



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,**  
**ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
**ELÉCTRICA**



**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE  
MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN LA  
METODOLOGÍA RCM PARA LOS EQUIPOS CRÍTICOS DEL  
PROCESO DE FABRICACIÓN DE DETERGENTES EN POLVO”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**RONNY ALÍ OCHOA YUCRA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2022**



## DEDICATORIA

Es mi deseo expresar una afectuosa dedicación a quienes han contribuido en apoyarme en mi formación como profesional.

Primero a Dios por darme la fortaleza e inteligencia por cumplir este proyecto.

A mis padres Bienvenido Ochoa y Margarita Yucra, por el apoyo incondicional e incentivar me a mejorar cada día, como persona y profesional.

A mi pareja sentimental Magaly Ramos, por los actos y palabras de aliento, por hacer de esta una etapa inolvidable.

A mis hermanos y familiares que orgullosamente me han apoyado en mis estudios y me han guiado a motivarme para ser cada día más grande y no dejarme vencer en este mundo tan competitivo.

A la Empresa INTRADEVCO INDUSTRIAL S.A. por haberme dado la oportunidad de poder desenvolverme como Profesional.

Ronny Alí Ochoa Yucra



## AGRADECIMIENTO

Dios, tu amor y bondad no tiene fin, me permites sonreír ante todo mis logros que son resultados de tu ayuda.

A mis padres Bienvenido Ochoa y Margarita Yucra, por su apoyo incondicional.

A mis hermanos Hilda, Alex, María Luz, Gaby y Deysi por llenarme de alegría día tras día y por todos los consejos brindados.

A mi pareja sentimental Magaly Ramos por los actos y palabras de aliento.

A mi Alma Mater la **Universidad Nacional de Altiplano – Puno**.

Con honor a la carrera profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** por haberme brindado una excelente formación durante los 5 años académicos y hacer de mi un profesional eficiente y competente.

Al jefe de planta, gerente de mantenimiento, jefe de mantenimiento detergentes, supervisores de proceso, técnicos de mantenimiento, quienes contribuyeron en la realización de este proyecto.

Con honor a la Empresa INTRADEVCO INDUSTRIAL S.A por haberme dado la oportunidad de poder desenvolverme como profesional.

Ronny Alí Ochoa Yucra



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNICOS**

**RESUMEN ..... 18**

**ABSTRACT..... 19**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. PROBLEMA GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN..... 21**

**1.2. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA ..... 21**

**1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO ..... 22**

1.3.1. Objetivo general..... 22

1.3.2. Objetivos específicos ..... 23

**1.4. ALCANCE DEL ESTUDIO ..... 23**

**1.5. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN..... 23**

1.5.1. Delimitación del espacio..... 23

1.5.2. Delimitación del tiempo..... 24

**1.6. HIPÓTESIS DEL ESTUDIO ..... 24**

1.6.1. Hipótesis general..... 24

1.6.2. Hipótesis específicas..... 24



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

<b>2.1. PRODUCCIÓN DE DETERGENTE EN POLVO</b> .....	25
<b>2.2. COMPONENTES DE LAS FORMULACIONES DE DETERGENTES</b> ....	26
<b>2.3. CONSTITUCIÓN DE LOS DETERGENTES</b> .....	26
<b>2.4. PROCESO DE FABRICACIÓN DE DETERGENTE EN POLVO</b> .....	28
2.4.1. Etapas del proceso de fabricación de detergentes en polvo.....	28
<b>2.5. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO</b> .....	35
<b>2.6. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES DEL PROCESO</b> .....	36
2.6.1. Balanza pesadora de insumos sólidos.....	37
2.6.2. Balanza pesadora de líquidos y ácido .....	38
2.6.3. Tornillo de descarga mayor (Gusano Mayor).....	39
2.6.4. Batidoras o Crutchers.....	40
2.6.5. Tanque autolimpiante .....	41
2.6.6. Tanque de envejecimiento o pulmón .....	42
2.6.7. Bombas de alta presión .....	43
2.6.8. Horno quemador .....	44
2.6.9. Torre de secado .....	45
2.6.10. Ventilador de escape .....	46
2.6.11. Hidrociclones .....	47
2.6.12. Ventilador elevador de producto .....	48
2.6.13. Tamizadora Sweco .....	49
2.6.14. Balanza post adición .....	50
2.6.15. Mezclador mixer .....	51
<b>2.7. MANTENIMIENTO</b> .....	52



<b>2.8. PROCESO DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO</b> .....	52
<b>2.9. TIPOS DE MANTENIMIENTO</b> .....	53
2.9.1. Mantenimiento correctivo.....	53
2.9.2. Mantenimiento preventivo.....	54
2.9.3. Mantenimiento predictivo.....	56
<b>2.10. MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD</b> .....	56
2.10.1. Definiciones del RCM.....	57
2.10.2. Historia y antecedentes del RCM.....	59
2.10.3. Mantenimiento y RCM .....	61
2.10.4. Las siete preguntas básicas del RCM.....	62
2.10.5. Curva de la bañera.....	68
2.10.6. Grupo de Trabajo .....	69
2.10.7. Proceso de implantación del RCM.....	70

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN</b> .....	71
<b>3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN</b> .....	71
<b>3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	72
<b>3.4. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b> .....	73
3.4.1. Entrevista .....	73
3.4.2. Observación .....	73
3.4.3. Análisis documental.....	73
3.4.4. Revisión de bibliografía.....	73
<b>3.5. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS</b> .....	74
<b>3.6. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	74



3.6.1. Unidades de información .....	74
3.6.2. Hoja de información .....	75
3.6.3. Análisis de criticidad .....	78
3.6.4. Matriz de criticidad .....	78
3.6.5. Criterios de evaluación para la matriz de criticidad de equipos .....	79
3.6.6. Indicadores de gestión .....	80
3.6.7. Distribución de weibull.....	82
3.6.8.1. Distribución weibull de dos parámetros.....	86
3.6.8.2. Distribución weibull de tres parámetros .....	87
3.6.8.3. Estimación de rangos medianos .....	88
3.6.8.4. Tiempo medio entre fallas (MTBF).....	88
3.6.9. Árbol lógico de decisiones del RCM.....	90
3.6.10. Hoja de decisión .....	92
<b>3.7. PROCESAMIENTO DE DATOS .....</b>	<b>94</b>

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

<b>4.1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL .....</b>	<b>95</b>
<b>4.2. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF) .....</b>	<b>97</b>
<b>4.3. ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS.....</b>	<b>106</b>
4.8.1. Registro de fallas .....	106
4.8.2. Matriz de criticidad y clasificación de riesgo .....	108
4.8.3. Análisis de criticidad de equipos del proceso de fabricación de detergentes en polvo .....	109
4.8.4. Equipos a los que se aplicará el mantenimiento preventivo .....	110



<b>4.9. DETERMINACIÓN DE LOS INTERVALOS DE INTERVENCIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....</b>	<b>111</b>
4.9.1. Distribución weibull para el tornillo de carga de insumos sólidos .....	111
4.9.2. Distribución weibull para la balanza automática de insumos sólidos ....	117
4.9.3. Distribución weibull para el tornillo de descarga insumos sólidos .....	122
4.9.4. Distribución weibull para el tornillo de descarga mayor .....	127
4.9.5. Distribución weibull para la balanza automática de líquidos .....	132
4.9.6. Distribución weibull para la batidora crutcher .....	137
4.9.7. Distribución weibull para el agitador autolimpiante.....	142
4.9.8. Distribución weibull para la bomba de alta presión .....	147
4.9.9. Distribución weibull para el ventilador primario.....	152
4.9.10. Distribución weibull para la tolva de recuperación de granos finos .....	157
4.9.11. Distribución weibull para el ventilador de escape .....	162
4.9.12. Distribución weibull faja caída de producto base .....	167
4.9.13. Distribución weibull para la balanza faja madre.....	172
4.9.14. Distribución weibull para el mezclador horizontal mixer.....	177
<b>4.10. HOJA DE DECISIÓN. ....</b>	<b>181</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>185</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>186</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>187</b>

**TEMA:** Mantenimiento de Planta Industrial.

**ÁREA:** Ingeniería Mecánica.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 25 de noviembre de 2022





## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Componentes de un detergente .....	26
<b>Figura 2:</b> Etapas del proceso de fabricación detergente en polvo .....	28
<b>Figura 3:</b> Esquema del Proceso Pre Adición .....	31
<b>Figura 4:</b> Esquema del Proceso Torre de Secado .....	33
<b>Figura 5:</b> Esquema del proceso Post adición .....	34
<b>Figura 6:</b> Diagrama de flujo del proceso de fabricación de detergente en polvo .....	36
<b>Figura 7:</b> Balanza pesadora de insumos sólidos .....	37
<b>Figura 8:</b> Balanza pesadora de líquidos y ácido .....	38
<b>Figura 9:</b> Tornillo de descarga mayor .....	39
<b>Figura 10:</b> Batidoras crutchers.....	40
<b>Figura 11:</b> Tanque autolimpiante.....	41
<b>Figura 12:</b> Tanque de envejecimiento .....	42
<b>Figura 13:</b> Bombas de alta presión .....	43
<b>Figura 14:</b> Horno quemador .....	44
<b>Figura 15:</b> Torre de secado .....	45
<b>Figura 16:</b> Ventilador de escape .....	46
<b>Figura 17:</b> Hidrociclones .....	47
<b>Figura 18:</b> Ventilador elevador de producto.....	48
<b>Figura 19:</b> Tamizadora sweco .....	49
<b>Figura 20:</b> Balanza Post adición .....	50
<b>Figura 21:</b> Mezclador mixer .....	51
<b>Figura 22:</b> Componentes de un programa RCM.....	59
<b>Figura 23:</b> Curva de la Bañera.....	68
<b>Figura 24:</b> Integrantes del equipo natural de trabajo .....	70



<b>Figura 25:</b> Proceso de Implantación del RCM .....	70
<b>Figura 26:</b> Ubicación del proyecto .....	72
<b>Figura 27:</b> Densidad de probabilidad $f(t)$ , Tasa de fallos ( $\lambda$ ) y Función acumulativa de fallos $F(t)$ .....	84
<b>Figura 28:</b> Árbol de decisión RCM .....	91
<b>Figura 29:</b> Gráfica Weibull 2 parámetros para el tornillo carga de insumos.....	113
<b>Figura 30:</b> Gráfica Weibull 3 parámetros para el tornillo carga de insumos.....	114
<b>Figura 31:</b> Curva de Confiabilidad tornillo carga de insumos .....	115
<b>Figura 32:</b> Curva de Infiabilidad tornillo carga de insumos.....	116
<b>Figura 33:</b> Gráfica Weibull 2 parámetros para la balanza automática de insumos .....	118
<b>Figura 34:</b> Gráfica Weibull 3 parámetros para la balanza automática de insumos .....	119
<b>Figura 35:</b> Curva de confiabilidad de la balanza automática de insumos .....	120
<b>Figura 36:</b> Curva de Infiabilidad de la balanza automática de insumos.....	121
<b>Figura 37:</b> Gráfica Weibull 2 parámetros para el tornillo de descarga de insumos ....	123
<b>Figura 38:</b> Gráfica Weibull 3 parámetros para el tornillo de descarga de insumo .....	124
<b>Figura 39:</b> Curva de Confiabilidad tornillo de descarga de insumos .....	125
<b>Figura 40:</b> Curva de Infiabilidad tornillo de descarga de insumos.....	126
<b>Figura 41:</b> Gráfica Weibull 2 parámetros para el tornillo de descarga mayor .....	128
<b>Figura 42:</b> Gráfica Weibull 3 parámetros para el tornillo de descarga mayor .....	129
<b>Figura 43:</b> Curva de Confiabilidad tornillo de descarga mayor .....	130
<b>Figura 44:</b> Curva de Infiabilidad tornillo de descarga mayor.....	131
<b>Figura 45:</b> Gráfica Weibull 2 parámetros balanza automática de líquidos .....	133
<b>Figura 46:</b> Gráfica Weibull 3 parámetros balanza automática de líquidos .....	134
<b>Figura 47:</b> Curva de Confiabilidad balanza automática de líquidos.....	135
<b>Figura 48:</b> Curva de Infiabilidad balanza automática de líquidos .....	136



<b>Figura 49:</b> Gráfica Weibull 2 parámetros para la batidora crutcher .....	138
<b>Figura 50:</b> Gráfica Weibull 3 parámetros para la batidora crutcher .....	139
<b>Figura 51:</b> Curva de Confiabilidad batidora crutcher .....	140
<b>Figura 52:</b> Curva de Infiabilidad batidora crutcher .....	141
<b>Figura 53:</b> Gráfica Weibull 2 parámetros para el agitador autolimpiante .....	143
<b>Figura 54:</b> Gráfica Weibull 3 parámetros para el agitador autolimpiante .....	144
<b>Figura 55:</b> Curva de Confiabilidad agitador autolimpiante .....	145
<b>Figura 56:</b> Curva de Infiabilidad agitador autolimpiante .....	146
<b>Figura 57:</b> Gráfica Weibull 2 parámetros para la bomba de alta presión .....	148
<b>Figura 58:</b> Gráfica Weibull 3 parámetros para la bomba de alta presión .....	149
<b>Figura 59:</b> Curva de Confiabilidad bomba de alta presión .....	150
<b>Figura 60:</b> Curva de Infiabilidad bomba de alta presión .....	151
<b>Figura 61:</b> Gráfica Weibull 2 parámetros para el ventilador primario .....	153
<b>Figura 62:</b> Gráfica Weibull 3 parámetros para el ventilador primario .....	154
<b>Figura 63:</b> Curva de Confiabilidad ventilador primario .....	155
<b>Figura 64:</b> Curva de Infiabilidad ventilador primario .....	156
<b>Figura 65:</b> Gráfica Weibull 2 parámetros para la tolva de recuperación de granos finos .....	158
<b>Figura 66:</b> Gráfica de Weibull 3 parámetros para la tolva de recuperación de granos finos .....	159
<b>Figura 67:</b> Curva de Confiabilidad tolva de recuperación de granos finos .....	160
<b>Figura 68:</b> Curva de Infiabilidad tolva de recuperación de granos finos .....	161
<b>Figura 69:</b> Gráfica Weibull 2 parámetros para el ventilador de escape .....	163
<b>Figura 70:</b> Gráfica Weibull 3 parámetros para el ventilador de escape .....	164
<b>Figura 71:</b> Curva de Confiabilidad ventilador de escape .....	165



<b>Figura 72:</b> Curva de Infiabilidad ventilador de escape.....	166
<b>Figura 73:</b> Gráfica Weibull 2 parámetros para la faja caída de producto.....	168
<b>Figura 74:</b> Gráfica Weibull 3 parámetros para la faja caída de producto.....	169
<b>Figura 75:</b> Curva de confiabilidad faja caída de producto .....	170
<b>Figura 76:</b> Curva de Infiabilidad faja caída de producto .....	171
<b>Figura 77:</b> Gráfica Weibull 2 parámetros para la balanza faja madre .....	173
<b>Figura 78:</b> Gráfica Weibull 3 parámetros para la balanza faja madre .....	174
<b>Figura 79:</b> Curva de Confiabilidad balanza faja madre .....	175
<b>Figura 80:</b> Curva de Infiabilidad balanza faja madre .....	176
<b>Figura 81:</b> Gráfica Weibull 2 parámetros para el mezclador horizontal mixer .....	178
<b>Figura 82:</b> Gráfica Weibull 3 parámetros para el mezclador horizontal mixer .....	179
<b>Figura 83:</b> Curva de Confiabilidad mezclador horizontal mixer .....	180
<b>Figura 84:</b> Curva de Infiabilidad mezclador horizontal mixer .....	181



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Personal Intradevco Industrial S.A. Planta Detergentes Lurín.....	75
<b>Tabla 2:</b> Criterio de Severidad (S).....	76
<b>Tabla 3:</b> Criterio de Ocurrencia (O).....	76
<b>Tabla 4:</b> Criterio de Detección (D).....	76
<b>Tabla 5:</b> Hoja de información.....	77
<b>Tabla 6:</b> Matriz de criticidad.....	78
<b>Tabla 7:</b> Criterios de probabilidad de falla.....	79
<b>Tabla 8:</b> Criterios de impacto operacional.....	79
<b>Tabla 9:</b> Criterios de impacto por flexibilidad operacional.....	79
<b>Tabla 10:</b> Criterios de impacto en costes de mantenimiento.....	80
<b>Tabla 11:</b> Criterios de impacto de seguridad.....	80
<b>Tabla 12:</b> Criterios de evidencia.....	80
<b>Tabla 13:</b> Tabla de Fiabilidad.....	89
<b>Tabla 14:</b> Hoja de decisión RCM.....	92
<b>Tabla 15:</b> Sub sistema del proceso de fabricación de detergentes en polvo.....	95
<b>Tabla 16:</b> AMEF Pre adición.....	98
<b>Tabla 17:</b> AMEF Torre de secado.....	101
<b>Tabla 18:</b> AMEF Post adición.....	104
<b>Tabla 19:</b> Fallas registradas.....	106
<b>Tabla 20:</b> Tabla matriz de criticidad.....	108
<b>Tabla 21:</b> Análisis de criticidad de los sub sistemas.....	109
<b>Tabla 22:</b> Equipos críticos.....	110
<b>Tabla 23:</b> Registro de fallas del tornillo carga de insumos.....	111
<b>Tabla 24:</b> Valores obtenidos para la confiabilidad del tornillo carga de insumos.....	112



<b>Tabla 25:</b> Valores obtenidos Weibull 2 parámetros para tornillo carga de insumos ...	113
<b>Tabla 26:</b> Valores obtenidos Weibull 3 parámetros para tornillo carga de insumos ...	114
<b>Tabla 27:</b> Registro de fallas balanza automática de insumos sólidos .....	117
<b>Tabla 28:</b> Valores obtenidos para la confiabilidad de balanza automática de insumos .....	118
<b>Tabla 29:</b> Valores obtenidos Weibull 2 parámetros para la balanza automática de insumos .....	119
<b>Tabla 30:</b> Valores obtenidos Weibull 3 parámetros para la balanza automática de insumos .....	120
<b>Tabla 31:</b> Registro de fallas tornillo de descarga de insumos .....	122
<b>Tabla 32:</b> Valores obtenidos para la confiabilidad del tornillo de descarga de insumos .....	123
<b>Tabla 33:</b> Valores obtenidos Weibull 2 parámetros para el tornillo de descarga de insumo .....	124
<b>Tabla 34:</b> Valores obtenidos Weibull 3 parámetros para el tornillo de descarga de insumo .....	125
<b>Tabla 35:</b> Registro de fallas tornillo de descarga mayor .....	127
<b>Tabla 36:</b> Valores obtenidos para la Confiabilidad tornillo de descarga mayor.....	127
<b>Tabla 37:</b> Valores obtenidos Weibull 2 parámetros para el tornillo de descarga mayor .....	128
<b>Tabla 38:</b> Valores obtenidos Weibull 3 parámetros para el tornillo de descarga mayor .....	129
<b>Tabla 39:</b> Registro de fallas balanza automática de líquidos.....	132
<b>Tabla 40:</b> Valores obtenidos para la Confiabilidad balanza automática de líquidos ...	133



<b>Tabla 41:</b> Valores obtenidos Weibull 2 parámetros para la balanza automática de líquidos .....	134
<b>Tabla 42:</b> Valores obtenidos Weibull 3 parámetros para la balanza automática de líquidos .....	135
<b>Tabla 43:</b> Registro de fallas batidora crutcher .....	137
<b>Tabla 44:</b> Valores obtenidos para la Confiabilidad Batidora Crutcher.....	137
<b>Tabla 45:</b> Valores obtenidos Weibull 2 parámetros para la batidora crutcher.....	138
<b>Tabla 46:</b> Valores obtenidos Weibull 3 parámetros para la batidora crutcher.....	139
<b>Tabla 47:</b> Registro de fallas agitador autolimpiante .....	142
<b>Tabla 48:</b> Valores obtenidos para el agitador autolimpiante .....	142
<b>Tabla 49:</b> Valores obtenidos Weibull 2 parámetros para el agitador autolimpiante....	143
<b>Tabla 50:</b> Valores obtenidos Weibull 3 parámetros para el agitador autolimpiante....	144
<b>Tabla 51:</b> Registro de fallas bomba de alta presión .....	147
<b>Tabla 52:</b> Valores obtenidos para la bomba de alta presión .....	147
<b>Tabla 53:</b> Valores obtenidos Weibull 2 parámetros para la bomba de alta presión.....	148
<b>Tabla 54:</b> Valores obtenidos Weibull 3 parámetros para la bomba de alta presión.....	149
<b>Tabla 55:</b> Registro de fallas ventilador primario .....	152
<b>Tabla 56:</b> Valores obtenidos para el ventilador primario .....	152
<b>Tabla 57:</b> Valores obtenidos Weibull 2 parámetros para el ventilador primario.....	153
<b>Tabla 58:</b> Valores obtenidos Weibull 3 parámetros para el ventilador primario.....	154
<b>Tabla 59:</b> Registro de fallas tolva de recuperación de granos finos .....	157
<b>Tabla 60:</b> Valores obtenidos para la tolva de recuperación de granos finos .....	158
<b>Tabla 61:</b> Valores obtenidos Weibull 2 parámetros para la tolva de recuperación de granos finos .....	159



<b>Tabla 62:</b> Valores obtenidos Weibull 3 parámetros para la tolva de recuperación de granos finos .....	160
<b>Tabla 63:</b> Registro de fallas ventilador de escape .....	162
<b>Tabla 64:</b> Valores obtenidos para el ventilador de escape.....	162
<b>Tabla 65:</b> Valores obtenidos Weibull 2 parámetros para el ventilador de escape .....	163
<b>Tabla 66:</b> Valores obtenidos Weibull 3 parámetros para el ventilador de escape .....	164
<b>Tabla 67:</b> Registro de fallas faja caída de producto base.....	167
<b>Tabla 68:</b> Valores obtenidos para la faja caída de producto .....	167
<b>Tabla 69:</b> Valores obtenidos de Weibull 2 parámetros para la faja caída de producto	168
<b>Tabla 70:</b> Valores obtenidos Weibull 3 parámetros para la faja caída de producto ....	169
<b>Tabla 71:</b> Registro de fallas balanza faja madre .....	172
<b>Tabla 72:</b> Valores obtenidos para la balanza faja madre .....	172
<b>Tabla 73:</b> Valores obtenidos Weibull 2 parámetros para la balanza faja madre .....	173
<b>Tabla 74:</b> Valores obtenidos Weibull 3 parámetros para la balanza faja madre .....	174
<b>Tabla 75:</b> Registro de fallas mezclador horizontal mixer .....	177
<b>Tabla 76:</b> Valores obtenidos para el mezclador horizontal mixer .....	177
<b>Tabla 77:</b> Valores obtenidos Weibull 2 parámetros para el mezclador horizontal mixer .....	178
<b>Tabla 78:</b> Valores obtenidos Weibull 3 parámetros para el mezclador horizontal mixer .....	179
<b>Tabla 79:</b> Hoja de Decisión de equipos críticos pre adición .....	182
<b>Tabla 80:</b> Hoja de Decisión de equipos críticos torre de secado .....	183
<b>Tabla 81:</b> Hoja de Decisión de equipos críticos post adición .....	184





## ÍNDICE DE ACRÓNICOS

RCM: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

AMEF: Análisis de Modos y Efectos y de Falla

NPR: Número de Prioridad de Riesgo

ABS: Alquibenceno sulfatos de cadena ramificada

LAS: Sulfonatos de alquibenceno lineal

STTP: Tripolifosfato

BAR: Unidad de presión

PSI: Unidad de presión

TPM: Mantenimiento productivo total

S: Severidad

O: Ocurrencia

D: Detección

MTBF: Tiempo medio entre fallas

MTTR: Tiempo medio de reparación

R: Coeficiente de correlación

m.s.n.m.: Altitud en metros sobre el nivel del mar

OP: Operario

MEC: Mecánico

ELEC: Electricista

INST: Instrumentista

Hr: Horas

R(t): Confiabilidad

F(f): Infiabilidad



## RESUMEN

En la actualidad la Empresa viene aplicando un mantenimiento de corrección y esporádicamente de prevención, debido a que no existe un cronograma definido de los mantenimientos a realizarse, es más, en la mayoría de los casos se espera a que ocurra alguna acción fuera de lo normal para realizar un chequeo o un mantenimiento teniendo como consecuencia el respectivo daño o parada del proceso, el presente proyecto de investigación es de tipo descriptivo aplicada y se ejecuta a partir del mes de enero del año 2020 y culmina a los finales del mes de mayo del año 2022 y tiene como objetivo principal diseñar un plan de mantenimiento preventivo en base a la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para los equipos críticos que constituye el proceso de fabricación de Detergentes en polvo de la Empresa Intradevco Industrial S.A. ubicado en el distrito de Lurín, provincia de Lima, departamento de Lima, la metodología nos permitirá en primera parte establecer las funciones, fallas funcionales, modos de falla y sus efectos de falla de los equipos y así mismo el desarrollo de los criterios del análisis para la obtención del número de prioridad de riesgo de los modos de falla, en tanto para la identificación de los equipos críticos se aplicará la matriz de criticidad considerando las probabilidades de falla y los niveles de severidad de falla de los equipos que compone el proceso de fabricación, así mismo para la determinación de la confiabilidad e intervalos de mantenimiento preventivo de los equipos críticos, se utilizará la metodología del análisis de datos de falla de la distribución de Weibull, finalmente de acuerdo a los resultados obtenidos en los análisis de falla y criticidad se analizará el plan de mantenimiento preventivo plasmado en la hoja de decisiones haciendo el uso del diagrama de decisión de la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

**Palabras clave:** confiabilidad, RCM, Weibull, mantenimiento preventivo, detergentes.



## ABSTRACT

At present, the Company has been applying corrective and sporadically preventive maintenance, due to the fact that there is no defined schedule for the maintenance to be carried out, moreover, in most cases, some unusual action is expected to occur. to carry out a checkup or maintenance resulting in the respective damage or stoppage of the process, the present research project is of an applied descriptive type and is executed from the month of January of the year 2020 and culminates at the end of the month of May of the year year 2022 and its main objective is to design a preventive maintenance plan based on the Reliability Centered Maintenance methodology for the critical equipment that constitutes the manufacturing process of powdered Detergents of the Intradevco Industrial S.A. Company. located in the district of Lurín, province of Lima, department of Lima, the methodology will allow us in the first part to establish the functions, functional failures, failure modes and their effects of failure of the equipment and likewise the development of the analysis criteria to obtain the risk priority number of the failure modes, while for the identification of critical equipment, the criticality matrix will be applied considering the failure probabilities and the failure severity levels of the equipment that makes up the process. manufacturing, likewise for the determination of the reliability and intervals of preventive maintenance of the critical equipment, the methodology of the analysis of failure data of the Weibull distribution will be used, finally according to the results obtained in the analysis of failure and criticality. The preventive maintenance plan embodied in the decision sheet will be analyzed using the decision diagram of the me Reliability Centered Maintenance methodology.

**Keywords:** reliability, RCM, Weibull, preventive maintenance, detergents.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de tesis trata sobre la elaboración del diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM para los equipos críticos del proceso de fabricación de Detergentes en Polvo para la empresa de Intradevco Industrial S.A. Bajo el escenario de la carencia del plan de mantenimiento preventivo, surge la necesidad de diseñar e implementar la estructura que implica el proceso de mantenimiento para lograr un nivel adecuado de confiabilidad para los equipos críticos del proceso de fabricación de Detergentes en Polvo.

La estructura del presente proyecto de tesis contempla en primera instancia la descripción de la problemática general del estudio, la realidad del problema, justificación del estudio, así mismo se plantean el objetivo general y específicos, alcances de investigación, delimitación del estudio en el tiempo, formulación de la hipótesis general y específicas. Así mismo se estudiará las bases teóricas fundamentales de los diferentes autores referentes al proyecto de investigación y que esta nos permitirá entender mejor para el desarrollo de la investigación, la descripción de los equipos e instalaciones involucrados en el proceso de fabricación de detergente en polvo y así como del mantenimiento.

Seguidamente como materiales y métodos, se define el tipo y nivel de investigación del proyecto, se establece el grupo de estudio, técnicas de investigación, métodos de la investigación, materiales de investigación y el análisis de datos de la investigación. Finalmente, como resultados y discusión se realiza el diagnóstico de la situación actual del proceso de fabricación de detergente en polvo, partiendo con la descripción y codificación de los componentes de los sub sistemas del proceso. A



continuación, se desarrolla la elaboración del análisis de modos y efectos de falla (AMEF) de las tres etapas que comprende del proceso de fabricación de Detergente en polvo, al término del AMEF se identificará aquellos modos de falla que impliquen mayores riesgos en el proceso mediante un indicador llamado Número de Prioridad de Riesgo (NPR). Seguidamente se realizará el análisis de criticidad para la identificación de los equipos críticos, para luego determinar los intervalos de mantenimiento preventivo aplicando la metodología de la distribución de Weibull de dos y tres parámetros en base a los registros históricos de falla de cada equipo crítico, finalmente se diseñará el programa de gestión de mantenimiento preventivo haciendo el uso de la hoja de decisiones del proceso RCM que permitirá asentar las respuestas a las preguntas formuladas en el diagrama de decisiones.

### **1.1. PROBLEMA GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN**

El departamento de mantenimiento de la planta de fabricación de detergente en polvo tiene un programa de mantenimiento básico y en la mayor parte de los casos realiza el mantenimiento correctivo es por ello que existen fallas y paradas productivas no planificadas, como consecuencia existe una baja disponibilidad de equipos e instalaciones, objetivos y metas de producción inconclusos, generando gastos mayores del presupuesto asignado al área de mantenimiento, esto evidencia la carencia de un plan de gestión de mantenimiento preventivo para los equipos del proceso.

### **1.2. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

El proceso de fabricación de detergente en polvo está dividido en tres grandes sistemas como la pre adición, torre de secado y la post adición respectivamente. A nivel del proceso ocurren fallas muy frecuentemente en los equipos y las cuales deben ser identificadas y registradas para el historial. El proceso cuenta con equipos críticos los cuales no tienen un plan de mantenimiento preventivo.



### **1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO**

En la actualidad el departamento de mantenimiento de la empresa Intradevco Industrial S.A. a nivel de todas sus plantas y en particular la planta de fabricación de Detergente en Polvo se encuentra con una serie de dificultades por que no cuenta con un plan de frecuencia de mantenimiento preventivo, el mantenimiento que se realiza en su gran mayoría es correctivo y esta es la razón de que existen paradas y tiempos muertos que no se llegan a planificar.

Por medio del presente proyecto de investigación se busca mejorar la gestión del área de mantenimiento, de los equipos e instalaciones de la planta de proceso de producción de detergente en polvo, que permitirá una adecuada planificación y programación de las actividades e intervalos de mantenimiento correctivo y preventivo de los equipos, de tal manera se logre reducir o mitigar las paradas no planeadas y como consecuencia la reducción de los costos por mantenimiento.

Una vez establecido el plan de gestión de mantenimiento preventivo se tendrá resultados favorables a mediano o largo plazo en cuanto a la reducción de costos y así mismo se logrará incrementar las horas de producción gracias a la mitigación del número de paradas por falla, además se tendrá ahorro en los costos por parada de planta y los mismos se pueden asignar en programas de capacitación para el personal del área de mantenimiento.

#### **1.3.1. Objetivo general**

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo en base al análisis del mantenimiento centrado en la confiabilidad - RCM para los equipos críticos del proceso de fabricación de Detergentes en polvo de la Empresa de Intradevco Industrial S.A.- Lima, de modo que se pueda evitar paradas y pérdidas en la producción.



### **1.3.2. Objetivos específicos**

- a) Sistematizar los datos de los equipos e instalaciones del proceso y diagnosticar la situación actual de los sistemas, sub sistemas y componentes de la planta para determinar sus funciones, fallas funcionales, modos de falla, efectos de falla y consecuencias de falla (AMEF) y el número de prioridad de riesgo (NPR) de los modos de falla.
- b) Identificar las fallas y elementos críticos del proceso de fabricación de Detergente en polvo para la determinación de la confiabilidad e intervalos de mantenimiento preventivo de los equipos críticos, aplicando la metodología de Weibull.
- c) Diseñar el programa de Gestión de mantenimiento preventivo para los equipos críticos haciendo el uso del diagrama de decisiones y la hoja de decisión del RCM, que permitirá pronosticar las fallas.

## **1.4. ALCANCE DEL ESTUDIO**

El nivel del estudio del presente proyecto de investigación es descriptivo aplicada, es decir se propone diseñar un plan de gestión de mantenimiento preventivo para los equipos e instalaciones críticas del proceso de fabricación de detergente en polvo, por consiguiente, los resultados del estudio tendrán un impacto beneficioso a similares plantas industriales de fabricación de Detergentes en polvo.

## **1.5. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1. Delimitación del espacio**

El proyecto de investigación se ha desarrollado en el área de mantenimiento de la planta del proceso industrial de producción de detergentes en polvo de la empresa peruana Intradevco Industria S.A. que está ubicado en la región de Lima, provincia de Lima, distrito de Lurín, con dirección en Av. Industrial N°652 sección 4,5 y 6 Urb. las praderas del distrito sur de Lurín.



### **1.5.2. Delimitación del tiempo**

El presente proyecto de investigación se ejecuta a partir del mes de enero del año 2020 siguiendo todos los procedimientos que establece la metodología del RCM y culmina a los finales del mes de mayo del año 2022, la investigación se realiza en la Planta Industrial de Fabricación de Detergente en Polvo de la Empresa Intradevco Industrial S.A. Lurín – Lima.

## **1.6. HIPÓTESIS DEL ESTUDIO**

### **1.6.1. Hipótesis general**

A través del proyecto de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM, es posible, optimizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos e instalaciones, para evitar paradas y pérdidas en el proceso de fabricación de Detergentes en polvo de la empresa Intradevco Industrial S.A. Lurín – Lima.

### **1.6.2. Hipótesis específicas**

- a) La sistematización de datos de los equipos e instalaciones del proceso y el diagnóstico de la situación actual de los sistemas, sub sistemas y componentes de la planta, permite determinar sus funciones, fallas funcionales, modos de falla, efectos de falla y consecuencias de falla (AMEF) y el número de prioridad de riesgo (NPR) de los modos de falla.
- b) La identificación de las fallas y elementos críticos del proceso de fabricación de Detergente en polvo permite la determinación de la confiabilidad e intervalos de mantenimiento preventivo de los equipos críticos, aplicando la metodología de Weibull.
- c) El diseño del programa de Gestión de mantenimiento preventivo para los equipos críticos haciendo el uso del diagrama de decisiones y la hoja de decisión del RCM, permite pronosticar las fallas.





## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

El presente capítulo abarca el desarrollo de la revisión de bibliografías para dar a conocer los conceptos de la composición física de una planta industrial dedicada a la fabricación de Detergentes en Polvo, la descripción de los equipos e instalaciones que compone en el proceso de fabricación y así como del mantenimiento. A continuación, se describe para su desarrollo.

#### 2.1. PRODUCCIÓN DE DETERGENTE EN POLVO

“Los detergentes en polvo contienen materiales disponibles en forma sólida (fosfatos, carbonato, silicato, sulfato...) y sustancias que o bien están en forma de pasta como los ABS o LAS neutralizados, o bien en forma de líquido viscoso (ABS no neutralizados, jabones, surfactantes no iónicos) o en solución (colorante, mejoradores ópticos, perfumes)” (Salager, 1988).

“Un detergente es una sustancia tensoactiva y anfipática que cuenta con propiedades químicas que se encargan de disolver la suciedad e impurezas de una prenda sin maltratar la superficie. Los detergentes en polvo cuentan con una gran cantidad de usos tanto domésticos, como industriales y comerciales” (Karina, Gabriela, A., & Carlos, 2016)

“Hoy en día existen tres métodos para llegar a tal tipo de producto. El primero consiste en mezclar todos los ingredientes en una suspensión pastosa (slurry) que contiene 30% de agua y luego secar por atomización (spray drying) en una corriente de gases calientes. Es el método más utilizado ya que permite una perfecta homogenización” (Salager, 1988).

“Sin embargo, el costo energético del secado y el hecho de que ciertas sustancias como los blanqueadores, las enzimas e incluso ciertos surfactantes, no son estables al calor, han impulsado el desarrollo de dos otros procesos: la neutralización en seco y el mezclado y aglomeración de sólidos. Sin embargo, ninguno de estos dos últimos ha logrado todavía suplantar el primero” (Salager, 1988).

## 2.2. COMPONENTES DE LAS FORMULACIONES DE DETERGENTES

“Para lograr un papel limpiador, un detergente debe producir numerosos fenómenos, los cuales dependen en general del tipo de sustrato, del tipo de sucio y de las condiciones. Así se han diseñado fórmulas específicas capaces de actuar con eficiencia en casos particulares, y fórmulas generales con resultados más o menos satisfactorios en mayoría de los casos” (Salager, 1988).

“En estas formulaciones entran un gran número de componentes cuyos papeles se complementan uno a otro, a menudo con un efecto de sinergia, es decir un resultado mejor que la suma de los efectos independientes de cada uno de los componentes” (Salager, 1988).

## 2.3. CONSTITUCIÓN DE LOS DETERGENTES

Figura 1: Componentes de un detergente



Fuente: (Gavilán & Martínez, 2011)



A continuación, se explicará de manera explícita la constitución de componentes de los detergentes.

“Los detergentes pueden definirse como una sustancia que facilita la separación de materias extrañas de superficies sólidas cuando se emplea un disolvente en este caso agua en una operación de lavado” (Alanoca, 2015)

“La formulación comercial de productos de limpieza, tanto líquidas como sólidas, están constituidas generalmente por una mezcla de uno o varios tensioactivos que actúan mejorando la acción detergente y una serie de componentes complementarios: los aditivos, los coadyuvantes y los auxiliares de presentación (como los blanqueantes, enzimas, etc.), que conforman un producto no sólo con mejores características de limpieza sino con mayor seguridad tanto para el consumidor, como para los equipos y el medio ambiente. Como un detergente está compuesto de varios componentes esto proporciona un efecto sinérgico aumentado el poder detergente” (Gavilán & Martínez, 2011).

