientos de extractor averiados	2,4	3	4	28,8
		Deslizamiento de correas	1,6	3	4	19,2
Vibración y ruido en sistema de extracción de gases	Desbalance de rotor	Obstrucción en ductos	1,6	2	4	12,8
		Suciedad acumulada en rodete	3,1	3	4	37,2
	Avería mecánica	Álabes quebrado en rodete	3,1	2	4	24,8
		Rodamientos de extractor averiados	2,4	3	4	28,8
		Roce de rodete con estructura	2,4	3	4	28,8

Tabla 13 AMEF de soldador. Fuente: Elaboración propia

Con el análisis AMEF se identificaron ocho fallos funcionales del componente con diecinueve modos de fallas distintos, de los cuales uno de ellos se repite en fallos funcionales distintos. Con una ponderación de 39 el modo de falla con mayor IPR corresponde a la interrupción del suministro eléctrico. Como hemos comentado con anterioridad, la incertidumbre tanto en la caída de la red como la reposición de la energía, es el principal factor del índice de criticidad.

Le sigue en el índice el fallo funcional del sistema de extracción de gases por desbalance debido al factor de seguridad que implica mantener en funcionamiento el equipo con altos valores vibratorios y velocidades relativamente altas. Influye además los costos de mantenimiento, las pérdidas económicas por detención de la máquina y la complejidad para detectar a tiempo el mecanismo de falla por su ubicación en terreno.

3.3.7 Análisis de modo y efecto de fallas de calibración

El análisis de la bancada de calibración es similar al realizado en la bancada de formación, por tratarse en su mayoría del mismo tipo de partes y subpartes que componen ambos conjuntos. Se identificaron los seis modos de fallas que se determinaron en formación y veinte modos de fallos, uno más que formación, debido a una parte que es exclusiva en esta bancada.

EL IPR más elevado corresponde, igual que formación, al fallo de engranaje de reductor principal, derivando en una pérdida de tracción del perfil con potencial riesgo de pliegue del perfil por trabamiento de la línea.

Falla Funcional	Modo de Falla	Causas	S	O	D	C
Equipo se detiene en funcionamiento	Interrupción de energía eléctrica	Perturbación en el suministro de energía	2,6	3	5	39
	Flickers y fluctuaciones de voltaje	Perturbación en el suministro de energía	1,4	3	5	21
	Protección eléctrica activada	Cortocircuito en motor	1,9	2	4	15,2
		Cortocircuito en cableado	1,9	2	3	11,4
	Alarma activada	Sobrecarga mecánica	1	3	3	9
Bancada no tracciona	Protección eléctrica activada	Parada de emergencia activada	1	3	2	6
		Cortocircuito en motor	2,15	3	4	25,8
	Alarma activada	Cortocircuito en cableado	2,3	2	3	13,8
		Sobrecarga en operación	1,4	3	3	12,6
	Avería en reductor	Parada de emergencia activada	1	3	2	6
		Chaveta de engranaje cortada	2,95	2	4	23,6
		Desgaste en engranajes	2,9	3	5	43,5
Avería en acoplamientos principales	Grilla quebrada	1,4	2	1	2,8	
	Chaveta de acople cortada	2,55	2	4	20,4	
Tracción irregular en bancada de pedestales	No existe tracción entre pedestales de pasos consecutivos	Acoplamiento entre pasos dañado	2,55	3	5	38,25
		Eje transversal entre pasos cortado	2,95	2	3	17,7
		Engrane de eje trasnversal averiado	2,95	3	5	44,25
	No existe tracción en el eje de un pedestal	Junta cardánica caída	1,95	3	2	11,7
		Chaveta de acoplamiento cortada o caída	1,8	2	3	10,8
		Avería interna de reductor	3,3	3	4	39,6
Medidas finales de perfil incorrecta	Fallo en matriceria	Rodillos matriceros con desgaste	2,2	3	2	13,2
		Rodillos matriceros con incrustaciones	2,2	3	1	6,6
		Rodillos matriceros no alineados	2,2	4	3	26,4
		Chaveta de rodillos matriceros cortada	1,8	2	2	7,2
	Avería mecánica en pedestal	Eje de superior o inferior con juego axial	1,8	4	2	14,4
		Rodamiento de eje de pedestal averiado	2,15	4	3	25,8
	Deformación por alta temperatura en perfil	Sistema de levante de cabezal dañado	1,4	3	2	8,4
		Poco caudal de soluble refrigerante	1,4	3	1	4,2
Perfil se dobla	Trabamiento en transmisión	Soluble con alta temperatura	1,8	4	1	7,2
		Caja reductora averiada	2,15	3	3	19,35
		Acoplamiento entre pasos dañado	2,55	3	5	38,25
	Desincronización de velocidades	Junta cardánica caída o averiada	1,95	3	2	11,7
		Error de parametrización de VDF	1	3	1	3
	Fallo en control electrónico	Fallo en control electrónico	2,9	3	5	43,5
Fallo en cabezal turco	Avería en mecanismo de giro	2,15	2	4	17,2	
	Avería en mecanismo de traslación lineal	2,15	3	3	19,35	
Funcionamiento irregular de sistema de lubricación forzada	Derrame de lubricante en bancada	Válvula de retorno cerrada	2,4	2	1	4,8
		Incorrecta regulación de caudal	2,4	4	3	28,8
		Cañerías o fitting quebrado	2,4	3	3	21,6
		Sellos de reductores averiados	2,8	3	2	16,8
	Lubricante no fluye	Bajo nivel de lubricante en estanque	1,75	3	1	5,25
		Bomba descebada o averiada	2,1	2	4	16,8
		Reguladores de caudal cerrados	1,75	2	2	7
	Lubricante con alta temperatura	Sobrecarga mecánica de reductores	1,75	2	5	17,5
		Intercambiador de calor averiado	2,1	2	2	8,4
Bajo nivel de lubricante en estanque	1,75	3	1	5,25		

Tabla 14 AMEF de bancada de calibración. Fuente: Elaboración propia.

3.3.8 Análisis de modo y efecto de fallas de sistema de corte

El análisis del sistema de corte determinó 10 fallos funcionales en total con 23 modos de fallas distintos, de los cuales 3 de ellos se repiten en fallos funcionales diferentes. El IPR más elevado es de 37,5 y corresponde al corte de perfiles en largos variables por falla de encoder. Influye en este valor el nivel de ocurrencia sumado a los costos de mantenimiento y pérdidas productivas que conlleva.

Falla Funcional	Modo de Falla	Causas	S	O	D	C
Equipo se detiene en funcionamiento	Interrupción de energía eléctrica	Perturbación en el suministro de energía	1,8	3	5	27
	Flickers y fluctuaciones de voltaje	Perturbación en el suministro de energía	1,4	3	5	21
	Protección eléctrica activada	Cortocircuito en servomotores	2,85	2	5	28,5
		Cortocircuito en cableado	2,15	2	3	12,9
	Alarma de servomecanismos activada	Sobrecarga en operación	1,4	3	2	8,4
		Equipo incorrectamente parametrizado	1,4	3	2	8,4
		Parada de emergencia activada	1	3	2	6
Puertas de cabina abierta		1	4	1	4	
Sierra no gira	Alarma de servomecanismos activada	Sobrecarga en operación	1,4	3	1	4,2
		Equipo incorrectamente parametrizado	1,4	3	2	8,4
		Parada de emergencia activada	1	3	2	6
	Avería en transmisión	Puertas de cabina abierta	1	4	1	4
		Chaveta cortada de servomotor	1,8	1	4	7,2
Avería interna en reductor	2,9	2	4	23,2		
Equipo no ejecuta corte de perfil	Encoder no envía señal	Equipo incorrectamente parametrizado	1,55	3	2	9,3
		Encoder averiado	2,25	2	5	22,5
		Conexión eléctrica suelta	1,55	3	3	14
		Ruedas de encoder sin contacto con perfil	1,55	3	1	4,65
		Chaveta de rueda referencial cortada	1,95	2	3	11,7
	Nula o baja presión neumática de contacto	1,55	3	2	9,3	
	Sierra no ejecuta descenso para corte al recibir señal	Equipo incorrectamente parametrizado	1,4	3	2	8,4
Equipo no alcanza a cortar totalidad del perfil	Servomotor desacoplado de transmisión	1,4	2	5	14	
	Fallo en referencia de movimiento	Servomotor averiado	3,05	2	5	30,5
	Dimensiones de perfil erróneas	Equipo incorrectamente parametrizado	1,55	3	2	9,3
Sierra con diámetro menor al requerido	Equipo incorrectamente parametrizado	1,55	3	2	9,3	
	Sierra incorrectamente seleccionada	1,4	3	2	8,4	
Equipo corta perfil en largos variables	Señal defectuosa de encoder	Encoder averiado	2,5	3	5	37,5
		Ruedas de encoder con desgaste	1,9	3	2	11,4
		Presión neumática de contacto baja	1,55	2	1	3,1
	Perfil desliza en mordazas	Baja presión neumática de prensas	1,55	2	1	3,1
		Desgaste de mordazas	2,55	3	2	15,3
Sierra se fractura al momento de corte	Sierra fuera de estandar	Sierra incorrectamente seleccionada	1,4	3	2	8,4
		Sierra con dientes quebrados	1,4	3	2	8,4
	Colisión con prensas	Sierra excéntrica	1,9	2	3	11,4
		Soltura de sierra	1,9	2	1	3,8
		Soltura de mordazas	2,3	4	4	36,8
	Velocidad de giro y ataque errónea	Equipo incorrectamente parametrizado	1,55	3	2	9,3
Carro no se traslada longitudinalmente	No existe retroalimentación de posicionamiento	Carro de corte no referenciado	1,5	3	1	4,5
		Servomotor averiado	2,9	2	5	29
	Fallo de transmisión longitudinal	Pinón de servomotor caído	1,4	2	4	11,2
		Reductor averiado	2,5	2	5	25
		Chaveta cortada de servomotor	1,8	2	5	18
Lectura errónea en sensor de seguridad	Suciedad en sensor	1	3	1	3	
	Sensor o cableado defectuoso	1,75	2	4	14	
Carro se desplaza longitudinalmente a tirones	Avería en mecanismo	Suciedad en guías de bancada	1,4	2	2	5,6
		Desgaste en piñón y cremallera	3,25	2	3	19,5
		Chaveta de piñón cortada	1,8	2	4	14,4
	Falla electrónica en circuito	Guía lineal defectuosa	2,15	2	4	17,2
		Servomotor averiado	3,25	2	5	32,5
Fallo en salida de Driver	2,9	2	5	29		
Desplazamiento longitudinal desincronizado	Falla electrónica en circuito	Servomotor averiado	3,25	2	5	32,5
		Fallo en salida de Driver	2,9	2	5	29