“La composición de los detergentes, como se consigue lavar los objetos, las propiedades físicas y químicas de LAS, y las aplicaciones de los detergentes. El tensioactivo típico es una molécula anfipática, es decir, tiene dos partes bien distintas: una hidrófila (extremidad polar que interacciona fuertemente con las moléculas de agua), y otra hidrófoba (cadena apolar de hidrocarburo que interacciona débilmente con las moléculas de agua)” (Gavilán & Martínez, 2011).

“Los coadyuvantes son, en importancia, el segundo componente de las formulaciones de detergente en polvo. En la actualidad se emplea una gran variedad de coadyuvantes orgánicos e inorgánicos con el fin de proporcionar a los detergentes las características necesarias para cada fin y en general, para conseguir mejoras en la acción detergente de las materias activas” (COHEN & MARTÍNEZ, 2005)

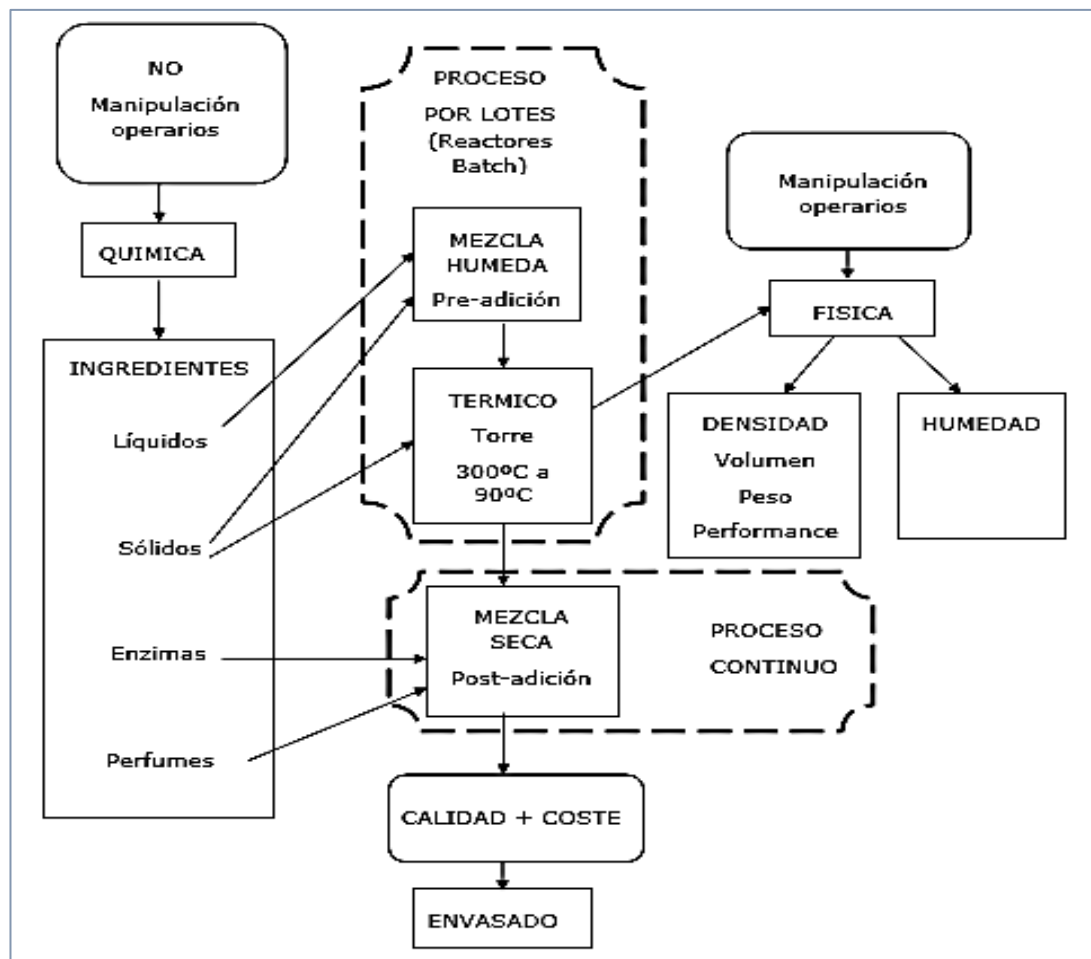
## 2.4. PROCESO DE FABRICACIÓN DE DETERGENTE EN POLVO

La transformación físico-química de las materias primas para la obtención del producto final es el objetivo del proceso. Para lograrlo, se realizan a una serie de operaciones unitarias, reacciones químicas y tratamientos físico-químicos de la materia prima para la obtención de un producto requerido, con la mayor calidad posible, a un coste razonable y con el mayor respeto al medio ambiente (González & García, 2018).

### 2.4.1. Etapas del proceso de fabricación de detergentes en polvo

La secuencia del proceso de fabricación de detergente en polvo está dividida en cuatro etapas principales: pre-adición, torre de secado, post-adición y envasado. Dicho proceso se muestra en el siguiente esquema (Gavilán & Martínez, 2011).

**Figura 2:** Etapas del proceso de fabricación detergentes en polvo



**Fuente:** (Gavilán & Martínez, 2011)



A continuación, se detalla las etapas del proceso de fabricación de detergente en polvo:

#### **2.4.1.1. Pre adición**

Esta parte del proceso es considerado como la primera etapa del proceso de fabricación de detergentes en polvo y así mismo es denominada como la etapa de la mezcla húmeda (Slurry) ya que se trabaja principalmente con insumos líquidos e insumos sólidos (polvo).

Los insumos sólidos aplicados para la fabricación de Detergentes en Polvo para el caso del estudio son:

- Sulfato de sodio
- Tripolifosfato de sodio (STTP)
- Carbonato de sodio
- Polvos menores (Zeolita)

Los mismos son abastecidos a las tolvas o silos para el almacenaje y utilización en el proceso de la elaboración de la pasta batida.

“El proceso de sulfonación comprende la reacción básica del gas de Trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>) con el lineal alquil benceno o llamado LAB para la formación de ácido sulfónico” (Sotomayor, 2003)

Por otra parte, los insumos líquidos a utilizarse para la fabricación de Detergente en polvo son los siguientes:

- Ácido sulfónico (HLAS)
- Soda



- Silicato
- Agua técnica
- Sokalan

“La primera etapa del proceso es la fabricación de una suspensión pastosa (slurry) o comúnmente conocido como pasta de detergente y que contiene del orden de 30% de agua. La figura 3 indica el esquema de un proceso de fabricación continua del slurry” (González & García, 2018).

“Los insumos sólidos están descargados de sus tolvas de almacenamiento por un sistema de dosificación (peso) automática en una línea transportadora de tipo tornillo sin fin, la cual juega también el papel de pre mezclador” (González & García, 2018).

“En cuanto a la línea de ingredientes líquidos, es esencialmente semejante, con bombas dosificadoras a la salida de cada tanque” (González & García, 2018).

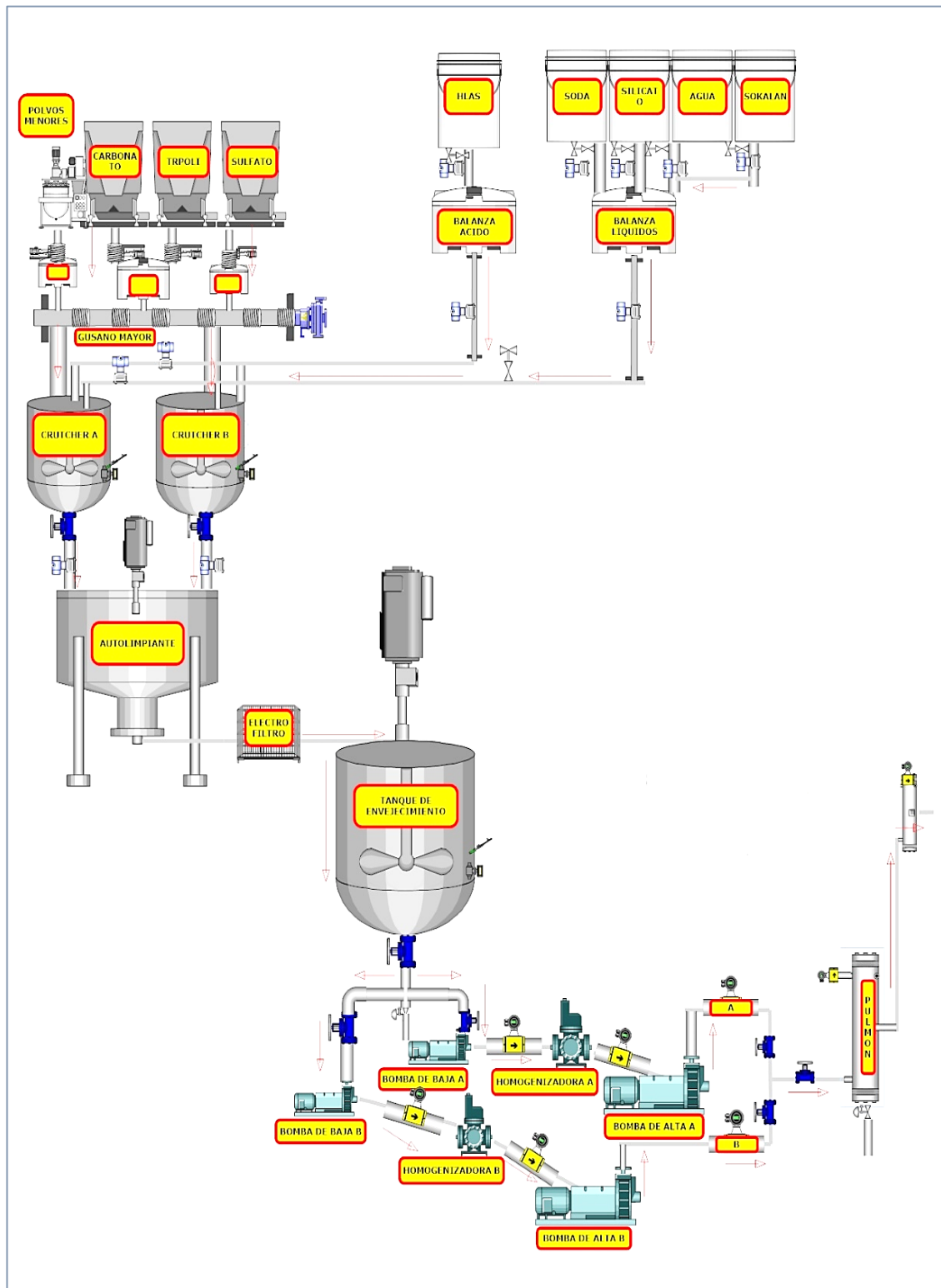
“Ambas corrientes entran en un mezclador (Batidoras Crutchers), el cual es un dispersor de alta velocidad cuyo propósito es eliminar cualquier aglomerado y homogeneizar el slurry” (González & García, 2018).

“El slurry o pasta batida pasa luego a un tanque de maduración o tanque de envejecimiento comúnmente conocido en el cual “envejece” durante un tiempo de residencia de 20 minutos. El envejecimiento permite la hidratación de ciertas sustancias, una mejor homogeneización y unas características reológicas estables” (González & García, 2018).

“Al salir del madurador, el slurry pasa a través de una bomba homogeneizadora y de un sistema de filtros. Luego se envía a un sistema de bombeo de alta presión (100 atm) que alimenta los atomizadores de la torre de secado” (González & García, 2018).

El detergente base con granulometrías superior a lo deseado en la salida del tamiz según la fórmula del producto final, se vierten en las Batidoras para su recuperación.

**Figura 3:** Esquema del Proceso Pre Adición



**FUENTE:** (Intradevco Industrial S.A.)



#### 2.4.1.2. Torre de secado

El método empleado para el secado del slurry o pasta batida, es el secado por atomización (spray drying). El slurry o pasta es bombeado mediante unas bombas de alta presión (1100psi), esta pasta es transportada a la torre de secado e inyectada a través de orificios atomizadores de aproximadamente 3.5mm de diámetro en la parte superior de la torre de secado (figura 4). La torre cuenta con 12 sistemas de aspersion, cada uno cuenta con un dispositivo de inyección de vapor para su limpieza, así mismo la plataforma donde están ubicados los atomizadores cuentan con visores para el control y monitoreo.

De acuerdo con los autores (Llanes, Cárdenas, & Ones, 2015) en el proceso de secado están presentes las operaciones de transferencia de calor y masa.

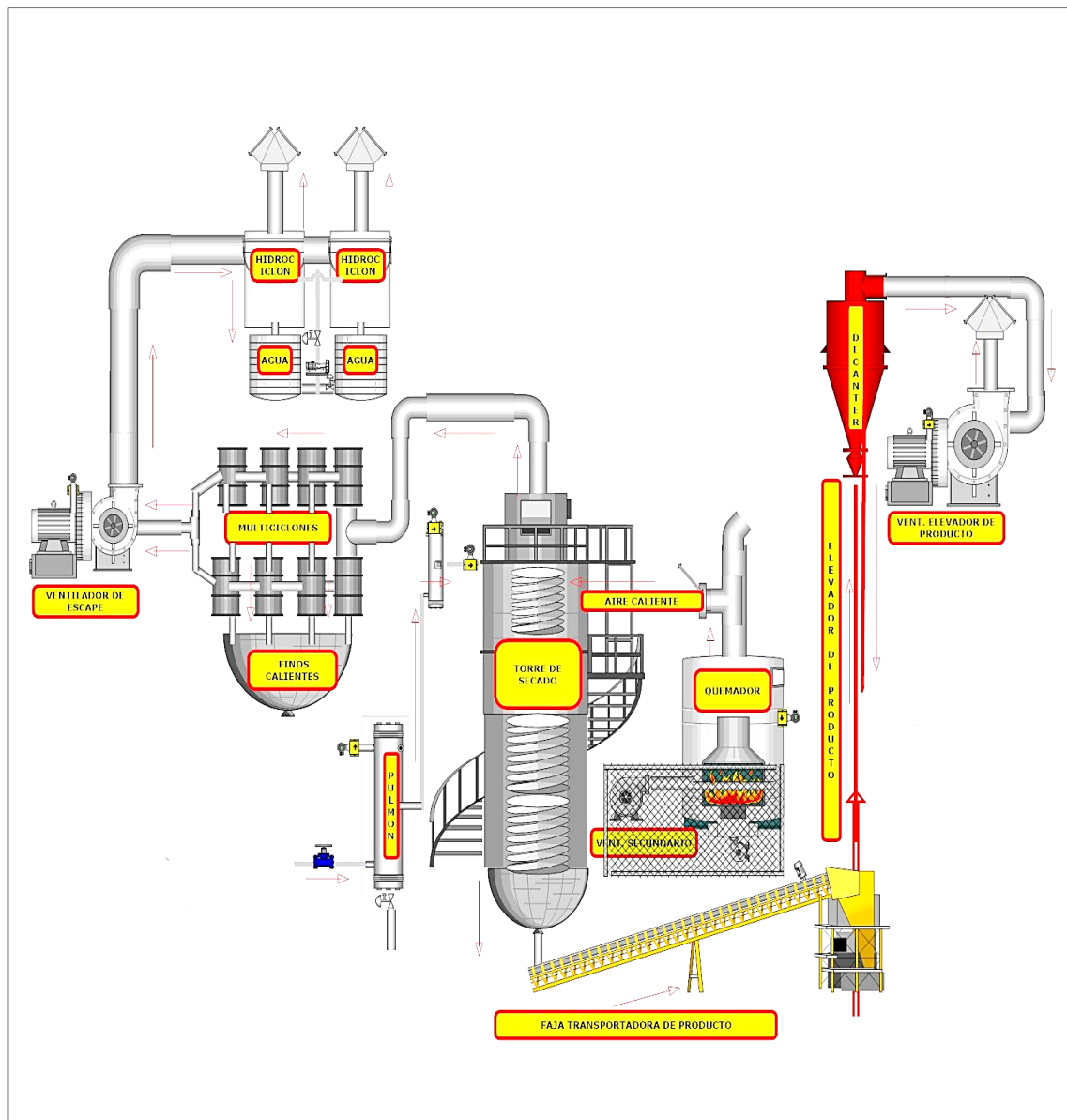
La generación del calor se obtiene a través de la combustión de GN más el aire en un horno de combustión y la temperatura de la combustión es de aproximadamente 1000 a 1250 °C en el hogar del quemador.

Los gases calientes proviniendo del quemador de gas natural entran por la parte intermedia de la torre a una temperatura de aproximadamente 300 a 400°C y la temperatura de salida de la torre es aproximadamente 90 a 180°C. Es importante que las gotas de la pasta no entren en contacto con las paredes de la torre de secado. Pese a que existe una pequeña fracción de las gotas que adhieren a las paredes, la torre cuenta con un equipo raspador en todo el perímetro de la torre para la limpieza (winche raspador).

En la parte inferior de la torre de secado cae por gravedad el detergente base (10 a 15% de humedad), el cual se transfiere al decanter, a través de una faja transportadora y ascenso por aire, lo cual lo enfría. En el paso por el conducto del decanter, los grumos más pesados caen por gravedad en la parte inferior del conducto y esta retorna al proceso para su recuperación añadiendo manualmente a las batidoras Crutcher.



**Figura 4:** Esquema del Proceso Torre de Secado



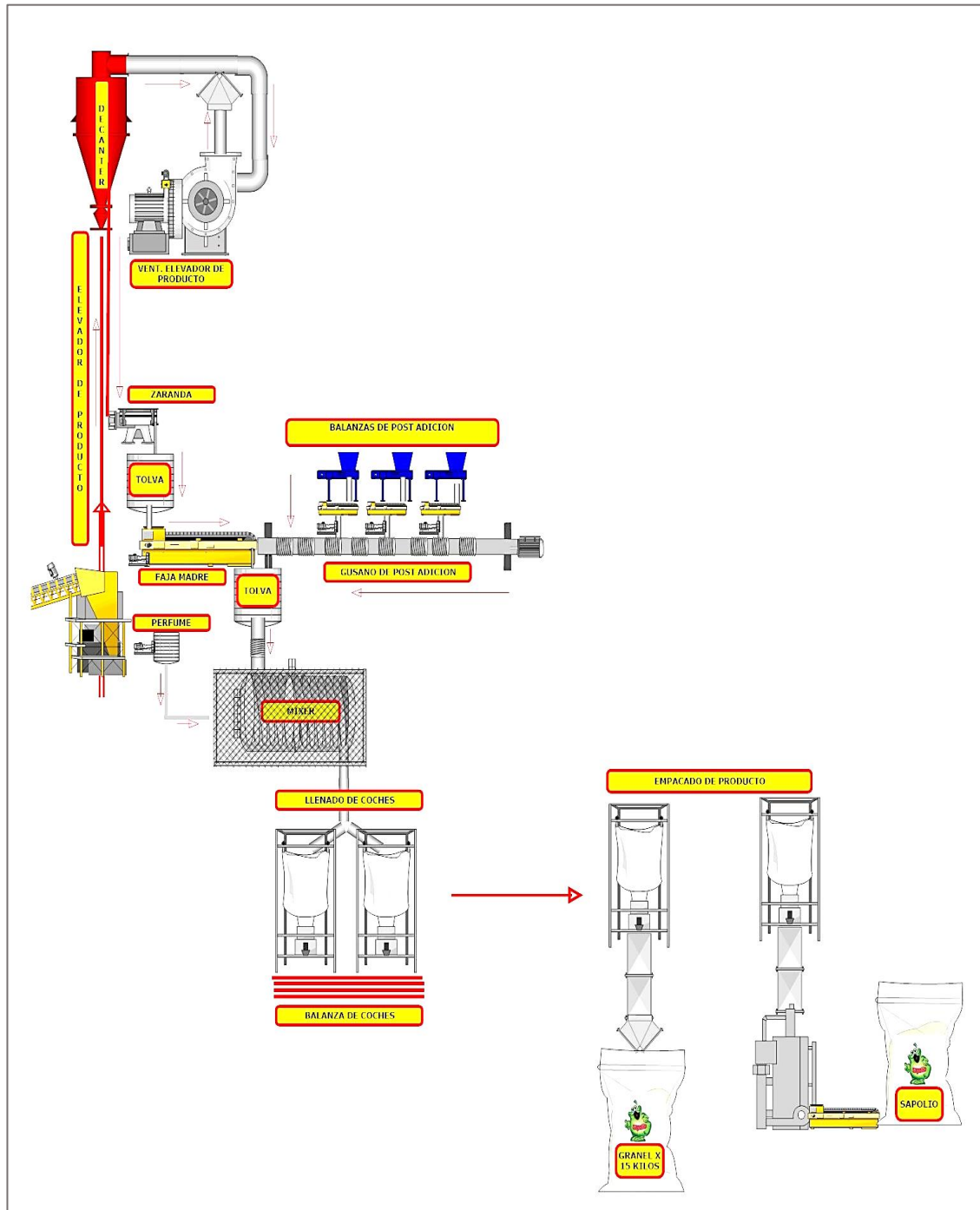
**FUENTE:** (Intradevco Industrial S.A.)

De acuerdo con Gonzáles & García (2018) los gases que salen de la torre arrastran el polvillo fino, que es indeseable en el producto comercial. El polvillo se separa en un sistema llamado ciclones que está ubicado a la salida de la torre de secado, el polvillo por la gravedad cae a una tolva de almacenamiento para luego ser transportado por una tubería a través de un ventilador hasta la parte inferior de la torre de secado para lograr una mezcla con el detergente base y continuar el proceso o también puede volver a mezclarse con la pasta en su etapa de batido o preparación.

### 2.4.1.3. Post adición

Se le llama de esta manera al método mediante el cual al detergente como polvo base se le agrega la materia sólida y los demás aditivos de acuerdo a la formulación realizada (ver figura 5)

**Figura 5:** Esquema del proceso Post adición



**FUENTE:** (Intradevco Industrial S.A.)



Después de realizar una granulometría se añaden los insumos que no se han añadido en la pasta Slurry, porque las altas temperaturas de la torre de secado supondrían provocar una desactivación de las propiedades de las sustancias, como, por ejemplo, el perfume y enzimas mediante dosificadoras (Gavilán & Martínez, 2011).

El detergente base elevado será tamizado o separado de los gruesos en la zaranda y luego caerá a la tolva de la faja madre, donde será almacenado para posteriormente agregarle los aditivos que le correspondan de acuerdo a su formulación. Los aditivos podrían ser carbonato, sulfato, estrellitas, aros, etc.. El detergente base grueso o grumos serán vertidos nuevamente en las batidoras para su recuperación y proseguir el proceso de fabricación.

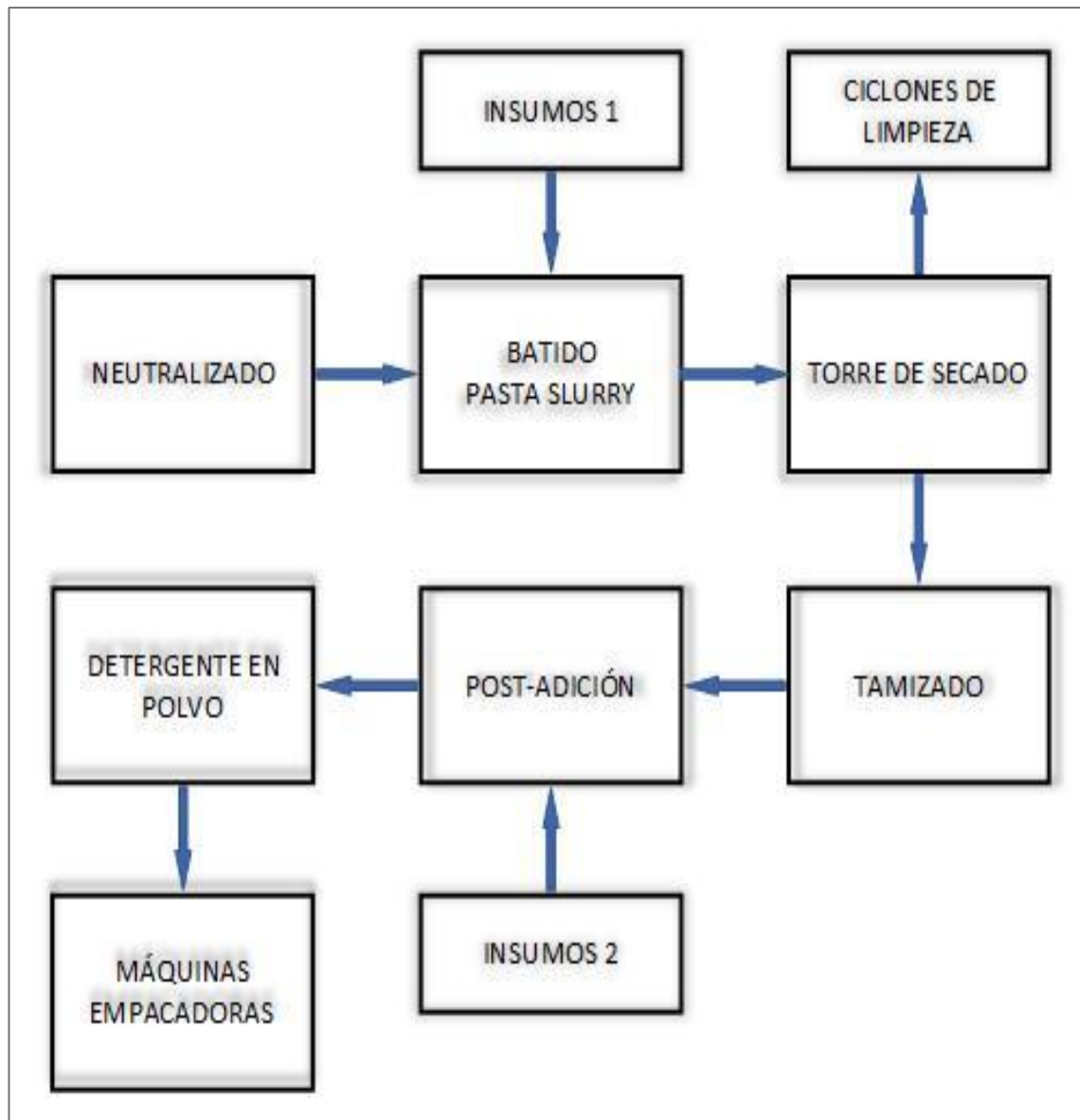
Luego el polvo base de detergentes más los aditivos sólidos agregados es enviado hacia la mezcladora horizontal (rotary mixer), es en donde se hará la mezcla homogénea por rotación y la inyección del perfume para la obtención del detergente como producto terminado.

## **2.5. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO**

Las tres etapas del proceso de fabricación mencionados anteriormente, como la pre adición, torre de secado y post adición, se pueden plasmar en un esquema de diagrama de flujo como se muestra en la figura 6.

El almacén de materia prima realiza la recepción de los insumos importados para su almacenamiento y conservación para luego realizar el despacho a la planta de proceso de fabricación de detergentes en polvo de acuerdo al programa de producción establecido por el área de manufactura. La planta de proceso entrega el producto al área de envasado y luego se empaca para luego entregar al almacén como producto terminado con su correspondiente número de orden de proceso para llevar el control.

**Figura 6:** Diagrama de flujo del proceso de fabricación de detergente en polvo



Elaboración Propia

## 2.6. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES DEL PROCESO

A continuación, se describirá de manera concisa cada uno de los equipos principales que conforma el proceso de fabricación de Detergente en Polvo de manera secuencial según etapa del proceso de fabricación, así mismo explicaremos de manera precisa su función o funciones que desempeña cada uno de estos equipos principales y su respectiva descripción de responsabilidades para la correcta operación de los equipos del proceso.

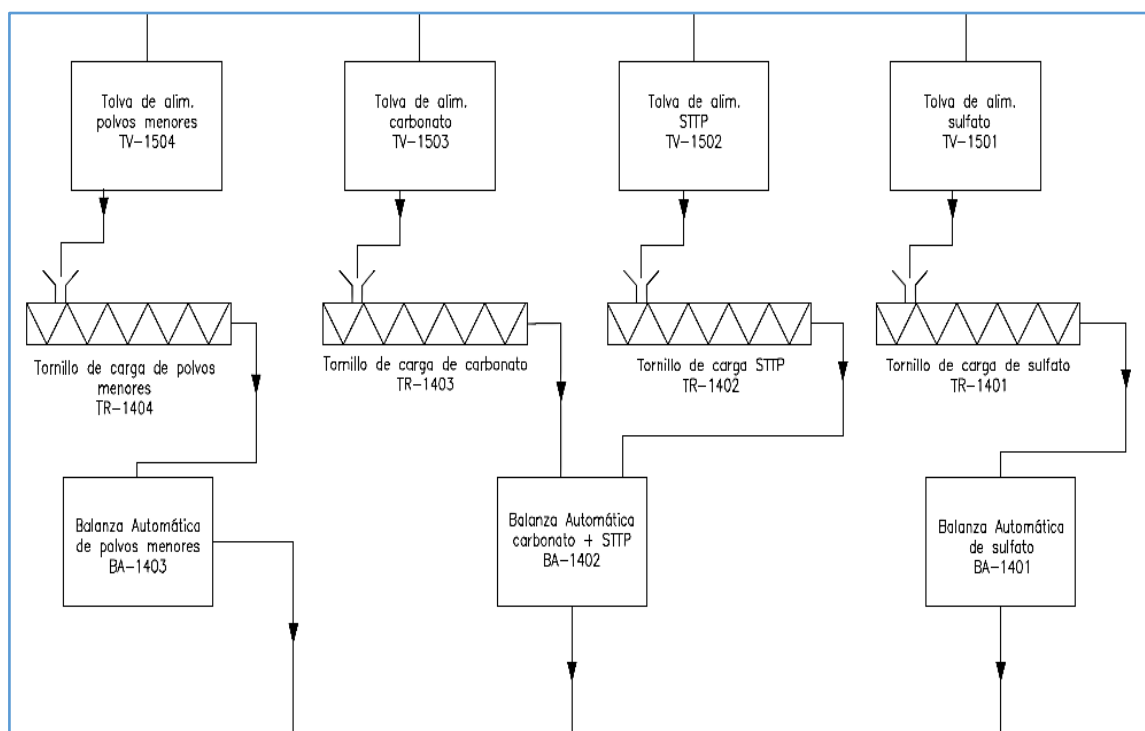
### 2.6.1. Balanza pesadora de insumos sólidos

Las balanzas pesadoras de insumos sólidos, cumplen la función de realizar el pesaje automáticamente desde la sala de control del proceso.

Los insumos sólidos como Sulfato, Tripolifosfato, Carbonato y Polvos menores son descargados en los silos de almacenamiento, tal como se muestra en la figura 7.

Los silos son de fondo cónico y distinguidos en tres zonas principales: cabeza, cilindro y cono. El polvo cae por la parte cónica del silo hacia el tornillo sin fin de carga que es accionado por un motorreductor, para posteriormente cargar automáticamente a la balanza pesadora de sólidos o polvos.

**Figura 7:** Balanza pesadora de insumos sólidos



**FUENTE:** (Intradevco Industrial S.A.)

Las balanzas automáticas de insumos sólidos deberán de tener especial cuidado con la presencia de polvo ambiental y/o contaminantes en las celdas de carga ya que los mismos darán como resultado errores de peso.

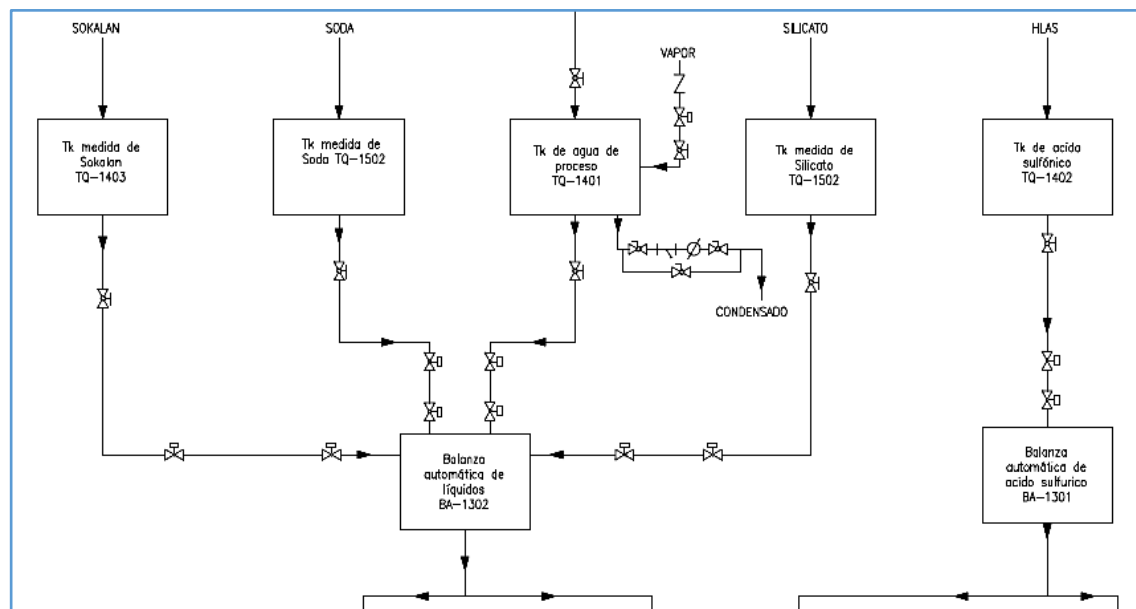
## 2.6.2. Balanza pesadora de líquidos y ácido

Las balanzas pesadoras de insumos líquidos y ácido, cumplen la función de realizar el pesaje automáticamente desde la sala de control del proceso.

Los insumos líquidos tales como la soda, silicato, agua y sokalan, así mismo el ácido sulfónico HLAS, son descargados en los tanques a través de unas bombas de transferencia, tal como se muestra en la figura 8. Los insumos líquidos cuentan con su respectivo tanque de descarga y muy independiente al tanque del ácido sulfónico.

Estos insumos líquidos se transfieren a las balanzas pesadoras desde los tanques de descarga, a través de la caída potencial por medio de la gravedad. El control del nivel del líquido en las balanzas se controla por medio de una válvula neumática y una válvula de ingreso de aire para el accionamiento de apertura y cierre de la válvula neumática.

**Figura 8:** Balanza pesadora de líquidos y ácido



**FUENTE:** (Intradevco Industrial S.A.)

Las balanzas automáticas de insumos líquidos deberán de tener especial cuidado con la presencia de polvo y/o contaminantes en los sensores de carga de lo contrario darán como resultado errores de peso.

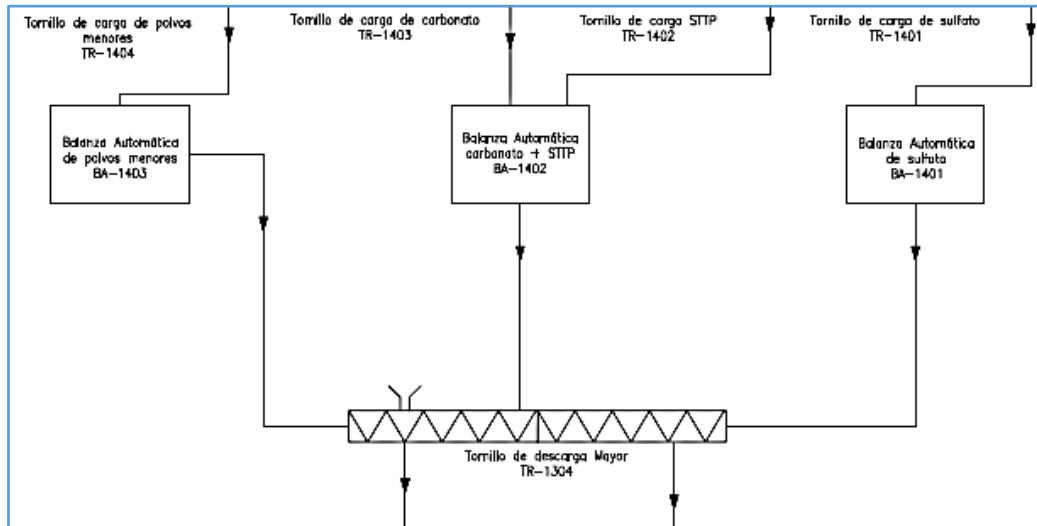
### 2.6.3. Tornillo de descarga mayor (Gusano Mayor)

De acuerdo con Gonzáles & García (2018) el tornillo sin fin es un equipo sencillo, robusto y económico que se encargan de transportar sólidos, se muestra en la figura 9.

El tornillo de descarga mayor está compuesto por las siguientes partes:

- Hélice: mueve y transporta hacia adelante la materia sólida.
- Eje: en el cual gira las hélices del tornillo.
- Carcasa o Canalón: aloja el eje, hélices y el cojinete intermedio, así mismo evita que se escape el insumo sólido recolectado.
- Motor eléctrico: entrega la fuerza eléctrica transformada en mecánica para hacer girar el eje del tornillo sin fin a través de un acoplamiento.

**Figura 9:** Tornillo de descarga mayor



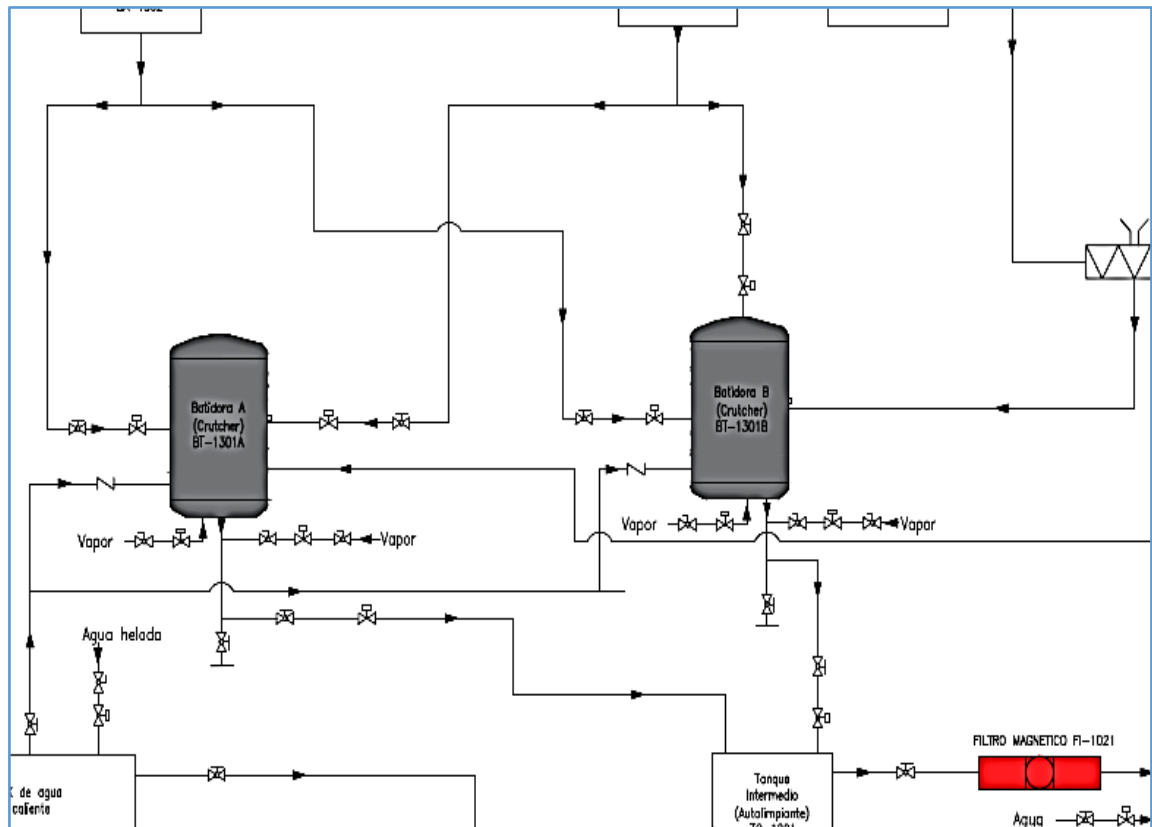
**FUENTE:** (Intradevco Industrial S.A.)

Al final del tornillo sin fin está ubicada la compuerta alimentadora de los sólidos a las batidoras o crutchers y el mismo es accionado por un cilindro neumático. El sistema de control de apertura y cierre de la compuerta es controlada de acuerdo a la selectividad de operación de las batidoras.

#### 2.6.4. Batidoras o Crutchers

Las batidoras o crutchers son equipos cuya función es mezclar en forma homogénea todos los insumos sólidos y líquidos agregados al mismo, para la elaboración de la pasta batida o el lodo de detergente, la ilustración se muestra en la figura 10.

**Figura 10:** Batidoras Crutchers



**FUENTE:** (Intradevco Industrial S.A.)

El proceso cuenta con 02 batidoras o crutchers “A” y “B” respectivamente, los mismos son accionadas por medio de un motor eléctrico trifásico. Ambas batidoras cuentan con un sistema de parada de emergencia ante cualquier inconveniente que pueda presentarse.

El operario encargado de las batidoras o crutchers deberá de registrar toda posible adición de material de insumos que se realice manualmente a los crutchers para llevar el control diario.



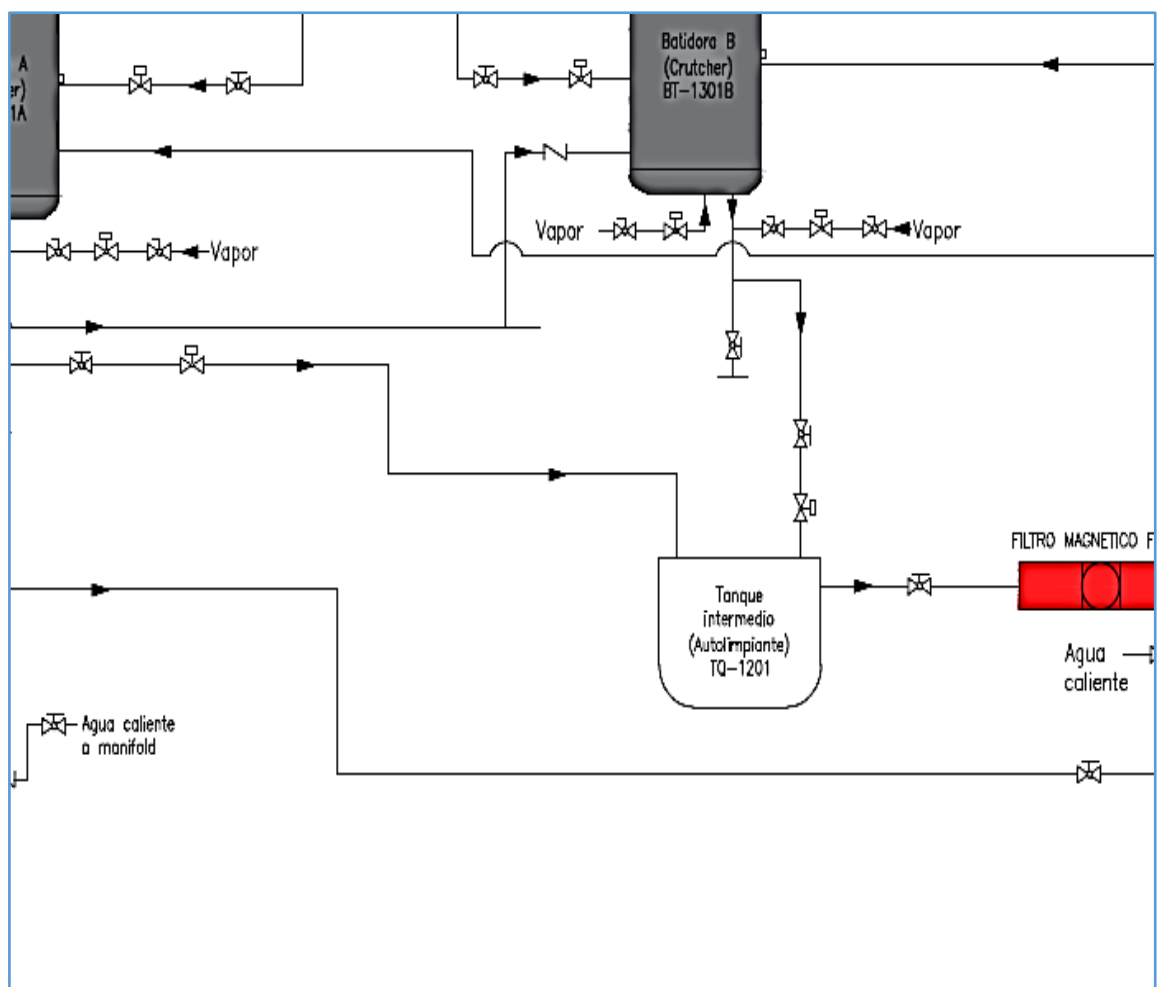
### 2.6.5. Tanque autolimpiante

La pasta batida realizada en los Crutchers “A” y “B” ingresa a 01 tanque autolimpiante. Tal como se ilustra en la figura 11.

El tanque autolimpiante está ubicado después de las batidoras y su función principal es colar la pasta batida, a través de un colador giratorio accionado por un motorreductor trifásico, así mismo el tanque cuenta con 3 escobillas que empujan la pasta hacia la salida del tanque autolimpiante.

Por otra parte, las escobillas también ayudan a liberar la obstrucción de las porosidades que cuenta el colador.

**Figura 11:** Tanque autolimpiante



**FUENTE:** (Intradevco Industrial S.A.)

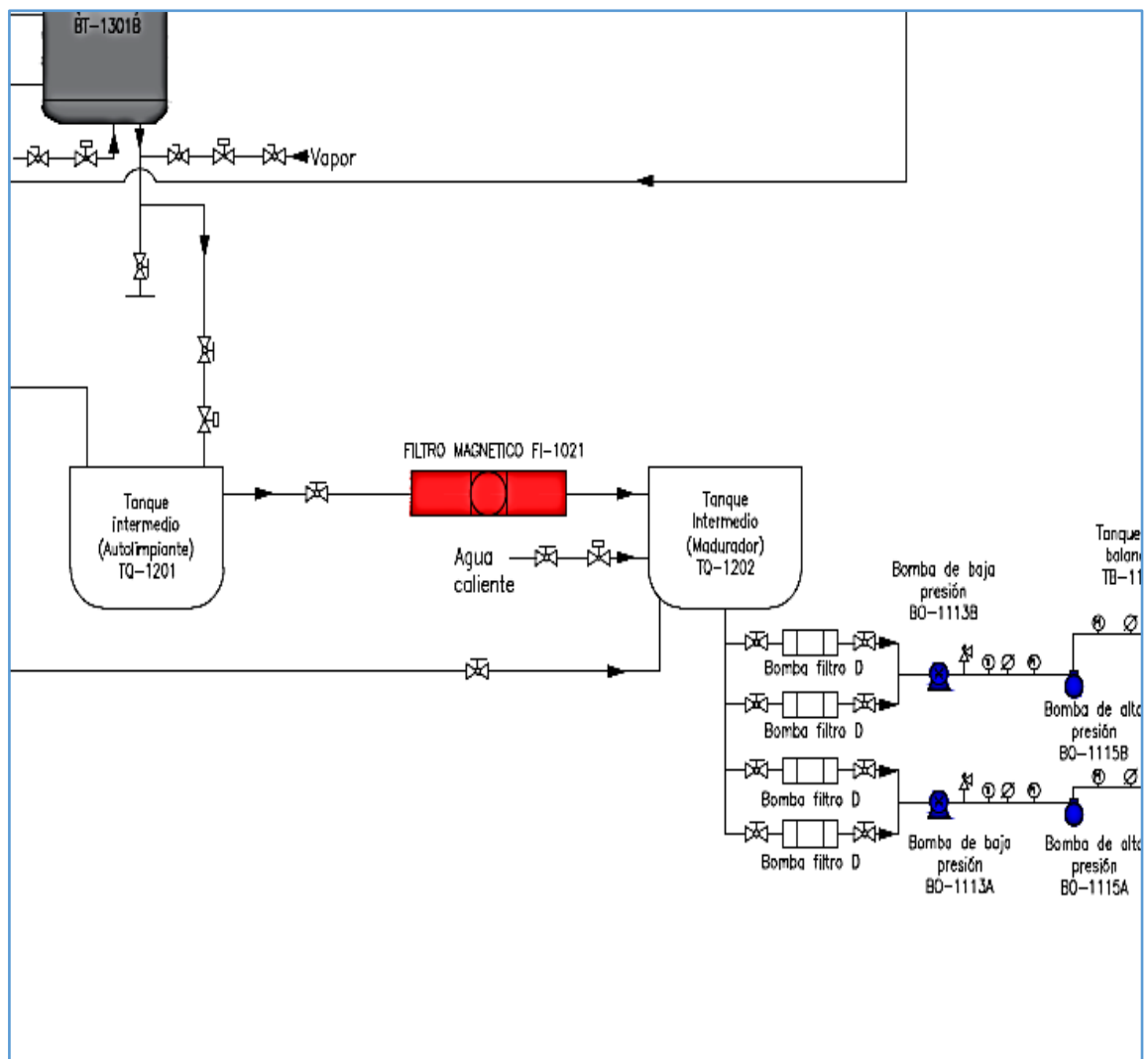
### 2.6.6. Tanque de envejecimiento o pulmón

Una vez colada la pasta batida en el tanque autolimpiante, el lodo de Detergente o Slurry pasa por un filtro magnético en donde se logra atrapar partículas metálicas que no corresponden al proceso.

Posteriormente es descargado por gravedad al tanque de envejecimiento tal como se ilustración en la figura 12.

La función principal del tanque de envejecimiento o pulmón es empujar la pasta batida hacia las bombas homogeneizadoras, de esto se encarga un motor agitador.

**Figura 12:** Tanque de envejecimiento



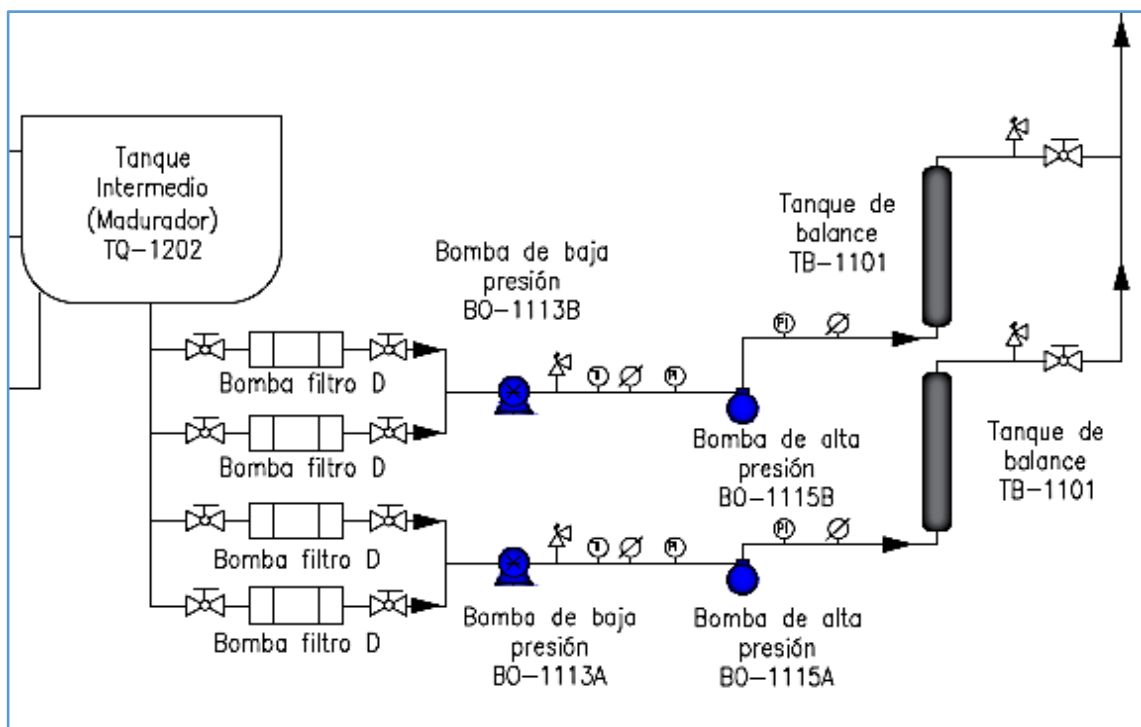
FUENTE: (Intradevco Industrial S.A.)

### 2.6.7. Bombas de alta presión

El proceso cuenta con 02 bombas de alta presión “A” y “B” respectivamente, tal como se ilustra en la figura 13.

La función principal de las bombas de alta presión es enviar la pasta a la torre de secado.

**Figura 13:** Bombas de alta presión



**FUENTE:** (Intradevco Industrial S.A.)

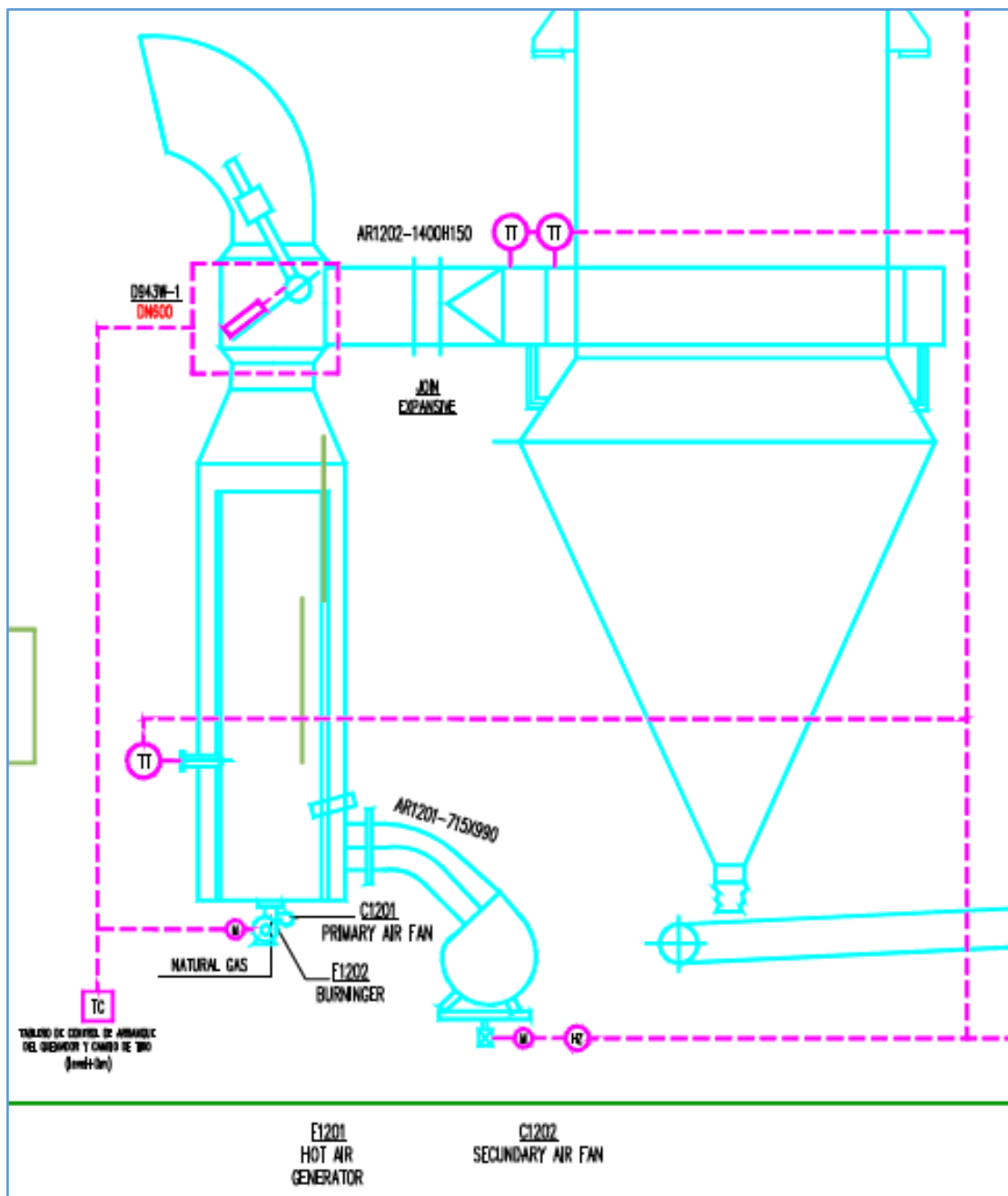
Entre el tanque de envejecimiento o intermedio y las bombas de alta presión existen las bombas de baja presión “A” y “B”. Las presiones de trabajo referencial son como sigue:

- Presión de salida de la pasta de la bomba homogenizadora es 15 a 30 psi.
- Presión de salida de la pasta de la bomba baja es 2.5BAR
- Presión máxima de salida de la pasta de las bombas de alta presión es de 80 BAR.

### 2.6.8. Horno quemador

El Quemador tiene la función de generar aire caliente a través de la combustión del GN y la inyección de aire a través de un ventilador primario, tal como se ilustra en la figura 14. El ventilador secundario es el encargado de transferir el aire caliente generado hacia la torre de secado.

**Figura 14:** Horno quemador

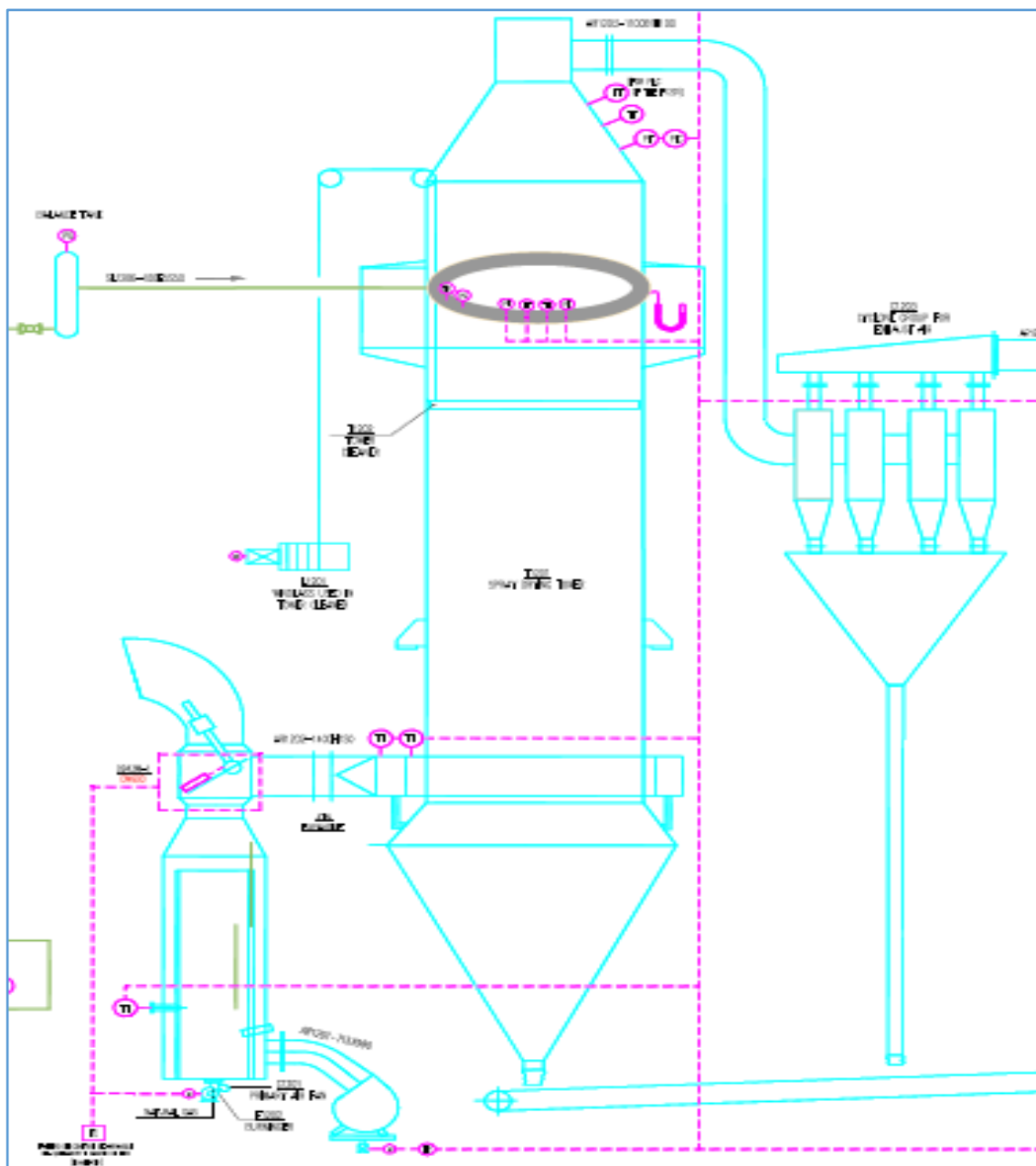


FUENTE: (Intradevco Industrial S.A.)

### 2.6.9. Torre de secado

Cumple la función de secar la pasta batida o slurry que es inyectada y pulverizado por medio de 12 brazos inyectoros. El secado de la pasta se logra gracias a la inyección de aire caliente a través del ventilador secundario y la extracción del aire caliente del interior de la torre por intermedio de un ventilador de escape que está instalado en la parte superior de la torre. La ilustración se muestra en la figura 15.

**Figura 15:** Torre de secado

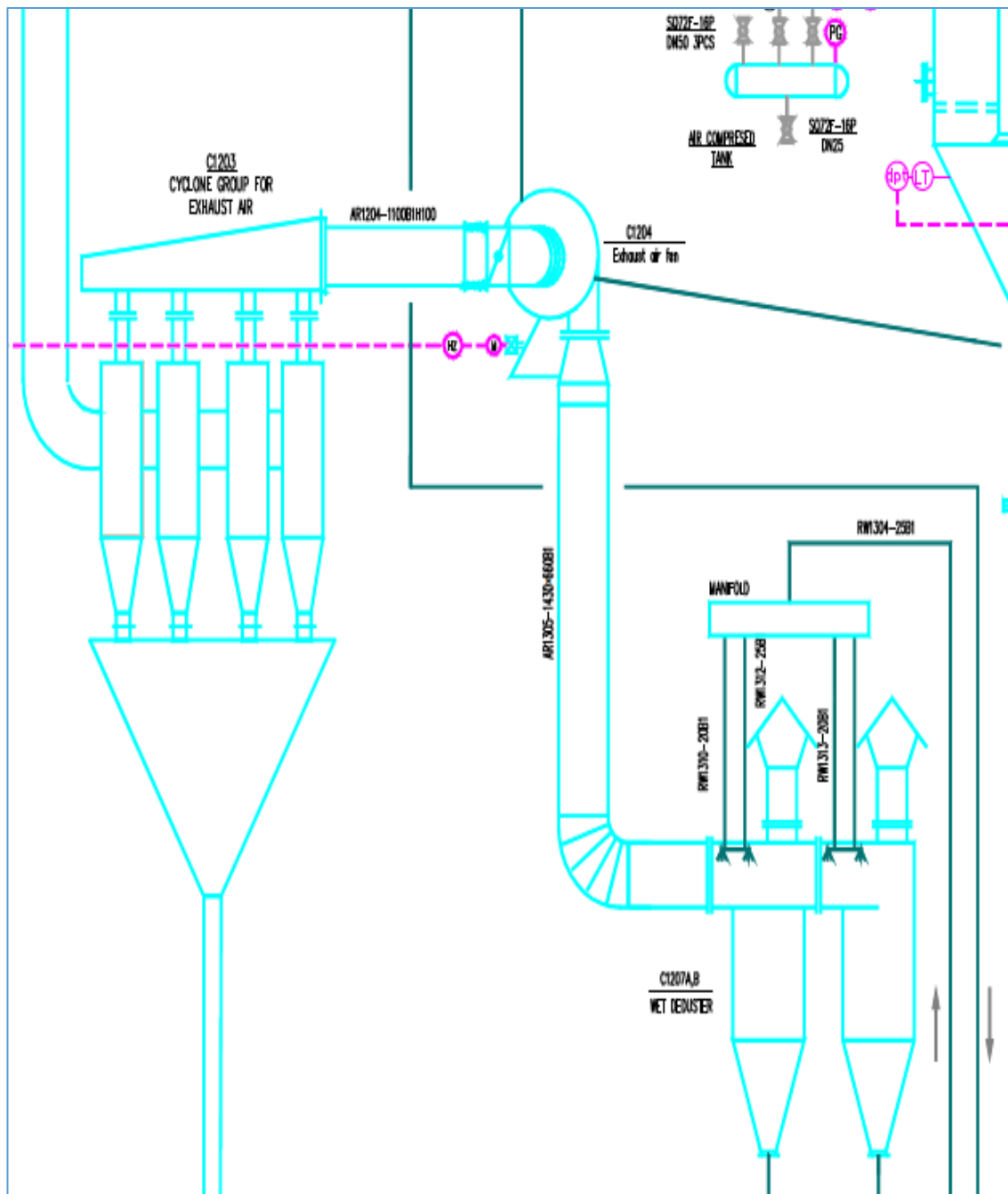


FUENTE: (Intradevco Industrial S.A.)

### 2.6.10. Ventilador de escape

El ventilador de escape tiene las funciones de secar la pasta para conseguir el Detergente base en polvo y así mismo extrae el aire caliente del interior de la torre de secado hacia los ciclones, con la finalidad de atrapar un 70 a 80% de los polvos finos. La ilustración se muestra en la figura 16.

**Figura 16:** Ventilador de escape



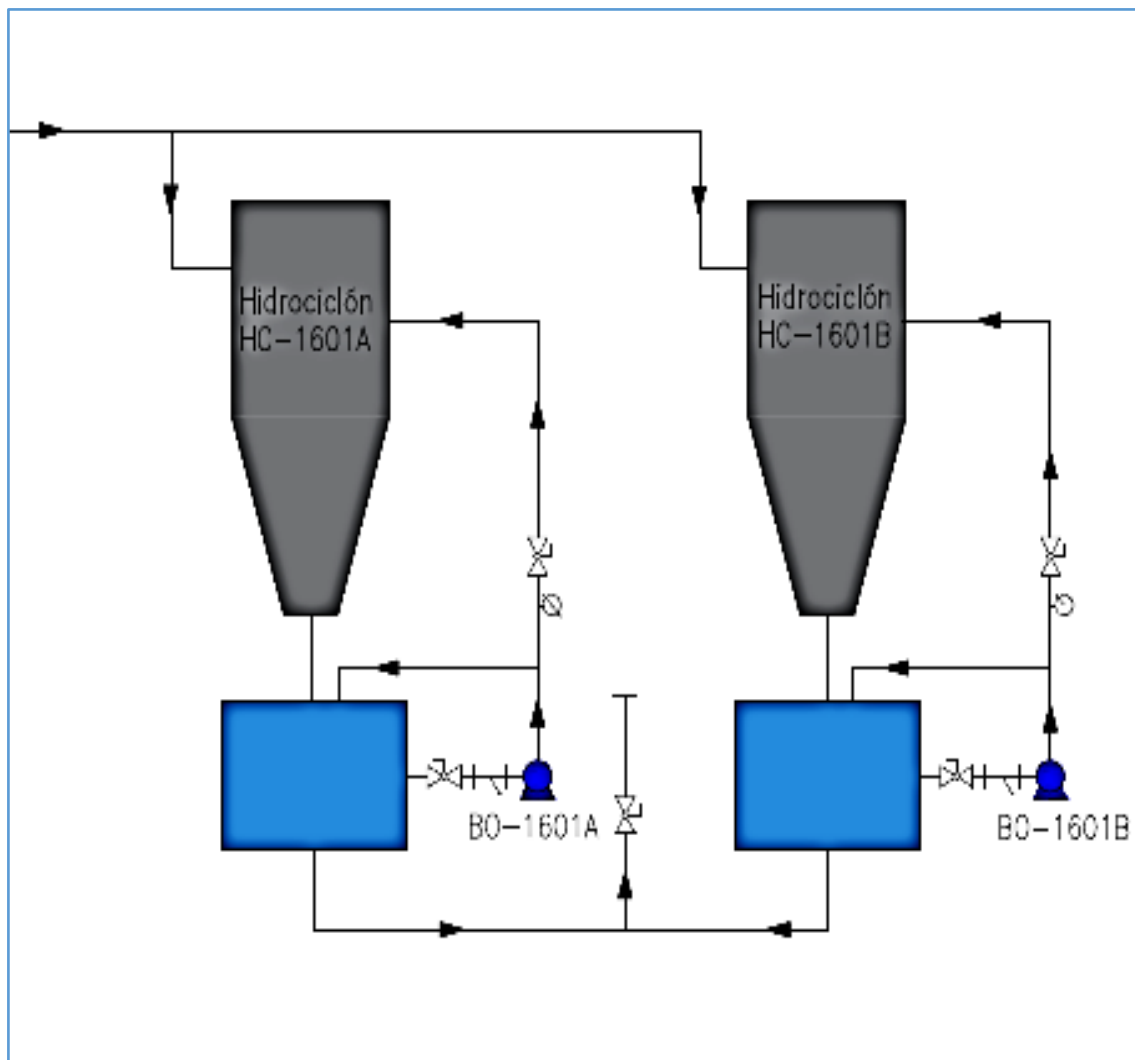
FUENTE: (Intradevco Industrial S.A.)

### 2.6.11. Hidrociclones

El proceso cuenta con 02 hidrociclones “A” y “B” que están situados a la salida del ventilador de escape. La función principal es precipitar el 20 a 30% del polvillo fino que resta de los multiciclones.

La precipitación del polvo fino se logra gracias a la bañera del agua en dirección opuesta del aire caliente. La ilustración se muestra en la figura 17.

**Figura 17:** Hidrociclones



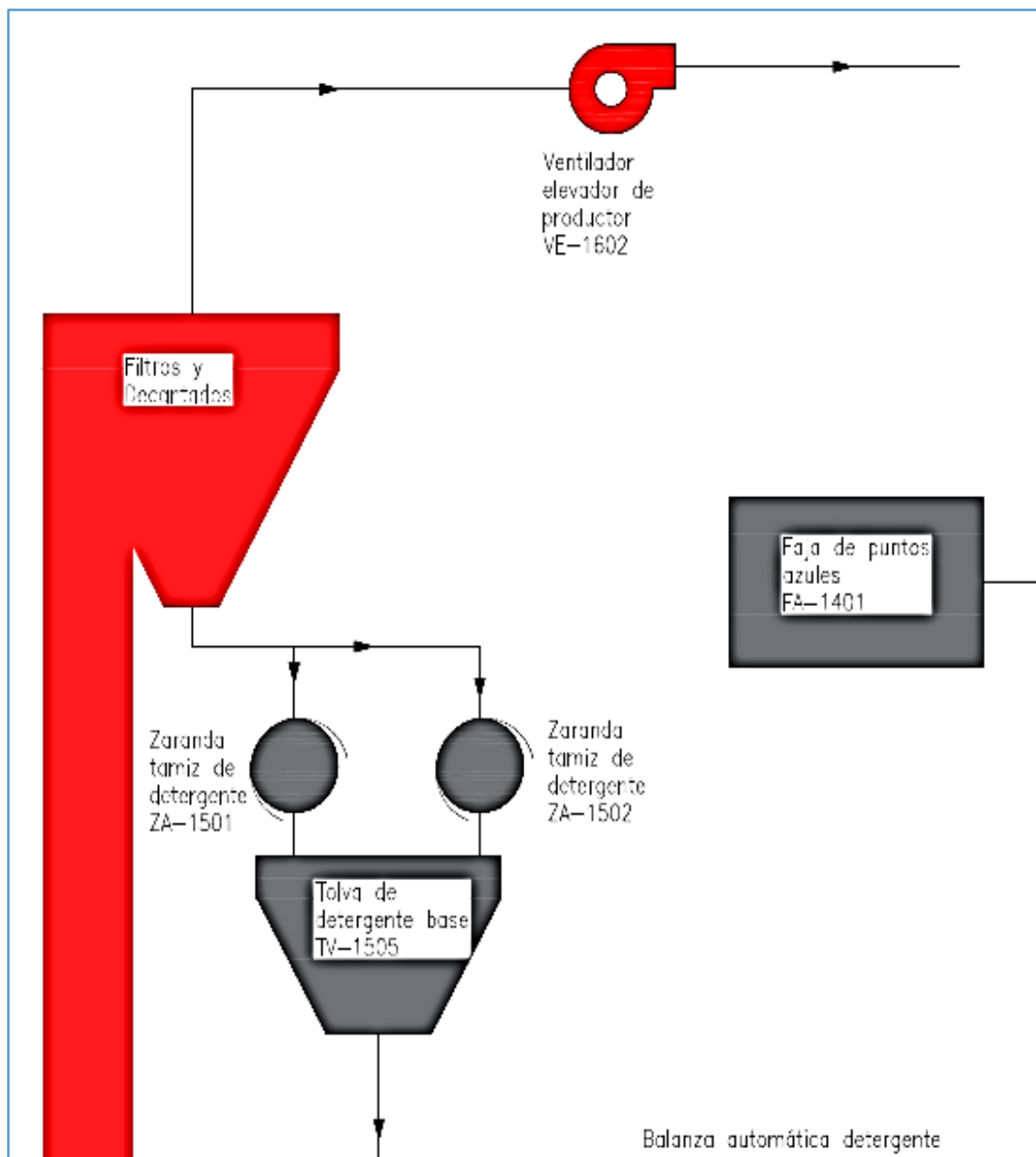
**FUENTE:** (Intradevco Industrial S.A.)

En la salida de los hidrociclones se logra liberar únicamente vapor de agua al medio ambiente.

### 2.6.12. Ventilador elevador de producto

De acuerdo con Gavilán & Martínez (2011) que, a través del ventilador elevador, el detergente base caliente que sale del cono de descarga de la torre de secado es transportado por el ducto elevador en donde sufre un enfriamiento progresivo y en el paso por el ducto de enfriamiento, los grumos con granulometría más pesados se descargan por gravedad en la parte inferior del ducto elevador y esto retorna al batido.