Tabla 15 AMEF de sistema de corte. Elaboración propia

3.3.9 Análisis de modo y efecto de fallas de mesa de salida

Falla Funcional	Modo de Falla	Causas	S	O	D	C	
Equipo se detiene en funcionamiento	Interrupción de energía eléctrica	Perturbación en el suministro de energía	2,6	3	5	39	
	Flickers y fluctuaciones de voltaje	Perturbación en el suministro de energía	1,4	3	5	21	
	Protección eléctrica activada	Cortocircuito en motor		1,9	2	4	15,2
		Cortocircuito en cableado		1,9	2	3	11,4
		Sobrecarga mecánica		1	3	3	9
	Alarma activada	Parada de emergencia activada		1	3	2	6
Límite de seguridad activado			2,1	3	1	6,3	
Botadores no desalojan barra	Cilindro no acciona	Sensor de activación averiado	1,55	3	5	23,3	
		Cableado desconectado	1,55	2	5	15,5	
		Rele de control averiado	1,55	2	5	15,5	
		Electroválvula averiada	1,55	3	3	14	
		Presión neumática de línea nula	1,7	3	2	10,2	
	Arbol de botadores no se desplaza	Horquilla de cilindro desconectada	1,55	2	2	6,2	
		Chaveta de eje caída	1,55	3	1	4,65	
		Acoplamiento desplazado	1,55	3	1	4,65	
Perfiles quedan atravesados en la mesa	Accionamiento irregular de cilindro	Presión neumática baja	1,95	3	2	11,7	
		Carrera de cilindro incorrecta	1,95	2	3	11,7	
		Desgaste de sellos	1,4	2	5	14	
		Fuga de aire en circuito	1,4	3	1	4,2	
	Accionamiento desincronizado de cilindros	Suciedad en sensor	1,55	4	1	6,2	
		Equipo incorrectamente parametrizado	1,55	2	1	3,1	
	Colisión de perfil con estructura	Soltura de carcaza de mesa	1,55	2	1	3,1	
		Carcaza deforme	2,3	2	1	4,6	
	Colisión entre perfiles consecutivos	Velocidad de mesa en menor a velocidad de línea	Equipo incorrectamente parametrizado	1,55	3	1	4,65
			Fallo en control electrónico	2,3	2	5	23
Perfil previo no alcanza la posición de desvío		Desgaste de rodillos transportadores	2,3	3	2	13,8	
		Cadena de transmisión suelta	1,55	3	1	4,65	
		Chaveta de rodillo caída	1,95	1	3	5,85	

Tabla 16 AMEF de mesa de salida. Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la mesa de salida arrojó un total de 4 fallos funcionales con 11 modos de fallas distintos. Después de la interrupción de la energía eléctrica, la inacción del cilindro de los botadores por sensor averiado que conlleva a no evacuar el perfil durante el proceso corresponde al mayor IPR con 23,3. El factor que más influyó para este índice es la imposibilidad de detectar el daño del subcomponente con el equipo en operación, sumado al riesgo de salida del perfil fuera de la mesa en lugares no acondicionado para ello.

3.3.10 Análisis de modo y efecto de fallas del sistema de refrigeración

El AMEF revela 6 fallas funcionales con 14 modos de fallas distintitos, donde 2 de ellas se repiten en al menos dos averías funcionales distintas. Con un IPR de 66,3 de

ponderación, la obstrucción en las líneas de soluble (cañerías y canales) tiene el mayor impacto debido a la criticidad de sus efectos, especialmente en pérdidas productivas y contaminación ambiental.

Falla Funcional	Modo de Falla	Causas	S	O	D	C	
Sistema se detiene en funcionamiento	Interrupción de energía eléctrica	Perturbación en el suministro de energía	2,6	3	5	39	
	Flickers y fluctuaciones de voltaje	Perturbación en el suministro de energía	1,4	3	5	21	
	Protección eléctrica activada	Cortocircuito en bombas	2,15	3	3	19,4	
		Cortocircuito en cableado	2,15	2	3	12,9	
	Alarma activada	Sobrecarga de bomba	1	3	3	9	
		Interrupción de alto nivel activado	1,4	4	2	11,2	
Fluido refrigerante no fluye	No hay fluido en el circuito	Parada de emergencia activada	1	3	2	6	
		Válvula de succión o descarga cerrada	1	2	1	2	
	Avería en bomba	Estanque con bajo nivel	1,4	5	2	14	
		Bomba descebada	1,4	1	3	4,2	
		Impulsor suelto	1,8	2	5	18	
		Secuencia de fases de bomba invertida	1,4	1	4	5,6	
Poco caudal de fluido refrigerante	Obstrucción en circuito de alimentación	Apertura de válvula incorrecta	1	4	1	4	
		Borra metálica acumulada en cañerías	2,65	5	5	66,3	
	Fallo en mecanismo de filtrado	Estanque con bajo nivel	1,4	5	2	14	
		Paño filtro agotado	1,35	5	1	6,75	
		Traslado de paño filtro desactivado	1	3	1	3	
		Malla de filtros de línea rotos	1	2	4	8	
Fluido refrigerante contaminado y fuera de especificación	Acero desprende impurezas mayor a lo habitual	Exceso de borra en estanques	1,35	5	3	20,3	
		Acero de mala calidad	1	2	2	4	
	Fluido diluido	Poco caudal de fluido	1	3	2	6	
		Exceso de agua	1	4	2	8	
	Alta temperatura en fluido refrigerante	Alta temperatura del proceso	Refrigerante evaporado	1,4	4	2	11,2
			Soldador HF a máxima potencia	3,05	3	2	18,3
Baja recirculación refrigerante		Alta temperatura ambiente	1,8	3	1	5,4	
		Bajo nivel de estanques	1,4	5	2	14	
		Obstrucción de cañerías	2,65	5	5	66,3	
		Bomba de retorno deshabilitada	2,7	2	1	5,4	
Desborde de refrigerante en periferia de máquina	Obstrucción en circuito de retorno	Borra metálica acumulada en canales	3,05	5	3	45,8	
		Filtro de succión obstruido	1,9	3	5	28,5	
	Bomba de retorno deshabilitada	Sensor de nivel no posicionado	1,9	2	1	3,8	
		Sensor de nivel trabado	1,9	3	2	11,4	
	Bomba de retorno averiada	Cortocircuito	3,4	3	2	20,4	
		Impulsor suelto	3,05	2	5	30,5	
		Desgaste de impulsor	3,4	2	5	34	
	Avería en circuito de Piping	Flexibles incorrectamente posicionados	1,5	4	1	6	
		Flexibles quebrados	1,85	3	1	5,55	
		Soltura en uniones de Piping	1,85	2	2	7,4	
		Soltura en bases de bancadas	1,85	2	1	3,7	
		Válvula de tina no reguladas	1,1	3	1	3,3	

Tabla 17 AMEF de sistema de refrigeración. Fuente: Elaboración propia.

3.4 PLAN DE MANTENIMIENTO

3.4.1 Generalidades

El plan de mantenimiento propuesto incluye actividades de mantenimiento predictivo y preventivo, así como algunas acciones correctivas que no requieren la detención de

maquinaria en funcionamiento. Estas actividades han sido adaptadas a la realidad operativa y económica del departamento, teniendo en cuenta factores como el presupuesto, la disponibilidad de personal y la demanda de servicio.

Las tareas se han clasificado según su frecuencia en rutinarias (diarias), semanales, quincenales, mensuales, trimestrales, semestrales y anuales. Además, se adjunta una tabla con actividades cuya ejecución no tiene un tiempo definido, ya que dependerá de los resultados de las inspecciones o de la falla de algún subcomponente.

3.4.2 Actividades de frecuencia diaria

Las actividades diarias consisten en monitorear el proceso y ejecutar una lista de verificación de parámetros y variables, además de realizar tareas de limpieza. Son cruciales para identificar problemas menores antes de que se conviertan en reparaciones costosas o afecten la calidad del producto. Las tareas rutinarias aseguran condiciones óptimas para el desarrollo adecuado

PLAN DE MANTENIMIENTO CONFORMADORA TB2			
Frecuencia Diaria			
Componente	Tipo	Descripción de Actividad	Ejecutante
General	Preventiva	Ejecutar ruta de chequeo de condiciones operativas: Comprobar presión neumática e hidráulica, niveles de fluidos, detectar calentamientos y ruidos anormales	Técnico mecánico
General	Preventiva	Ejecutar ruta de chequeo de condiciones operativas: Comprobar condición de instalación eléctrica, iluminación, medir consumo de cargas.	Técnico electricista
General	Preventiva	Purgar y drenar condensado totalidad de FRL instalados	Técnico mecánico
General	Preventiva	Ejecutar limpieza de componentes y área de trabajo	Operario
Formación	Preventiva	Comprobar y/o regular caudales de circuito de lubricación	Técnico mecánico
Soldador	Preventiva	Retirar virutas adheridas a eje de picador	Técnico mecánico
Calibración	Preventiva	Comprobar y/o regular caudales de circuito de lubricación	Técnico mecánico
Mesa de salida	Preventiva	Limpiar sensor de detección perfiles	Técnico electricista
Refrigeración	Preventiva	Comprobar niveles de refrigerante	Operario
Refrigeración	Preventiva	Medir concentración de refrigerante	Operario

Tabla 18 Actividades de frecuencia diaria. Fuente: Elaboración propia.

3.4.3 Actividades de frecuencia semanal

PLAN DE MANTENIMIENTO CONFORMADORA TB2			
Frecuencia Semanal			
Componente	Tipo	Descripción de Actividad	Ejecutante
Devanador	Preventiva	Detectar y corregir fugas de aire comprimido. Completar nivel de FRL	Técnico mecánico
Empalmador	Preventiva	Detectar y corregir fugas de argón	Técnico mecánico
Empalmador	Preventiva	Limpiar almohadillas de prensas	Técnico mecánico
Acumulador	Preventiva	Detectar y corregir fugas de aire comprimido. Completar nivel de FRL	Técnico mecánico
Formación	Preventiva	Limpiar y lubricar husillos de guías laterales	Técnico mecánico
Formación	Preventiva	Regular caudal de lubricante de cajas reductoras	Técnico mecánico
Formación	Preventiva	Pulir rodillos matriceros según programa de producción	Operador MyH
Soldador	Preventiva	Lubricar rodamientos de rodillos soldadores	Técnico Mecánico
Soldador	Preventiva	Detectar y corregir fugas de agua desmineralizada	Técnico Mecánico
Soldador	Preventiva	Lubricar cadena de transmisión de picador	Técnico Mecánico
Soldador	Preventiva	Eliminar polvo metálico acumulado	Técnico Mecánico
Soldador	Preventiva	Completar nivel de agua desmineralizada	Técnico electricista
Soldador	Preventiva	Medir conductividad de agua desmineralizada	Técnico electricista
Calibración	Preventiva	Limpiar y lubricar husillos de guías laterales	Técnico mecánico
Calibración	Preventiva	Regular caudal de lubricante de cajas reductoras	Técnico mecánico
Sistema de corte	Preventiva	Completar nivel de central de lubricación	Técnico mecánico
Sistema de corte	Preventiva	Detectar y corregir fugas de aire comprimido. Completar nivel de FRL	Técnico mecánico

Tabla 19 Actividades de frecuencia semanal. Fuente: Elaboración propia

Las tareas propuestas para realizar cada siete días incluyen 22 actividades preventivas, distribuidas entre mantenimiento mecánico y eléctrico. Entre estas labores se propone el ajuste de equipos, limpieza de filtros y conductos, así como revisión de sistemas hidráulicos y neumáticos. También se lleva a cabo la detección y corrección de fugas de fluidos y la revisión de conexionado eléctrico de diversas partes del activo.

3.4.4 Actividades de frecuencia quincenal

Las actividades de mantenimiento de ejecución quincenal incluyen tareas que requieren una revisión más detallada que las diarias o semanales. Se plantean

inspecciones termográficas como estrategia predictiva con alcance en equipos rotativos e instalación eléctrica.

PLAN DE MANTENIMIENTO CONFORMADORA TB2			
Frecuencia Quincenal			
Componente	Tipo	Descripción de Actividad	Ejecutante
General	Predictiva	Ejecutar inspección termográfica de equipos rotativos	Técnico mecánico
General	Predictiva	Ejecutar inspección termográfica de tableros eléctricos	Técnico electricista
General	Preventiva	Comprobar operatividad de paradas de emergencia	Técnico electricista
Devanador	Preventiva	Revisar y corregir filtraciones de central. Comprobar nivel	Técnico mecánico
Empalmador	Preventiva	Limpiar, ajustar guías, verificar desgaste y calibración de cuchillos	Técnico mecánico
Empalmador	Preventiva	Lubricar bujes de ruedas de carro	Técnico mecánico
Empalmador	Preventiva	Reapretar bornes y aterramiento de equipo TIG	Técnico electricista
Acumulador	Preventiva	Revisar electroválvulas: Ajustar bobinas, revisar terminales y conexiones.	Técnico electricista
Acumulador	Preventiva	Limpiar parte inferior de tornamesa	Operarios
Soldador	Preventiva	Invertir caras de cuchillos de picador. Calibrar	Técnico mecánico
Soldador	Preventiva	Comprobar alineación y reapretar sujeción de sprockets de picador	Técnico mecánico
Soldador	Preventiva	Limpiar y revisar aislamiento de cabezal soldador. Aplicar barniz aislante	Técnico electricista
Soldador	Preventiva	Comprobar operatividad de balizas bajo nivel de agua desmineralizada	Técnico electricista
Sistema de corte	Preventiva	Alinear rodillos guías	Técnico mecánico
Sistema de corte	Preventiva	Revisar electroválvulas: Ajustar bobinas, revisar terminales y conexiones.	Técnico electricista
Sistema de corte	Preventiva	Limpiar pisos y estructura de mesa	Operarios
Refrigeración	Preventiva	Desmontar, limpiar y reinstalar filtros de línea	Técnico mecánico
Refrigeración	Preventiva	Lubricar cadenas de mecanismo de traslado paño filtro	Técnico mecánico
Refrigeración	Preventiva	Extraer y desechar borra metálica de canales	Operarios

Tabla 20 Actividades de frecuencia quincenal. Fuente: Elaboración propia.

3.4.5 Actividades de frecuencia mensual

Las actividades de mantenimiento de frecuencia mensual incluyen tareas más detalladas y profundas, ya que permiten una revisión más exhaustiva de los equipos y sistemas. Entre estas actividades, se plantea realizar inspecciones generales, lubricación de componentes, limpieza profunda de equipos, revisión de sistemas

eléctricos y mecánicos. También se revisan las condiciones de seguridad y los sistemas de control. Se proponen además técnicas predictivas de ultrasonido para la inspección de tableros eléctricos y equipos rotativos.

PLAN DE MANTENIMIENTO CONFORMADORA TB2			
Frecuencia Mensual			
Componente	Tipo	Descripción de Actividad	Ejecutante
General	Predictiva	Ejecutar inspección visual de componentes mecánicos	Técnico mecánico
General	Predictiva	Ejecutar inspección visual de instalación y equipos eléctricos	Técnico electricista
General	Predictiva	Ejecutar análisis ultrasónico de componentes rotativos	Técnico mecánico
General	Predictiva	Ejecutar análisis ultrasónico de tableros eléctricos	Técnico electricista
Empalmador	Preventiva	Limpiar guía de torcha y ajustar acoplamiento	Técnico mecánico
Empalmador	Preventiva	Revisar consola de mando: Limpiar, reapretar terminales y conexiones, reponer luces pilotos, revisar aterramiento	Técnico electricista
Acumulador	Preventiva	Revisar sistema motriz de tornamesa: Reapretar bases, revisar nivel de aceite, comprobar desgaste y lubricar corona	Técnico mecánico
Acumulador	Preventiva	Revisar consola de mando: Limpiar, reapretar terminales y conexiones, reponer luces pilotos, revisar aterramiento	Técnico electricista
Formación	Preventiva	Ajustar y lubricar sistemas de levante de pedestales	Técnico mecánico
Formación	Preventiva	Revisar juntas cardánicas: Ajustar pernos, reponer elementos de sujeción, comprobar condición y lubricación de crucetas	Técnico mecánico
Formación	Preventiva	Revisar central de lubricación: Limpiar estanque e intercambiador, reapretar conexiones, completar nivel	Técnico mecánico
Formación	Preventiva	Revisar consola de mando: Limpiar, reapretar terminales y conexiones, reponer luces pilotos, revisar aterramiento	Técnico electricista
Formación	Preventiva	Revisar VDF: Limpiar ventilación, reapretar terminales de bornera, comprobar configuración de parámetros y sincronización de motores	Técnico electricista
Soldador	Preventiva	Lubricar rodamientos y descansos de picador	Técnico Mecánico
Soldador	Preventiva	Comprobar eficiencia en evacuación de gases	Técnico Mecánico
Soldador	Preventiva	Revisar porta scarfs: Limpiar, reapretar pernos de sujeción, lubricar guías, comprobar desplazamiento	Técnico Mecánico
Soldador	Preventiva	Revisar consola de mando: Limpiar, reapretar terminales y conexiones, reponer luces pilotos, revisar aterramiento	Técnico electricista
Soldador	Preventiva	Reapretar terminales y medir resistencia óhmica de potenciómetro,comprobar operatividad	Técnico electricista
Soldador	Preventiva	Limpiar filtros de circuito de refrigeración impedir	Técnico mecánico
Soldador	Preventiva	Revisar cañerías de circuito refriegración impedir	Técnico mecánico
Soldador	Preventiva	Revisar condición de impedir	Técnico electricista Operario
Calibración	Preventiva	Ajustar y lubricar sistemas de levante de pedestales	Técnico mecánico
Calibración	Preventiva	Revisar juntas cardánicas: Ajustar pernos, reponer elementos de sujeción, comprobar condición y lubricación de crucetas.	Técnico mecánico
Calibración	Preventiva	Revisar central de lubricación: Limpiar estanque e intercambiador, reapretar conexiones, completar nivel	Técnico mecánico
Calibración	Preventiva	Revisar consola de mando: Limpiar, reapretar terminales y conexiones, reponer luces pilotos, revisar aterramiento	Técnico electricista
Calibración	Preventiva	Revisar VDF: Limpiar ventilación, reapretar terminales de bornera, comprobar configuración de parámetros y sincronización de motores	Técnico electricista