**Figura 18:** Ventilador elevador de producto



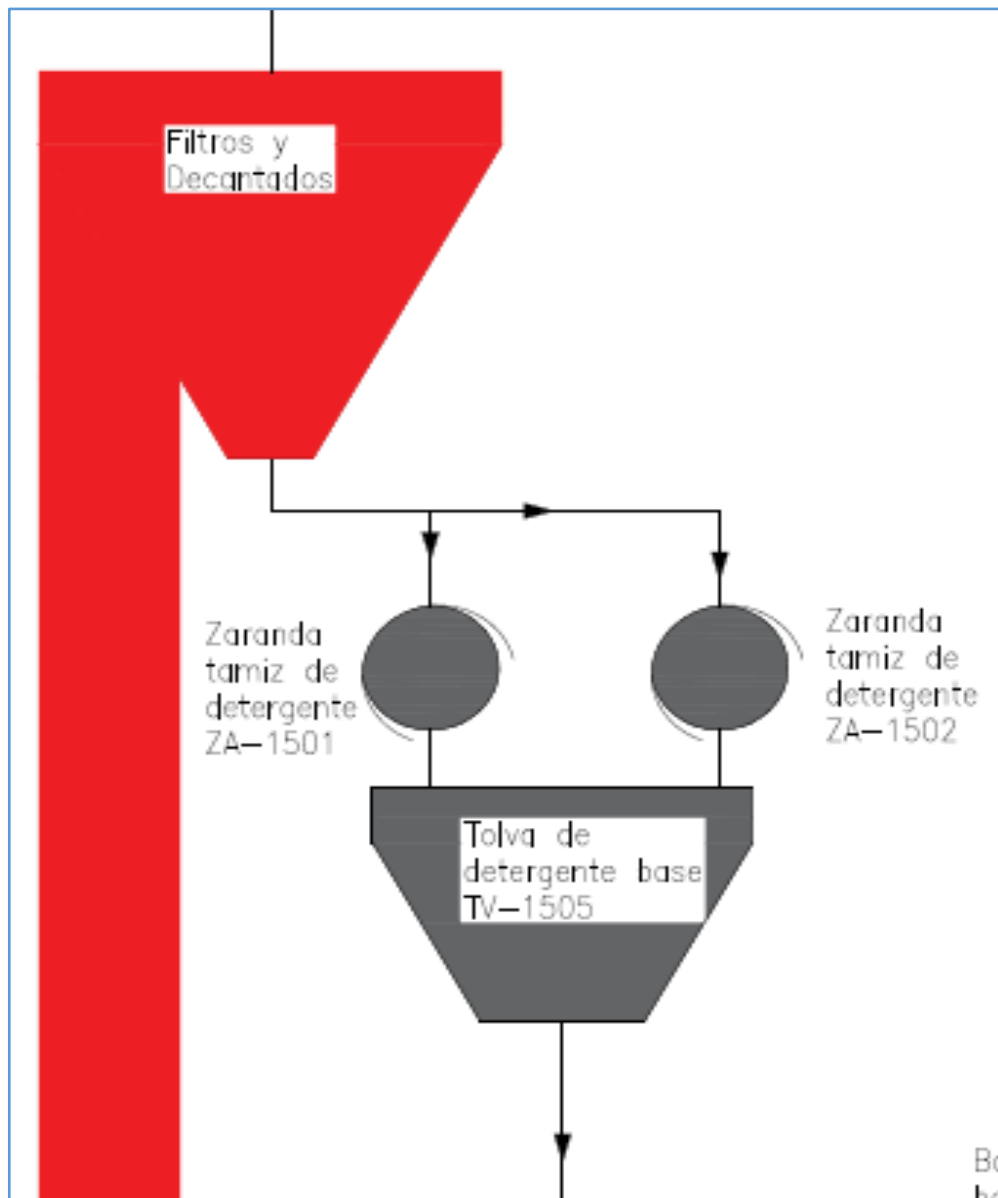
**FUENTE:** (Intradevco Industrial S.A.)



### 2.6.13. Tamizadora Sweco

De acuerdo con Gonzáles & García (2018) cumple la función de evitar que a la línea de envasado llegue el detergente con un tamaño de grano des uniforme y sin aglomeraciones ya que las vibraciones de las zarandas Sweco se realizan en los planos horizontal y vertical, desarrollándose el reglado en ambas direcciones y esta vibración se logra obtener mediante contrapesos que están instalados a ambos extremos del eje del motor eléctrico y en posición vertical que genera el movimiento de la tamizadora.

**Figura 19:** Tamizadora Sweco



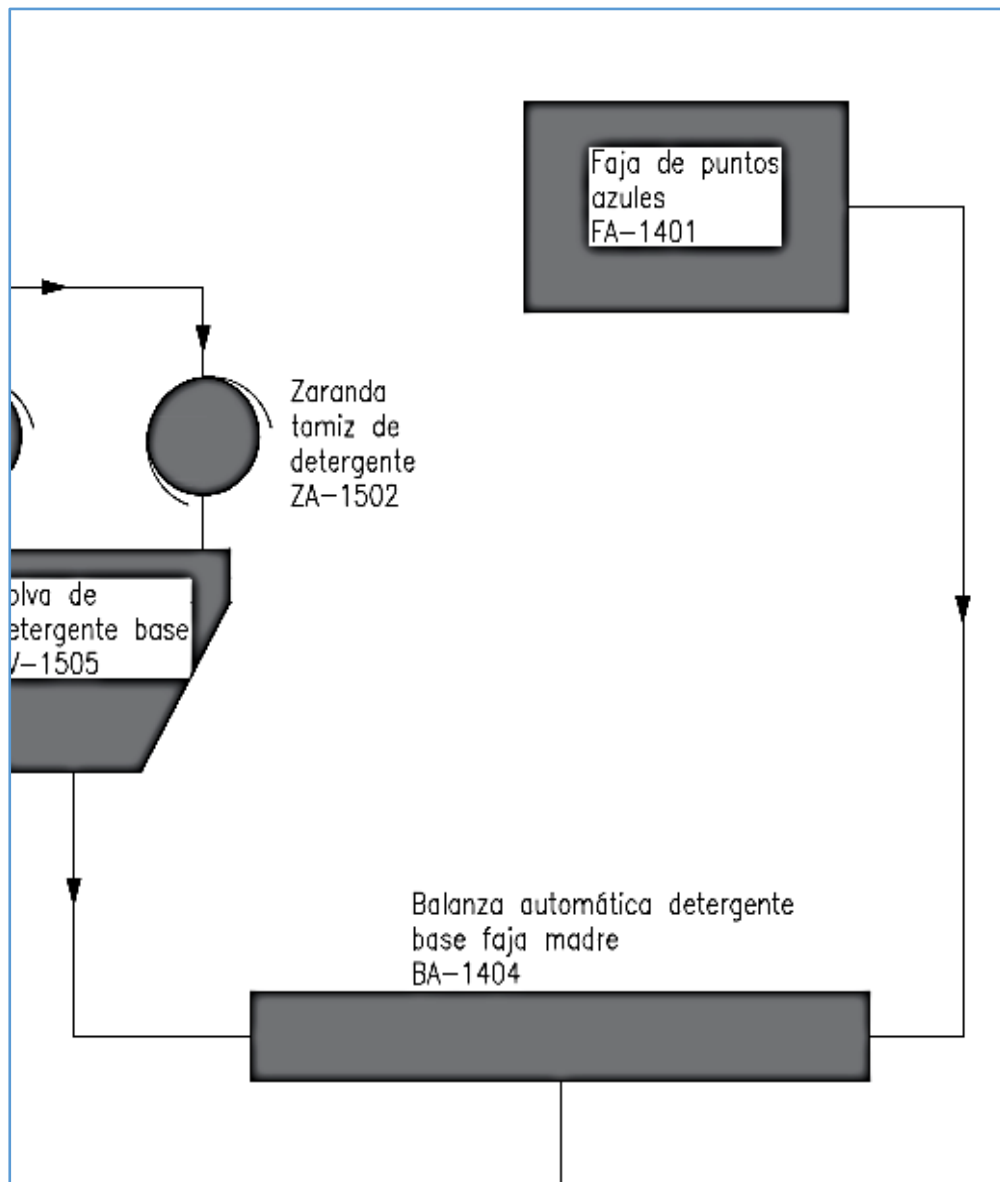
**FUENTE:** (Intradevco Industrial S.A.)

#### 2.6.14. Balanza post adición

La zona de las balanzas de post adición cumple la función de agregar los insumos y/o enzimas según el producto a elaborar al detergente base.

De acuerdo con Gavilán & Martínez (2011) dichos insumos se añaden en esta etapa, porque si supondríamos agregar en la etapa de secado, las altas temperaturas de la torre desactivarían las propiedades de las sustancias, así como por ejemplo el perfume, colorantes y enzimas mediante las dosificadoras.

**Figura 20:** Balanza Post adición



**FUENTE:** (Intradevco Industrial S.A.)

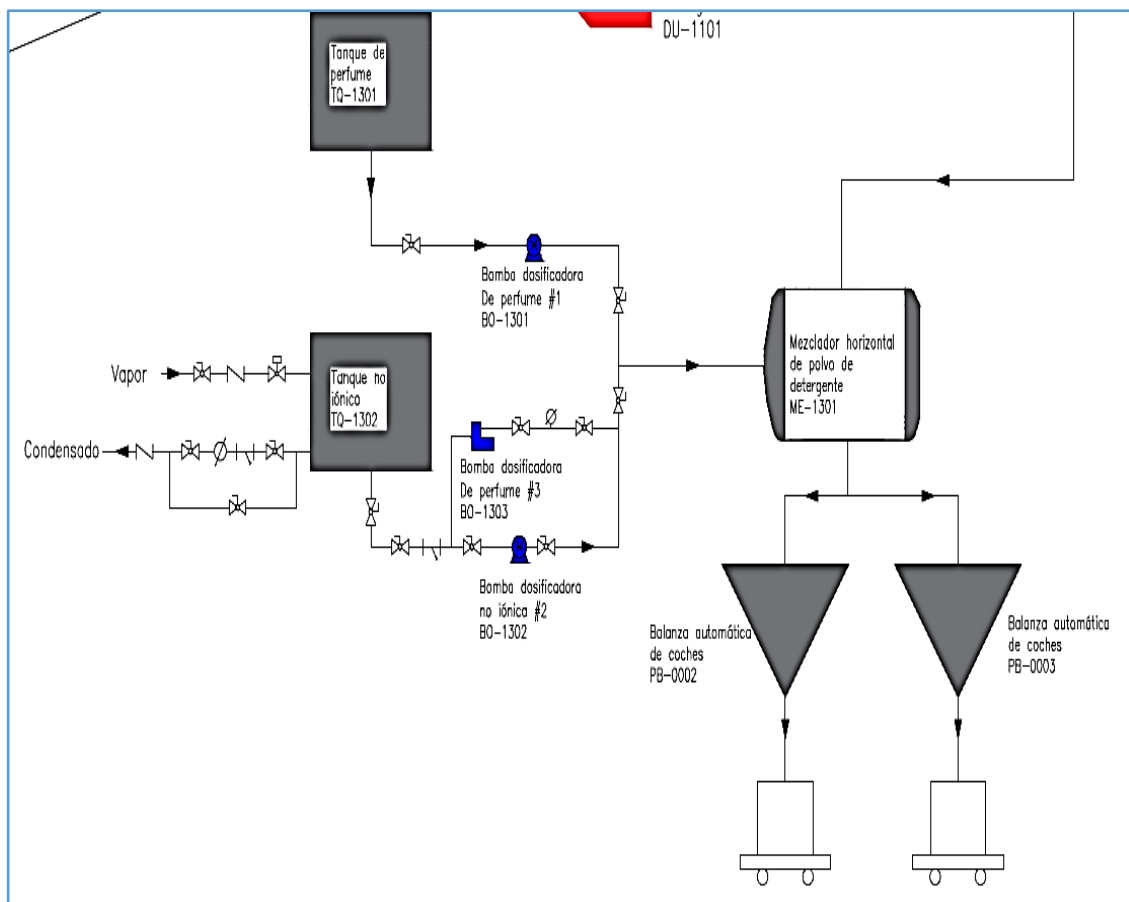
### 2.6.15. Mezclador mixer

El Mixer es un equipo que cumple la función de mezclar el polvo base del detergente con los diferentes insumos agregados en la post adición. Así mismo se le inyecta el perfume para la aromatización de la mezcla para la obtención del Detergente en Polvo como producto terminado.

El producto mezclado se descarga al contenedor de producto terminado, para luego descargarlo a los coches móviles en la balanza de pesaje de producto terminado y esta es controlado por medio de un panel de control por parte del operario.

Los coches con el producto terminado se trasladan a los ductos de descarga para el abastecimiento de las máquinas envasadoras para luego empaquetarlos.

**Figura 21: Mezclador mixer**



FUENTE: (Intradevco Industrial S.A.)



## 2.7. MANTENIMIENTO

Se define habitualmente mantenimiento como el conjunto de técnicas destinadas a conservar equipos e instalaciones industriales en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento (Garrido, 2009).

“El papel de mantenimiento es incrementar la confiabilidad de los sistemas de producción al realizar actividades, tales como planeación, organización, control y ejecución de métodos de conservación de los equipos, y sus funciones van más allá de las reparaciones. Su valor se aprecia en la medida en que éstas disminuyan como resultado de un trabajo planificado y sistemático con apoyo y recursos de una política integral de los directivos” (Gutiérrez, 2015).

## 2.8. PROCESO DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

De acuerdo con Silva (2006) el proceso de mantenimiento se realiza teniendo en cuenta los siguientes niveles para su desarrollo:

- Nivel de aviso o de solicitud de orden de trabajo
- Nivel de aprobación del aviso
- Nivel de planeación
- Nivel de programación
- Nivel de ejecución
- Nivel de supervisión y aprobación del trabajo realizado

Para concretar el proceso de la gestión de mantenimiento es importante considerar la notificación de la orden de mantenimiento para registrar el historial de eventos y así mismo poder establecer el stock de los repuestos.

## 2.9. TIPOS DE MANTENIMIENTO

La tarea de mantenimiento siempre ha estado sujeta a diferentes formas de realización, que se relacionan directamente con los tipos de mantenimiento a aplicar, estos han ido evolucionando y combinándose con el paso de una generación a otra, no quedando obsoletos, pero si mezclándose con otros tipos para dar paso a las formas modernas de gestión del mantenimiento (Machado, 2012).

A continuación, se describirá los diferentes tipos de mantenimiento según los autores citados. Con esta descripción podremos diferenciar los diferentes tipos de mantenimiento.

### 2.9.1. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo actúa sobre el fallo del equipo o máquina, pero no siempre lo hace de la misma manera, pues en gran parte depende del nivel de criticidad del equipamiento. Atendiendo a esto se puede clasificar como (Machado, 2012):

- **De emergencia:** ocurre sobre equipos críticos. La intervención no puede diferirse en el tiempo. Es totalmente indeseable (Machado, 2012).
- **De urgencia:** ocurre sobre equipos críticos o semi críticos. La intervención puede diferirse en el tiempo. No es deseable, pero es soportable (Machado, 2012).
- **De oportunidad:** ocurre sobre equipos no críticos o redundantes. La intervención puede diferirse en el tiempo. Es deseable para el equipo seleccionado (Machado, 2012).

Para nuestro proyecto de investigación lo que se quiere es mitigar las intervenciones de mantenimiento por corrección y emergencias en el proceso de fabricación de detergente en polvo.



### 2.9.2. Mantenimiento preventivo.

El mantenimiento preventivo es la ejecución de un sistema de inspecciones periódicas programadas racionalmente sobre el activo fijo de la planta y sus equipos con el fin de detectar condiciones y estados inadecuados de esos elementos que puedan ocasionar circunstancialmente paros en la producción o deterioro grave de máquinas, equipos o instalaciones, y realizar en forma permanente el cuidado de mantenimiento adecuado de la planta para evitar tales condiciones, mediante la ejecución de ajustes o reparaciones, mientras las fallas potenciales están en estado inicial de desarrollo (Alvarez & Castro, 2004).

“El mantenimiento preventivo centra su atención en la prevención del fallo mediante revisiones, mantenimientos pequeños, medianos, y generales, la predicción de eventos mediante mediciones a variables relacionadas con el funcionamiento del equipo. Este mantenimiento se puede clasificar de diferentes maneras en dependencia de características que pueden estar presentes en el equipamiento, dígase” (Machado, 2012):

- **Rutinario:** control periódico de los equipos. Intervención menor, ajustes, limpieza, lubricación. Realizado por el operario (Machado, 2012).
- **Sistemático o basado en el tiempo:** en función de un contador (horas, km., etc.) o por calendario. Intervención mayor. Realizado por el personal de mantenimiento (Machado, 2012).
- **Predictivo o basado en la condición:** Mide desarrollo de variables (vibraciones, temperatura, ruidos, desgastes, etc.). Predice futura intervención, realizado por el personal de mantenimiento, ocurre en circunstancia controlada, efectos sobre la producción controlados, limitada disponibilidad de recursos, repuestos disponibles (Machado, 2012).



De acuerdo con Alvarez & Castro (2004) el objetivo de este mantenimiento es aumentar al máximo la disponibilidad y confiabilidad del equipo llevando a cabo un mantenimiento planeado, basado en las inspecciones planificadas y programadas.

Una buena organización de mantenimiento que aplica el sistema preventivo obtiene los siguientes beneficios (Alvarez & Castro, 2004)

- **Seguridad.** Las obras e instalaciones sujetas a mantenimiento preventivo operan en mejores condiciones de seguridad puesto que se conoce mejor su estado físico y condiciones de funcionamiento u operación.
- **Vida útil.** Una instalación sujeta a mantenimiento preventivo tiene una vida útil mucho mayor que la que tendría con un sistema de mantenimiento correctivo.
- **Costo de reparaciones.** Es posible reducir el costo de reparaciones si se utiliza el mantenimiento preventivo en lugar del correctivo.
- **Inventarios.** Es posible reducir el costo de inventarios empleando el sistema de mantenimiento preventivo, puesto que se determina en forma más precisa los materiales de mayor consumo y se puede prever su uso en el tiempo.
- **Carga de trabajo.** La carga de trabajo para el personal de mantenimiento preventivo es más uniforme que en un sistema de mantenimiento correctivo, por lo que se puede reducir al minimizar las emergencias.
- **Aplicabilidad.** Mientras más complejas sean las instalaciones y más confiabilidad se requiera, mayor será la necesidad del mantenimiento preventivo (Alvarez & Castro, 2004).



### **2.9.3. Mantenimiento predictivo.**

Es el conjunto de actividades de seguimiento y diagnóstico continuo (monitorización) de un sistema, que permiten una intervención correctora inmediata como consecuencia de la detección de algún síntoma de fallo (Abella, 2011).

“El mantenimiento predictivo se basa en el hecho de que la mayoría de los fallos se producen lentamente y previamente, en algunos casos, arrojan indicios evidentes de un futuro fallo, bien a simple vista, o bien mediante la monitorización, es decir, mediante la elección, medición y de algunos parámetros relevantes que representen el buen funcionamiento del equipo analizado. Por ejemplo, estos parámetros pueden ser: la temperatura, la presión, la velocidad lineal, la velocidad angular, la resistencia eléctrica, los ruidos y vibraciones, la rigidez dieléctrica, la viscosidad, el contenido de humedad, de impurezas y de cenizas en aceites aislantes, el nivel de un fluido, etc” (Abella, 2011).

En otras palabras, con este método, tratamos de seguir la evolución de los futuros fallos (Abella, 2011).

“Este sistema tiene la ventaja de que el seguimiento nos permite contar con un registro de la historia de la característica en análisis, sumamente útil ante fallos repetitivos; puede programarse la reparación en algunos casos, junto con la parada programada del equipo y existen menos intervenciones de la mano de obra en mantenimiento” (Abella, 2011).

### **2.10. MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD**

“La filosofía de este mantenimiento está orientada a la confiabilidad, tuvo origen en Estado unidos, inicialmente desarrollado para el sector aéreo y luego en el sector industrial. Es un proceso que se usa para determinar los requerimientos del mantenimiento de los elementos físicos en el contexto operativo” (Julca, 2019).





“Mantenimiento centrado en confiabilidad permite distribuir de forma efectiva los recursos asignados a la gestión de mantenimiento, tomando en cuenta la importancia de los activos dentro del contexto operacional y los posibles efectos o consecuencias de los modos de fallo de estos activos sobre la seguridad, ambiente y las operaciones” (Julca, 2019).

“Una trascendental peculiaridad del RCM es reconocer que la consecuencia de un fallo es mucho más importante que sus características técnicas, y, por tanto, solamente merecen esfuerzos de planificación, de prevención, financiamiento de recursos, materiales o de mano de obra, aquellos fallos que puedan y que realmente valgan la pena ser prevenidos” (Julca, 2019).

### **2.10.1. Definiciones del RCM**

“Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es una metodología utilizada para determinar sistemáticamente, que debe hacerse para asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo requerido por el usuario en el contexto operacional presente. Un aspecto clave de la metodología RCM es reconocer que el mantenimiento asegura que un activo continúe cumpliendo su misión de forma eficiente en el contexto operacional. La definición de este concepto se refiere a cuando el valor del estándar de funcionamiento deseado sea igual, o se encuentre dentro de los límites del estándar de ejecución asociado a su capacidad inherente (de diseño) o a su confiabilidad inherente (de diseño)” (Urquiza, 2015).

- La capacidad inherente (de diseño) y la confiabilidad inherente (de diseño) limita las funciones de cada activo.
- El mantenimiento, la confiabilidad operacional y la capacidad del activo no pueden aumentar más allá de su nivel inherente (de diseño).



- El mantenimiento sólo puede lograr mejorar el funcionamiento de un activo cuando el estándar de ejecución esperado de una determinada función del activo está dentro de los límites de la capacidad de diseño o de la confiabilidad de diseño del mismo (Urquizo, 2015).

Romero & Rivera (2021), define el RCM como:

“El RCM es un proceso y una filosofía de mantenimiento utilizado para determinar que se debe realizar para garantizar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios desean que haga dentro de su estándar de funcionamiento”.

Campos Lopéz, Tolentino Eslava, Toledo Velázquez, & Tolentino Eslava (2019):

“El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés) es una metodología ampliamente reconocida y de uso extendido para elaborar planes de mantenimiento de equipos industriales basándose en asegurar las funciones del equipo para la satisfacción del usuario o propietario. Actualmente existen varias metodologías de RCM, sin embargo, la esencia de esta metodología está contenida en la norma SAE JA1011”.

Hung (2008), define el RCM como:

“Como concepto general podemos decir que la actividad de mantener es asegurar que todo elemento físico de un equipo ó instalación desempeñe las funciones deseadas en forma continua”.

(Cruz, 2017):

“El RCM se puede definir como un proceso usado para determinar lo que debe hacerse para asegurar que cualquier recurso o activo físico continúe realizando lo que sus usuarios desean que realice en su contexto operacional actual. La metodología fue

propuesta por los ingenieros F.S. Nowlan y H.F.Heap y publicada por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América en 1978, y luego documentada por John Moubray en su libro RCM Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. De igual forma, la metodología cuenta con dos Normas, la SAE JA1011 y la SAE JA1012 las cuales definen los requisitos para un programa de mantenimiento basado en RCM y explican la aplicación de la norma, respectivamente”.

Los componentes del RCM según la Figura 24

**Figura 22:** Componentes de un programa RCM



**FUENTE:** (Urquiza, 2015)

### 2.10.2. Historia y antecedentes del RCM

“Actualmente es ampliamente aceptado que la aviación comercial es la forma más segura para viajar. Al presente, las aerolíneas comerciales sufren menos de dos accidentes por millón de despegues. Al final de los 1950s, la aviación comercial mundial estaba sufriendo más de 60 accidentes por millón de despegues. Si actualmente se estuviera presentando la misma tasa de accidentes, se estarían oyendo sobre dos accidentes aéreos diariamente en algún sitio del mundo (involucrando aviones de 100 pasajeros o más). Dos tercios de los accidentes ocurridos al final de los 1950s eran causados por fallas en los equipos. Esta alta tasa de accidentalidad, conectada con el auge de los viajes aéreos,



significaba que la industria tenía que empezar a hacer algo para mejorar la seguridad. El hecho de que una tasa tan alta de accidentes fuera causada por fallas en los equipos significaba que, al menos inicialmente, el principal enfoque tenía que hacerse en la seguridad de los equipos. En esos días, “mantenimiento” significaba una cosa: reparaciones periódicas. Todos esperaban que los motores y otras partes importantes se gastaran después de cierto tiempo. Esto los condujo a creer que las reparaciones periódicas retendrían las piezas antes de que gastaran y así prevenir fallas. Cuando la idea parecía no estar funcionando, cada uno asumía que ellos estaban realizando muy tardíamente las reparaciones: después de que el desgaste se había iniciado. Naturalmente, el esfuerzo inicial era para acortar el tiempo entre reparaciones. Cuando hacían las reparaciones, los gerentes de mantenimiento de las aerolíneas hallaban que, en la mayoría de los casos, los porcentajes de falla no se reducían y por el contrario se incrementaban. La historia de la transformación del mantenimiento en la aviación comercial desde un cúmulo de supuestos y tradiciones hasta llegar a un proceso analítico y sistemático que hizo de la aviación comercial “La forma más segura para viajar” es la historia del RCM. El RCM es uno de los procesos desarrollados durante los 1960s y 1970s, en varias industrias con la finalidad de ayudar a las personas a determinar las mejores políticas para mejorar las funciones de los activos físicos y para manejar las consecuencias de sus fallas. De estos procesos, el RCM es el más directo. El RCM fue originalmente definido por los empleados de la United Airlines Stanley Nowlan y Howard Heap en su libro “Reliability Centered Maintenance” / “Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad”, el libro que dio nombre al proceso. Este libro fue la culminación de 20 años de investigación y experimentación con la aviación comercial de los USA, un proceso que produjo el documento presentado en 1968, llamado Guía MSG-1: Evaluación del Mantenimiento y Desarrollo del Programa, y el documento presentado en 1970 para la Planeación de



Programas de Mantenimiento para Fabricantes / Aerolíneas, ambos documentos fueron patrocinados por la ATA (Air Transport Association of America – Asociación de Transportadores Aéreos de los USA)” (Urquizo, 2015).

“En 1980, la ATA produjo el MSG – 3, Documento Para la Planeación de Programas de Mantenimiento para Fabricantes / Aerolíneas. El MSG – 3 fue influenciado por el libro de Nowlan y Heap (1978). El MSG – 3 ha sido revisado dos veces, la primera vez en 1988 y de nuevo en 1993, y es el documento que hasta el presente lidera el desarrollo de programas iniciales de mantenimiento planeado para la nueva aviación comercial. Tal como se mencionó anteriormente en 1978 la aviación comercial en Estados Unidos publicó un estudio de patrones de falla en los componentes de aviones cambiando todas las costumbres que hasta el momento se tenía sobre el mantenimiento” (Urquizo, 2015).

### **2.10.3. Mantenimiento y RCM**

Desde el punto de vista de la ingeniería hay dos elementos para la gestión de cualquier recurso físico. Debe ser mantenido y de tanto en tanto quizás también necesite ser modificado (TECSUP , 2021).

“Los diccionarios más importantes definen mantener como causar que continúe (Oxford), o conservar su estado existente (Webster), o conservar cada cosa en su ser (Real Academia Española). Esto sugiere que “mantenimiento” significa preservar algo. Por otro lado, están de acuerdo con que modificar algo significa cambiarlo de alguna manera” (TECSUP , 2021).

“Cuando partimos por mantener algo, ¿Qué es lo que deseamos causar para que continúe? ¿Cuál es el estado existente que deseamos conservar? La respuesta a estas preguntas puede encontrarse en el hecho que cada recurso físico se pone en servicio por

que alguien lo quiere para hacer algo. En otras palabras, ellos esperan completar una función específica. Así que cuando mantenemos un recurso, el estado que deseamos conservar debe ser uno en el que continúa haciendo cualquier cosa que sus usuarios desean hacer” (TECSUP , 2021).

“La finalidad del RCM es la aplicación ideal del mantenimiento con tal de asegurar la confiabilidad de la función del activo a la reducción de costos de mantenimiento al mejorar la eficiencia de la aplicación” (Dianderas, 2020).

“El RCM es un proceso empleado para determinar lo que debe hacerse para asegurar que cualquier recurso físico realice su función determinada” (TECSUP , 2021).

#### **2.10.4. Las siete preguntas básicas del RCM**

Según el autor Moubray (2004) el proceso de RCM formula siete preguntas acerca del activo o sistema que se intenta revisar:

- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional? (**Funciones**)
- ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones? (**Fallas Funcionales**)
- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional? (**Modo de falla**)
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla? (**Efecto de falla**)
- ¿En qué sentido es importante cada falla? (**Consecuencias de falla**)
- ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla? (**Tareas proactivas**)
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada? (**Tarea de búsqueda de fallas, rediseño**) (Moubray, 2004).



#### 2.10.4.1. Funciones y parámetros de funciones

Según el autor Moubray (2004) antes de poder aplicar un proceso para determinar qué debe hacerse para que cualquier activo físico continúe haciendo aquello que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional, necesitamos hacer dos cosas:

- Determinar qué es lo que sus usuarios quieren que haga el equipo. (Moubray, 2004)
- Asegurar que es capaz de realizar aquello que sus usuarios quieren que haga. (Moubray, 2004).

De acuerdo con el autor Moubray (2004) el primer paso en el proceso de RCM es definir las funciones de cada activo en su contexto operacional, junto con los parámetros de funcionamiento deseados. Lo que los usuarios esperan que los activos sean capaces de hacer puede ser dividido en dos categorías:

- **Funciones primarias**, que en primera instancia resumen el porqué de la adquisición del activo. Esta categoría de funciones cubre temas como velocidad, producción, capacidad de almacenaje o carga, calidad de producto y servicio al cliente (Moubray, 2004).
- **Funciones secundarias**, la cual reconoce que se espera de cada activo que haga más que simplemente cubrir sus funciones primarias. Los usuarios también tienen expectativas relacionadas con las áreas de seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia operacional, cumplimiento de regulaciones ambientales, y hasta de apariencia del activo (Moubray, 2004).

“Los usuarios de los activos generalmente están en la mejor posición por lejos para saber exactamente qué contribuciones físicas y financieras hace el activo para el



bienestar de la organización como un todo. Por ello es esencial que estén involucrados en el proceso de RCM desde el comienzo” (Moubray, 2004).

“Si es hecho correctamente, este paso toma alrededor de un tercio de tiempo que implica un análisis RCM completo. Además, hace que el grupo que realiza el análisis logre un aprendizaje considerable – muchas veces una cantidad alarmante – acerca de la forma en que realmente funciona el equipo” (Moubray, 2004).

#### 2.10.4.2. Fallas funcionales

De acuerdo con Moubray (2004) los objetivos del mantenimiento son definidos por las funciones y expectativas de funcionamiento asociadas al activo en cuestión.

“El único hecho que puede hacer que un activo no pueda desempeñarse conforme a los parámetros requeridos por sus usuarios es alguna clase de falla. Esto sugiere que el mantenimiento cumple sus objetivos al adoptar una política apropiada para el manejo de una falla. Sin embargo, antes de aplicar una combinación adecuada de herramientas para el manejo de una falla, necesitamos identificar qué fallas pueden ocurrir” (Moubray, 2004).

Según el autor Moubray (2004) el proceso RCM lo hace en dos niveles:

- En primer lugar, identifica las circunstancias que llevaron a la falla.
- Luego se pregunta qué eventos puede causar que el activo falle.

En el mundo del RCM, los estados de falla son asociados como **fallas funcionales** por que ocurren cuando el activo no puede cumplir una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable (Moubray, 2004).

“Sumado a la incapacidad total de funcionar, esta definición abarca fallas parciales en las que el activo todavía funciona, pero con un nivel de desempeño inaceptable





(incluyendo las situaciones en las que el activo no puede mantener los niveles de calidad o precisión). Evidentemente estas sólo pueden ser identificadas luego de haber definido las funciones y parámetros de funcionamiento del activo” (Moubray, 2004).

#### **2.10.4.3. Modo de falla**

“Como se mencionó en el párrafo anterior, una vez que se ha identificado cada falla funcional, el próximo paso es tratar de identificar todos los hechos que de manera razonablemente posible puedan haber causado cada estado de falla. Estos hechos se denomina **modo de falla**. Los modos de falla “razonablemente posible” incluyen aquellos que han ocurrido en equipos iguales o similares operando en el mismo contexto, fallas que actualmente están siendo prevenidas por regímenes de mantenimiento existentes, así como fallas que aún no han ocurrido, pero son consideradas altamente posibles en el contexto en cuestión” (Moubray, 2004).

“La mayoría de las listas tradicionales de modos de falla incorporan fallas causadas por el deterioro o desgaste por uso normal. Sin embargo, para que todas las causas probables de fallas es los equipos puedan ser identificadas y resueltas adecuadamente, esta lista debería incluir fallas causadas por errores humanos (por parte de los operadores y el personal de mantenimiento), y errores de diseño. También es importante identificar la causa de cada falla con suficiente detalle para asegurarse de no desperdiciar tiempo y esfuerzo intentando tratar síntomas en lugar de causas reales. Por otro lado, es igualmente importante asegurarse de no malgastar el tiempo en el análisis mismo al concentrarse demasiado en los detalles” (Moubray, 2004).

#### **2.10.4.4. Efecto de falla**

Según el autor Moubray (2004) el cuarto paso en el proceso de RCM tiene que ver cómo hacer un listado de los efectos de falla, que describen lo que ocurre con cada



modo de falla y esta descripción debería incluir toda la información necesaria para apoyar la evaluación de las consecuencias de la falla, tal como:

- Qué evidencia existe (si hay) de que la falla ha ocurrido.
- De qué modo representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente (si la representa).
- De qué manera afecta a la producción o a las operaciones (si las afecta).
- Qué daños físicos (si los hay) han sido causados por la falla.
- Qué debe hacerse para reparar la falla (Moubray, 2004).

#### **2.10.4.5. Consecuencias de la falla**

“Un análisis detallado de la empresa industrial promedio probablemente muestre entre tres mil y diez mil posibles modos de falla. Cada una de estas fallas afecta a la organización de algún modo, pero en cada caso, los efectos son diferentes. Pueden afectar operaciones. También pueden afectar a la calidad del producto, el servicio al cliente, la seguridad o en medio ambiente. Todas para ser reparadas tomarán tiempo y costarán dinero” (Moubray, 2004).

“Son estas consecuencias las que más influyen el intento de prevenir cada falla. En otras palabras, si una falla tiene serias consecuencias, haremos un gran esfuerzo para intentar evitarla. Por otro lado, si no tiene consecuencias o tiene consecuencias leves, quizás decidamos no hacer más mantenimiento de rutina que una simple limpieza y lubricación básica” (Moubray, 2004).

De acuerdo con Moubray (2004) un punto fuerte del RCM es que reconoce que las consecuencias de las fallas son más importantes que sus características técnicas. De hecho, reconoce que la única razón para hacer cualquier tipo de mantenimiento proactivo



no es evitar las fallas, si no evitar o reducir las consecuencias de las fallas. El proceso de RCM clasifica estas consecuencias en cuatro grupos, de la siguiente manera:

- **Consecuencias de fallas ocultas:** las fallas ocultas no tienen un impacto directo, pero exponen a la organización a fallas múltiples con consecuencias serias y hasta catastróficas. (La mayoría están asociadas a sistemas de protección sin seguridad inherente) (Moubray, 2004).
- **Consecuencias ambientales y para la seguridad:** una falla tiene consecuencias para la seguridad si es posible que cause daño o la muerte a alguna persona. Tiene consecuencias ambientales si infringe alguna normativa o reglamento ambiental tanto corporativo como regional, nacional o internacional (Moubray, 2004).
- **Consecuencias Operacionales:** Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (cantidad, calidad del producto, atención al cliente, o costos operacionales además del costo directo de la reparación) (Moubray, 2004).
- **Consecuencias No-Operacionales:** Las fallas que caen en esta categoría no afecta a la seguridad ni la producción, sólo implican el costo directo de la reparación (Moubray, 2004).

De acuerdo con Moubray (2004) las técnicas de manejo de fallas se dividen en dos categorías:

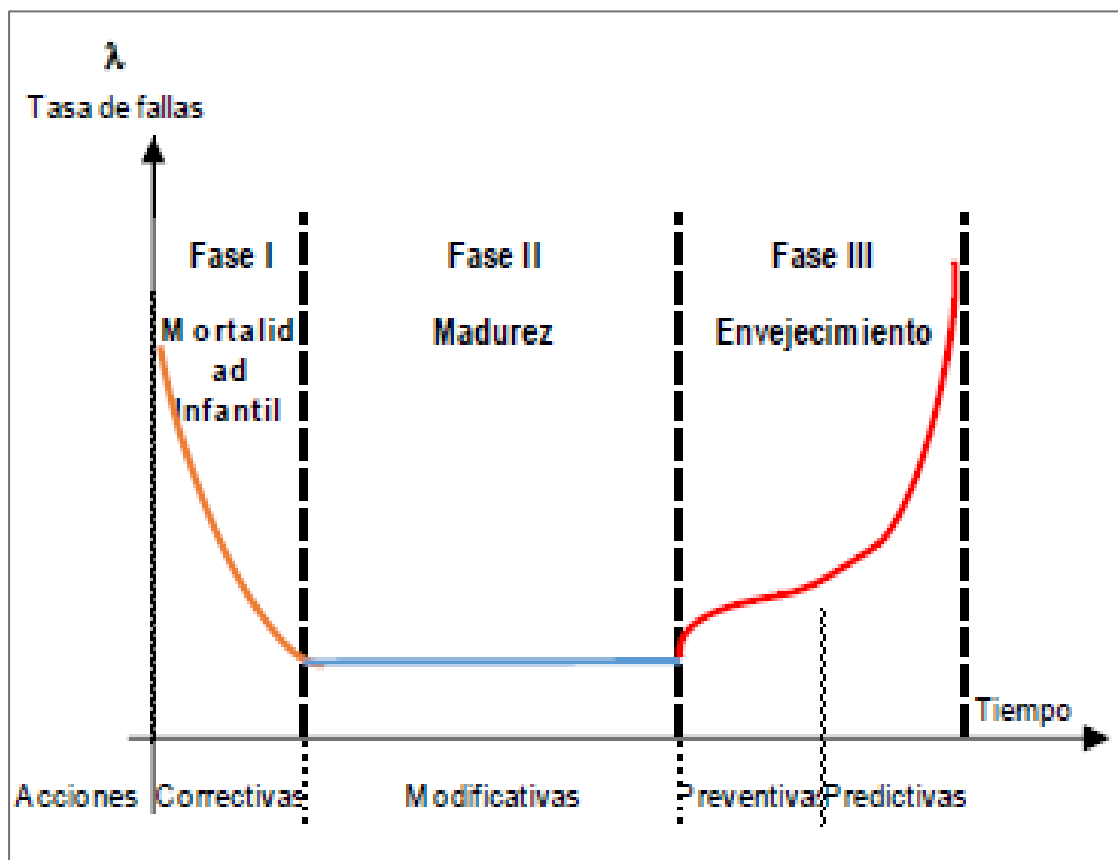
- **Tareas proactivas:** estas tareas se emprenden antes de que ocurra una falla, para prevenir que el ítem llegue al estado de falla. Abarca lo que se conoce tradicionalmente como mantenimiento “predictivo” o “preventivo”.