Sistema de corte	Preventiva	Repasar hilos de sujeción mordazas	Técnico mecánico
Sistema de corte	Preventiva	Revisar circuito neumático de accionamiento encoder	Técnico mecánico
Sistema de corte	Preventiva	Comprobar integridad de protecciones metálicas	Técnico mecánico
Sistema de corte	Preventiva	Revisar consola de mando: Limpiar, reapretar terminales y conexiones, reponer luces pilotos, revisar aterramiento	Técnico electricista
Sistema de corte	Preventiva	Limpiar sensores de detección	Técnico electricista
Sistema de corte	Preventiva	Revisar encoder: Limpiar, revisar conexiones y señales	Técnico electricista
Sistema de corte	Preventiva	Comprobar cubierta y medir aislación de conductores	Técnico electricista
Mesa de salida	Preventiva	Lubricar cadenas de transmisión de rodillos alejadores	Técnico mecánico
Mesa de salida	Preventiva	Comprobar integridad estructural de atriles de acopio. Ajustar bases	Técnico mecánico
Mesa de salida	Preventiva	Comprobar operatividad de paro automático de línea	Técnico electricista
Mesa de salida	Preventiva	Medir aislamiento a masa y resistencia óhmica de bobinas de motor de cadenas. Repretar conexiones	Técnico electricista
Refrigeración	Preventiva	Limpiar filtros de succión de bomba de retorno	Técnico mecánico
Refrigeración	Preventiva	Reponer flexibles articulados	Técnico mecánico
Refrigeración	Preventiva	Medir aislamiento a masa y resistencia óhmica de bobinas de motor de cadenas. Repretar conexiones	Técnico electricista
Refrigeración	Preventiva	Medir aislación de bomba de retorno	Técnico electricista
Refrigeración	Preventiva	Limpiar y posicionar interruptores flotantes de estanque	Técnico electricista
Refrigeración	Preventiva	Comprobar operatividad de balizas bajo nivel de soluble	Técnico electricista
Refrigeración	Preventiva	Extraer borra metálica de cámara	Operario

Tabla 21 Actividades de frecuencia mensual. Fuente: Elaboración propia.

3.4.6 Actividades de frecuencia trimestral

PLAN DE MANTENIMIENTO CONFORMADORA TB2			
Frecuencia Trimestral			
Componente	Tipo	Descripción de Actividad	Ejecutante
Devanador	Preventiva	Repasar hilos de sujeción de aletas de fijación flejes	Técnico mecánico
Devanador	Preventiva	Revisar flexibles de circuito hidráulico. Detectar desgaste, grietas, roturas en cubiertas. Repretar conectores	Técnico mecánico
Empalmador	Preventiva	Revisar flexibles de circuito hidráulico. Detectar desgaste, grietas, roturas en cubiertas. Repretar conectores	Técnico mecánico
Empalmador	Preventiva	Limpiar y ajustar guías de cuchillos	Técnico mecánico
Acumulador	Predictiva	Recolectar valores vibratorios de motor de tracción para análisis	Servicio externo
Acumulador	Predictiva	Recolectar valores vibratorios de motor de enrollado para análisis	Servicio externo
Acumulador	Preventiva	Reemplazar balatas de freno de alimentador	Técnico mecánico
Acumulador	Preventiva	Revisar cilindro de accionamiento frenos: Ajustar vástago y regular carrera, limpiar y lubricar guías	Técnico mecánico
Acumulador	Preventiva	Revisar cilindro de accionamiento rodillos tractores: Ajustar vástago y regular carrera, limpiar y lubricar guías	Técnico mecánico
Acumulador	Preventiva	Lubricar rodamientos de rodillo guía principal	Técnico mecánico
Acumulador	Preventiva	Limpiar, medir aislamiento a masa y resistencia óhmica de bobinas de ventilación forzada de motor enrollado.	Técnico electricista
Acumulador	Preventiva	Revisar VDF: Limpiar ventilación, reapretar terminales de bornera, comprobar configuración de parámetros y sincronización de motores	Técnico electricista

Acumulador	Preventiva	Revisar tablero: Limpiar, comprobar ventilación, reapretar terminales. Comprobar protecciones, contactos de accionamientos y aislación de conductores. Revisar y medir aterramiento	Técnico electricista
Acumulador	Preventiva	Medir valores ohmicos de resistencia de frenado	Técnico electricista
Acumulador	Preventiva	Medir aislamiento a masa y resistencia óhmica de bobinas de motor de enrollado. Repretar conexiones	Técnico electricista
Acumulador	Preventiva	Medir aislamiento a masa y resistencia óhmica de bobinas de motor de tracción. Repretar conexiones	Técnico electricista
Formación	Preventiva	Recolectar valores vibratorios de sistema motriz para análisis	Servicio externo
Formación	Preventiva	Lubricar rodamientos de pedestales	Técnico mecánico
Formación	Preventiva	Microfiltrar aceite de central de lubricación	Técnico mecánico
Formación	Preventiva	Comprobar desgaste y lubricar acoplamientos de ejes transversales	Técnico mecánico
Formación	Preventiva	Medir aislamiento a masa y resistencia óhmica de bobinas de motor principal. Repretar conexiones	Técnico electricista
Formación	Preventiva	Revisar tablero: Limpiar, comprobar ventilación, reapretar terminales. Comprobar protecciones, contactos de accionamientos y aislación de conductores. Revisar y medir aterramiento	Técnico electricista
Soldador	Preventiva	Reemplazar rodamientos de rodillos soldadores	Técnico mecánico
Soldador	Preventiva	Reemplazar cuchillos de picador	Técnico mecánico
Soldador	Preventiva	Revisar extractor de gases: Limpiar álabes, tensar correa de accionamiento, lubricar cojinetes	Técnico mecánico
Soldador	Preventiva	Revisar tablero oscilador HF: Limpiar, repretar terminales y detectar puntos calientes, comprobar estado de electrónica de potencia	Técnico electricista
Soldador	Preventiva	Comprobar operatividad de sensores de presión y caudal	Técnico electricista
Soldador	Preventiva	Medir aislamiento a masa y resistencia óhmica de bobinas de bomba de recirculación agua. Repretar conexiones	Técnico electricista
Soldador	Preventiva	Comprobar estados de bobinas de soldador	Técnico electricista
Soldador	Preventiva	Reemplazar teflón aislante de cabezal soldador	Técnico electricista
Soldador	Preventiva	Limpiar campana y ductos de extractor de gases	Servicio externo
Calibración	Predictiva	Recolectar valores vibratorios de sistema motriz para análisis	Servicio externo
Calibración	Preventiva	Microfiltrar aceite de central de lubricación	Técnico mecánico
Calibración	Preventiva	Lubricar rodamientos de pedestales	Técnico mecánico
Calibración	Preventiva	Comprobar desgaste y lubricar acoplamientos de ejes transversales	Técnico mecánico
Calibración	Preventiva	Revisar cabezal turco: Limpiar, repasar hilos, reajustar y lubricar guías	Técnico mecánico
Calibración	Preventiva	Medir aislamiento a masa y resistencia óhmica de bobinas de motor principal. Repretar conexiones	Técnico electricista
Calibración	Preventiva	Revisar tablero: Limpiar, comprobar ventilación, reapretar terminales. Comprobar protecciones, contactos de accionamientos y aislación de conductores. Revisar y medir aterramiento	Técnico electricista
Sistema de corte	Preventiva	Comprobar desgaste de rieles de guías	Técnico mecánico
Sistema de corte	Preventiva	Revisar drivers: Limpiar ventilación, reapretar terminales de bornera, comprobar configuración de parámetros y sincronización de motores	Técnico electricista
Sistema de corte	Preventiva	Revisar tablero: Limpiar, comprobar ventilación, reapretar terminales. Comprobar protecciones, contactos de accionamientos y aislación de conductores. Revisar y medir aterramiento	Técnico electricista
Mesa de salida	Preventiva	Lubricar descansos de barra de botadores	Técnico mecánico

Mesa de salida	Preventiva	Revisar electroválvulas: Ajustar bobinas, revisar terminales y conexiones.	Técnico electricista
Mesa de salida	Preventiva	Reemplazar relé de accionamiento botadores	Técnico electricista
Refrigeración	Preventiva	Desmontar y baquetear cañerías de circuito	Técnico mecánico
Refrigeración	Preventiva	Comprobar lógica de control de llenado estanque	Técnico electricista
Refrigeración	Preventiva	Medir aislamiento a masa y resistencia óhmica de bobinas de bomba de recirculación. Repretar conexiones	Técnico electricista
Refrigeración	Preventiva	Medir aislamiento a masa y resistencia óhmica de bobinas de motor de paño filtro. Repretar conexiones	Técnico electricista

Tabla 22 Actividades de frecuencia trimestral. Fuente: Elaboración propia.

Las tareas con frecuencia de ejecución de noventa días son esenciales para detectar problemas que no son visibles en mantenimientos más frecuentes y prevenir fallos mayores. Se proponen análisis de vibraciones de las transmisiones de mayor potencia como herramientas predictivas.

3.4.7 Actividades de frecuencia semestral

PLAN DE MANTENIMIENTO CONFORMADORA TB2			
Frecuencia Semestral			
Componente	Tipo	Descripción de Actividad	Ejecutante
Devanador	Preventiva	Revisar desgaste de balatas y disco, revisar funcionamiento de diafragma de accionamiento	Técnico mecánico
Devanador	Preventiva	Revisar central hidráulica: Limpiar, microfiltrar lubricante, repretar fittings, detectar y corregir filtraciones, verificar estado de instrumentos.	Técnico mecánico
Devanador	Preventiva	Medir aislamiento a masa y resistencia óhmica de bobinas de motor de central. Repretar conexiones	Técnico electricista
Empalmador	Preventiva	Inspeccionar cuerpo de válvulas hidráulicas: Limpiar, ajustar solenoides, detectar y corregir filtraciones	Técnico mecánico
Empalmador	Preventiva	Revisar central hidráulica: Limpiar, microfiltrar lubricante, repretar fittings, detectar y corregir filtraciones, verificar estado de instrumentos.	Técnico mecánico
Empalmador	Preventiva	Medir aislamiento a masa y resistencia óhmica de bobinas de motor de central. Repretar conexiones	Técnico electricista
Acumulador	Predictiva	Recolectar muestra de lubricante de reductor de tornamesa para análisis tribológico	Servicio externo
Acumulador	Preventiva	Lubricar crucetas y jockey de junta cardánica	Técnico mecánico
Acumulador	Preventiva	Medir aislamiento a masa y resistencia óhmica de bobinas de transformador de control. Repretar conexiones	Técnico electricista

Formación	Predictiva	Recolectar muestra de lubricante de reductor principal para análisis tribológico	Servicio externo
Formación	Preventiva	Lubricar rodamientos de motor principal	Técnico mecánico
Formación	Preventiva	Lubricar descansos de eje principal	Técnico mecánico
Formación	Preventiva	Comprobar desgaste y lubricar acoplamiento principal	Técnico mecánico
Formación	Preventiva	Lubricar descansos de eje principal	Técnico mecánico
Formación	Preventiva	Lubricar crucetas y jockey de juntas cardánicas	Técnico mecánico
Formación	Preventiva	Comprobar desgaste y/o reemplazar retenes de pedestales	Técnico mecánico
Formación	Preventiva	Medir aislamiento a masa y resistencia óhmica de bobinas de transformador de control. Repretar conexiones	Técnico electricista
Formación	Preventiva	Ejecutar control dimensional de matriceria	Operador MyH
Soldador	Preventiva	Reemplazar mantos de rodillos tractores	Técnico mecánico
Soldador	Preventiva	Reemplazar cadena de accionamiento picador	Técnico mecánico
Soldador	Preventiva	Revisar estado y/o reemplazar rodamientos de guías laterales	Técnico mecánico
Soldador	Preventiva	Revisar tablero rectificador HF: Limpiar, repretar terminales y detectar puntos calientes, comprobar estado de electrónica de potencia	Técnico electricista
Soldador	Preventiva	Ejecutar mantenimiento a equipo de acondicionamiento de aire	Servicio externo
Calibración	Predictiva	Recolectar muestra de lubricante de reductor principal para análisis tribológico	Servicio externo
Calibración	Preventiva	Lubricar rodamientos de motor principal	Técnico mecánico
Calibración	Preventiva	Lubricar descansos de eje principal	Técnico mecánico
Calibración	Preventiva	Comprobar desgaste y lubricar acoplamiento principal	Técnico mecánico
Calibración	Preventiva	Lubricar crucetas y jockey de juntas cardánicas	Técnico mecánico
Calibración	Preventiva	Comprobar desgaste y/o reemplazar retenes de pedestales	Técnico mecánico
Calibración	Preventiva	Ejecutar control dimensional de matriceria	Operador MyH
Sistema de Corte	Predictiva	Recolectar muestra de lubricante de reductor de accionamiento sierra para análisis tribológico	Servicio externo
Sistema de Corte	Preventiva	Comprobar desgaste de transmisión por cremallera	Técnico mecánico
Sistema de Corte	Preventiva	Recuperar desgaste de rodillos guías con aporte de soldadura antidesgaste. Cilindrar.	Técnico mecánico Operador MyH
Sistema de Corte	Preventiva	Medir aislamiento a masa y resistencia óhmica de bobinas de servomotor de ataque. Repretar conexiones	Técnico electricista
Sistema de Corte	Preventiva	Medir aislamiento a masa y resistencia óhmica de bobinas de servomotor de traslado. Repretar conexiones	Técnico electricista
Sistema de Corte	Preventiva	Medir aislamiento a masa y resistencia óhmica de bobinas de transformador de control. Repretar conexiones	Técnico electricista
Sistema de Corte	Preventiva	Revisar excentricidad de eje y desgaste de ruedas de encoder	Técnico electricista
Mesa de salida	Preventiva	Comprobar desgaste y alineación de cadenas de transmisiones de cadenas	Técnico mecánico
Mesa de salida	Preventiva	Lubricar cojinetes de rodillos alejadores	Técnico mecánico
Mesa de salida	Preventiva	Tensar correa de accionamiento	Técnico mecánico
Refrigeración	Preventiva	Comprobar desgaste y repretar sujeción rodillos de tina	Técnico mecánico
Refrigeración	Preventiva	Comprobar integridad estructural de tina. Detectar y corregir fisuras	Técnico mecánico
Refrigeración	Preventiva	Reemplazar interruptores flotantes de nivel	Técnico electricista
Refrigeración	Preventiva	Revisar conexión y calibración de termoresistencias	Técnico electricista
Refrigeración	Preventiva	Extraer borra metálica de estanques	Servicio externo

Tabla 23 Actividades de frecuencia semestral. Fuente: Elaboración propia.

En las actividades de frecuencia semestral se plantean análisis tribológicos de lubricantes como actividad predictiva y actividades preventivas que engloban revisiones detalladas de los equipos mecánicos y eléctricos, revisión y ajuste de componentes críticos, limpieza profunda de sistemas de ventilación y conductos, calibración de dispositivos y el reemplazo preventivo de algunos componentes.

3.4.8 Actividades de frecuencia anual

Las actividades de mantenimiento de frecuencia anual incluyen un reemplazo de componentes propensos al desgaste, así como una revisión detallada de diversas partes de la máquina para asegurar su funcionamiento óptimo a largo plazo. Entre las tareas propuestas, se incluyen chequeos detallados de los sistemas mecánicos, eléctricos y estructurales. Igualmente se plantean verificaciones y ajustes de los sistemas de control. Este mantenimiento es fundamental para mantener los equipos en condiciones óptimas y garantizar la continuidad operativa durante todo el año.

PLAN DE MANTENIMIENTO CONFORMADORA TB2			
Frecuencia Anual			
Componente	Tipo	Descripción de Actividad	Ejecutante
Devanador	Preventiva	Revisar integridad estructural: Ajustar bases y ensambles, detectar evidencias de golpes, corrosión, grietas y uniones desoldadas	Técnico mecánico
Devanador	Preventiva	Recuperar desgaste de aspos con aporte de soldadura antidesgaste	Tecnico mecánico Operador Myh
Devanador	Preventiva	Rectificar hilos y reemplazar chavetas de aspos	Técnico mecánico
Empalmador	Preventiva	Reemplazar sellos de cilindro de accionamiento traslado	Técnico mecánico
Empalmador	Preventiva	Reemplazar sellos de cilindro de accionamiento corte	Técnico mecánico
Empalmador	Preventiva	Reemplazar sellos y juntas de electroválvulas	Técnico mecánico
Empalmador	Preventiva	Reemplazar filtro de línea de central hidráulica	Técnico mecánico
Empalmador	Preventiva	Reemplazar rodamientos, comprobar desgaste de engranajes de motor y bomba de central	Técnico mecánico
Empalmador	Preventiva	Recuperar desgaste de almohadillas de prensas con aporte de soldadura de bronce. Rectificar	Técnico mecánico Operador Myh
Empalmador	Preventiva	Reemplazar acoplamiento de torcha	Técnico mecánico
Empalmador	Preventiva	Reemplazar escobillas de motor accionamiento torcha	Tecnico electricista
Empalmador	Preventiva	Revisar equipo TIG: Limpiar, reapretar conexiones, verificar aislante, corregir puntos calientes y soldaduras blandas	Tecnico electricista
Empalmador	Preventiva	Revisar terminales de solenoides	Tecnico electricista
Acumulador	Preventiva	Revisar integridad estructural: Ajustar bases y ensambles, detectar evidencias de golpes, corrosión, grietas y uniones desoldadas	Técnico mecánico

Acumulador	Preventiva	Reemplazar crucetas de junta cardánica	Técnico mecánico
Acumulador	Preventiva	Reemplazar frenos de sistema motriz	Técnico mecánico
Acumulador	Preventiva	Comprobar estado de aisladores, repretar fijación de barras de tablero eléctrico	Técnico electricista
Acumulador	Preventiva	Revisar tarjetas electrónicas de drivers	Servicio externo
Formación	Preventiva	Reemplazar filtro y aceite de central de lubricación	Técnico mecánico
Soldador	Preventiva	Reemplazar correa de picador	Técnico mecánico
Soldador	Preventiva	Reemplazar correa de extractor de gases	Técnico mecánico
Formación	Preventiva	Comprobar estado de aisladores, repretar fijación de barras de tablero eléctrico	Técnico electricista
Soldador	Preventiva	Medir semiconductores de tablero rectificador para comprobar condición	Técnico electricista
Soldador	Preventiva	Medir semiconductores de tablero oscilador HF para comprobar condición	Técnico electricista
Calibración	Preventiva	Reemplazar filtro y aceite de central de lubricación	Técnico mecánico
Calibración	Preventiva	Comprobar estado de aisladores, repretar fijación de barras de tablero eléctrico	Técnico electricista
Sistema de Corte	Preventiva	Reemplazar sellos de cilindro accionamiento prensas	Técnico mecánico
Sistema de Corte	Preventiva	Reemplazar electroválvulas de accionamiento prensas	Técnico electricista
Sistema de Corte	Preventiva	Comprobar estado de aisladores, repretar fijación de barras de tablero eléctrico. Comprobar estanqueidad e integridad de carcasa	Técnico electricista
Sistema de Corte	Preventiva	Recalibración de parámetros y actualización de software de servomotores	Servicio externo
Sistema de Corte	Preventiva	Revisar tarjetas electrónicas de drivers	Servicio externo
Mesa de salida	Preventiva	Revisar integridad estructural: Ajustar bases y ensambles, detectar evidencias de golpes, corrosión, grietas y uniones desoldadas	Técnico mecánico
Mesa de salida	Preventiva	Reemplazar sellos de cilindros accionamiento botadores	Técnico mecánico
Mesa de salida	Preventiva	Reemplazar sensor de detección	Técnico electricista
Refrigeración	Preventiva	Reemplazar rodamientos de bomba de recirculación	Técnico mecánico
Refrigeración	Preventiva	Revisar impulsor, eliminar obstrucciones en voluta	Técnico mecánico

Tabla 24 Actividades de frecuencia anual. Fuente: Elaboración propia.