- Acciones a falta de: estas tratan directamente con el estado de falla, y son elegidas cuando no es posible identificar una tarea proactiva efectiva. Las acciones a falta de incluyen búsqueda de fallas, rediseño, y mantenimiento a rotura (Moubray, 2004).

### 2.10.5. Curva de la bañera

La curva de la Bañera o Davies es una gráfica que representa las fallas de un equipo o sistema durante el periodo de su vida útil. La vida útil de un equipo es la duración estimada que puede tener dicho equipo cumpliendo con la función para lo que ha sido creado. La curva de la Bañera sirve para conocer la probabilidad de fallas de equipos y seleccionar las tareas de mantenimiento (preventivas, predictivas, correctivas o modificativas) dependiendo del valor del equipo (Roque, 2017).

**Figura 23:** Curva de la Bañera



**FUENTE:** (Roque, 2017)



**Fase de mortalidad infantil:** en esta etapa la tasa de fallas es relativamente alta y tiene una tendencia decreciente porque la probabilidad de falla disminuye a medida que transcurre el tiempo. Las fallas se producen al poco tiempo de la puesta en funcionamiento del equipo y son consecuencia de errores de diseño, defectos de fabricación y montaje, o desconocimiento del equipo por parte de los operarios (Roque, 2017).

**Fase de madurez:** la tasa de fallos es menor y constante; se producen por causas externas al equipo como mala operación, accidentes fortuitos, sobrecarga en la producción o cambios de las condiciones de funcionamiento (Roque, 2017).

**Fase de envejecimiento:** la tasa de fallas es creciente y se producen por el desgaste natural, fatiga o corrosión de los componentes. En la primera parte de esta etapa el incremento de la tasa de fallas es bajo, las fallas se deben al uso de los componentes, en esta parte se pueden usar acciones preventivas ya que las fallas son conocidas. En la segunda parte la tasa de fallas se acelera; se recomiendan las acciones predictivas ya que las fallas empiezan a ser previsibles (Roque, 2017).

#### **2.10.6. Grupo de Trabajo**

“En la práctica, el personal de mantenimiento no puede contestar a todas las preguntas por sí mismos. Esto es porque muchas (si no la mayoría) de las contestaciones sólo pueden proporcionarlas el personal operativo o el de producción. Lo cual se aplica especialmente a las preguntas que conciernen al funcionamiento deseado, los efectos de los fallos y las consecuencias de los mismos” (Urquizo, 2015).

“Por esta razón, una revisión de los requisitos del mantenimiento de cualquier equipo debería hacerse por equipos de trabajo reducidos que incluyan por lo menos una persona de la función del mantenimiento y otra de la función de producción. La siguiente figura muestra la representación de un grupo de revisión del RCM” (Urquizo, 2015).

**Figura 24:** Integrantes del equipo natural de trabajo

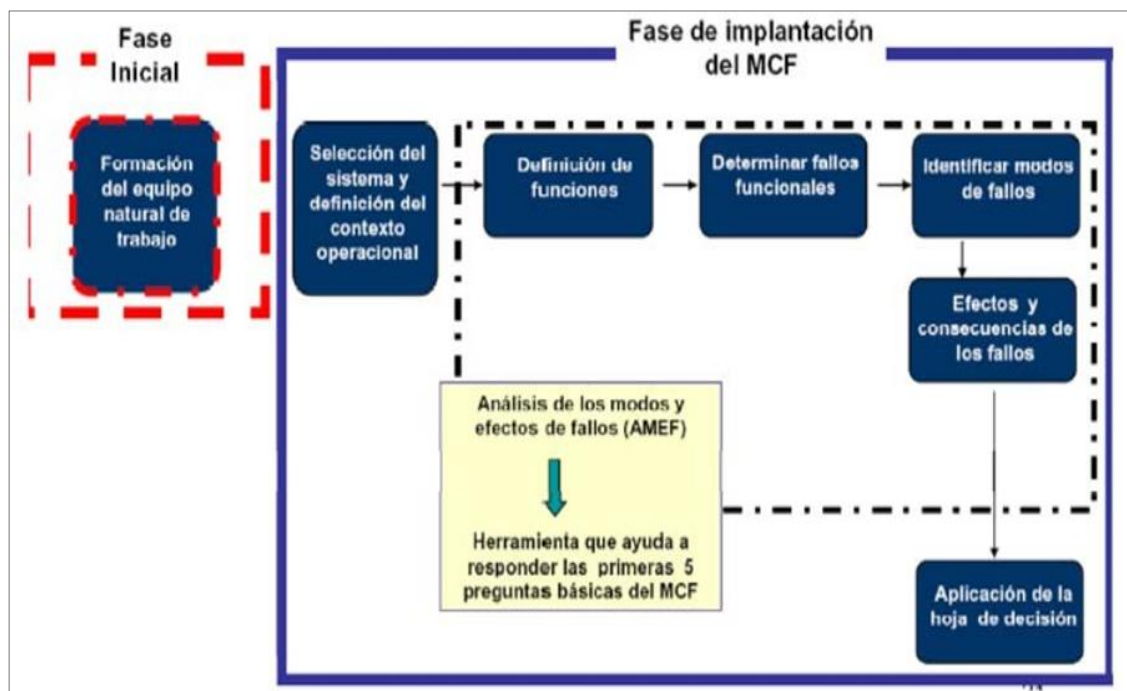


**FUENTE:** (Urquiza, 2015)

### 2.10.7. Proceso de implantación del RCM

Para poder establecer el proceso de implantación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), tiene que ver con el desempeño del equipo natural de trabajo que se establece previo antes del estudio, siguiendo un esquema como lo propuesto por Alberto & Adolfo (2016) a continuación.

**Figura 25:** Proceso de Implantación del RCM



**FUENTE:** (Alberto & Adolfo, 2016)



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente proyecto de investigación es de tipo descriptivo no experimental, ya que está relacionado con el diagnóstico de la situación actual del proceso de fabricación, así mismo para poder implantar el proceso RCM se debe de seguir las fases de implantación del AMEF, NPR, distribución de Weibull para determinar la frecuencia de mantenimiento de los equipos críticos haciendo el uso del historial de fallas y la hoja de decisiones.

De acuerdo con Rivero & Raul (2016) es de tipo descriptiva, ya que facilitará una mayor penetración y comprensión del problema que se enfrenta, trabaja sobre realidades de hecho y su característica fundamental es la de presentar una interpretación correcta.

“En cuanto a la investigación, éste no es más que la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado. En atención al diseño, la presente investigación se clasifica en investigación de campo, dando el análisis sistemático de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos característicos de cualquiera de los paradigmas o enfoques de investigación conocidos o en desarrollo (Rivero & Raul, 2016).

#### 3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación es aplicado, el propósito es aplicar el plan de mantenimiento preventivo a los equipos más críticos que se encuentran en la planta de procesos, mediante conocimientos teóricos y métodos; según (Moubray, 2004).



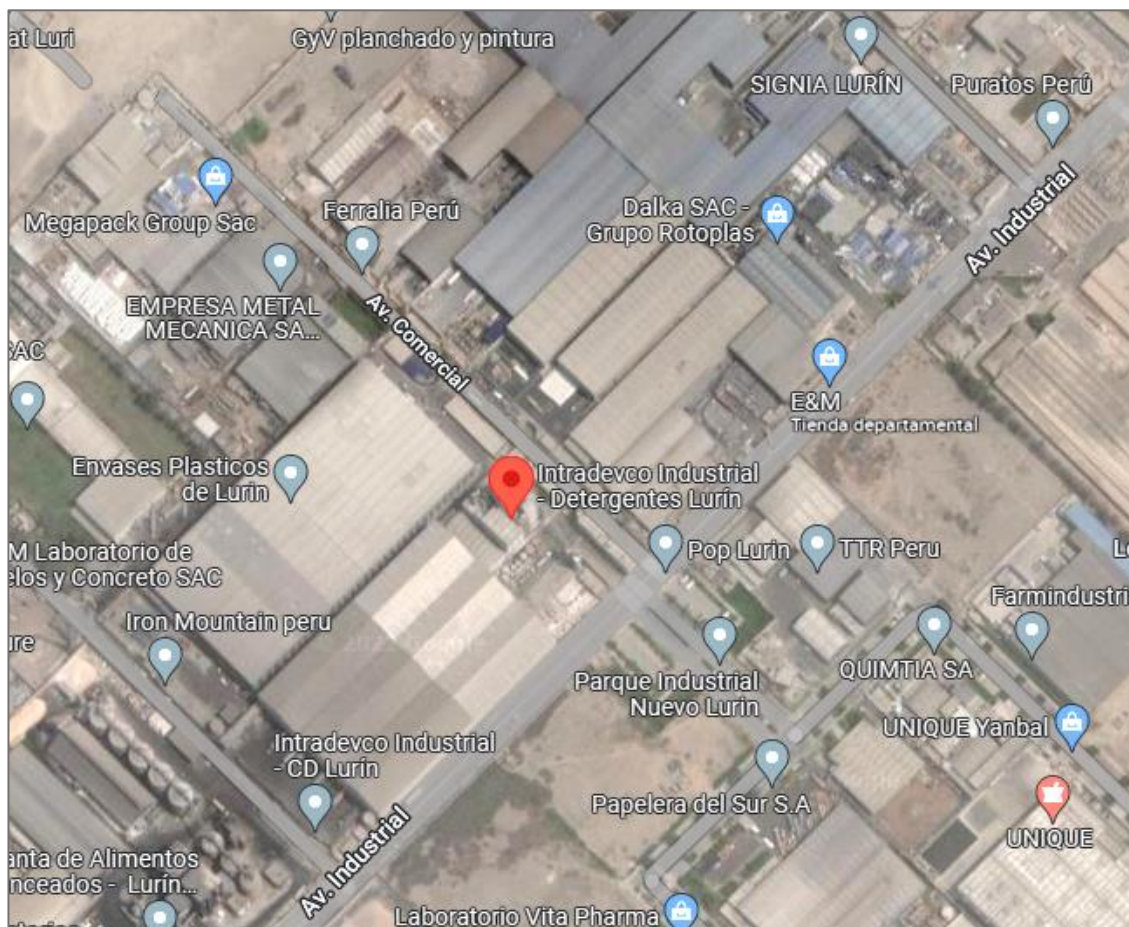
### 3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

La empresa de Intradevco Industrial S.A. es una empresa de Álicorp y el proyecto de investigación para el diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM para los equipos críticos se realiza en una de sus Plantas Industriales denominada Planta de Detergentes Lurín.

La planta de Detergentes Lurín está ubicada en el distrito de Lurín, provincia de Lima del departamento de Lima a una altura de 100 metros sobre el nivel del mar.

La población constituye la planta en general y la muestra de estudio está compuesta por los equipos críticos descritos en la Tabla No 22 del proyecto de investigación.

**Figura 26:** Ubicación del proyecto



**FUENTE:** (Google Earth)





### **3.4. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Para la recolección de información se utilizarán las siguientes técnicas:

#### **3.4.1. Entrevista**

Es de tipo no estructurada debido a que no se necesita tener por anticipado un formato de preguntas, esta aplicación se realizó teniendo como prioridad a los trabajadores del área involucrada, pretendiendo así obtener información requerida para el desarrollo de la investigación a través de las opiniones emitidas por los trabajadores (Rivero & Raul, 2016).

#### **3.4.2. Observación**

Se realizó mediante visitas al área donde se ejecutan las actividades con la finalidad de identificar, recabar y conocer la información necesaria para el desarrollo del trabajo de investigación, a través del contacto con las personas que ejecutan el mantenimiento e inspección del sistema (Rivero & Raul, 2016).

#### **3.4.3. Análisis documental**

Para el desarrollo de la investigación se revisó toda información documental relacionada con los equipos y máquinas del proceso de fabricación de detergentes en polvo, tales como historiales de mantenimiento, manuales, registros y otros documentos que contribuyeron con el desarrollo del proyecto de investigación. Así mismo se recabaron informaciones de los años anteriores con respecto al mantenimiento de equipos de la empresa.

#### **3.4.4. Revisión de bibliografía**

Gran parte de la investigación se sustentó en la revisión de registros manuales, informes, libros y otras fuentes bibliográficas que permitieron obtener información precisa durante la recolección de datos (Rivero & Raul, 2016).



### **3.5. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS**

Las técnicas que se aplicarán son de dos tipos, las de campo; debido a que se requiere acumular información primaria para después analizar y cuantificarla, y las bibliográficas; para obtener información de documentos y libros referentes al tema. Además, se usará información proveniente del internet para tener conocimiento de los últimos adelantos técnicos en este campo (Cornejo, 2017).

### **3.6. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN**

De acuerdo con Cornejo (2017) la metodología que se utilizará para la investigación del diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM para los equipos críticos de la empresa Intradevco Industrial S.A. Planta Detergentes Lurín, está constituido fundamentalmente de los siguientes pasos:

#### **3.6.1. Unidades de información**

“La unidad de observación, es aquella por medio de la cual se obtiene la información; es decir, es la unidad informante. “la unidad de investigación es aquella que contiene elementos que van a ser estudiados” Para dar respuesta a la unidad de investigación y cumplir con los objetivos” (Cornejo, 2017).

Para el desarrollo del proyecto de investigación se contó con la participación de los jefes de Mantenimiento, Supervisores de Proceso y personal técnico pertenecientes al equipo de estudio, llevando a cabo el desarrollo de la investigación en la Planta Industrial, tal y como se observa en la Tabla 1.

Cabe mencionar que todo el personal que contribuyó al desarrollo del proyecto de investigación es capacitado según sus funciones y así mismo son expertos en lo que se refiere a mantenimiento de proceso industrial de fabricación de detergentes en polvo.



**Tabla 1:** Personal Intradevco Industrial S.A. Planta Detergentes Lurín

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN	CARGO	N° DE ENTREVISTADOS
Jefatura de Planta	Jefe de Mantenimiento	2
	Jefe de Manufactura	1
Personal de Operación	Supervisor de Proceso	2
	Planificador de Mantenimiento	1
	Coordinador de Mantenimiento	1
	Técnico Electricista Industrial	2
	Técnico Mecánico Industrial	2
Total, de entrevistados		11

Elaboración Propia

### 3.6.2. Hoja de información

Los primeros cuatro pasos del RCM se acentúa en la hoja de información, es decir las funciones, fallas funcionales, modos de falla y los efectos de las fallas, el análisis sintetizado en esta hoja se denomina “Análisis de Modos y Efectos de Fallas” (AMEF) y se desarrolla previamente a la hoja de decisiones.

De acuerdo con Burga (2010) previamente a la realización del AMEF, elaboramos los criterios de análisis para la obtención del Número de Prioridad de Riesgo (NPR).

Considerando:

$$\mathbf{NPR = S * O * D} \dots \dots \dots \mathbf{(3.1)}$$

NPR >= 75            Alto (A)

75 > NPR >= 15      Medio (M)

15 > NPR              Bajo (B)



**Tabla 2:** Criterio de Severidad (S)

<b>(%) SEVERIDAD</b>		
<b>ITEM</b>	<b>CRITERIO</b>	<b>PONDERACIÓN</b>
1	Efecto en la seguridad, calidad o parada total del equipo.	<b>5</b>
2	Pérdida del rendimiento del equipo.	<b>3</b>
3	Sin efecto	<b>1</b>

Elaboración Propia

**Tabla 3:** Criterio de Ocurrencia (O)

<b>(%) OCURRENCIA</b>		
<b>ITEM</b>	<b>CRITERIO</b>	<b>PONDERACIÓN</b>
1	Se repite < 3 meses	<b>5</b>
2	Se repite entre 4 meses y 1 año	<b>3</b>
3	1 vez al año o a plazo más largo	<b>1</b>

Elaboración Propia

**Tabla 4:** Criterio de Detección (D)

<b>(%) DETECCIÓN</b>		
<b>ITEM</b>	<b>CRITERIO</b>	<b>PONDERACIÓN</b>
1	No se percata de la falla hasta que se tienen efectos y averías mayores.	<b>5</b>
2	Se da cuenta de la falla cuando tiene efecto, pero sin generar averías mayores.	<b>3</b>
3	Puede darse cuenta del modo de falla sin que falle teniendo efecto en el equipo.	<b>1</b>

Elaboración Propia

**Tabla 5: Hoja de información**

HOJA DE INFORMACIÓN	SISTEMA	Torre de Secado		RECOPILO POR	FECHA	HOJA	SEVERIDAD (%)	OCURRENCIA (%)	DETECCIÓN (%)	NPR
		SUB-SISTEMA	Quemador Generador de Aire Caliente							
NOMBRE DEL ACTIVO	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL (Pérdida de la Función)	MODO DE FALLA (Causa de la Falla)	EFEECTO DE FALLA (Que sucede cuando ocurre la Falla)	CONSECUENCIA DE LA FALLA					
Quemador Generador de Aire Caliente	1. Generar aire caliente a través de la combustión de gas natural y aire para alcanzar los 1000 a 1250°C de temperatura en el interior del quemador.	A. Ventilador primario del quemador es incapaz de suministrar aire para la generación de la combustión.	1.A.1. Bobinas del motor quemadas por falla en aislamiento.	El ventilador del quemador sale de servicio por operación del relé de protección del motor, provocando la parada total del proceso.	Parada del proceso, pérdidas productivas y costos de reparación.	5	1	3	15	
			1.A.2. Estator a tierra por entrada de polvo y humedad.	El ventilador del quemador sale de servicio por operación de la protección del motor, provocando la parada total del proceso.	Parada del proceso, pérdidas productivas y costos de reparación.	5	1	5	25	
			1.A.3. Guardamotor breakeado tripped por sobre carga.	Las hélices del ventilador son obstruidos por la caída de partículas de los refractarios del quemador causando la sobrecarga del motor.	Parada del proceso, pérdida de producción y horas hombre por reparación.	5	1	3	15	
			1.A.4. Deterioro y obstrucción de las persianas de ingreso de aire del ventilador.	Los residuos sólidos y el deterioro de la persiana obstruyen el paso para la absorción de aire del medio ambiente.	Mala calidad del producto base de Detergente y horas hombre por corregir la falla.	5	3	3	45	
		B. Caída o incremento de presión del Gas Natural con respecto al rango establecido de 3.5 a 4 BAR	1.B.1. Pérdida de presión de inyección del GLP al quemador inferior a 3.5BAR	Baja el calor en el quemador y incrementa la humedad y densidad en el producto base. Humedad en condiciones normales 3 a 5%	Baja la calidad del producto.	5	1	3	15	
			1.B.2. Incremento de presión de inyección del GLP al quemador superior a 4BAR	Incrementa el calor en el quemador y la densidad y humedad disminuye del producto base. Humedad en condiciones normales 3 a 5%	Baja la calidad del producto.	5	1	3	15	
			1.B.3. Filtros del gas natural obstruidos.	Imposible generar la primera llama de la combustión.	Pérdida de producción por parada total del proceso y horas hombre por corregir (limpieza de filtros)	5	1	5	25	
		C. Ventilador Secundario es incapaz de inyectar aire caliente de 300 a 450°C de temperatura al interior de la torre de secado.	1.C.1. Bobinas del motor quemadas por deterioro del aislamiento.	El ventilador sale de servicio por protección en el variador del motor, provocando la parada total del proceso.	Pérdida de producción y horas hombre por cambio del motor en backup.	5	1	5	25	
			1.C.2. Estator a tierra por presencia de polvo y humedad.	El ventilador secundario sale de servicio por detección de la falla en el variador de velocidad, provocando la parada total del proceso.	Pérdida de producción.	5	1	5	25	
			1.C.3. Ventilador forzado del motor no gira por problemas en la bobina.	Se activa la alarma del ventilador en la sala de control. Tiempo muerto para reemplazar por backup 30min.	Pérdida horas hombre y costos por reparación externo.	3	3	5	45	
			1.C.4. Altas vibraciones del motor.	Se genera el desalineamiento del eje del motor y el acoplamiento de la transmisión del eje con el ventilador.	Pérdida de producción y costos de reparación.	5	1	3	15	
		D. Sensor de temperatura es incapaz de enviar la señal de la medición al panel del controlador y scada.	1.D.1. Termocupla de la combustión del quemador fracturado o abierto.	Fractura por vibración o ruptura por golpe de partículas que caen de las paredes del quemador. Manda la señal de alarma al controlador y scada(sala de control)	No se visualiza la T° en el controlador y scada. Razón por la cual no es posible controlar la T° de la combustión.	5	1	5	25	
			1.D.2. Termocupla del intermedio del quemador se encuentra fracturado o abierto.	Manda la señal de falla al controlador (tablero)	No se logra la visualización de la temperatura en el controlador local.	1	1	5	5	
		E. Imposible generar la primera etapa de la llama.	1.E.1. Chispero o electrodo de encendido de la primera llama se encuentra averiado.	No se logra el encendido de la primera etapa de la llama, por ende, no inicia la segunda llama para la ignición en el hogar.	Pérdida de producción y horas hombre por reemplazo del repuesto.	5	3	5	75	
			1.E.2. Alejamiento del electrodo e inferior a 1cm con respecto al inyector de gas avivador de Chispa.	No se logra el encendido de la primera llama ya que la chispa generada por el electrodo no alcanza al gas proveniente del inyector de gas avivador de Chispa.	Pérdida de producción y horas hombre por regulación del chispero.	5	3	5	75	
		F. Sensor de Fotocelda ultravioleta C7927A 1016 HONEYWELL no detecta la presencia de la primera llama UV.	1.F.1. No hay señal en el sensor por soltura de los terminales.	El controlador Honeywell detecta la falla e imposibilita pasar a la segunda etapa de generación de llama a través del difusor y salida al hogar.	Pérdida de producción por el arranque del sistema de combustión y horas hombre por corregir la falla.	5	1	3	15	
			1.F.2. Obstrucción del sensor por presencia de polvo y partículas en la lente de la fotocelda.	El sensor no detecta la primera llama y el controlador Honeywell al detectar esta falla imposibilita pasar a la segunda etapa.	Pérdida de producción por el arranque del sistema de combustión y horas hombre por la limpieza de la fotocelda.	5	3	5	75	
			1.F.3. Sensor averiado.	Imposible generar la combustión.	Pérdida de producción por el arranque del sistema de combustión y horas hombre por el reemplazo del sensor de repuesto.	5	1	5	25	
		G. Válvulas de bloqueo Shut Off del tren de gas no abre para el pase del gas natural.	1.G.1. El sensor fotocelda no manda la señal (2 a 5V) al amplificador para ejecutar la segunda etapa.	Al no alcanzar el voltaje el programador no manda que se aperturen las válvulas Shut Off para la segunda llama o llama principal.	Pérdida de producción por el arranque del sistema de combustión y horas hombre por corregir la falla.	5	3	5	75	
			1.G.2. Conexiones de señal flojas o sulfatadas en las válvulas reguladoras.	No apertura las válvulas Shut Off	Pérdidas productivas por el arranque del quemador y horas hombre por limpieza y ajuste de contactos y conexiones.	5	1	1	5	
		H. Sistema de articulación de levas del quemador descalibradas.	1.H.1. Sistema de articulación del regulador de ingreso de aire/gas descalibrados.	Combustión deficiente y mala calidad de la llama principal salida al hogar.	Mala calidad del producto base de Detergente y horas hombre por regular el sistema de articulación de levas.	5	5	3	75	
			1.H.2. Falta de lubricación de la articulación de levas.	Deficiencia con la regulación de entrada de aire/gas en la articulación de levas.	Pérdida de producción por el arranque del sistema de combustión y horas hombre por lubricación y ajustes.	3	5	3	45	
		I. Errores humanos	1.I.1. Falta por mal mantenimiento o mala operación del quemador.	Procedimientos de mantenimiento y operación inadecuados por el personal de Mantenimiento y Operaciones.	Deficiente calidad del producto base y costos por reparación.	5	1	3	15	

Elaboración Propia

### 3.6.3. Análisis de criticidad

Son técnicas que nos permiten identificar y jerarquizar por su criticidad los activos del proceso de fabricación sobre los cuales se acentúa los recursos humanos, tecnológicos y económicos. En el proceso de fabricación de Detergentes en polvo existen equipos que son fundamentales para el correcto funcionamiento del proceso y los cuales necesitan una atención en cuanto se refiere al mantenimiento para una determinada confiabilidad. En tanto el análisis de criticidad ayuda a la identificación de los equipos críticos.

El análisis de criticidad de equipos es la herramienta que permitió asentar los niveles jerárquicos de los equipos en función del impacto global que generan, así mismo estableció una orden de prioridades de mantenimiento para los equipos críticos.

### 3.6.4. Matriz de criticidad

Se consideran las probabilidades de falla y los niveles de severidad.

**Tabla 6:** Matriz de criticidad

PROBABILIDAD	1	C	C	C	B	A
	2	C	C	B	B	A
	3	C	B	B	A	A
	4	B	B	A	A	A
	5	B	B	A	A	A
		10	20	30	40	50
NIVEL DE SEVERIDAD						

Elaboración propia

### 3.6.5. Criterios de evaluación para la matriz de criticidad de equipos

Considerando los criterios de la tabla se obtendrá los elementos más críticos de los subsistemas que conforma el proceso de fabricación de Detergentes en Polvo:

**Tabla 7:** Criterios de probabilidad de falla

<b>PROBABILIDAD DE FALLA</b>		
<b>ITEM</b>	<b>CRITERIO</b>	<b>PONDERACIÓN</b>
1	El equipo podría tener más de 6 fallas en el año.	<b>5</b>
2	El equipo podría tener 4 a 6 fallas en el año.	<b>4</b>
3	El equipo podría tener 2 o 3 fallas en el año.	<b>3</b>
4	El equipo podría tener 1 falla en el año.	<b>2</b>
5	El equipo podría tener 1 falla en el periodo mayor a un año.	<b>1</b>

Elaboración propia

**Tabla 8:** Criterios de impacto operacional

<b>SU FALLA AFECTA A LA FUNCIÓN DE LA LÍNEA</b>		
<b>ITEM</b>	<b>CRITERIO</b>	<b>PONDERACIÓN</b>
1	Si para el equipo.	<b>5</b>
2	No para el equipo, pero si reduce la capacidad del equipo.	<b>3</b>
3	No para el equipo y no reduce la capacidad del equipo.	<b>0</b>

Elaboración propia

**Tabla 9:** Criterios de impacto por flexibilidad operacional

<b>TIEMPO DE REPARACIÓN Y LOGÍSTICA</b>		
<b>ITEM</b>	<b>CRITERIO</b>	<b>PONDERACIÓN</b>
1	Si el tiempo de reparación y logística es mayor a 8 horas	<b>5</b>
2	Si el tiempo de reparación y logística es entre 4 a 8 horas	<b>3</b>
3	Si el tiempo de reparación y logística es menor a 4 horas	<b>1</b>

Elaboración propia

**Tabla 10:** Criterios de impacto en costes de mantenimiento

<b>COSTOS DE REPARACIÓN</b>		
<b>ITEM</b>	<b>CRITERIO</b>	<b>PONDERACIÓN</b>
1	Costos de reparación, materiales y mano de obra > \$ 2000	<b>5</b>
2	Costos de reparación, materiales y mano de obra entre \$ 500 a \$ 2000	<b>3</b>
3	Costos de reparación, materiales y mano de obra < \$ 500	<b>1</b>

Elaboración propia

**Tabla 11:** Criterios de impacto de seguridad

<b>SU FALLA AFECTA A LA SEGURIDAD DE LAS PERSONAS</b>		
<b>ITEM</b>	<b>CRITERIO</b>	<b>PONDERACIÓN</b>
1	Si afecta la seguridad de las personas	<b>5</b>
2	No afecta la seguridad de las personas	<b>0</b>

Elaboración propia

**Tabla 12:** Criterios de evidencia

<b>SU FALLA ES EVIDENTE PARA EL OPERARIO</b>		
<b>ITEM</b>	<b>CRITERIO</b>	<b>PONDERACIÓN</b>
1	Si es evidente para el operario	<b>5</b>
2	No es evidente para el operario	<b>0</b>

Elaboración propia

### 3.6.6. Indicadores de gestión

“Cuando se analiza un proceso, se observan diversos estados en los cuales la productividad se encuentra dentro de los parámetros aceptables por la empresa, o, por el contrario, periodos donde la productividad es nula, los cuales están relacionados directamente con la existencia o no de estados de falla en el sistema. Para definir estos estados de falla, han surgidos diferentes parámetros que vinculan el estado de falla con la periodicidad de ocurrencia. A continuación, se presentan los parámetros principales que definen cada estado de falla” (Rivero & Raul, 2016).





### 3.6.6.1. Tiempo medio entre fallas (MTBF)

De acuerdo con Alberto & Adolfo (2016) es el tiempo medio que transcurre entre dos averías consecutivas, es decir, cada cuántas horas de operación se produce una avería.

Se calcula de la siguiente forma:

$$MTBF \text{ (Horas)} = \frac{\text{Tiempo Operacional}}{\text{N}^\circ \text{ Averías}} \dots \dots \dots (3.2)$$

Da una idea de la mejora técnica que se puede producir en el funcionamiento global del equipo y es el parámetro que mejor refleja el comportamiento del componente que estemos midiendo (Alberto & Adolfo, 2016).

### 3.6.6.2. Tiempo medio de reparación (MTTR)

Es el tiempo medio que se encuentra parada la Máquina (o la Línea o factoría). Se calcula de la siguiente forma:

$$MTTR \text{ (Horas)} = \frac{\text{Horas de avería}}{\text{N}^\circ \text{ Averías}} \dots \dots \dots (3.3)$$

Da una idea de la efectividad de los servicios de mantenimiento en la solución de averías, así como en su dificultad técnica (Mantenibilidad) (Alberto & Adolfo, 2016).

### 3.6.6.3. Disponibilidad

De acuerdo con Gutiérrez (2015) la disponibilidad se define la probabilidad de que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables, donde el tiempo total considerado incluye el tiempo de operación, el tiempo activo de reparación, el tiempo inactivo, el tiempo en mantenimiento preventivo (en algunos casos), el tiempo administrativo, el tiempo de funcionamiento sin producir y el tiempo logístico. La relación de disponibilidad es como sigue:



$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Confiabilidad}}{\text{Confiabilidad} + \text{Mantenibilidad}} \dots \dots \dots (3.4)$$

“Es una característica que resume cuantitativamente el perfil de funcionalidad de un equipo. La mayoría de los usuarios aseguran que necesitan la disponibilidad de un equipo tanto como la seguridad. Hay varios métodos para lograrlo, y uno es construir un equipo que cuando falle sea fácil de recuperar, y el otro es que sean confiables y, por lo tanto, demasiado costosos” (Gutiérrez, 2015).

### 3.6.7. Distribución de weibull

El modelo probabilístico de Weibull es muy flexible, pues la ley tiene tres parámetros que permiten “ajustar” correctamente toda clase de resultados experimentales y operacionales. Contrariamente al modelo exponencial, la ley de Weibull cubre los casos en que la tasa de fallo  $\lambda$  es variable y permite por tanto ajustarse a los períodos de “juventud” y a las diferentes formas de “envejecimiento” (Burga, 2010).

“La distribución de Weibull complementa a la distribución exponencial y a la normal, que son casos particulares de aquella, como veremos. A causa de su mayor complejidad sólo se usa cuando se sabe de antemano que una de ellas es la que mejor describe la distribución de fallos o cuando se han producido muchos fallos (al menos 10) y los tiempos correspondientes no se ajustan a una distribución más simple” (Cornejo, 2017).

De acuerdo con Pino (1994) la distribución de Weibull se representa normalmente por la función acumulativa de distribución de fallos  $F(t)$ :

$$F(t) = 1 - e \left[ - \left( \frac{t - t_0}{\eta} \right)^\beta \right] \dots \dots \dots (3.5)$$

Siendo la función densidad de probabilidad:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t - t_0}{\eta} \right)^{\beta-1} e \left[ - \left( \frac{t - t_0}{\eta} \right)^\beta \right] \dots \dots \dots (3.6)$$

Según el autor Pino (1994) la tasa de fallos para esta distribución es:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t - t_0}{\eta} \right)^{\beta-1} \dots \dots \dots (3.7)$$

Según el autor Pino (1994) las ecuaciones (3.5), (3.6) y (3.7) sólo se aplican para valores de  $(t - t_0) \geq 0$ . Para valores de  $(t - t_0) < 0$ , las funciones de densidad y la tasa de fallos valen 0. Las constantes que aparecen en las expresiones anteriores tienen una interpretación física:

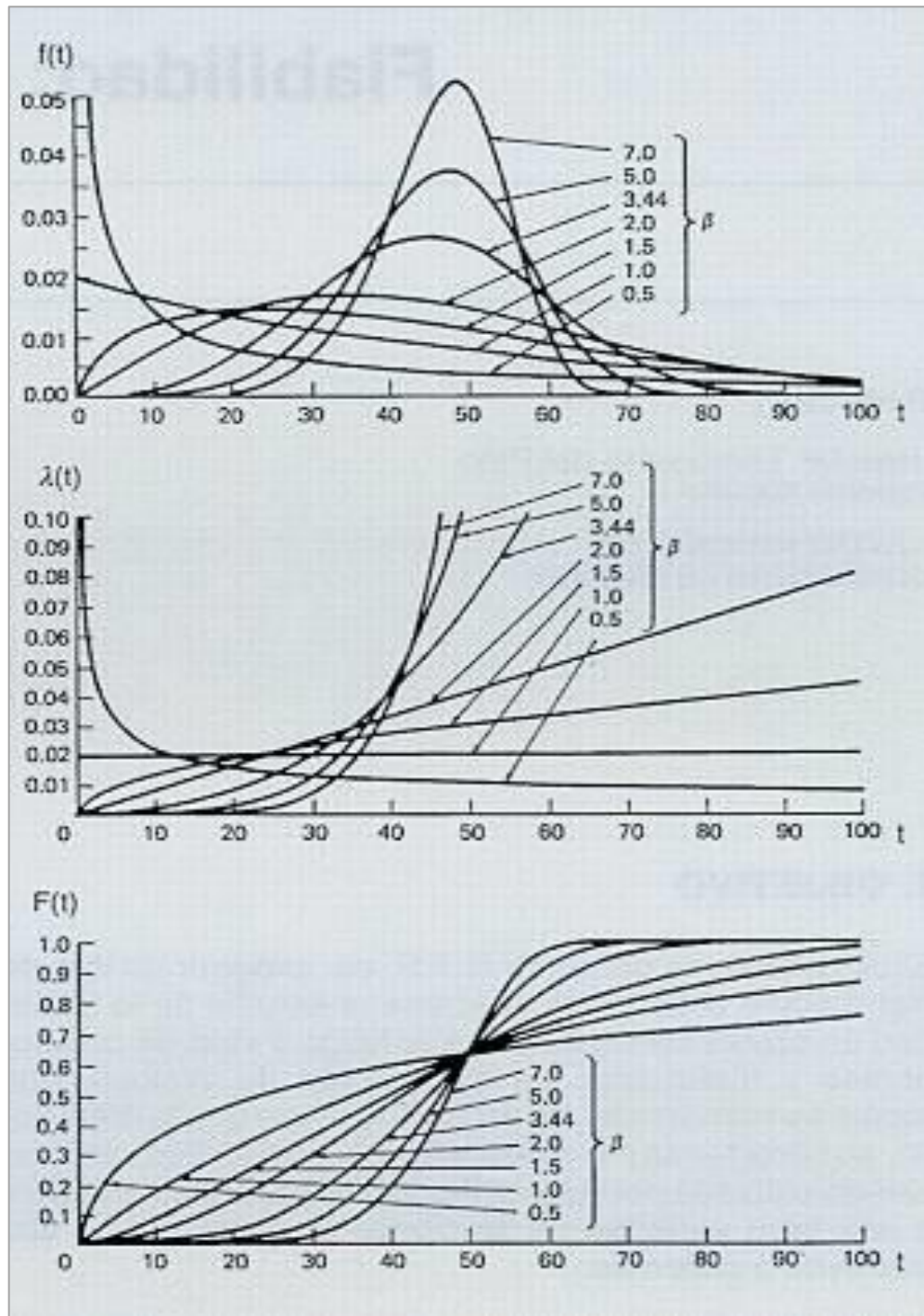
- **t<sub>0</sub>**: es el parámetro de posición (unidad de tiempos) 0 vida mínima y define el punto de partida u origen de la distribución.
- **η**: es el parámetro de escala, extensión de la distribución a lo largo, del eje de los tiempos. Cuando  $(t - t_0) = \eta$  la fiabilidad viene dada por:  $R(t) = \exp - (1)^\beta = 1/\exp 1^\beta = 1 / 2,718 = 0,368$  (36,8%)

Entonces la constante representa también el tiempo, medido a partir de  $t_0 = 0$ , según lo cual dado que  $F(t) = 1 - 0,368 = 0,632$ , el 63,2 % de la población se espera que falle, cualquiera que sea el valor de  $\beta$  ya que como hemos visto su valor no influye en los cálculos realizados. Por esta razón también se le llama usualmente vida característica.

- **β**: es el parámetro de forma y representa la pendiente de la recta describiendo el grado de variación de la tasa de fallos (Pino, 1994).

“Las variaciones de la densidad de probabilidad  $f(t)$ , tasa de fallos ( $\lambda$ ) y función acumulativa de fallos  $F(t)$  en función del tiempo para los distintos valores de  $\beta$ , están representados gráficamente en la figura 29” (Pino, 1994).