3.4.9 Actividades sin frecuencia definida

Este tipo de tareas son correctivas y contempla aquellas actividades previstas que no tienen un tiempo específico para llevarse a cabo, sino dependen de hallazgos propios de inspecciones o de fallo en servicio. El reemplazo de los componentes averiados en ningún momento supondrá una detención de maquinaria en proceso productivo, pues se trata de componentes que no afectan la productividad a corto plazo.

PLAN DE MANTENIMIENTO CONFORMADORA TB2			
Frecuencia No Definida			
Componente	Tipo	Descripción de Actividad	Ejecutante
General	Correctiva	Reemplazar luminarias y reflectores averiados	Técnico electricista
Devanador	Correctiva	Reemplazar válvula de accionamiento manual de frenos	Técnico mecánico Operador Myh
Devanador	Correctiva	Desmontar y rectificar discos de frenado	Técnico mecánico Operador Myh
Empalmador	Correctiva	Reemplazar manómetros	Técnico mecánico
Empalmador	Correctiva	Reemplazar flexibles hidráulicos con daños en cubierta	Técnico mecánico
Empalmador	Correctiva	Reponer cilindro de gas inerte	Operario
Acumulador	Correctiva	Desmontar y rectificar rodillos tractores	Técnico mecánico Operador Myh
Acumulador	Correctiva	Reemplazar rodamientos de rodillos tractores	Técnico mecánico
Acumulador	Correctiva	Rectificar manto y reemplazar rodamientos de rodillos	Técnico mecánico Operador Myh
Formación	Correctiva	Reemplazar sellos de cojinetes de eje transversal	Técnico mecánico
Formación	Correctiva	Reemplazar crucetas de juntas cardánicas	Técnico mecánico
Formación	Correctiva	Reemplazar sprocket y cadenas con desgaste de picador	Técnico mecánico
Soldador	Correctiva	Baquetear intercambiador de placas	Técnico mecánico
Soldador	Correctiva	Reemplazar agua desmineralizada	Técnico electricista
Calibración	Correctiva	Reemplazar sellos de cojinetes de eje transversal	Técnico mecánico
Calibración	Correctiva	Reemplazar crucetas de juntas cardánicas	Técnico mecánico
Mesa de salida	Correctiva	desgaste	Técnico mecánico
Refrigeración	Correctiva	Reponer paño filtro de estanque	Técnico mecánico

Tabla 25 Actividades sin frecuencia definida. Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV:
EVALUACIÓN ECONÓMICA

4.1 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO TB2

En el capítulo tres se evaluó el desempeño operativo de la gestión de mantenimiento durante los años 2023 y 2024, considerando indicadores claves como la disponibilidad, los tiempos medios entre fallas y los tiempos medios de reparación. En este capítulo, como paso previo a la presentación del costo de implementación del plan de mantenimiento propuesto, se evaluará el desempeño económico de la gestión de mantenimiento en la conformadora TB2 durante los once meses de operación de 2024.

El objetivo de la comparación es evaluar la viabilidad de implementar el plan de mantenimiento basado en RCM. La principal limitación es el recurso humano disponible, ya que no se han considerado horas extras. Se mantendrá el personal actual y se tomarán en cuenta las remuneraciones por las horas normales de trabajo.

El presupuesto para 2024 se preparó con una estimación de gasto de 37.474.879 CLP, de los cuales 21.988.000 CLP estaban destinados a mantenimiento preventivo y 15.486.879 CLP a actividades correctivas. Sin embargo, el gasto real en mantenimiento correctivo superó lo presupuestado en 4.225.657 CLP, alcanzando un total de 40.630.593 CLP. Para compensar esta diferencia, el gasto en mantenimiento preventivo fue de 21.998.000 CLP, logrando una retención de 1.069.946 CLP al eliminar actividades previstas en la planificación. A pesar de estos ajustes, el presupuesto total utilizado en el año en curso fue de 40.630.593 CLP, con una desviación de 3.155.714 CLP respecto al presupuesto original.

Activo	Presupuesto 2024		2024 Real	
	Preventivo	Correctivo	Preventivo	Correctivo
Tubera 2	\$ 21.988.000	\$15.486.879	\$ 20.918.057	\$19.712.536
	Total Prev/Corr \$37.474.879		Total Prev/Corr \$40.630.593	

Tabla 26 Presupuesto de mantenimiento 2024 para TB2. Fuente: Elaboración propia.

Suma de Monto \$	Etiquetas de columna	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total general
Correctiva		\$ 478.640										\$ 478.640
Preventiva	\$	2.097.450	\$1.380.000	\$612.586	\$1.265.000	\$933.580	\$575.000	\$750.000	\$2.216.430	\$159.160	\$670.000	\$ 10.659.206
Total general	\$	2.097.450	\$1.858.640	\$612.586	\$1.265.000	\$933.580	\$575.000	\$750.000	\$2.216.430	\$159.160	\$670.000	\$ 11.137.846

Tabla 27 Gastos en servicios externos TB2 en 2024. Fuente: Indama

Fecha Sol	Responsa	n°Solped	Centro de	Tipo solíc	Área	Monto \$	Empresa	Descripción
15-01-2024	L.Rosales	11436	Tubera 2	Preventiva	Mecanica	47450	Tecnifluid	Instrumentos para medición presión circuito impedir TB2
08-03-2024	J.Rubio	11786	Tubera 2	Preventiva	Electrica	130.000	Enerteck	Mantenición motor de central hidráulica
06-06-2024	J.Rubio	12307	Tubera 2	Preventiva	Electrica	130000	Carlos Verga	Mantencion impresora
02-08-2024	G.Millar	12609	Tubera 2	Preventiva	Mecanica	150000	Larc SPA	Cambio peldaños pasarela tubera 2
16-09-2024	G.Millar	12767	Tubera 2	Preventiva	Mecanica	159160	Facoín	Intalación piping para FRL sala compresores
03-06-2024	J.Rubio	12280	Tubera 2	Preventiva	Electrica	445000	Carlos Verga	Mantencion impresora Tubera 2
17-05-2024	J.Rubio	12199	Tubera 2	Preventiva	Electrica	455000	Carlos Verga	Mantencion Impresora p/Tubera 2
08-05-2024	J.Rubio	12131	Tubera 2	Preventiva	Electrica	478580	Sermin Ltda	Mantenición bomba dct 560 pentax
05-02-2024	J.Rubio	11583	Tubera 2	Correctiva	Electrica	478640	Sermin Ltda	Mantenición bomba dct 560 pentax
17-04-2024	G.Millar	12039	Tubera 2	Preventiva	Mecanica	480000	Constructora	Limpieza estanque soluble tubera 2
20-03-2023	L.Rosales	11867	Tubera 2	Preventiva	Mecanica	482586	Tecnifluid	Reparación de cilindro acc cuchillo carro de empalme Tubera 2
02-01-2024	L.Alarcón	11352	Tubera 2	Preventiva	Mecanica	490000	Bombas y se	Mantenición bomba dct 560 pentax
01-08-2024	J.Rubio	12604	Tubera 2	Preventiva	Electrica	557890	Sermin Ltda	Mantenición bomba dct 560 pentax
02-01-2024	L.Rosales	11350	Tubera 2	Preventiva	Mecanica	580000	Bombas y se	Mantenimiento preventivo bomba de agua desmineralizada TB2
10-10-2024	G.Millar	12847	Tubera 2	Preventiva	Mecanica	670000	Constructora	Limpieza estanque soluble
13-08-2024	J.Rubio	12660	Tubera 2	Preventiva	Electrica	678540	Sermin Ltda	Mantenición bomba dct 560 pentax
17-07-2024	L.Rosales	12523	Tubera 2	Preventiva	Mecanica	750000	Valzul	Limpieza Tubera 2
04-04-2024	L.Rosales	11946	Tubera 2	Preventiva	Mecanica	785000	Valzul	Limpieza canales y mesa de salida Tubera 2
05-08-2024	G.Millar	12624	Tubera 2	Preventiva	Mecanica	830000	Constructora	Instalacion estanque tubera 2
02-01-2024	L.Rosales	11359	Tubera 2	Preventiva	Mecanica	980000	Bombas y se	Mantenición bomba dct 560 pentax
22-02-2024	G.Millar	11691	Tubera 2	Preventiva	Mecanica	1380000	Constructora	Limpieza completa de Tubera 2

Tabla 28 Descripción de servicios externos 2024. Fuente: Indama

4.2 COSTO DE PLAN DE MANTENIMIENTO RCM PROPUESTO

El plan de mantenimiento RCM propuesto en este proyecto de título contempla un gasto anual de 35.844.770 CLP, lo que representa una reducción del 6% en comparación con el presupuesto del año en curso. El presupuesto destinado a actividades correctivas disminuye en un 30%, alcanzando un costo de 10.836.770 CLP. Por otro lado, el presupuesto asignado a actividades predictivas y preventivas se estima en 25.008.000 CLP, lo que implica un aumento del 16% respecto al presupuesto actual. Este incremento en las actividades predictivas y preventivas permitirá reducir las tareas correctivas, lo que, a mediano plazo, disminuirá considerablemente las paradas de máquinas por fallos funcionales, mejorando así la disponibilidad y el rendimiento productivo del activo.

Activo	Presupuesto 2025 RCM		Presupuesto 2024		2024 Real	
	Preventivo/Predictivo	Correctivo	Preventivo	Correctivo	Preventivo	Correctivo
Tubera 2	\$ 25.008.000	\$ 10.836.770	\$ 21.988.000	\$ 15.486.879	\$ 20.918.057	\$ 19.712.536
	Total Pred/Prev/Corr	\$ 35.844.770	Total Prev/Corr	\$ 37.474.879	Total Prev/Corr	\$ 40.630.593

Tabla 29 Comparación plan de mantenimiento y presupuesto 2024. Fuente: Elaboración propia

La tabla 30 presenta los repuestos necesarios para llevar a cabo las actividades recomendadas, la tabla 31 muestra las actividades que requieren de externos por carencia de equipamiento y la tabla 32 muestra el costo de la plantilla de mantenimiento sin considerar el jefe de mantenimiento. Es importante destacar que el personal acá expuesto no es exclusivo para atender requerimientos de la conformadora TB2, sino de todos los activos que conforman la planta de la empresa.

Etiquetas de fila	Suma de Cantidad	Suma de Valor Total \$
Rodamiento RNA 6914 IKO	6	\$ 116.230
Limpiador piezas Mecánicas-Eléctricas	347	\$ 1.195.546
Electrodo Indura 70 1/8" Bronce (3,2 mm)	10	\$ 1.179.469
Grilla PHE 1070 TGGRID	6	\$ 1.068.428
Rodamiento 30211 J2/Q	20	\$ 580.568
Impulsor Bomba Pentax DCT 410 4hp (Retorno Sol TB2-TB4)	1	\$ 95.000
Impulsor bomba DCT 560	1	\$ 960.064
Balata tejida 490x305x13mm (Freno alimentador Acum.TB2)	6	\$ 900.042
Acoplamiento de soldador Plano EM-30362-400-2 (Empalmador TB2)	1	\$ 332.810
Rodillo tractor según muestra (Picador de Virutas TB2)	2	\$ 560.000
Cuchillo en K-110 s/plano TB1-SWD-001 (Picador viruta TB2)	8	\$ 482.000
Terminal de bronce impeders 25x70 s/plano MP-TBS-A1-D	8	\$ 405.910
Tensor de cadena T-Max (Picador de virutas TB2)	2	\$ 186.745
Bocina cabezal móvil Plano 0001/004 (TB2)	4	\$ 375.334
Placa TNGA 160408T01525 6050	17	\$ 371.827
Clamp Foot Switch serial number 70731 (modelo 10.135PMH)Kent	1	\$ 369.231
Electrodo Indura 70 1/8" Bronce (3,2 mm)	3	\$ 321.265
Terminal de bronce impeders 30x70 s/plano MP-TBS-A1-C	4	\$ 293.333
Sensor telemecanique Osiprox XS8D1A1PBM12 - Emp. TB-5	3	\$ 198.246
Flexible refrigeración 1/4"	8	\$ 280.000
Eje porta matrices formación superior tubera 2	2	\$ 133.500
Ventilador C/Celosia 230V 70W 370M3/H (244X244)7F.20.8.230.4400	1	\$ 262.000
Eje porta matrices calibración inferior tubera 2	2	\$ 175.498
Flexible refrigeración 1/2"	6	\$ 88.222
Maniobra QOSH 10mm x 1,4 mts (Yugo Camb Rap TB2)	3	\$ 75.000
Eléctrodo Tungsteno 1/16	1	\$ 208.368
Brida macho D-100	2	\$ 93.354
Aceite ISO VG 220	80	\$ 190.980
Tubing neumatico diam. 10 mm	20	\$ 182.200
Aceite ISO VG 68	80	\$ 178.500
Tubing inox. sin costura 3/8"	4	\$ 178.331
Eje de Salida S/plano E TB2/4.0	2	\$ 74.950
Cable RV-K 4 x 2,5 mm	2	\$ 168.000
Placa de corte TPMR1603082025 M25	10	\$ 166.797
Válvula de Bloqueo CKD 1/2" V3010-8N-W	2	\$ 124.576
Juego de placas reflectoras Serie A 200 Plus	4	\$ 164.304
Conector impider sin retorno 1/4	2	\$ 60.000
Cable RV - K 3 x 1,5 mm Flex.	8	\$ 158.834
Cañería 3/8" x 6 M A Inoxidable	6	\$ 149.985
Chaveta 3/4"	8	\$ 149.224
Empaquetadura grafito 1,6 mm	1	\$ 70.000
Soldadura Argenta Super 35 - 2S Revestida	2	\$ 143.000
Cable ÖLFLEX® CLASSIC 115 CY 7GX1 mm2	30	\$ 139.740
Rod. 6209 - 2 RS 1	8	\$ 127.295
Alambre NYA 4 mm	15	\$ 126.403
Interruptor limite KLCL KH8010R	3	\$ 123.837
Tubing neumatico diam. 12 mm	5	\$ 112.963
Desoxidante Wurth Rost-Off (300ml)	73	\$ 104.810
Cable ÖLFLEX® CLASSIC 115 CY 3GX1 mm2	33	\$ 103.248
Rod. 6208 - 2 RS 1	2	\$ 99.990
Interruptor de nivel micro ruptor T-15	4	\$ 98.395
Machón acoplamiento PHE 1050 TGRSB	2	\$ 98.208
Placa RNGN 1204 650	2	\$ 97.986
Boquilla 1.2	6	\$ 95.235
Cañería de cobre 1/8"	7	\$ 93.500
Disco de corte 4 1/2 x 1 Mm.	15	\$ 89.400
SOLUCIÓN DE LIMPIEZA	20	\$ 89.165
Cañería de Cobre 3/8	7	\$ 86.682
Conjunto FR+L, conex. 1/2"	30	\$ 85.656
Spray de aislacion bobinas rojo	8	\$ 85.021
Pintura Amarilla	6	\$ 84.287
Placa de corte TPGN 160304TO120650	5	\$ 79.560
Soldadura Argenta Super 35 - 2S Revestida	6	\$ 77.688

Conector recto G 1/4 x 10 mm	8	\$	19.549
Contactador AF26-30-00 - Control: 100-250V AC/DC 50Hz / 60Hz	36	\$	66.582
Placa Doble Filo P/Tronz. N123H2-0400-RM 4025	1	\$	66.117
Tuerca KM 11	2	\$	65.723
Flexible R2 HJ 1/4" x 1/4" HJ 90° L-1520 (Ali Acc Mord Carr Emp - TB2)	7	\$	65.599
Rodamiento 30206 (Reductor Pic Vir TB2-TB5)	2	\$	65.136
Maniobra cadena 1 ramal 8 mm x 1,5 mts c/ gancho acortador	2	\$	64.706
Placa de trozado 25mm Código N151.2-250-4E 1125	1	\$	62.051
Amarras plasticas 340mm	4	\$	60.441
Rod IKO BR 486024	2	\$	59.119
Sensor P+F Ind. NBB8-18 GM60-A2-V1	2	\$	57.698
Limpia contacto Cleaner 400 ml Cramolin 102	1	\$	56.397
Rod. 6208 - 2 RS 1	5	\$	53.686
Lubricante seco de Mo en Aerosol	8	\$	53.536
Aerosol Premalube Red	3	\$	51.000
Válvula 5/2 accionamiento palanca con retención, modelo 4H410-15	3	\$	50.850
Guardamotor tipo GPS1 BSAL 9 - 13 Amp.cód 101220 Calimport	1	\$	48.675
Perno Parker Ac. Inox. M 20 x 70	1	\$	48.414
Sellador de fluidos Loctite 5452 (50 ml)	7	\$	48.025
Tubing neumatico diam 8 mm	2	\$	47.831
Acople Conector Rapido 1/4"	68	\$	47.365
Rodamiento 61902	6	\$	46.646
MB 11 (arandela)	6	\$	43.800
Conduit Flexible 1/2	1	\$	41.250
Tubing neumático 16 mm	48	\$	41.136
Relé térmico TF42-16 reg.:13.0 ... 16.0 p/AF09...AF38	3	\$	39.720
Rele termico RT1 N, codigo 033255 (8 a 12 A)	1	\$	39.060
Caja parada de emergencia	1	\$	39.060
Hoja marco sierra 1/2 x 12 x 24 dientes	6	\$	37.438
Filtro de aceite Filtrec A110C10, 10 mc-3/4"	1	\$	37.185
Lija Metal G036	33	\$	35.614
Electrodo Argenta 703 G 1/8"	3	\$	34.979
Conector recto gris ip68/69 klick-gp pg9	1	\$	34.385
Sensor P+F Ind. NBB5-18 GM60-A2-V1	1	\$	32.859
Azul de trazado Spray SOO 603 Sprayon	2	\$	31.824
Perno Cabeza Avellanada M5x10	60	\$	11.336
Placa TCGX 13 T3 - 04 - AL H10 Sandvik coromant	216	\$	30.709
Cañería de cobre 1/4"	15	\$	30.045
Correa 390	6	\$	29.891
Conector V1-W-5M-PUR	1	\$	29.633
Conector recto G 1/2 x 12 mm	8	\$	7.952
Rodamiento 6008 2 RS1	9	\$	27.417
Pastillas de freno Peugeot 206	2	\$	25.177
Grasera H2 G1/8"	9	\$	2.627
Anticorrosivo	6	\$	22.159
Rodamiento 51306	2	\$	39.132
Fusible NH00, 100A curva gG/gL, 500VAC	1	\$	19.721
Reducción Bushing cobre 1/4" HE a 1/8" HI	9	\$	19.510
Int. de pedal metálico 1NC + 1NA	1	\$	17.011
Cadena simple ASA 40	2	\$	15.204
Rele control de nivel liquidos p/sonda	1	\$	19.176
Reduccion Tubing 12 - 10 diam	4	\$	2.750
Pernos de Anclaje 3/8	8	\$	11.597
Perno cabeza avellanada M10X20	30	\$	10.280
Selector Mov. corto 2pos. P9XSMDON	1	\$	5.592
Aire comprimido Dust Off Jumbo	2	\$	5.325
Caja metalica 200x200x150MM Enerlux (Uso general)	3	\$	5.228
Enchufe hembra panel 3P+T 32A-380V	1	\$	4.403
Candado para ASA 40-1	2	\$	4.312
Enchufe Bticino 10A 250V Macho	3	\$	4.245
Perno Parker M 12 x 30	8	\$	3.856
Amarras plasticas 280mm	3	\$	2.970
Correa A-66	2	\$	2.768
Conector recto G 1/4 x 8mm	1	\$	2.600
Terminal de ojo 1.5 - 2.5 MM2 x 4 Mm. BM00219	120	\$	2.560