**Figura 27:** Densidad de probabilidad  $f(t)$ , Tasa de fallos ( $\lambda$ ) y Función acumulativa de fallos  $F(t)$



**FUENTE:** (Pino, 1994)

De acuerdo con Pino (1994) en el estudio de la distribución se pueden dar las siguientes combinaciones de los parámetros de Weibull con mecanismos de fallo particulares:



- a.  **$t_0 = 0$** : el mecanismo no tiene una duración de fiabilidad intrínseca, y:
- si  $\beta < 1$**  la tasa de fallos disminuye con la edad sin llegar a cero, por lo que podemos suponer que nos encontramos en la juventud del componente con un margen de seguridad bajo, dando lugar a fallos por tensión de rotura.
  - si  $\beta = 1$**  la tasa de fallo se mantiene constante siempre lo que nos indica una característica de fallos aleatoria o pseudo- aleatoria. En este caso nos encontramos que la distribución de Weibull es igual a la exponencial.
  - si  $\beta > 1$**  la tasa de fallo se incrementa con la edad de forma continua lo que indica que los desgastes empiezan en el momento en que el mecanismo se pone en servicio.
  - si  $\beta = 3,44$**  se cumple que la media es igual a la mediana y la distribución de Weibull es sensiblemente igual a la normal (Pino, 1994).
- b.  **$t_0 > 0$** : El mecanismo es intrínsecamente fiable desde el momento en que fue puesto en servicio hasta que  $t = t_0$ , y, además:
- si  $\beta < 1$**  hay fatiga u otro tipo de desgaste en el que la tasa de fallo disminuye con el tiempo después de un súbito incremento hasta  $t_0$ ; valores de  $\beta$  bajos ( $\sim 0,5$ ) pueden asociarse con ciclos de fatigas bajos y los valores de  $\beta$  más elevados ( $\sim 0,8$ ) con ciclos más altos.
  - si  $\beta > 1$**  hay una erosión o desgaste similar en la que la constante de duración de carga disminuye continuamente con el incremento de la carga (Pino, 1994).
- c.  **$t_0 < 0$** : Indica que el mecanismo fue utilizado o tuvo fallos antes de iniciar la toma de datos, de otro modo
- si  $\beta < 1$**  podría tratarse de un fallo de juventud antes de su puesta en servicio, como resultado de un margen de seguridad bajo.

si  $\beta > 1$  se trata de un desgaste por una disminución constante de la resistencia iniciado antes de su puesta en servicio, por ejemplo, debido a una vida propia limitada que ha finalizado o era inadecuada (Pino, 1994).

### 3.6.8.1. Distribución weibull de dos parámetros

“Es una distribución flexible donde su tasa de falla puede ser decreciente, constante o creciente dependiendo de sus parámetros. Normalmente se define con dos parámetros: el parámetro de forma  $\beta$  que tiene efecto sobre la forma de la distribución y el parámetro de escala  $\eta$  que afecta la escala del tiempo de vida” (Cornejo, 2017).

“La teoría de valores extremos demuestra que la distribución de Weibull se puede utilizar para modelar el mínimo de una gran cantidad de variables aleatorias positivas independientes de cierta distribución: tales como falla de un sistema con una gran cantidad de componentes en serie y con los mecanismos de falla aproximadamente independientes en cada componente” (Cornejo, 2017).

De acuerdo con Cornejo (2017) sus funciones básicas son:

Distribución de densidad de probabilidad:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (3.8)$$

Distribución de función acumulada de fallos (Infiabilidad):

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (3.9)$$

Distribución acumulada inversa (Confiabilidad):

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (3.10)$$

Función de riesgo:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (3.11)$$

### 3.6.8.2. Distribución weibull de tres parámetros

“En ocasiones las fallas no empiezan a observarse desde el tiempo cero sino hasta después de un periodo  $\gamma$ , es decir hasta después de este tiempo la probabilidad de falla es mayor a cero. Para esto se introduce en la distribución un parámetro de localización que recorre el inicio de la distribución a la derecha, quedando las funciones de densidad, de distribución, de confiabilidad y de riesgo para la distribución de Weibull  $(\beta, \eta, \gamma)$  como sigue a continuación:” (Cornejo, 2017)

Distribución de densidad de probabilidad:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad (3.12)$$

Distribución de función acumulada de fallos (Infiabilidad):

$$F(t) = 1 - e^{-\left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad (3.13)$$

Distribución acumulada inversa (Confiabilidad):

$$R(t) = e^{-\left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad (3.14)$$

Función de riesgo:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (3.15)$$

Al determinar los tres parámetros de la distribución de Weibull utilizando tablas, nos permite evaluar el Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF) y la desviación típica y sí mismo para determinar el tipo de fallo es indispensable conocer el valor del parámetro de forma ( $\beta$ ).

### 3.6.8.3. Estimación de rangos medianos

Para poder plasmar el gráfico de Weibull es necesario comenzar con el cálculo del rango medio o mediana según el tamaño de la muestra como indica la fórmula de Bernard (Burga, 2010).

Para muestras mayores a veinte datos:

$$F(t_i) = \left( \frac{i}{n+1} \right) \quad (3.16)$$

Para muestras menores a veinte datos:

$$F(t_i) = \left( \frac{i-0.3}{n+0.4} \right) \quad (3.17)$$

En donde:

n: Tamaño de la muestra.

i: Número de orden de la falla.

### 3.6.8.4. Tiempo medio entre fallas (MTBF)

Es el tiempo entre fallos o vida media y se calcula con ayuda mediante la aplicación de una tabla, que nos da los valores de Gamma y lo relaciona de la siguiente manera: (Burga, 2010).

$$E(t) = \text{MTBF} = \eta \gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (3.18)$$

- Si  $\beta=1$ ,  $\text{MTBF}=\eta$ , es una distribución exponencial.
- Si  $\beta>1$ ,  $\text{MTBF}$  es menor que el parámetro de escala ( $\eta$ )
- Si  $\beta<1$ ,  $\text{MTBF}$  es mayor que el parámetro de escala ( $\eta$ )
- Si  $\beta=0.5$ ,  $\text{MTBF}=2\eta$

$\eta$  es definida como la edad al cual el 63.02% de los equipos puede fallar.



Según los valores que tome el parámetro de forma ( $\beta$ ) la tasa de riesgo tendrá comportamientos diferentes (curva de la bañera. figura 25)

- Cuando  $\beta < 1$ , tasa de fallos decreciente (fallas infantiles)
- Cuando  $\beta = 1$ , tasa de fallos constante (fallas aleatorias)
- Cuando  $\beta > 1$ , tasa de fallos creciente (fallas por desgaste)

El tiempo medio entre fallos o vida media se calcula con la ayuda de la Tabla 13 (Pino, 1994).

**Tabla 13:** Tabla de Fiabilidad

LEY DE WEIBULL:

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp \left[ - \left( \frac{t}{\eta} \right)^\beta \right]$$

$$MTBF = m = E(t) = \eta \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \qquad \sigma^2 = \eta^2 \left[ \Gamma \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) - \Gamma^2 \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \right]$$

$\beta$	$m/\eta = \Gamma(1+1/\beta)$	$\sigma/\eta$	$\beta$	$m/\eta = \Gamma(1+1/\beta)$	$\sigma/\eta$
0	$\infty$	$\infty$	2,0	0,8862	0,463
0,1	10!	$\sqrt{20! - (10!)^2}$	2,1	0,8857	0,44
0,2	120	1901	2,2	0,8856	0,42
0,3	9,2605	47	2,3	0,8859	0,41
0,4	3,3234	10,43	2,4	0,8865	0,39
0,5	2,0000	4,472	2,5	0,8873	0,38
0,6	1,5046	2,645	2,6	0,8882	0,37
0,7	1,2658	1,851	2,7	0,8893	0,36
0,8	1,1330	1,428	2,8	0,8905	0,34
0,9	1,0522	1,171	2,9	0,8917	0,33
1,0	1,0000	1,000	3,0	0,8938	0,32
1,1	0,0649	0,878	3,1	0,8943	0,315
1,2	0,9407	0,785	3,2	0,8957	0,31
1,3	0,9235	0,716	3,3	0,8970	0,30
1,4	0,9114	0,659	3,4	0,8984	0,29
1,5	0,9028	0,613	3,5	0,8998	0,28
1,6	0,8966	0,594	3,6	0,9011	0,27
1,7	0,8922	0,530	3,8	0,9038	0,26
1,8	0,8893	0,512	4,0	0,9064	0,25
1,9	0,8874	0,486			

FUENTE: (Pino, 1994)

### 3.6.9. Árbol lógico de decisiones del RCM

“Una vez realizado el análisis de modos y efecto de falla (AMEF), el equipo natural de trabajo, deberá seleccionar el tipo de actividad de mantenimiento que ayude a prevenir la aparición de cada modo de falla previamente identificado, a partir del árbol lógico de decisión del RCM (herramienta diseñada por el RCM, que permite seleccionar el tipo de actividad de mantenimiento más adecuada para evitar los posibles efectos de cada modo de falla)” (Urquizo, 2015).

“Luego de seleccionar el tipo de actividad de mantenimiento a partir del árbol lógico de decisión, se tiene que especificar la acción de mantenimiento a ejecutar asociada al tipo actividad de mantenimiento seleccionada, con su respectiva frecuencia de ejecución, teniendo en cuenta que uno de los objetivos principales del RCM es evitar o al menos reducir las posibles consecuencias a la seguridad humana, el ambiente y a las operaciones, que traerán consigo la aparición de los distintos modos de falla. El equipo de trabajo debe de identificar el tipo de actividad de mantenimiento, apoyándose en el árbol lógico del RCM. Tras seleccionar el tipo de actividad adecuada, se procede a especificar la acción de mantenimiento concreta a ejecutar y la frecuencia de ejecución de la misma” (Urquizo, 2015).

“El RCM clasifica las actividades de mantenimiento en dos grandes grupos: las actividades preventivas (proactivas) y las actividades correctivas, estas últimas, se ejecutarán solo en el caso de no encontrar una actividad efectiva de mantenimiento preventivo. Cada grupo de actividades de mantenimiento tiene su respectivo tipo de tareas de mantenimiento” (Urquizo, 2015).

A continuación, se muestra el diagrama de decisión o árbol lógico de decisiones del RCM.

Figura 28: Árbol de decisión RCM

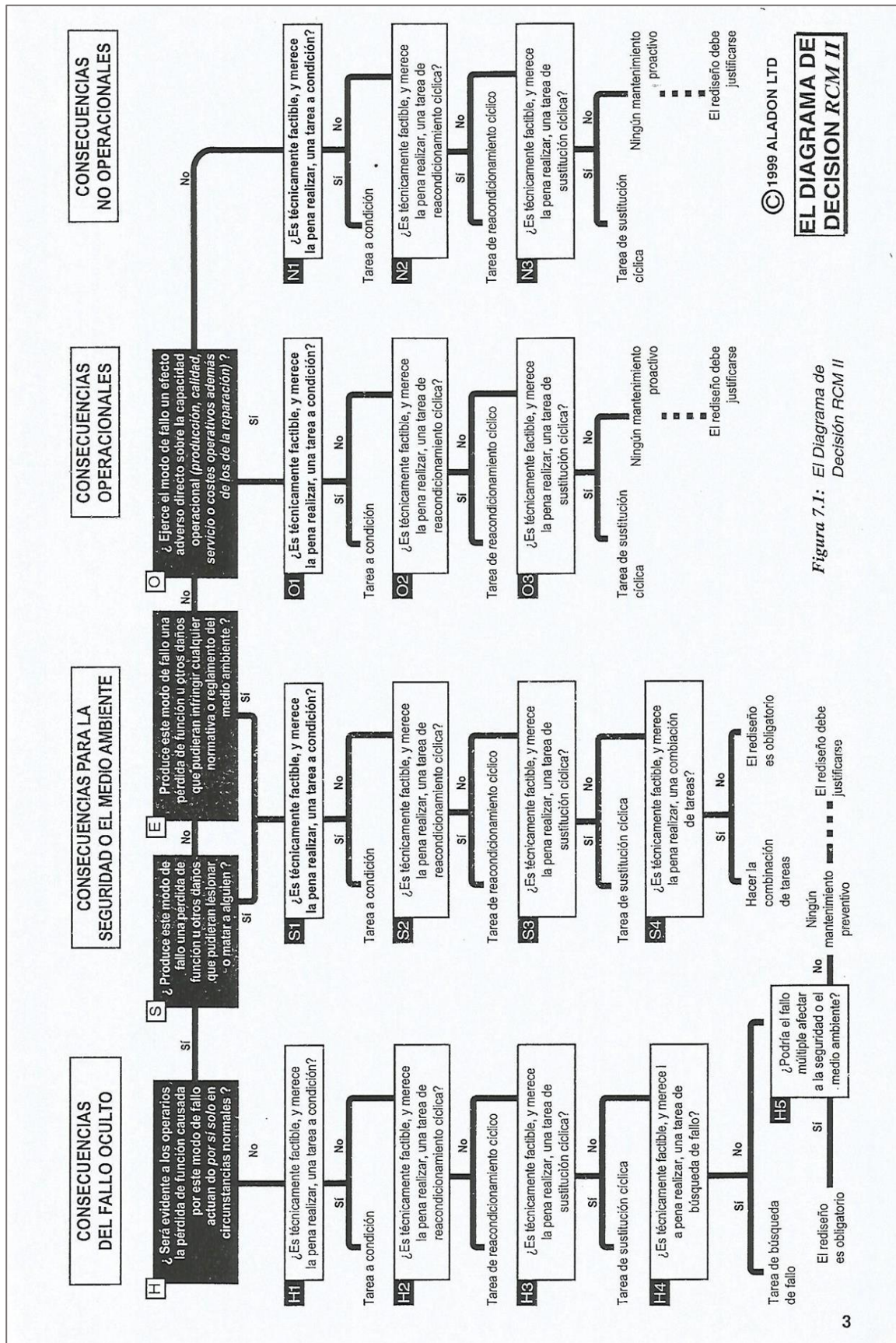


Figura 7.1: El Diagrama de Decisión RCM II

© 1999 ALADON LTD

EL DIAGRAMA DE DECISION RCM II

FUENTE: (Moubray, 2004)



### 3.6.10. Hoja de decisión

De acuerdo con Moubray (2004) la hoja de decisión de RCM se observa en la Tabla 14 que integra todos los procesos de decisión en una estructura estratégica única y se aplica a cada uno de los modos de falla críticos según la determinación del NPR listados en la Hoja de Información RCM para los equipos críticos.

**Tabla 14:** Hoja de decisión RCM

SISTEMA	Sistema N°	Facilitador:	Fecha	Hoja N°
	SUBSISTEMA	Subsistema N°	Auditor:	de
<b>Tarea Propuesta</b>				
<b>HOJA DE DECISION RCMII</b> © 1990 ALADON LTD	Referencia de Información F FF IFM H S E O	Evaluación de las consecuencias H1 S1 O1 N1 H2 S2 O2 N2 H3 S3 O3 N3	Acción a falta de	
			H4	H5
			Intervalo inicial	A realizarse por

FUENTE: (Moubray, 2004)



De acuerdo con Burga (2010) es en esta etapa del análisis en la cual finalmente se integran las consecuencias y las tareas, y es en esta etapa en la que podremos responder a las últimas 3 preguntas de la metodología del RCM:

- ¿Qué importa si falla?
- ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse en caso de no encontrar una tarea proactivamente apropiada? (Burga, 2010).

En la tabla 14 se muestra la hoja de decisiones el cual es uno de los documentos centrales utilizados en la metodología. El uso de la hoja de decisiones permite asentar respuestas a las preguntas formuladas en el árbol de decisiones, y en función de dichas respuestas registrar: (Burga, 2010)

- Qué tipo de mantenimiento de rutina se va a efectuar (si la hay), la frecuencia con la que se realizará (distribución de Weibull) y el responsable de la ejecución (OP: operario, MEC: mecánico, ELEC: electricista, INST: instrumentista o tercero por contrato); es en este punto en que empleando los datos de vida de los equipos al hallar sus factores característicos de la vida útil (Burga, 2010).
- Qué fallas son tan serias que justifican el rediseño; estas tareas serán derivadas al personal de Ingeniería de Mantenimiento para su aprobación, ejecución y control (Burga, 2010).
- Decidir en la aplicación del Run-to fail (correr a la falla) (Burga, 2010).

De acuerdo con Burga (2010) la hoja de decisión está dividida en 16 columnas. Las primeras tres columnas F, FF, y FM identifican el modo de falla que se analizan en esa línea. Se utilizan para correlacionar las referencias de las Hojas de información y las



Hojas de decisión. Los encabezamientos de las siguientes diez columnas se refieren a las preguntas del árbol de decisiones (ver figura 30), de manera que:

- Las columnas tituladas H, S, E, O y N son utilizadas para registrar las respuestas a las preguntas concernientes a las consecuencias de los modos de falla, colocando S o N (Sí o No según aplique) (Burga, 2010).
- Las columnas (tituladas H1, H2, H3, etc.) registran si ha sido seleccionada una tarea proactiva, y si es así, que tipo de tarea (Burga, 2010).
- Si se hace necesario responder a cualquiera de las preguntas “a falta de”, las columnas H4, H5 y S4 son las que permiten registrar esas respuestas, colocando S o N (Sí o No según aplique) (Burga, 2010)
- Las últimas tres columnas registran la tarea que ha sido seleccionada (si la hay), la frecuencia en la que debe hacerse, y quién ha sido seleccionado para realizarla (Burga, 2010).
- La columna de tarea propuesta también se utiliza para colocar actividades de “rediseño”, o si se decidió que el modo de fallo sea tratado Run-to fail (Burga, 2010).

### **3.7. PROCESAMIENTO DE DATOS**

Para nuestro proyecto de investigación contaremos con varias variables o parámetros y que se podrá consolidar entre los variables independientes y las variables dependientes. Para el trabajo de investigación se consideran las variables que a continuación se describe.

- Variables independientes: Gestión de Mantenimiento.
- Variables dependientes: Fallas mecánicas, eléctricas, control e instrumentación.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 4.1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

En el presente capítulo se obtiene los resultados de los objetivos planteados en el proyecto de investigación con la aplicación de la metodología basada en RCM y en relación a las dimensiones en las cuales se desglosa la variable operacional gestión de mantenimiento preventivo.

El proceso de fabricación de Detergentes en Polvo está conformado por sistemas y sub sistemas, en la Tabla 15, se detalla claramente los componentes que integran el sub sistema.

**Tabla 15:** Sub sistema del proceso de fabricación de detergentes en polvo

ITEM	DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE	CÓDIGO
1	Tolva de almacenamiento de sulfato	TV-1501
2	Tolva de almacenamiento de STTP Tripolifosfato	TV-1502
3	Tolva de almacenamiento de carbonato	TV-1503
4	Tolva de almacenamiento de polvos menores	TV-1504
5	Extractor de polvos de Materia Prima	EX-1501
6	Tornillo de carga de sulfato	TR-1401
7	Tornillo de carga de STTP Tripolifosfato	TR-1402
8	Tornillo de carga de carbonato	TR-1403
9	Tornillo de carga de polvos menores	TR-1404
10	Balanza automática de sulfato	BA-1401
11	Balanza automática de STTP + Carbonato	BA-1402
12	Balanza automática de polvos menores	BA-1403
13	Tornillo de descarga tolva de pesaje de sulfato	TR-1301
14	Tornillo de descarga tolva de pesaje STTP + Carbonato	TR-1302
15	Tornillo de descarga tolva de pesaje de polvos menores	TR-1303
16	Tornillo de descarga Mayor (Gusano Mayor)	TR-1304
17	Balanza automática de líquidos	BA-1301
18	Balanza automática de ácido sulfónico	BA-1302
19	Batidora "A" (Crutcher "A")	BT-1301A
20	Batidora "B" (Crutcher "B")	BT-1301B



(Continuación...)

21	Agitador autolimpiante	TQ-1201
22	Filtro magnético	FI-1201
23	Agitador Tanque intermedio (envejecimiento)	TQ-1202
24	Bomba filtro A1	A1
25	Bomba filtro A2	A2
26	Bomba filtro B1	B1
27	Bomba filtro B2	B2
28	Bomba de Baja Presión A	BO-1113A
29	Bomba de Baja Presión B	BO-1113B
30	Bomba de Alta Presión A	BO-1115A
31	Bomba de Alta Presión B	BO-1115B
32	Ventilador Primario	QE-1101
33	Ventilador Secundario	VE-1101
34	Multiciclones para aire escape #1	MC-1601
35	Tolva de recuperación de grano fino	TV-1509
36	Ventilador de polvos finos calientes	VE-1201
37	Ventilador de escape #1	VE-1601
38	Hidrociclón HC-1601A	HC-1601A
39	Hidrociclón HC-1601B	HC-1601B
40	Bomba recirculación de agua BO-1601	BO-1601
41	Bomba recirculación de agua BO-1602	BO-1602
42	Multiciclones para aire escape #2	MC-1401
43	Ventilador de polvos finos calientes 01	VE-1402
44	Ventilador de polvos finos calientes 02	VE-1403
45	Ventilador de escape #2	VE-1401
46	Hidrociclón HC-1401A	HC-1401A
47	Hidrociclón HC-1401B	HC-1401B
48	Bomba recirculación de agua BO-1401	BO-1401
49	Bomba recirculación de agua BO-1402	BO-1402
50	Bomba recirculación de agua BO-1403	BO-1403
51	Winche limpiador de Torre	WI-1201
52	Faja Caída de Producto	FA-1101
53	Ventilador elevador de producto	VE-1602
54	Zaranda Tamiz Sweco vibrador 01	ZA-1501
55	Zaranda Tamiz Sweco vibrador 02	ZA-1502
56	Balanza automática Detergente Base Faja madre	BA-1404
57	Faja de puntos azules	FA-1401
58	Mezclador de puntos azules	ME-1502
59	Extractor de puntos azules	EX-1502
60	Mezclador horizontal de Polvo Detergente (Mixer)	ME-1301
61	Bomba dosificadora de perfume #1	BO-1301
62	Bomba dosificadora no iónica	BO-1302
63	Bomba dosificadora de perfume #3	BO-1303
64	Balanza automática de coches #1	PB-0002
65	Balanza automática de coches #2	PB-0003

Elaboración propia





#### **4.2. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)**

El AMEF documentará el conocimiento existente y las medidas a tomar sobre riesgos o fallos que deben ser usadas para lograr una mejor toma de decisión.

El propósito o la finalidad del análisis de modos y efectos de falla es eliminar o mitigar los fallos que se presentan en los equipos o máquinas, comenzando por los equipos del proceso que tienen una prioridad más alta. Se puede también utilizar para evaluar las prioridades de la gestión del riesgo. El AMEF ayuda a seleccionar soluciones que mitiguen los impactos acumulativos de las consecuencias de falla del ciclo de vida de un proceso de fabricación.

Al término del AMEF se identificará aquellos modos de fallas con mayores riesgos y que impacten al ámbito medio ambiental, seguridad, operación costos y proceso. Este riesgo se cuantifica mediante un indicador llamado Número de Prioridad de Riesgo (NPR).

El primer paso para analizar el riesgo es cuantificar la gravedad o severidad de los efectos, dicha severidad se cuantificará, con una escala de 1, 3 y 5, como indica en la tabla 2. Seguidamente se analizará la ocurrencia que indica la probabilidad que ocurre una causa y resulte durante la vida útil de un producto, dicha ocurrencia se cuantificará, con una escala de 1, 3 y 5, como indica en la Tabla 3. Y por último se evaluará la detección la cual evalúa la probabilidad que un control vigente detecte la causa de un modo de falla o el modo de falla en sí mismo, dicha detección se cuantificará, con una escala de 1, 3 y 5, como indica en la Tabla 4.

Para aplicar la metodología del RCM al proceso de fabricación de detergente en polvo de la empresa INTRADEVCO INDUSTRIAL S.A. – Lurín, se realizó el AMEF a todos los sub sistemas como a continuación se detalla:

**Tabla 16: AMEF Pre adición**

HOJA DE INFORMACIÓN	SISTEMA	Pre - adición		RECOPIADO POR	FECHA	HOJA	SEVERIDAD (%)	OCURRENCIA (%)	DETECCIÓN (%)	NPR
	SUB-SISTEMA	Componentes		R.Ochoa Y.	2021	1				
NOMBRE DEL ACTIVO	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL (Pérdida de la Función)	MODO DE FALLA (Causa de la Falla)	EFEECTO DE FALLA (Que sucede cuando ocurre la Falla)	CONSECUENCIA DE LA FALLA					
Pre - Adición	1. Descargar materia sólida y líquida al proceso de Batido en los Crutchers "A" y "B"	A. Tecla de maniobras de Jumbos es incapaz de cumplir su función.	1.A.1. Bobinas del motor abiertas por bajo aislamiento.	El tecla sale de servicio por apertura de contactos en el guardamotor, provocando la parada de la carga del insumo sólido a las tolvas.	Pérdidas productivas, horas hombre y costos por reparación.	5	1	5	25	
			1.A.2. Desgaste de polines.	Se genera una sobrecarga en el motor o trabamiento del tecla.	Pérdidas productivas, horas hombre y costos por reparación.	3	1	1	3	
			1.A.3. Ruptura de trolley del tecla eléctrico por desgaste.	El tecla sale de servicio.	Pérdidas productivas, horas hombre y costos por reparación.	5	1	1	5	
			1.A.4. Rodamiento de la polea defectuosos.	Se genera la sobrecarga en el motor y por ende se abre los contactos del guardamotor por protección.	Pérdidas productivas, horas hombre y costos por reparación.	5	1	5	25	
			1.A.5. Ruptura de la cadena de maniobras del tecla por desgaste y deterioro.	El tecla sale de servicio.	Pérdida productivas y horas hombre por revisión y remplazo de cadena nueva.	5	1	3	15	
			1.A.6. Soltura de contactos de conexiones eléctricas en el controlador botoneras de maniobras.	Es incapaz de realizar las maniobras.	Pérdida de horas hombre por reparar.	3	1	3	9	
		B. Motor tornillo de carga de materia sólida a Balanza pesadora automática, es incapaz de cumplir su función.	1.B.1. Bobinas del motor abiertas.	El tornillo sale de servicio por apertura de contactos en el guardamotor por detección de falla en el variador, provocando la parada total del proceso.	Pérdidas de producción y horas hombre cambio por backup.	5	1	5	25	
			1.B.2. Rodamientos defectuosos y en mal estado.	Se genera recalentamiento en el motor y sobrecarga.	Pérdida de horas hombre por cambio de rodamiento y pérdidas productivas.	5	3	3	45	
			1.B.3. Rodamiento de Chumaceras del tornillo desgastados.	Presencia de altas vibraciones y sobrecarga en el motor.	Pérdida de horas hombre por cambio de rodamiento y pérdidas productivas.	5	1	3	15	
			1.B.4. Sobrecarga del motorreductor por atoro de MP en el tornillo sin fin.	Sobrecarga en el motorreductor y detección de falla por sobre corriente en el variador de velocidad.	Parada del tornillo sin fin por detección de falla en el variador. Pérdida de producción y horas hombre por limpieza.	5	5	3	75	
			1.B.5. Ruptura de la cadena de transmisión.	El tornillo sale de servicio provocando la parada progresiva del proceso.	Pérdidas de producción y horas hombre cambio por cambio de cadena.	5	1	3	15	
			1.B.6. Tornillo sin fin desalineado.	Se genera rozamiento entre las hélices con las paredes del ducto transportador.	Sobrecarga del motor, pérdidas de producción y horas hombre por reparar.	5	1	3	15	
			1.B.7. Estator con falla a tierra por presencia de polvo y humedad.	El tornillo sale de servicio por apertura de contactos en el guardamotor, provocando la parada prorigresiva del proceso.	Pérdidas de producción y horas hombre cambio por backup.	5	1	5	25	
		C. Balanzas automáticas de materia sólida no registra el peso de carga establecido.	1.C.1. Descalibración de las balanzas.	Controladores CB900X en falla.	Pérdida de horas hombre por calibración.	5	5	3	75	
			1.C.2. Celdas de carga en mal estado y con acumulación de polvo.	Pesaje con grandes márgenes de error.	Pérdida de horas hombre por limpieza y corrección.	5	3	3	45	
			1.C.3. Villas de descanso de las balanzas fracturados.	Imposible realizar el pesaje de sólidos.	Pérdida de horas hombre por cambio de billas nuevas y pérdidas productivas.	5	1	3	15	
		D. Motor tornillo de descarga de insumos solidos es incapaz de realizar la descarga al tornillo colector de descarga mayor.	1.D.1. Bobinas del motor abiertas.	El tornillo sale de servicio por detección de falla en el variador de velocidad, provocando la parada total del proceso.	Pérdidas de producción y horas hombre cambio por backup.	5	1	5	25	
			1.D.2. Rodamientos del motor defectuosos y en mal estado.	Se genera recalentamiento en el motor y sobrecarga.	Pérdida de horas hombre por cambio de rodamiento y pérdidas productivas.	5	1	3	15	
			1.D.3. Rodamiento de Chumaceras del tornillo desgastados.	Presencia de altas vibraciones y sobrecarga en el motor.	Pérdida de horas hombre por cambio de rodamiento y pérdidas productivas.	5	1	3	15	
			1.D.4. Ruptura de la cadena de transmisión.	El tornillo sale de servicio provocando la parada progresiva del proceso.	Pérdidas de producción y horas hombre cambio por cambio de cadena.	5	1	3	15	
			1.D.5. Sobrecarga del motoreductor por atoro de MP en el tornillo sin fin.	Sobrecarga en el motorreductor y detección de falla por sobre corriente en el variador de velocidad.	Parada del tornillo sin fin por detección de falla en el variador. Pérdida de producción y horas hombre por limpieza.	5	5	3	75	

(Continuación...)

			1.D.6. Tornillo sin fin desalineado.	Se genera rozamiento entre las hélices con las paredes del ducto transportador.	Sobrecarga del motor, pérdidas de producción y horas hombre por reparar.	5	1	3	15
			1.D.7. Estator con falla a tierra por presencia de polvo y humedad.	El tornillo sale de servicio por apertura de contactos en el guardamotor, provocando la parada total del proceso.	Pérdidas de producción y horas hombre cambio por backup.	5	1	5	25
E. Balanzas automáticas de ácido y líquidos no registra el peso de carga establecido.			1.E.1. Descalibración de las balanzas.	Controladores CB900X en falla.	Pérdida de horas hombre por calibración.	5	5	3	75
			1.E.2. Boyas de seguridad de anti rebalse deteriorados genera fuga de HLAS y/o líquidos.	Pesaje con grandes márgenes de error y así mismo se genera el derrame de HLAS o líquidos con riesgo de contacto directo o accidental al operario.	Pérdidas de producción por parada, seguridad del personal y horas hombre por corregir.	5	1	3	15
			1.E.3. Celdas de carga deteriorados y con acumulación de polvo.	Pesaje con grandes márgenes de error.	Pérdida de horas hombre por corregir.	5	3	1	15
			1.E.4. Contacto abierto en tablero de celdas.	No envía la señal del peso de la balanza a la Scada de la sala de control.	Pérdida de horas hombre por limpieza y ajuste de contactos.	5	1	1	5
			1.E.5. Falta de aire comprimido para el accionamiento de las válvulas electroneumáticas.	Es imposible la carga de HLAS y líquidos a los tanques de pesaje.	Pérdida productivas y horas hombre por corregir y habilitar el aire comprimido.	5	1	1	5
			1.E.6. Billas de descanso de las balanzas fracturados.	Imposible realizar el pesaje de sólidos.	Pérdida de horas hombre por cambio de billas nuevas y pérdidas productivas.	5	1	1	5
			F. Tornillo de descarga mayor (gusano mayor) no transporta los insumos a las batidoras Crutcher.			1.F.1. Bobinas del motor abiertas.	El tornillo sale de servicio por apertura en el relé de protección.	Pérdidas de producción y horas hombre cambio por backup.	5
1.F.2. Rodamientos del motorreductor defectuosos y en mal estado.	Se genera recalentamiento en el motor o reductor y asociado la sobrecarga.	Pérdida de producción y horas hombre por cambio de rodamiento.				5	1	3	15
1.F.3. Rodamientos y Chumaceras del tornillo desgastados.	Presencia de altas vibraciones y sobrecarga en el motor.	Pérdida de horas hombre por cambio de rodamiento y pérdidas productivas.				5	1	3	15
1.F.4. Cojinete del soporte intermedio del tornillo se encuentra desgastado.	Desalineamiento del tornillo sin fin.	Pérdidas de producción y horas hombre cambio de la bocina o cojinete.				5	5	3	75
1.F.5. Sobrecarga del motorreductor por atoro de MP en el tornillo sin fin.	Sobrecarga en el motorreductor y apertura del guardamotor por protección de sobre corriente.	Parada del tornillo sin fin y pérdida de producción y horas hombre por limpieza.				5	3	3	45
1.F.6. Tornillo sin fin desalineado por desgaste de Chumaceras.	Se genera rozamiento entre las hélices con las paredes del ducto transportador o canalón.	Sobrecarga del motor, pérdidas de producción y horas hombre por reparar.				5	1	1	5
1.F.7. Estator con falla a tierra por presencia de polvo y humedad.	El tornillo sale de servicio por apertura de contactos en el guardamotor, provocando la parada total del proceso.	Pérdidas de producción y horas hombre cambio por backup.				5	1	5	25
1.F.8. Fuga de aceite del reductor.	El tornillo sale de servicio por sobre temperatura en el reductor y motor.	Pérdidas de producción y horas hombre por reparación y/o cambio del retén.				5	1	5	25
G. Dámper de dosificación de insumos sólidos es incapaz de cambiar de posición para la descarga a los Crutchers (Batidoras) "A" y "B" (presión de trabajo eficiente 7 a 8 BAR)			1.G.1. Pistón del Dámper no acciona por falta de aire comprimido (inferior a 5 BAR)	Es incapaz de accionar al Dámper y cambiar de posición.	Pérdidas productivas y horas hombre por revisar el sistema de aire comprimido y restablecer.	5	1	3	15
			1.G.2. Pistón neumático del Dámper no acciona por desgaste del cilindro y fuga de aire.	Deficiencia de cambio de posición del Dámper.	Pérdidas productivas y horas hombre por el replazo por backup del cilindro neumático.	5	1	5	25
			1.G.3. Dámper fracturado y desalineado.	Imposible realizar la dosificación hacia los Crutchers "A" y "B"	Pérdida productivas y horas hombre por reparar.	5	1	5	25

(Continuación...)