Codo 3/8 x 10 mm orientable	60	\$	2.534
Hilo x Mt. M 8	1	\$	2.478
Terminales de ojo Amarillo 6,5mm	100	\$	2.442
Perno parker M 10 x 25	50	\$	2.384
Tuerca M 22	10	\$	2.309
Perno hexagonal M 20x80	2	\$	2.118
Pomel 3/8"	1	\$	2.029
Tuerca hex. M-8	14	\$	1.960
Enchufe hembra volante 2P + T 10 A 220 V Gewis	2	\$	1.816
MB 5 SKF	10	\$	1.658
Regleta 6 mm Negra	2	\$	1.649
Seguro Seegers 90 mm int	1	\$	1.629
Tuerca hex. M-10	1	\$	1.592
Grasera H1 G1/8	4	\$	1.421
Golilla Nord Lock 10mm	20	\$	1.372
Codo Tubing 12 a 12 mm	2	\$	1.170
Cajas de distribucion metalicas Chuqui	2	\$	971
Perno hexagonal M 8 x 20	1	\$	891
Perno Parker M 6 x 20	1	\$	824
Tuerca hex. M-16	10	\$	819
Golilla plana 8	60	\$	1.238
Tiza Marca metal	10	\$	229
Golilla plana 16	2	\$	225
Golilla presion 8	3	\$	190
Golilla plana 10	14	\$	181
Golilla presion 10	11	\$	161
Golilla presion 6	8	\$	146
Golilla plana 22	6	\$	117
Golilla plana 6	8	\$	82
Total general	2228	\$	17.712.017

Tabla 30 Repuestos e insumos para ejecución de actividades. Fuente: Elaboración propia.

Centro Costo	Tipo	Área	Monto \$	Nro Servicios	Total \$	Descripción
Tubera 2	Predictiva	Mecanica	220.000	12	2.640.000	Servicios de análisis vibraciones de transmisiones
Tubera 2	Predictiva	Mecanica	45.000	8	360.000	Servicios de análisis tribologicos de lubricantes
Tubera 2	Preventiva	Mecanica	380.000	2	760.000	Limpiar campana y ductos de extractor de gases
Tubera 2	Preventiva	Electrica	470.000	2	940.000	Extraer borra metálica de estanques
Tubera 2	Preventiva	Electrica	780.000	1	780.000	Recalibración de parámetros y actualización de software de servomotores
Tubera 2	Preventiva	Electrica	480.000	1	480.000	Revisar tarjetas electrónicas de drivers
Tubera 2	Preventiva	Electrica	150.000	2	300.000	Ejecutar mantenimiento a equipo de acondicionamiento de aire
Tubera 2	Preventiva	NA	150.000	NA	1.035.983	Monto Extra Respaldo
				Total	7.295.983	

Tabla 31 Servicios contemplados en plan RCM. Fuente: Elaboración propia.

Recurso Humano	Sueldo Mensual	Cantidad de Personal	Costo Anual
Planificador-Programador	1.500.000	1	18.000.000
Supervisor Mantenimiento Mecánico	1.300.000	1	15.600.000
Supervisor Mantenimiento Eléctrico	1.300.000	1	15.600.000
Supervisor Máquinas y Herramientas	1.300.000	1	15.600.000
Técnico mecánico	750.000	7	63.000.000
Técnico electricista	750.000	4	36.000.000
Operador Máquinas y Herramientas	750.000	3	27.000.000
Total		18	190.800.000

Tabla 32 Costo de personal de mantenimiento. Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Como se detalló en el capítulo dos, la conformadora Yoder está configurada en un sistema en serie, lo que implica que la confiabilidad inherente del equipo es relativamente baja. El tipo de proceso y las limitaciones del espacio físico de la planta dificultan considerablemente la instalación de componentes redundantes que garanticen la continuidad operacional en caso de fallos en alguna parte del sistema. No obstante, es posible implementar equipos paralelos en áreas específicas para mejorar la disponibilidad y minimizar el impacto de fallos:

- Bombas del sistema de refrigeración: Se puede instalar bombas en paralelo, junto con un juego de válvulas, para facilitar el reemplazo oportuno de cualquier bomba que falle. Este enfoque sería aplicable tanto a la bomba de recirculación como a la bomba de retorno.
- Extractores de gases del soldador: Dada la ubicación física de este subcomponente, resulta viable instalar un equipo gemelo en paralelo. Esto permitiría intervenir rápidamente si las condiciones dinámicas del extractor en funcionamiento se vuelven irregulares.

Una opción para mejorar la eficiencia del enfriamiento del perfil en proceso sería incorporar un sistema de refrigeración del soluble. Este proceso podría tomar como referencia el sistema de refrigeración de la tubera 5, el cual consta de un chiller, un intercambiador de tubos y un equipo de bombeo encargado de recircular agua desmineralizada. Este sistema tiene como objetivo absorber el calor del soluble, y podría adaptarse para optimizar el enfriamiento del perfil en proceso, garantizando un control más efectivo de la temperatura y mejorando la estabilidad operativa durante la producción. De este modo, se lograría una mayor eficiencia en el proceso, reduciendo el riesgo de sobrecalentamiento y mejorando la calidad del producto final.

Para culminar, es recomendable generar procedimientos para estandarizar las diversas tareas que estima el plan de mantenimiento. La estandarización permite que los procedimientos de mantenimiento sean consistentes, lo que facilita la realización de las tareas de manera más rápida y precisa. Al seguir procedimientos establecidos, se reduce el riesgo de errores, y se mejora el uso de repuestos y herramientas, además se garantiza que el mantenimiento se realice siguiendo las mejores prácticas, lo que aumenta la probabilidad de que el trabajo se haga correctamente la primera vez. Todo esto conlleva a una mejora de la confiabilidad de los equipos, minimizando fallos y averías imprevistas.

BIBLIOGRAFIA

- Acuña, J. (2003). Ingeniería de confiabilidad. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Aulestia, J., Guerrero, A. (2022). Desarrollo de una herramienta informática basada en el método Jackknife para el análisis de fallas y costos en flotas de transporte. Memoria (Ingeniero Mecánico Automotriz), Cuenca, Ecuador. Universidad Politécnica Salesiana, 2022.
- Campos, O., Toledo M., Tolentino, R.. Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. Revista Científica, volumen XXIII, número 1. 2019.
- Díaz, J. (2010) Técnicas de mantenimiento industrial. Editorial Calpe Institute of Technology.
- García, S. (2009). Colección mantenimiento industrial. Vol. 1 Mantenimiento sistemático. Técnicas avanzadas de gestión del mantenimiento en la industria. Editorial Renovetec.
- García, S. (2009). Colección mantenimiento industrial. Vol. 4 Mantenimiento correctivo. Organización y gestión de reparación de averías. Editorial Renovetec.
- Kardek, A., Nascif, J. (2002). Mantenimiento, función estratégica. CIP Brasil.
- Jiménez K., Milano, T. (2005). Planificación y gestión del mantenimiento industrial. Un enfoque estratégico y operativo. Editorial Panapo.
- Levin, R. (1996). Estadística para administradores. Editorial Prentice Hall.
- López, J. (2013). Gestión del mantenimiento. Teoría y práctica. Ediciones Díaz de Santos.
- Mendenhall, W. (2015). Introducción a la probabilidad y estadística. Editorial Cengage Learning.
- Mesa, D., Ortiz, Y., Pinzón, M. (2006). La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. Artículo Scientia et Technica vol. XII, No 30. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Montilla, C. (2019). Mantenimiento industrial y su administración. Colección de textos académicos. Editorial Universidad Tecnológica de Pereira.
- Mora, A. (2009). Mantenimiento. Planeación, ejecución y control. Editorial Alfaomega.
- Moubay, J. (1997). Reliability Centered maintenance. Industrial press.
- Muñoz, B. [s.a.]. Mantenimiento industrial. Universidad Carlos III de Madrid.
- Navarro, L., Pastor, A., Tejedor y Mugaburu J. (1997). Gestión integral de mantenimiento Editores Marcombo.
- Ortiz, D. (2016). Mantenimiento centrado en confiabilidad. Guía práctica.
- Pinto. A. (1997). Contratación según disponibilidad. 12º Conferencia brasileña de mantenimiento. Sao Paulo.

- Rojas, J. (1975). Introducción a la confiabilidad. Universidad de Los Andes.
- Romero, S., Sanabria, D. (2018). Modelo multicriterio aplicado a la toma de decisiones representables en diagramas de Ishikawa. [Tesis de Pregrado]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Sales, M. (2013). Diagrama de Pareto. EALDE Business School.
- Tavares, L. (2002). Administración moderna del mantenimiento. Novo Polo Publicaciones.
- Vázquez, R. (2012). Mantenimiento industrial: conceptos y aplicaciones. Editorial McGra-Hill.
- Vilanova, R. (2009). Mantenimiento: una guía para la gestión del mantenimiento centrado en la confiabilidad. Ediciones Pirámide.
- Villegas, C. Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) y su uso en Machine Learning aplicado a procesos productivos. Revista Predictiva 21, número 38. 2021
- Vittorangeli, A. (2023). Hablemos de RAM. Artículo revista Predictiva 21, número 46.