Batidoras Crutchers A y B	H. Motor eléctrico es incapaz de transmitir movimiento a la caja reductora de velocidad.	2.H.1. Bobinas del motor abiertas por envejecimiento.	La batidora en falla sale de servicio por apertura en el relé de protección.	Pérdidas de producción en un 50% y horas hombre por el remplazo del motor por backup.	5	1	5	25
		2.H.2. Rodamientos defectuosos y en mal estado.	Se genera recalentamiento y sobrecarga en el motor. Ante esta situación se genera la apertura del relé de protección instantáneamente.	Pérdidas de producción en un 50% y horas hombre por el remplazo del motor por backup.	3	1	3	9
		2.H.3. Estator a tierra por falla en el aislamiento de las bobinas.	Apertura del relé de protección instantáneamente.	Pérdidas de producción en un 50% y horas hombre por el remplazo del motor por backup.	5	1	5	25
		2.H.4. No hay voltaje en los terminales por aflojamiento en los mismos y presencia de óxido.	Aflojamiento u oxidación/sulfatación de las conexiones en terminales del motor o terminales del cable de alimentación que no permiten la adecuada conexión.	Pérdida de horas hombre por revisión, limpieza con solvente dieléctrico y ajuste.	5	1	5	25
		2.H.5. Estator con falla a tierra por presencia de polvo y humedad.	El motor sale de servicio por apertura del relé de protección.	Pérdidas de producción en un 50% y horas hombre por el remplazo del motor por backup.	5	1	5	25
	I. Pérdida total de transmisión de movimiento del motor a la caja reductora a través de la banda de poleas.	2.I.1. Exceso de tensión de ajuste de la banda trapezoidal.	Rotura de la banda trapezoidal.	Pérdidas productivas en un 50% y horas hombre por remplazo de fajas nuevas.	5	1	1	5
		2.I.2. Desalineamiento de poleas de transmisión y transmitido.	Desgaste de las bandas y posterior rotura.	Pérdidas productivas en un 50% y horas hombre por alineamiento de poleas y remplazo de fajas nuevas.	3	1	3	9
		2.I.3. Bandas trapezoidales flojas.	Desgaste de las bandas y posterior rotura.	Pérdidas productivas en un 50% y horas hombre por alineamiento de poleas y remplazo de fajas nuevas.	5	1	3	15
		2.I.4. Desgaste de bandas por envejecimiento.	Rotura de la banda de transmisión de movimiento.	Pérdidas productivas en un 50% y horas hombre por remplazo de fajas nuevas.	3	1	1	3
	J. Caja reductora de velocidad de engranajes planetarios es imposible transmitir movimiento al sistema de agitación de la Batidora.	2.J.1. Aceite de lubricación de engranajes deteriorada y con partículas metálicas.	Ruido y desgaste de dientes de los engranajes.	Pérdidas de producción en un 50% y costos por reparación y cambio de aceite.	3	1	3	9
		2.J.2. Rotura de dientes de los engranajes.	Imposible generar movimiento al agitador.	Pérdidas de producción en un 50% y costos por reparación de la caja reductora.	5	1	5	25
		2.J.3. Retenes y rodamientos en mal estado.	Se genera sobrecarga en el motor por rodamientos desgastados en la caja reductora y fuga de aceite por los retenes en mal estado o deteriorados.	Pérdidas de producción en un 50% y costos por reparación cambio de rodamientos y retenes.	5	1	5	25
	K. Agitador no realiza la mezcla de los insumos sólidos y líquidos.	2.K.1. Rotor agitador fracturado por sobrecarga y/o desgaste.	Imposible mezclar los insumos sólidos con los insumos líquidos y ácido.	Pérdidas de producción en un 50% y costos por reparación del agitador.	5	1	3	15
		2.K.2. Chumacera del agitador desgastado.	Desalineamiento de eje del agitador.	Pérdidas de producción en un 50% y costos por reparación.	5	1	3	15
		2.K.3. Bocina teflón desgastadas.	Altas vibraciones del agitador y desalineamiento.	Pérdidas de producción en un 50% y costos por cambio de la bocina.	5	5	3	75
		2.K.4. Paletas del agitador desgastadas y fracturado.	Imposible realizar la mezcla de insumos líquidos y sólidos.	Pérdidas de producción en un 50% y costos por cambio de paletas.	5	1	3	15
	L. Instrumentos transmisores de temperatura y nivel con lectura errónea.	2.L.1. Transmisor de temperatura PT100 descalibrado.	Lectura errónea de la temperatura de la pasta batida en la Scada de la sala de control y tablero control local.	Pérdidas de producción en un 50% y costos por cambio del transmisor.	5	1	3	15
		2.L.2. Transmisor de nivel por presión diferencial defectuoso (membrana rota)	Imposible obtener la lectura del nivel de la pasta batida.	Pérdidas de producción en un 50% y costos por cambio de transmisor de nivel.	5	1	3	15
	M. Filtro autolimpiante obstruido a la salida de las batidoras.	2.M.1. Colador obstruido por la solidificación del Slurry.	No permite circular adecuadamente el Slurry hacia el tanque intermedio y posterior transferencia hacia las bombas de alta presión.	Pérdidas productivas y horas hombre por limpieza y ajuste del colador.	5	5	3	75
		2.M.2. Escobillas desgastadas y fuera de su posición.	Atoro de la pasta batida.	Pérdidas productivas y horas hombre por limpieza del filtro y cambio de escobillas.	5	5	3	75
	N. Errores humanos	2.N.1. Falla por la mala realización del mantenimiento o mala operación del equipo.	Procedimientos de mantenimiento y operación inadecuados por el personal de Mantenimiento y Operaciones.	Pérdidas productivas y costos por reparación.	5	1	3	15

Elaboración propia

**Tabla 17: AMEF Torre de secado**

HOJA DE INFORMACIÓN	SISTEMA	Torre de secado		RECOPIADO POR	FECHA	HOJA	SEVERIDAD (%)	OCURRENCIA (%)	DETECCION (%)	NPR
NOMBRE DEL ACTIVO	SUB-SISTEMA	FALLA FUNCIONAL (Pérdida de la Función)	MODO DE FALLA (Causa de la Falla)	EFEECTO DE FALLA (Que sucede cuando ocurre la Falla)	CONSECUENCIA DE LA FALLA	1				
Bombas de Alta Presión "A" y "B"	1. Transferir la pasta batida a la torre de secado.	A. Motor eléctrico es incapaz de transmitir movimiento a la caja reductora de velocidad.	1.A.1. Bobinas del motor eléctrico abiertas por envejecimiento.	Es imposible realiza la transferencia de la pasta batida a la torre de secado a través de las bombas de pistones que es accionado por el motor eléctrico.	Pérdidas de producción en un 50% y horas hombre por el remplazo del motor por backup.	5	1	3	15	
			1.A.2. Rodamientos defectuosos y en mal estado.	Se genera recalentamiento y sobrecarga en el motor. Ante este evento se presenta la falla en el variador de velocidad del motor eléctrico.	Pérdidas de producción en un 50% y horas hombre por el remplazo del motor por backup o cambio de rodamientos.	5	1	3	15	
			1.A.3. Estator a tierra por falla en el aislamiento de las bobinas.	Ante este evento se presenta la falla en el variador de velocidad del motor provocando la parada inmediata de la bomba de pistones.	Pérdidas de producción en un 50% y horas hombre por el remplazo del motor por backup.	5	1	5	25	
			1.A.4. No hay voltaje en los terminales por aflojamiento y presencia de óxido en los mismos.	Aflojamiento u oxidación/sulfatación de las conexiones en terminales del motor o terminales del cable de alimentación que no permiten la adecuada conexión.	Pérdida de horas hombre por revisión, limpieza con solvente dieléctrico y ajuste.	5	1	1	5	
			1.A.5. Estator con falla a tierra por presencia de polvo y humedad.	El motor sale de servicio por falla F002 en el Variador de Velocidad ABB.	Pérdidas de producción en un 50% y horas hombre por el remplazo del motor por backup.	5	1	3	15	
			1.A.6. Falla en el variador de velocidad del motor por presencia de polvo y humedad internamente.	El motor sale de servicio.	Pérdidas de producción en un 50% y horas hombre por realizar limpieza del variador con aire y solvente dieléctrico.	5	3	3	45	
		B. Bomba de pistones de alta presión es incapaz de transferir la pasta batida a la torre de secado.	1.B.1. Chevrones desgastados y en mal estado.	Fuga de pasta batida por los cilindros de pistones de propulsión del slurry.	Pérdidas de producción en un 50% y horas hombre por cambio de Chevrones.	5	5	3	75	
			1.B.2. Rodamientos desgastados de la caja reductora.	Se genera la sobrecarga y recalentamiento del motor. El motor deja de funcionar por detección de falla en el variador de velocidad del motor.	Pérdidas de producción en un 50% y horas hombre por cambio de rodamiento.	5	1	3	15	
			1.B.3. Rodamientos desgastados de la caja del cigüeñal.	Se genera la sobrecarga y recalentamiento del motor. El motor deja de funcionar por detección de falla en el Variador de Velocidad.	Pérdidas de producción en un 50% y horas hombre por cambio de rodamiento.	5	1	3	15	
			1.B.4. Empaquetaduras de Bridas resecaados y deteriorados en la salida de la bomba de pistones.	Fuga de la pasta batida por las uniones de las bridas.	Pérdidas de producción en un 50% y horas hombre por cambio de empaquetaduras.	5	1	5	25	
		C. Transmisores de presión no envían la señal a la Scada de la sala de control.	1.C.1. Interferencia de señal entre cable de instrumentación y cables de alimentación o fuerza.	El transmisor refleja grandes errores de presión o no envía la señal a la scada, por ende, las bombas de alta presión se detienen por seguridad.	Pérdidas de producción en un 50% y horas hombre por corregir.	5	1	3	15	
			1.C.2. La fuente no transforma la tensión 230VAC/24VDC	El transmisor no se comunica con la Scada, por ende, las bombas de alta presión se detienen por seguridad.	Pérdidas de producción en un 50% y horas hombre por corrección.	5	1	3	15	
			1.C.3. Membrana defectuosa.	Al romperse la membrana, el Slurry se penetra a la zona del diafragma provocando la perturbación de la señal de salida.	Pérdidas de producción en un 50% y horas hombre por cambio del transmisor de presión en backup.	5	1	3	15	
		D. Fuga de pasta por las uniones entre bridas en la entrada o salida de las bombas de alta presión.	1.D.1. Soplado de empaquetaduras por mala instalación.	Se presenta fuga de la pasta batida por la unión de las bridas generando la parada inmediata del proceso por medidas de seguridad.	Pérdidas de producción, horas hombre por corrección y riego de salpicadura a las personas cuando se presenta la falla.	5	1	5	25	
			1.D.2. Soltura de pernos por vibración.	Se presenta fuga de la pasta batida por la unión de las bridas generando la parada inmediata del proceso por medidas de seguridad.	Pérdidas horas hombre por corrección ajuste de pernos y cambio de empaquetaduras en caso sea necesario.	5	1	5	25	
			1.D.3. Bridas defectuosas y en mal estado físico.	Se presenta fuga de la pasta batida por la unión de las bridas generando la parada inmediata del proceso por medidas de seguridad.	Pérdidas de producción en un 50% y horas hombre por cambio de bridas nuevas.	5	1	3	15	

(Continuación...)

Quemador Generador de Aire Caliente	E. Ventilador primario del quemador es incapaz de suministrar aire para la generación de la combustión.	2.E.1. Bobinas del motor quemadas por falla en aislamiento.	El ventilador del quemador sale de servicio por operación del relé de protección del motor, provocando la parada total del proceso.	Parada del proceso, pérdidas productivas y costos de reparación.	5	1	3	15
		2.E.2. Estator a tierra por entrada de polvo y humedad.	El ventilador del quemador sale de servicio por operación de la protección del motor, provocando la parada total del proceso.	Parada del proceso, pérdidas productivas y costos de reparación.	5	1	5	25
		2.E.3. Guardamotor breakeado tripped por sobre carga.	Las hélices del ventilador son obstruidos por la caída de partículas de los refractarios del quemador causando la sobrecarga del motor.	Parada del proceso, pérdida de producción y horas hombre por reparación.	5	1	3	15
		2.E.4. Deterioro y obstrucción de las persianas de ingreso de aire del ventilador.	Los residuos sólidos y el deterioro de la persiana obstruyen el paso para la absorción de aire del medio ambiente.	Mala calidad del producto base de Detergente y horas hombre por corregir la falla.	5	3	3	45
	F. Caída o incremento de presión del Gas Natural con respecto al rango establecido de 3.5 a 4 BAR	2.F.1. Pérdida de presión de inyección del GLP al quemador inferior a 3.5BAR	Baja el calor en el quemador y incrementa la humedad y densidad en el producto base. Humedad en condiciones normales 3 a 5%	Baja la calidad del producto.	5	1	3	15
		2.F.2. Incremento de presión de inyección del GLP al quemador superior a 4BAR	Incrementa el calor en el quemador y la densidad y humedad disminuye del producto base. Humedad en condiciones normales 3 a 5%	Baja la calidad del producto.	5	1	3	15
		2.F.3. Filtros del gas natural obstruidos.	Imposible generar la primera llama de la combustión.	Pérdida de producción por parada total del proceso y horas hombre por corregir (limpieza de filtros)	5	1	5	25
	G. Ventilador Secundario es incapaz de inyectar aire caliente de 300 a 450°C de temperatura al interior de la torre de secado.	2.G.1. Bobinas del motor quemadas por deterioro del aislamiento.	El ventilador sale de servicio por protección en el variador del motor, provocando la parada total del proceso.	Pérdida de producción y horas hombre por cambio del motor en backup.	5	1	5	25
		2.G.2. Estator a tierra por presencia de polvo y humedad.	El ventilador secundario sale de servicio por detección de la falla en el variador de velocidad, provocando la parada total del proceso.	Pérdida de producción.	5	1	5	25
		2.G.3. Ventilador forzado del motor no gira por problemas en la bobina.	Se activa la alarma del ventilador en la sala de control. Tiempo muerto para reemplazar por backup 30min.	Pérdida horas hombre y costos por reparación externo.	3	3	5	45
		2.G.4. Altas vibraciones del motor.	Se genera el desalineamiento del eje del motor y el acoplamiento de la transmisión del eje con el ventilador.	Pérdida de producción y costos de reparación.	5	5	3	75
	H. Sensor de temperatura es incapaz de enviar la señal de la medición al panel del controlador y scada.	2.H.1. Termocupla de la combustión del quemador fracturado o abierto.	Fractura por vibración o ruptura por golpe de partículas que caen de las paredes del quemador. Manda la señal de alarma al controlador y scada(sala de control)	No se visualiza la T° en el controlador y scada. Razón por la cual no es posible controlar la T° de la combustión.	5	1	5	25
		2.H.2. Termocupla del intermedio del quemador se encuentra fracturado o abierto.	Manda la señal de falla al controlador (tablero)	No se logra la visualización de la temperatura en el controlador local.	1	1	5	5
	I. Imposible generar la primera etapa de la llama.	2.I.1. Chispero o electrodo de encendido de la primera llama se encuentra averiado.	No se logra el encendido de la primera etapa de la llama, por ende, no inicia la segunda llama para la ignición en el hogar.	Pérdida de producción y horas hombre por reemplazo del repuesto.	5	3	5	75
		2.I.2. Alejamiento del electrodo inferior a 1cm con respecto al inyector de gas avivador de Chispa.	No se logra el encendido de la primera llama ya que la chispa generada por el electrodo no alcanza al gas proveniente del inyector de gas avivador de Chispa.	Pérdida de producción y horas hombre por regulación del chispero.	5	3	5	75
	J. Sensor de Fococelda ultravioleta C7927A 1016 HONEYWELL no detecta la presencia de la primera llama UV.	2.J.1. No hay señal en el sensor por soldadura de los terminales.	El controlador Honeywell detecta la falla e imposibilita pasar a la segunda etapa de generación de llama a través del difusor y salida al hogar.	Pérdida de producción por el arranque del sistema de combustión y horas hombre por corregir la falla.	5	1	3	15
		2.J.2. Obstrucción del sensor por presencia de polvo y partículas en la lente de la fococelda.	El sensor no detecta la primera llama y el controlador Honeywell al detectar esta falla imposibilita pasar a la segunda etapa.	Pérdida de producción por el arranque del sistema de combustión y horas hombre por la limpieza de la fococelda.	5	3	5	75
		2.J.3. Sensor averiado.	Imposible generar la combustión.	Pérdida de producción por el arranque del sistema de combustión y horas hombre por el reemplazo del sensor de repuesto.	5	1	5	25
	K. Válvulas de bloqueo Shut Off del tren de gas no abre para el pase del gas natural.	2.K.1. El sensor fococelda no manda la señal (2 a 5V) al amplificador para ejecutar la segunda etapa.	Al no alcanzar el voltaje el programador no manda que se apertura las válvulas Shut Off para la segunda llama o llama principal.	Pérdida de producción por el arranque del sistema de combustión y horas hombre por corregir la falla.	5	3	3	45
		2.K.2. Conexiones de señal flojas o sulfatadas en las válvulas reguladoras.	No apertura las válvulas Shut Off	Pérdidas productivas por el arranque del quemador y horas hombre por limpieza y ajuste de contactos y conexiones.	5	1	1	5
	L. Sistema de articulación de levas del quemador descalibradas.	2.L.1. Sistema de articulación del regulador de ingreso de aire/gas descalibrados.	Combustión deficiente y mala calidad de la llama principal salida al hogar.	Mala calidad del producto base de Detergente y horas hombre por regular el sistema de articulación de levas.	5	3	3	45
		2.L.2. Falta de lubricación de la articulación de levas.	Deficiencia con la regulación de entrada de aire/gas en la articulación de levas.	Pérdida de producción por el arranque del sistema de combustión y horas hombre por lubricación y ajustes.	3	5	3	45



(Continuación...)

Torre de Secado de la Pasta Batida	M. Ventilador de escape #1 es incapaz de extraer el aire caliente de la torre.	3.M.1. Bobinas del motor quemadas por deterioro del aislamiento.	El ventilador sale de servicio por detección de la falla en el variador de velocidad del motor, provocando la parada total del proceso.	Pérdida de producción y costos de reparación del motor.	5	1	5	25
		3.M.2. Estator con falla a tierra por presencia de polvo y humedad.	El ventilador de escape sale de servicio por detección de la falla en el variador de velocidad, provocando la parada total del proceso.	Pérdida de producción y costos por mantenimiento.	5	1	5	25
		3.M.3. Ventilador forzado del motor no gira por falla en la bobina.	Se activa la alarma del ventilador en la sala de control. Tiempo muerto para reemplazar por backup 30min.	Pérdida horas hombre y costos de reparación.	3	1	3	9
		3.M.4. Altas vibraciones del motor.	Se genera el desalineamiento de acoplamientos de la transmisión del eje con el ventilador.	Pérdida de producción y costos de mantenimiento.	5	5	3	75
		3.M.5. Rodamientos del motor desgastados y en mal estado.	Se genera sobrecarga en el motor y por tanto el variador de velocidad sale de servicio por falla de sobre corriente.	Pérdida de producción, horas hombre por cambio del motor backup y costos de reparación del motor en falla.	5	1	3	15
		3.M.6. Falla a tierra en el variador de velocidad por contaminación en su interior.	Se aprecia la falla en el display del VDF generando la parada del motor eléctrico y proceso.	Pérdida de producción y horas hombre por limpieza con aire seco y lavado con solvente dieléctrico y secado del Drive.	5	1	5	25
	N. Brazos o lanzas no inyectan la pasta batida a la torre de secado.	3.N.1. El vástago de los brazos auxiliares se encuentran desgastadas y averiadas.	Fuga del slurry a través de los brazos auxiliares. Esto podría ocasionar salpicaduras al cuerpo del operario de la torre.	Seguridad del operario y costos de reparación.	3	1	3	9
		3.N.2. Atoro del filtro y boquilla de los brazos de aspersión.	Algunas impurezas que no han sido atrapados por los coladores llegan a las filtro o boquillas, ocasionando el atoro del brazo o lanza.	Horas hombre para la reparación.	3	3	3	27
		3.N.3. Pérdida total de presión en el toroide de los brazos por falla en las bombas de alta presión.	A condiciones normales de operación la presión fluctúa entre 45-60BAR. Cuando ocurre la caída de presión se origina el calentamiento de la torre de secado.	Incendio de la torre de secado, seguridad, pérdidas productivas y altos costos de reparación.	5	1	1	5
	O. Sensor de temperatura es incapaz de enviar la señal al panel del controlador de temperaturas y scada en la sala de control.	3.O.1. Sensor de temperatura PT100 entrada a la torre se encuentra fracturado o abierto.	Fractura por vibración o abierto por exceso de temperatura. Manda la señal de falla al controlador y scada (sala de control)	No se visualiza la T° en el controlador y scada. Razón por la cual no es posible controlar la T° al ingreso de la torre.	5	1	3	15
		3.O.2. Sensor de temperatura PT100 salida de la torre se encuentra fracturado o abierto.	Manda la señal de falla al controlador (tablero) y escada(sala de control)	No se visualiza la T° en el controlador y scada. Razón por la cual no es posible controlar la T° de salida de la torre.	5	1	3	15
		P. Multiciclones no descarga el polvo fino a la tolva de finos de detergente.	3.P.1. Atoro en las lonas de descarga de los multiciclones a la tolva de fino.	Acumulación de polvo fino en los Multiciclones.	Pase de polvo fino a los hidroclones generando exceso de lodo y espuma en las tinas de descarga de los hidroclones.	5	5	3
	Q. Los hidroclones no logran detener o atrapar los polvos finos liberados por el ventilador de escape.	3.Q.1. Atoro en las toberas o duchas de los hidroclones por exceso de polvo fino.	Disipación de polvo fino al medio ambiente.	Contaminación del medio ambiente a través de las chimeneas de los hidroclones.	3	3	3	27
		3.Q.2. Exceso de polvo fino en los hidroclones.	El exceso de polvo fino que ingresa a los hidroclones crea exceso de acumulación de lodo de Detergente y espuma en las tinas de Descarga de los hidroclones.	Contaminación del área por derrame del exceso de espuma.	3	3	3	27
		3.Q.3. La bomba de recirculación de agua es incapaz de transferir agua a las toberas de las duchas.	A condiciones normales, la presión se mantiene entre 40 a 60 PSI. La pérdida de función de la bomba implicaría la acumulación de fino en los hidroclones.	Contaminación del medio ambiente por polvo finos a través de las chimeneas de los hidroclones.	3	3	3	27
	R. Winche es incapaz de remover o raspar el polvo de detergente pegado en las paredes de la torre de secado.	3.R.1. Poleas de las cuerdas averiadas.	Se produce la sobrecarga en el motor del Winche y el desgaste de la cuerda de acero por fricción con la polea averiada.	Costos y horas hombre para la reparación.	3	1	3	9
		3.R.2. Cable o cuerda de acero de la Winche deterioradas y gastadas.	Ruptura de la cuerda.	Costos y horas hombre para la reparación.	5	1	3	15
		3.R.3. El motor no gira por desgaste de los rodamientos o falla en la bobina.	Actúa el sistema de protección del motor con la apertura del guardamotor.	Costos de reparación.	3	1	3	9
		3.R.4. Pines sujetadores retiene el aro raspador por negligencia del operador.	Al no retirar los 6 pines para operar la Winche, se rompe el cable de acero y se deforma el aro, quedando totalmente averiado el equipo.	Altos costos de reparación y horas hombre por reparar.	5	1	3	15
		3.R.5. Sensor final de carrera del Winche fuera de su posición.	En caso el Winche ascienda deformará o romperá todos los brazos inyectores de pasta batida.	Parada de planta, altos costos de reparación y horas hombre por reparar.	5	3	3	45
	S. Errores humanos	3.S.1. Falla por la mala ejecución de mantenimiento o mala operación del sistema.	Procedimientos de mantenimiento y operación inadecuados por el personal de Mantenimiento y Operaciones.	Pérdidas productivas y costos por reparación.	5	1	3	15

Elaboración propia

**Tabla 18: AMEF Post adición**

HOJA DE INFORMACIÓN	SISTEMA	Post adición		RECOPILO POR	FECHA	HOJA	SEVERIDAD (%)	OCURRENCIA (%)	DETECCIÓN (%)	NPR	
	SUB-SISTEMA	Componentes		R. Ochoa Y.	2021	1					
NOMBRE DEL ACTIVO	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL (Pérdida de la Función)	MODO DE FALLA (Causa de la Falla)	EFEECTO DE FALLA (Que sucede cuando ocurre la Falla)	CONSECUENCIA DE LA FALLA						
Decanter	1. Retener a través de filtros los polvos de Detergente que es absorbido por el ventilador elevador de producto base, para evitar la expulsión al medio ambiente.	A. Ventilador elevador de producto es incapaz de elevar el producto base.	1.A.1. Bobinas del motor quemadas por deterioro del aislamiento.	El ventilador sale de servicio por detección de la falla en el variador de velocidad del motor, provocando la parada total del proceso.	Pérdida de producción, costos de reparación del motor y horas hombre por cambio del motor en backup.	5	1	3	15		
			1.A.2. Estator con falla a tierra por presencia de polvo y humedad.	El ventilador elevador de producto sale de servicio por detección de la falla en el variador de velocidad, provocando la parada total del proceso.	Pérdida de producción, costos de reparación del motor y horas hombre por cambio del motor en backup.	5	1	3	15		
			1.A.3. Ventilador forzado del motor no gira por falla en la bobina.	Se activa la alarma del ventilador en la sala de control. Tiempo muerto para reemplazar por backup 30min.	Pérdida horas hombre y costos por reparación del ventilador forzado en falla.	3	1	3	9		
			1.A.4. Altas vibraciones del motor.	Se genera el desalineamiento del eje del motor y el acoplamiento de la transmisión del eje con el ventilador.	Pérdida de producción y costos de mantenimiento.	5	5	3	75		
			1.A.5. Eje del motor bloqueado por rodamientos dañados.	El motor no gira y por tanto el variador sale de servicio por falla de sobre corriente.	Pérdida de producción, costos de reparación del motor y horas hombre por cambio del motor en backup.	5	1	3	15		
			1.A.6. Falla a tierra en el variador de velocidad por contaminación en su interior.	Se aprecia la falla en el display del VDF generando la parada del motor eléctrico y proceso.	Pérdida de producción y horas hombre por limpieza con aire seco y lavado con solvente dieléctrico y secado del Drive.	5	1	5	25		
		B. Los generadores de vibración Swecos (Zarandas) es incapaz de realizar el tamizado del Detergente base por granulometría y separación de grumos.	1.B.1. Falla en el motor generador de vibración.	Parada total del Sweco	Pérdida de producción en un 40 a 50% y costos por reparación.	5	1	3	15		
			1.B.2. Ruptura de muelle.	Se produce el desequilibrio de la vibración provocando daños al resto de los muelles.	Pérdida de producción y costos por reparación.	5	1	3	15		
			1.B.3. Atoramiento de detergente base en los ductos de descarga hacia las zarandas.	Imposible realizar el tamizado a falta del detergente base.	Pérdida de horas hombre por corregir la falla.	5	1	5	25		
		C. Faja transportadora de Detergente base es incapaz de cumplir su función.	1.C.1. Falla en el motorreductor.	Se produce la parada de la faja transportadora de detergente bases por apertura del relé de protección.	Parada de producción y pérdidas de horas hombre por corrección.	5	5	3	75		
			1.C.2. Ruptura de la cadena de transmisión.	Es incapaz de transmitir movimiento al rodillo motriz de la faja transportadora de producto base.	Parada de producción y pérdidas de horas hombre por reemplazo de cadena nueva.	5	1	5	25		
			1.C.3. Ruptura de la faja transportadora.	No es posible realizar el transporte del Detergente base hacia el ducto elevador de producto.	Pérdidas de producción y horas hombres por el reemplazo del repuesto.	5	1	3	15		
			1.C.4. Rodillo motriz y rodillo accionado averiados.	Se genera una sobrecarga en el motor y no es posible realizar el transporte del Detergente base hacia el ducto elevador de producto.	Pérdida horas hombre y costos por reparación.	5	1	3	15		
		Post - Adición	2. Agregar materia sólida de puntos azules, enzimas en forma de aros-estrellas al Detergente base para la descarga al Rotary Mixer.	D. Motor de la faja madre es incapaz de realizar la transmisión de movimiento a través de la cadena a la faja dinámica pesadora de Detergente Base.	2.D.1. Bobinas del motor abiertas.	La faja madre sale de servicio por detección de la falla en el variador de velocidad del motor, provocando la parada total del proceso.	Pérdida de producción, costos de reparación del motor y horas hombre por cambio del motor en backup.	5	1	3	15
					2.D.2. Rodamientos defectuosos y en mal estado.	Se genera recalentamiento en el motor y detección de falla en el variador de velocidad.	Pérdida de horas hombre y producción.	5	1	3	15
					2.D.3. Piñón conductor y conducido del motorreductor desgastados.	Deficiencia en la transmisión de movimiento de la faja.	Pérdida de horas hombre para cambiar por repuestos de piñón nuevo.	3	1	3	9
2.D.4. Ruptura de la cadena de transmisión por exceso de tensión o deterioro.	Es imposible generar movimiento a la faja transportadora.				Pérdida de horas hombre por cambiar del repuesto y pérdidas productivas.	5	1	3	15		
2.D.5. Estator con falla a tierra por presencia de polvo y humedad.	El motor sale de servicio por detección de la falla en el variador de velocidad, provocando la parada total del proceso.				Pérdida de producción y horas hombre por revisión y cambio por backup.	5	1	5	25		



(Continuación...)

	E. Ruptura de la faja transportadora madre.	2.E.1. Desgaste acelerado de la faja.	El desgaste genera el desalineamiento e imposibilita realizar el correcto pesaje automático y transporte del Detergente base.	Pérdida de horas hombre por remplazar la faja nueva de repuesto y pérdidas productivas.	5	1	3	15			
		2.E.2. Falta de mantenimiento de los polines y rodajes en mal estado.	Patinaje en los polines, estiramiento de la banda transportadora, generación de sobrecarga y recalentamiento del motorreductor.	Pérdidas productivas y horas hombre por revisión y mantenimiento de los polines.	3	3	3	27			
		2.E.3. Falta de ajuste y alineamiento de la faja transportadora madre.	Recalentamiento del motorreductor por fricción en los bordes de la banda transportadora.	Pérdida de horas hombre por revisión y alineamiento de la faja transportadora.	5	3	3	45			
		2.E.4. Despego en la solapa de la unión de la faja.	Desalineamiento de la faja.	Pérdidas productivas y horas hombre por reparar (injerto de la faja) o cambio por faja nueva en caso sea necesario.	5	1	3	15			
		2.E.5. Sensor mecánico de final de carrera averiados por el desgaste de la faja transportadora.	La faja sale de su posición sin retorno ya que el motor centrador de faja no recibe la señal.	Pérdidas productivas y horas hombre por corregir.	5	1	5	25			
		F. El sensor final de carrera es imposible convertir la magnitud física en eléctrica.	2.F.1. Accionador del sensor final de carrera se encuentra averiado.	Desalineamiento de la faja transportadora y salida de su posición sin retorno.	Pérdida de producción y horas hombre por revisión y reparación.	5	1	3	15		
			2.F.2. Ausencia de tensión al cerrar los contactos.	No acciona los pistones centradores de la faja, generando el desalineamiento de la faja transportadora.	Pérdida de horas hombre por revisar y corregir.	5	1	3	15		
			2.F.3. Sensor final de carrera fuera de su posición.	No acciona los pistones centradores de la faja, generando el desalineamiento de la faja transportadora.	Pérdida de horas hombre por revisar y corregir.	5	3	5	75		
		Rotary Mixer	3. Homogenizar el detergente base con los insumos menores (enzimas y perfume) y eliminación de grumos.	G. Motor eléctrico es incapaz de transmitir movimiento al Rotary Mixer a través de la cadena de transmisión, por ende, no es posible lograr la homogenización del detergente base con los insumos sólidos menores y perfume.	3.G.1. Bobinas del motor eléctrico abiertas por envejecimiento.	Es imposible realiza la transmisión de movimiento.	Pérdidas de producción y horas hombre por el remplazo del motor por backup.	5	1	3	15
					3.G.2. Rodamientos defectuosos y en mal estado.	Se genera recalentamiento y sobrecarga en el motor. Ante este evento se presenta la falla en el variador de velocidad.	Pérdidas de producción y horas hombre por cambio de rodamientos del motor o cambio del motor por backup.	5	1	3	15
	3.G.3. Estator a tierra por falla en el aislamiento de las bobinas o por presencia de polvo y humedad.				Ante este evento se presenta la falla en el variador de velocidad, provocando la parada total del Rotary Mixer y proceso.	Pérdidas de producción y horas hombre por el remplazo del motor por backup.	5	1	5	25	
	3.G.4. No hay voltaje en los bornes por aflojamiento en terminales de la caja de conexión.				Aflojamiento u oxidación/sulfatación de las conexiones en terminales del motor o terminales del cable de alimentación que no permiten la adecuada conexión.	Pérdida de horas hombre por revisión, limpieza con solvente dieléctrico y ajuste.	5	1	5	25	
	3.G.5. Estator con falla a tierra por presencia de polvo y humedad.				El motor sale de servicio por falla en el Variador de Velocidad.	Pérdidas de producción y horas hombre por revisión, lavado de bobinas con solvente dieléctrico y secado.	5	1	5	25	
	3.G.6. Chaveta del piñón acoplado al eje del motorreductor se encuentra desgastado.				Imposible transmitir movimiento al cuerpo giratorio a través de la cadena.	Pérdida de producción y horas hombre por cambio de la chaveta.	5	1	3	15	
	3.G.7. Falla a tierra en el variador de velocidad por contaminación en su interior.				Se aprecia la falla en el display del VDF generando la parada del motor eléctrico y proceso.	Pérdida de producción y horas hombre por limpieza con aire seco y lavado con solvente dieléctrico y secado del Drive.	5	3	3	45	
H. Cuerpo giratorio no gira.	3.H.1. Ruptura de cadena de transmisión.		El Rotary Mixer sale de servicio.	Pérdida de producción, seguridad del personal y horas hombre por cambio de cadena nueva.	5	1	3	15			
	3.H.2. Falla de rodillos de apoyo.		El Rotary Mixer sale de servicio.	Pérdida de producción, altos costos de reparación y horas hombre por reparación.	5	1	3	15			
I. Homogenización deficiente.	3.I.1. Desgaste de mecanismos de bomba.		Deficiencia de transferencia del perfume hacia la boquilla atomizador.	Pérdidas de horas hombre por corrección o cambio de bomba.	5	3	3	45			
	3.I.2. Caída de presión del aire comprimido < a 4 BAR por fuga de aire en el sistema.		Se genera una deficiencia con la inyección del perfume al Rotary Mixer	Pérdidas productivas y horas hombre por corrección.	5	1	3	15			
	3.I.3. Obstrucción de boquilla de atomizador o aspersor de perfume.		Fuga de perfume por la boquilla	Pérdidas productivas y horas hombre por corrección.	3	3	3	27			
	3.I.4. Desgaste del empaque del ducto de alimentación de detergente base más aditivos al rotary.		El Rotary Mixer sale de servicio por fuga de producto.	Pérdidas de producción y horas hombre por corrección.	5	5	3	75			
J. Errores humanos	3.J.1. Falla por la mala realización del mantenimiento o mala operación del equipo.		Procedimientos de mantenimiento y operación inadecuados por el personal de Mantenimiento y Operaciones.	Pérdidas productivas y costos por reparación.	5	1	3	15			

Elaboración propia

### 4.3. ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS

De acuerdo con Ramirez & Moreno (2017) al establecer el análisis de criticidad de equipos se tiene el objetivo de asentar un método que ayudará en la determinación de la jerarquía del proceso, sistemas y equipos del proceso, permitiendo subdividir los elementos en secciones por criticidad de equipos que puedan ser manejados de manera controlada y auditable. Para determinar la criticidad de un equipo se utilizará una matriz de frecuencia (probabilidad) por consecuencia de falla (severidad).

#### 4.8.1. Registro de fallas

A continuación, se muestra la cantidad de fallas registradas en el proceso de fabricación de detergentes en polvo durante el periodo de estudio de la investigación que comprendió los 29 meses.

**Tabla 19:** Fallas Registradas

ITEM	DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE	CANTIDAD DE FALLAS
1	Tolva de almacenamiento de sulfato	2
2	Tolva de almacenamiento de STTP Tripolifosfato	2
3	Tolva de almacenamiento de carbonato	2
4	Tolva de almacenamiento de polvos menores	2
5	Extractor de polvos de Materia Prima	2
6	Tornillo de carga de sulfato	33
7	Tornillo de carga de STTP Tripolifosfato	33
8	Tornillo de carga de carbonato	33
9	Tornillo de carga de polvos menores	33
10	Balanza automática de sulfato	45
11	Balanza automática de STTP + Carbonato	45
12	Balanza automática de polvos menores	45
13	Tornillo de descarga tolva de pesaje de sulfato	34
14	Tornillo de descarga tolva de pesaje STTP + Carbonato	34
15	Tornillo de descarga tolva de pesaje de polvos menores	34
16	Tornillo de descarga Mayor (Gusano Mayor)	28
17	Balanza automática de líquidos	34
18	Balanza automática de ácido sulfónico	34
19	Batidora "A" (Crutcher "A")	8
20	Batidora "B" (Crutcher "B")	8



(Continuación...)

21	Agitador autolimpiante	7
22	Filtro magnético	2
23	Agitador Tanque intermedio (envejecimiento)	2
24	Bomba filtro A1	6
25	Bomba filtro A2	6
26	Bomba filtro B1	6
27	Bomba filtro B2	6
28	Bomba de Baja Presión A	4
29	Bomba de Baja Presión B	4
30	Bomba de Alta Presión A	51
31	Bomba de Alta Presión B	51
32	Ventilador Primario	24
33	Ventilador Secundario	8
34	Multiciclones para aire escape #1	2
35	Tolva de recuperación de grano fino	28
36	Ventilador de polvos finos calientes	52
37	Ventilador de escape #1	9
38	Hidrociclón HC-1601A	2
39	Hidrociclón HC-1601B	2
40	Bomba recirculación de agua BO-1601	6
41	Bomba recirculación de agua BO-1602	6
42	Multiciclones para aire escape #2	2
43	Ventilador de polvos finos calientes 01	6
44	Ventilador de polvos finos calientes 02	6
45	Ventilador de escape #2	8
46	Hidrociclón HC-1401A	2
47	Hidrociclón HC-1401B	2
48	Bomba recirculación de agua BO-1401	8
49	Bomba recirculación de agua BO-1402	8
50	Bomba recirculación de agua BO-1403	8
51	Winche limpiador de Torre	6
52	Faja Caída de Producto	22
53	Ventilador elevador de producto	6
54	Zaranda Tamiz Sweco vibrador 01	2
55	Zaranda Tamiz Sweco vibrador 02	2
56	Balanza automática Detergente Base Faja madre	12
57	Faja de puntos azules	3
58	Mezclador de puntos azules	3
59	Extractor de puntos azules	4
60	Mezclador horizontal de Polvo Detergente (Mixer)	30
61	Bomba dosificadora de perfume #1	8
62	Bomba dosificadora no iónica	8
63	Bomba dosificadora de perfume #3	2
64	Balanza automática de coches #1	3
65	Balanza automática de coches #2	3

Elaboración propia

#### 4.8.2. Matriz de criticidad y clasificación de riesgo

Para la elaboración de la matriz de criticidad y clasificación de riesgos se consideran las probabilidades de falla y los niveles de severidad de todos los equipos en estudio.

**Tabla 20:** Tabla matriz de criticidad

<b>PROBABILIDAD</b>	1	C	C	C	B	A
	2	C	C	B	B	A
	3	C	B	B	A	A
	4	B	B	A	A	A
	5	B	B	A	A	A
		1	2	3	4	5
<b>NIVEL DE SEVERIDAD</b>						

**CLASIFICACIÓN DE RIESGO**

A	Alto
B	Medio
C	Bajo

Elaboración propia

$$\text{Criticidad} = \text{Probabilidad de falla} \times \text{Severidad}$$

La probabilidad de falla está relacionada con el número de fallas en un tiempo determinado del equipo o máquina, para el desarrollo del proyecto se consideró un periodo de 29 meses de estudio, por otro lado, la severidad es la sumatoria de los siguientes criterios:

- Su falla afecta a la función de la línea.
- Tiempo de reparación y logística.
- Costos de reparación.
- Su falla afecta a la seguridad de las personas.
- Su falla es evidente para el operario.

### 4.8.3. Análisis de criticidad de equipos del proceso de fabricación de detergentes en polvo

**Tabla 21:** Análisis de criticidad de los sub sistemas

DESCRIPCIÓN DE COMPONENTE	Probabilidad de Fala	20%	20%	10%	30%	20%	Severidad	Clasificación de riesgo. A: Alto B: Medio C: Bajo
		Su falla afecta a la función de la línea 0: No 3: Reduce 5: Sí	Tiempo de reparación y logística 1: < 4 h 3: 4 / 8 h 5: > 8 h	Costo de reparación 1: < \$500 3: 500 / 2000 5: > \$2000	Su falla afecta a la seguridad de las personas 0: No 5: Sí	Su falla es evidente para el operario 0: Sí 5: No		
Tolva de almacenamiento de sulfato	1	5	3	3	0	0	2	C
Tolva de almacenamiento de STTP Tripolifosfato	1	5	3	3	0	0	2	C
Tolva de almacenamiento de carbonato	1	5	3	3	0	0	2	C
Tolva de almacenamiento de polvos menores	1	5	3	3	0	0	2	C
Extractor de polvos de Materia Prima	3	0	3	3	0	0	1	C
Tornillo de carga de sulfato	5	5	5	5	0	0	3	A
Tornillo de carga de STTP Tripolifosfato	5	5	5	5	0	0	3	A
Tornillo de carga de carbonato	5	5	5	5	0	0	3	A
Tornillo de carga de polvos menores	5	5	5	5	0	0	3	A
Balanza automática de sulfato	5	3	5	5	0	5	4	A
Balanza automática de STTP + Carbonato	5	3	5	5	0	5	4	A
Balanza automática de polvos menores	5	3	5	5	0	5	4	A
Tornillo de descarga tolva de pesaje de sulfato	5	5	5	5	0	0	3	A
Tornillo de descarga tolva de pesaje STTP + Carbonato	5	5	5	5	0	0	3	A
Tornillo de descarga tolva de pesaje de polvos menores	5	5	5	5	0	0	3	A
Tornillo de descarga Mayor (Gusano Mayor)	4	5	5	5	0	0	3	A
Balanza automática de líquidos	5	5	5	5	0	5	4	A
Balanza automática de ácido sulfónico	5	5	5	5	0	5	4	A
Batidora "A" (Crutcher "A")	5	3	5	5	5	0	4	A
Batidora "B" (Crutcher "B")	5	3	5	5	5	0	4	A
Agitador autolimpiante	5	5	5	5	0	0	3	A
Filtro magnético	1	5	3	3	0	0	2	C
Agitador Tanque intermedio (envejecimiento)	1	5	5	5	0	0	3	C
Bomba filtro A1	4	3	3	3	0	0	2	B
Bomba filtro A2	5	3	3	3	0	0	2	B
Bomba filtro B1	5	3	3	3	0	0	2	B
Bomba filtro B2	4	3	3	3	0	0	2	B
Bomba de Baja Presión A	3	5	5	3	0	0	3	B
Bomba de Baja Presión B	3	5	5	3	0	0	3	B
Bomba de Alta Presión A	5	5	5	5	5	0	4	A
Bomba de Alta Presión B	5	5	5	5	5	0	4	A
Ventilador Primario	5	5	5	5	5	0	4	A
Ventilador Secundario	5	5	5	5	5	0	4	A
Multiciclones para aire escape #1	1	3	5	3	5	0	4	B
Tolva de recuperación de grano fino	5	5	5	5	5	0	4	A
Ventilador de polvos finos calientes	5	3	3	3	0	0	2	B
Ventilador de escape #1	5	5	3	5	0	0	3	A
Hidrociclón HC-1601A	2	3	3	3	0	0	2	C
Hidrociclón HC-1601B	2	3	3	3	0	0	2	C
Bomba recirculación de agua BO-1601	5	3	3	3	0	0	2	B
Bomba recirculación de agua BO-1602	5	3	3	3	0	0	2	B
Multiciclones para aire escape #2	2	3	5	3	5	0	4	B
Ventilador de polvos finos calientes 01	4	3	3	3	0	0	2	B
Ventilador de polvos finos calientes 02	4	3	3	3	0	0	2	B
Ventilador de escape #2	5	5	3	5	0	0	3	A
Hidrociclón HC-1401A	1	3	3	3	0	0	2	C
Hidrociclón HC-1401B	1	3	3	3	0	0	2	C
Bomba recirculación de agua BO-1401	5	3	3	3	0	0	2	B
Bomba recirculación de agua BO-1402	5	3	3	3	0	0	2	B
Bomba recirculación de agua BO-1403	5	3	3	3	0	0	2	B
Winche limpiador de Torre	4	0	5	1	0	0	2	B
Faja Caída de Producto	5	5	3	3	5	0	4	A
Ventilador elevador de producto	4	5	5	5	5	0	4	A
Zaranda Tamiz Sweco vibrador 01	1	3	5	5	5	0	4	B
Zaranda Tamiz Sweco vibrador 02	1	3	5	5	5	0	4	B
Balanza automática Detergente Base Faja madre	5	5	5	5	0	0	3	A
Faja de puntos azules	3	5	5	3	0	0	3	B
Mezclador de puntos azules	2	3	5	3	5	0	4	B
Extractor de puntos azules	4	0	5	3	0	0	2	B
Mezclador horizontal de Polvo Detergente (Mixer)	5	5	5	5	5	0	4	A
Bomba dosificadora de perfume #1	5	5	3	3	0	0	2	B
Bomba dosificadora no iónica	5	5	3	3	0	0	2	B
Bomba dosificadora de perfume #3	1	5	3	3	0	0	2	C
Balanza automática de coches #1	3	5	3	5	0	0	3	B
Balanza automática de coches #2	3	5	3	5	0	0	3	B

Elaboración propia

#### 4.8.4. Equipos a los que se aplicará el mantenimiento preventivo

El análisis de criticidad de equipos del proceso de fabricación de Detergentes mejorará la gestión de mantenimiento causando un impacto de gran importancia en los costos, producción, disponibilidad, calidad del producto, seguridad, conservación del medio ambiente, reducción de trabajos de emergencia.

De la tabla anterior tenemos los siguientes equipos críticos a los que se les aplicará el mantenimiento preventivo y predictivo que permitirán obtener un impacto en la mejoría de la gestión de mantenimiento de la empresa.

**Tabla 22:** Equipos críticos

DESCRIPCIÓN DE COMPONENTE	Probabilidad de Falla	20%	20%	10%	30%	20%	Severidad	Clasificación de riesgo. A: Alto B: Medio C: Bajo
		Su falla afecta a la función de la línea 0: No 3: Reduce 5: Sí	Tiempo de reparación y logística 1: < 4 h 3: 4 / 8 h 5: > 8 h	Costo de reparación 1: < \$500 3: 500 / 2000 5: > \$2000	Su falla afecta a la seguridad de las personas 0: No 5: Sí	Su falla es evidente para el operario 0: Sí 5: No		
Tornillo de carga de sulfato	5	5	5	5	0	0	3	A
Tornillo de carga de STTP Tripolifosfato	5	5	5	5	0	0	3	A
Tornillo de carga de carbonato	5	5	5	5	0	0	3	A
Tornillo de carga de polvos menores	5	5	5	5	0	0	3	A
Balanza automática de sulfato	5	3	5	5	0	5	4	A
Balanza automática de STTP + Carbonato	5	3	5	5	0	5	4	A
Balanza automática de polvos menores	5	3	5	5	0	5	4	A
Tornillo de descarga tolva de pesaje de sulfato	5	5	5	5	0	0	3	A
Tornillo de descarga tolva de pesaje STTP + Carbonato	5	5	5	5	0	0	3	A
Tornillo de descarga tolva de pesaje de polvos menores	5	5	5	5	0	0	3	A
Tornillo de descarga Mayor (Gusano Mayor)	4	5	5	5	0	0	3	A
Balanza automática de líquidos	5	5	5	5	0	5	4	A
Balanza automática de ácido sulfónico	5	5	5	5	0	5	4	A
Batidora "A" (Crutcher "A")	5	3	5	5	5	0	4	A
Batidora "B" (Crutcher "B")	5	3	5	5	5	0	4	A
Agitador autolimpiante	5	5	5	5	0	0	3	A
Bomba de Alta Presión A	5	5	5	5	5	0	4	A
Bomba de Alta Presión B	5	5	5	5	5	0	4	A
Ventilador Primario	5	5	5	5	5	0	4	A
Ventilador Secundario	5	5	5	5	5	0	4	A
Tolva de recuperación de grano fino	5	5	5	5	5	0	4	A
Ventilador de escape #1	5	5	3	5	0	0	3	A
Ventilador de escape #2	5	5	3	5	0	0	3	A
Faja Caída de Producto	5	5	3	3	5	0	4	A
Ventilador elevador de producto	4	5	5	5	5	0	4	A
Balanza automática Faja madre de Detergente Base	5	5	5	5	0	0	3	A
Mezclador horizontal de Polvo Detergente (Mixer)	5	5	5	5	5	0	4	A

Elaboración propia



#### 4.9. DETERMINACIÓN DE LOS INTERVALOS DE INTERVENCIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

La determinación de los intervalos de mantenimiento preventivo para los equipos críticos se obtendrá aplicando el análisis de la distribución de Weibull de dos o tres parámetros según se ajuste el registro de horas de fallas de los equipos críticos al procedimiento de la distribución de Weibull. El uso de la hoja de cálculo Excel será indispensable para el desarrollo del dicho procedimiento.

##### 4.9.1. Distribución weibull para el tornillo de carga de insumos sólidos

En la siguiente tabla se presenta el cuadro con el registro de fallas según el periodo de estudio.

**Tabla 23:** Registro de fallas del tornillo carga de insumos

ITEM	FECHA	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	CAUSA	HORÓMETRO (HORAS)
1	5/01/2021	Variador de Velocidad en falla por sobrecarga del motorreductor del tornillo sin fin.	Atoro del insumo en el tornillo.	480
2	20/01/2021	Pérdida de la transmisión de giro en el piñón del motorreductor del tornillo sin fin.	Desgaste de la chaveta del piñón.	840
3	10/02/2021	Recalentamiento del motorreductor por sobrecarga en el tornillo sin fin.	Atoro del insumo en el tornillo.	1344
4	19/03/2021	Variador de Velocidad en falla por sobrecarga del motorreductor del tornillo sin fin.	Atoro del insumo en el tornillo.	2232
5	20/04/2021	Vibración anormal del tornillo sin fin.	Solidificación del insumo en las hélices del tornillo.	3000
6	15/05/2021	Recalentamiento del motorreductor por sobre esfuerzo y falla en el variador de velocidad.	Formación de grumos por humedad del insumo.	3600
7	28/05/2021	Trabamiento del tornillo sin fin.	Humedad y formación de grumos del insumo sólido.	3936
8	9/06/2021	Apelmazamiento del insumo polvo sólido en la salida del tornillo sin fin.	Humedad del insumo y formación de grumos.	4200
9	8/07/2021	Variador de Velocidad en falla por sobrecarga del motorreductor del tornillo sin fin.	Atoro del insumo en el tornillo.	4896
10	26/08/2021	Vibración anormal del tornillo sin fin.	Solidificación del insumo en las hélices del tornillo.	6072
11	21/09/2021	Elevado amperaje y recalentamiento del motorreductor.	Rodamientos desgastados y defectuosos del reductor.	6696
12	29/10/2021	Deficiencia de transmisión de movimiento entre el motorreductor y el tornillo sin fin.	Acoplamiento desgastado.	7608
13	19/11/2021	Desalineamiento del tornillo sin fin.	Rodajes de las chumaceras del tornillo defectuosos.	8112
14	18/12/2021	Recalentamiento del motorreductor.	Bajo aislamiento de las bobinas del motor.	8808

Elaboración propia

A continuación, se debe ordenar las horas de operación de mayor a menor y es fundamental realizar esto para lograr la distribución de los datos de falla, así mismo para poder plasmar el gráfico de Weibull de 2 y 3 parámetros es necesario comenzar con el cálculo del rango medio o mediana según el tamaño de la muestra como indica la fórmula de Bernard.

Para establecer la gráfica de Weibull de dos parámetros, los valores del eje X se obtiene aplicando logaritmo natural al tiempo entre fallas ( $t_i$ ) y los valores del eje Y se deberán calcular aplicando doble logaritmo natural al rango medio  $F(t_i)$ .

Para establecer la gráfica de Weibull de tres parámetros, los valores del eje X se obtienen aplicando logaritmo natural de la diferencia entre el tiempo entre fallas y el parámetro de posición ( $t_i - \gamma$ ), mientras los valores del eje Y se deberán calcular aplicando doble logaritmo natural al rango medio  $F(t_i)$ , como se muestra en la Tabla 24.

**Tabla 24:** Valores obtenidos para la confiabilidad del tornillo carga de insumos

Número de Fallas	Horas para la Falla	WEIBULL 2 PARÁMETROS				WEIBULL 3 PARÁMETROS				
		Probabilidad de Falla	$\ln(t_i)$	$\ln(\ln(1/(1-F(t_i))))$	Confiabilidad 2P	Diferencia ( $t_i - \gamma$ )	$\ln(t_i - \gamma)$	$\ln(\ln(1/(1-F(t_i))))$	Confiabilidad 3P	Infiabilidad 3P
(i)	( $t_i$ )	$F(t_i)$	X	Y	R(t)	( $t_i - \gamma$ )	X	Y	R(t)	F(t)
1	264	4.86%	5.576	-2.999	95.14%	113	4.725	-2.999	94.97%	5.03%
2	336	11.81%	5.817	-2.074	88.19%	185	5.219	-2.074	87.78%	12.22%
3	360	18.75%	5.886	-1.572	81.25%	209	5.341	-1.572	84.88%	15.12%
4	480	25.69%	6.174	-1.214	74.31%	329	5.795	-1.214	68.06%	31.94%
5	504	32.64%	6.223	-0.929	67.36%	353	5.866	-0.929	64.46%	35.54%
6	504	39.58%	6.223	-0.685	60.42%	353	5.866	-0.685	64.46%	35.54%
7	600	46.53%	6.397	-0.468	53.47%	449	6.106	-0.468	50.16%	49.84%
8	624	53.47%	6.436	-0.268	46.53%	473	6.158	-0.268	46.72%	53.28%
9	696	60.42%	6.545	-0.076	39.58%	545	6.300	-0.076	37.05%	62.95%
10	696	67.36%	6.545	0.113	32.64%	545	6.300	0.113	37.05%	62.95%
11	768	74.31%	6.644	0.307	25.69%	617	6.424	0.307	28.55%	71.45%
12	888	81.25%	6.789	0.515	18.75%	737	6.602	0.515	17.37%	82.63%
13	912	88.19%	6.816	0.759	11.81%	761	6.634	0.759	15.59%	84.41%
14	1176	95.14%	7.070	1.107	4.86%	1025	6.932	1.107	3.87%	96.13%

Elaboración propia

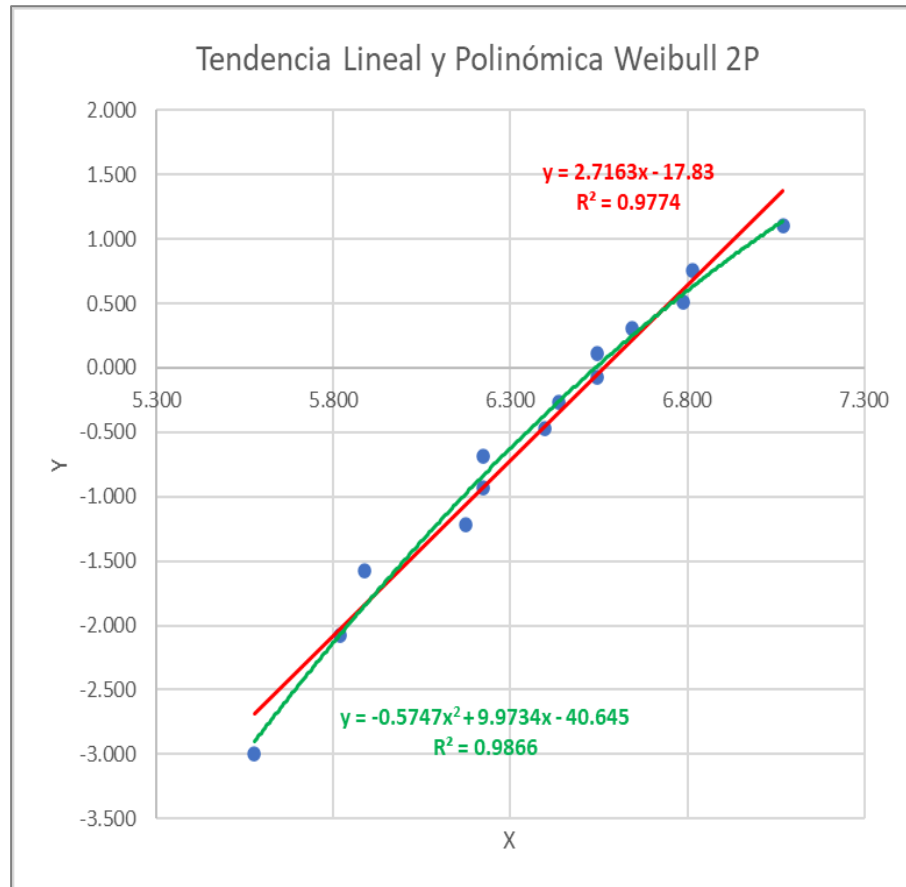
Con los valores de X e Y, calculamos los parámetros de la tendencia lineal y polinómica de Weibull 2 y 3 parámetros, así mismo calculamos el coeficiente de



correlación (R) quien debe estar muy cercano a la unidad para que la distribución de los valores X e Y se aproximen a la tendencia lineal.

Desarrollo de la gráfica de Weibull de 2 parámetros:

**Figura 29:** Gráfica Weibull 2 parámetros para el tornillo carga de insumos



Elaboración propia

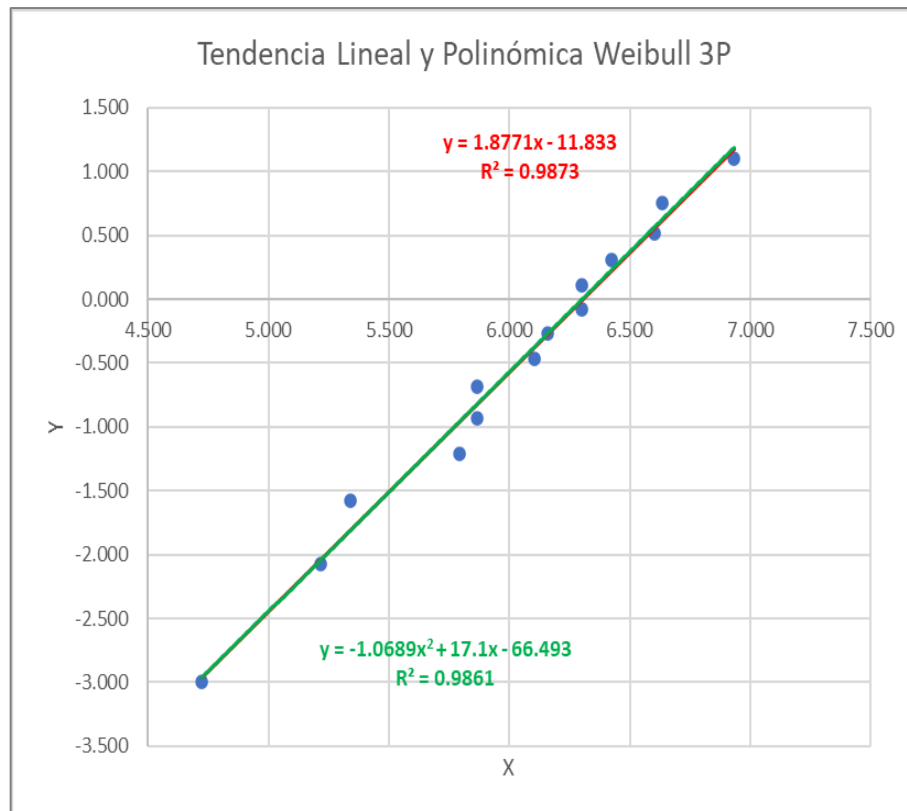
**Tabla 25:** Valores obtenidos Weibull 2 parámetros para tornillo carga de insumos

Parámetro	Valor
Parámetro de Forma ( $\beta$ )	2.72
Parámetro de escala ( $\eta$ )	709.09
Parámetro de posición ( $\gamma$ )	0
Coefficiente de Correlación (R)	0.9886
Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF)	630.71

Elaboración propia

Desarrollo de la gráfica de Weibull de 3 parámetros:

**Figura 30:** Gráfica Weibull 3 parámetros para el tornillo carga de insumos



Elaboración propia

Los parámetros que se obtienen del gráfico de la tendencia lineal se muestran a continuación:

**Tabla 26:** Valores obtenidos Weibull 3 parámetros para tornillo carga de insumos

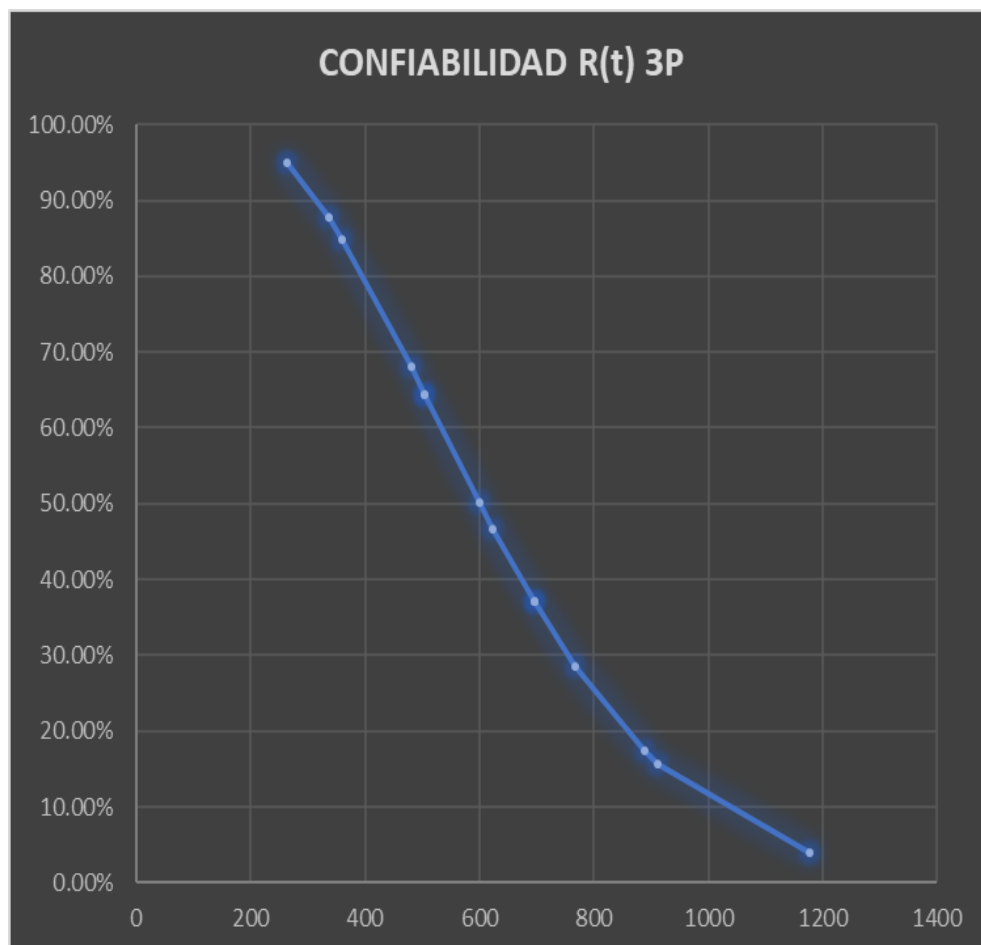
Parámetro	Valor
Parámetro de Forma ( $\beta$ )	1.88
Parámetro de escala ( $\eta$ )	546.74
Parámetro de posición ( $\gamma$ )	151.33
Coefficiente de Correlación (R)	0.9936
Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF)	485.35

Elaboración propia

Realizando una comparativa entre los valores obtenidos de la distribución de Weibull de 2 parámetros y 3 parámetros, se puede apreciar que la que más se ajusta a los datos de falla es la distribución de Weibull de 3 parámetros, ya que su coeficiente de correlación ( $R$ ) está más cerca de la unidad y así mismo existe una dependencia lineal de los datos de falla, como también el parámetro de escala ( $\eta$ ) está dentro de las horas para la falla.

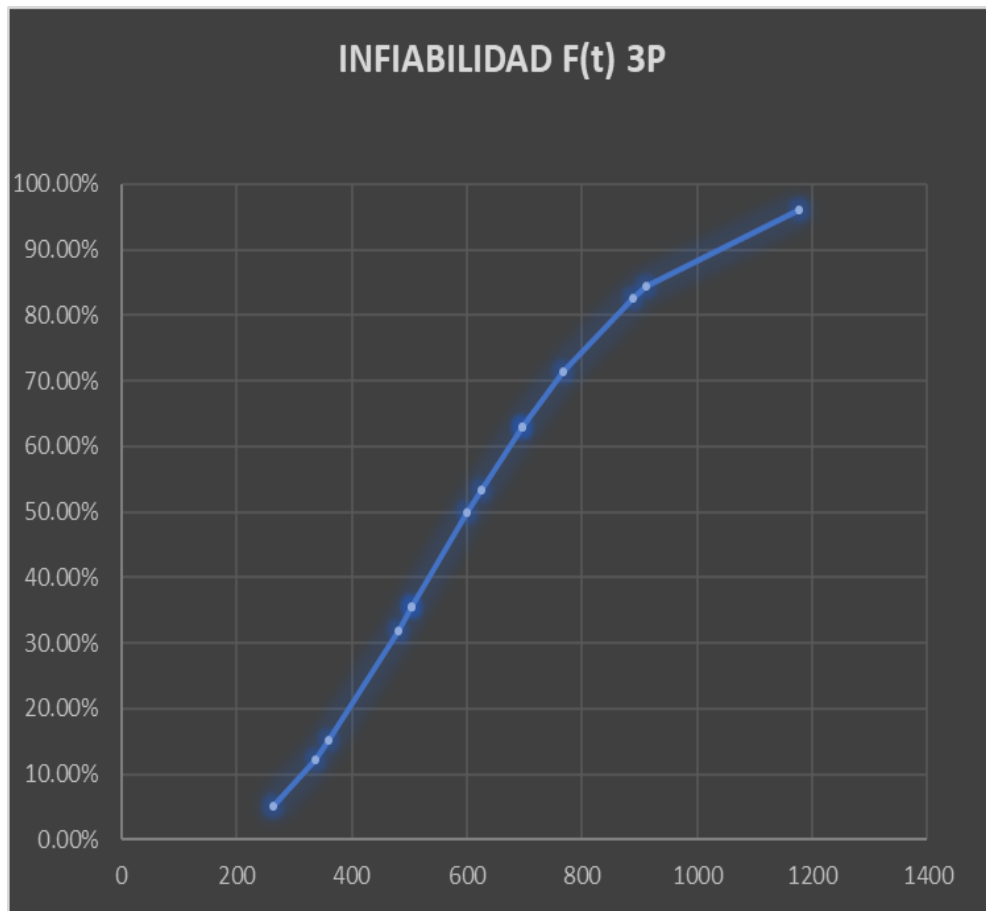
Como la distribución de Weibull de 3 parámetros se ajusta mejor a los datos de falla, graficaremos las curvas de Confiabilidad e Infiabilidad para determinar los intervalos de intervención de mantenimiento preventivo para el tornillo de carga de insumos.

**Figura 31:** Curva de Confiabilidad tornillo carga de insumos



Elaboración propia

**Figura 32:** Curva de Infiabilidad tornillo carga de insumos



Elaboración propia

De las gráficas de distribución de Weibull de 3 parámetros, se obtiene que el tiempo medio entre fallas (MTBF) es de 485.35 horas para una confiabilidad de 67.26%, la vida característica ( $\eta$ ) es de 546.74 horas y se tiene una vida asegurada ( $\gamma$ ) de 151.33 horas.

Se concluye que un mantenimiento óptimo para este caso es el mantenimiento preventivo y que se debe de realizar cada 336 horas (2 semanas) de operación, para una confiabilidad de 87.78%. Este resultado es aplicable para todos los tornillos de carga de insumos sólidos ya que estas trabajan en las mismas condiciones de operación.

El mantenimiento preventivo a realizarse para los tornillos de carga de insumos sólidos es principalmente la limpieza del canalón y las hélices del tornillo sin fin.

#### 4.9.2. Distribución weibull para la balanza automática de insumos sólidos

En la siguiente tabla se presenta el cuadro con el registro de fallas según el periodo de estudio.

**Tabla 27:** Registro de fallas balanza automática de insumos sólidos

ITEM	FECHA	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	CAUSA	HORÓMETRO (HORAS)
1	15/01/2021	Balanza automática del insumo sólido descalibrada.	Sobrecarga de la balanza.	360
2	1/02/2021	Balanza automática del insumo sólido descalibrada.	Apelmaza de grumos en las paredes de la balanza.	600
3	17/02/2021	Balanza automática del insumo sólido descalibrada.	Sobrecarga de la balanza.	1008
4	5/03/2021	Controlador CB900X en falla.	Exceso de carga de insumo a la balanza.	1392
5	20/03/2021	Falla del PLC al momento de realizar la orden al controlador de peso para la carga del insumo.	falso contacto de borneras en el controlador.	1752
6	7/04/2021	Celdas de carga en mal estado y con acumulación de polvo.	Falta de limpieza y lubricación.	2184
7	27/04/2021	Balanza automática del insumo sólido descalibrada.	Sobrecarga de la balanza.	2664
8	13/05/2021	La celda de la balanza no transfiere la señal del peso al controlador CB920X y/o scada.	Falso contacto de borneras en el tablero de celda.	3048
9	3/06/2021	Balanza automática del insumo sólido descalibrada.	Apelmaza de grumos en las paredes de la balanza.	3552
10	30/06/2021	Falla del PLC al momento de realizar la orden al controlador de peso para la carga del insumo.	Falla del sistema de alimentación del insumo.	4200
11	17/07/2021	Celdas de carga en mal estado y defectuosos.	Falta de limpieza y lubricación.	4608
12	11/08/2021	Balanza automática del insumo sólido descalibrada.	Sobrecarga de la balanza.	5208
13	30/08/2021	Balanza automática del insumo sólido descalibrada.	Sobrecarga de la balanza.	5664
14	13/08/2021	Balanza automática del insumo sólido descalibrada.	Sobrecarga de la balanza.	6264
15	15/09/2021	La celda de la balanza no transfiere la señal del peso al controlador CB920X y/o scada.	Falso contacto de borneras en el tablero de celda.	7056
16	5/10/2021	Balanza automática del insumo sólido descalibrada.	Sobrecarga de la balanza.	7536
17	27/10/2021	Celdas de carga en mal estado y con acumulación de polvo.	Falta de limpieza y lubricación.	8136
18	16/11/2021	Celdas de carga en mal estado y con acumulación de polvo.	Falta de limpieza y lubricación.	8616
19	4/12/2021	Error de lectura de peso por las villas de la celda oxidadas y en mal estado.	Falta de mantenimiento limpieza y lubricación.	9048

Elaboración propia

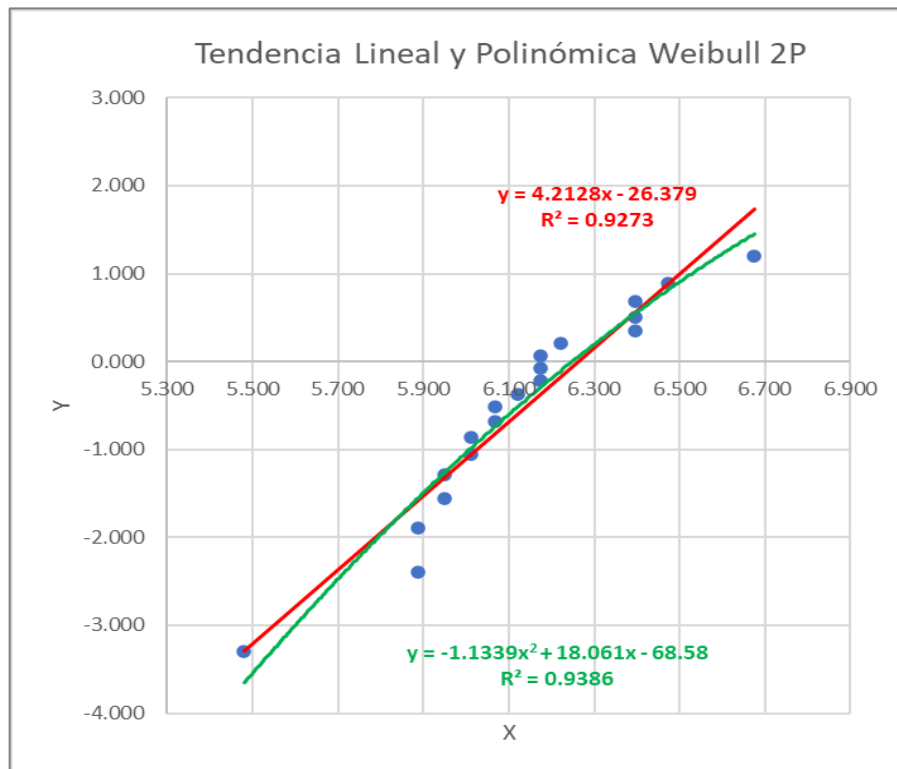
**Tabla 28:** Valores obtenidos para la confiabilidad de balanza automática de insumos

Número de Fallas	Horas para la Falla	WEIBULL 2 PARÁMETROS				WEIBULL 3 PARÁMETROS				
		Probabilidad de Falla	Ln(ti)	Ln(Ln(1/(1-F(ti))))	Confiabilidad 2P	Diferencia (ti-γ)	Ln(ti-γ)	Ln(Ln(1/(1-F(ti))))	Confiabilidad 3P	Infiabilidad 3P
(i)	(ti)	F(ti)	X	Y	R(t)	(ti-γ)	X	Y	R(t)	F(t)
1	240	3.61%	5.481	-3.304	96.39%	141	4.949	-3.304	97.12%	2.88%
2	360	8.76%	5.886	-2.389	91.24%	261	5.565	-2.389	80.90%	19.10%
3	360	13.92%	5.886	-1.898	86.08%	261	5.565	-1.898	80.90%	19.10%
4	384	19.07%	5.951	-1.553	80.93%	285	5.653	-1.553	75.48%	24.52%
5	384	24.23%	5.951	-1.282	75.77%	285	5.653	-1.282	75.48%	24.52%
6	408	29.38%	6.011	-1.056	70.62%	309	5.734	-1.056	69.42%	30.58%
7	408	34.54%	6.011	-0.859	65.46%	309	5.734	-0.859	69.42%	30.58%
8	432	39.69%	6.068	-0.682	60.31%	333	5.808	-0.682	62.85%	37.15%
9	432	44.85%	6.068	-0.519	55.15%	333	5.808	-0.519	62.85%	37.15%
10	456	50.00%	6.122	-0.367	50.00%	357	5.878	-0.367	55.93%	44.07%
11	480	55.15%	6.174	-0.221	44.85%	381	5.943	-0.221	48.84%	51.16%
12	480	60.31%	6.174	-0.079	39.69%	381	5.943	-0.079	48.84%	51.16%
13	480	65.46%	6.174	0.061	34.54%	381	5.943	0.061	48.84%	51.16%
14	504	70.62%	6.223	0.203	29.38%	405	6.004	0.203	41.80%	58.20%
15	600	75.77%	6.397	0.349	24.23%	501	6.217	0.349	17.72%	82.28%
16	600	80.93%	6.397	0.505	19.07%	501	6.217	0.505	17.72%	82.28%
17	600	86.08%	6.397	0.679	13.92%	501	6.217	0.679	17.72%	82.28%
18	648	91.24%	6.474	0.890	8.76%	549	6.308	0.890	9.79%	90.21%
19	792	96.39%	6.675	1.201	3.61%	693	6.541	1.201	0.73%	99.27%

Elaboración propia

Desarrollo de la gráfica de Weibull de 2 parámetros:

**Figura 33:** Gráfica Weibull 2 parámetros para la balanza automática de insumos



Elaboración propia

Los parámetros que se obtienen del gráfico de la tendencia lineal se muestran a continuación:

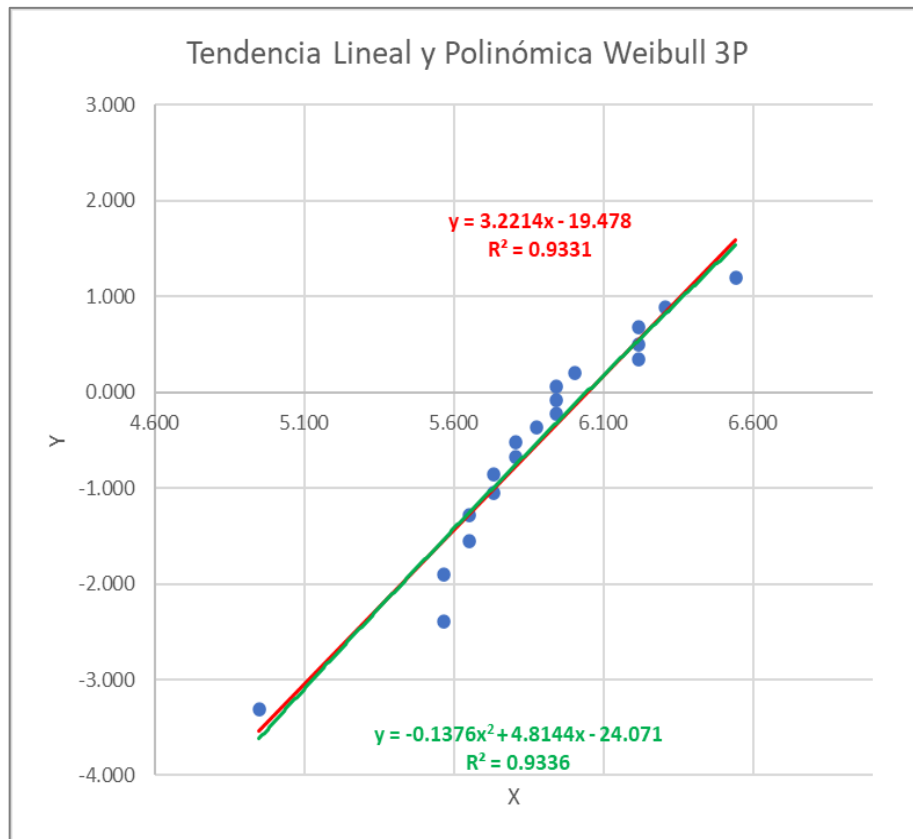
**Tabla 29:** Valores obtenidos Weibull 2 parámetros para la balanza automática de insumos

Parámetro	Valor
Parámetro de Forma ( $\beta$ )	4.21
Parámetro de escala ( $\eta$ )	524.02
Parámetro de posición ( $\gamma$ )	0
Coefficiente de Correlación (R)	0.9630
Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF)	476.38

Elaboración propia

Desarrollo de la gráfica de Weibull de 3 parámetros:

**Figura 34:** Gráfica Weibull 3 parámetros para la balanza automática de insumos



Elaboración propia

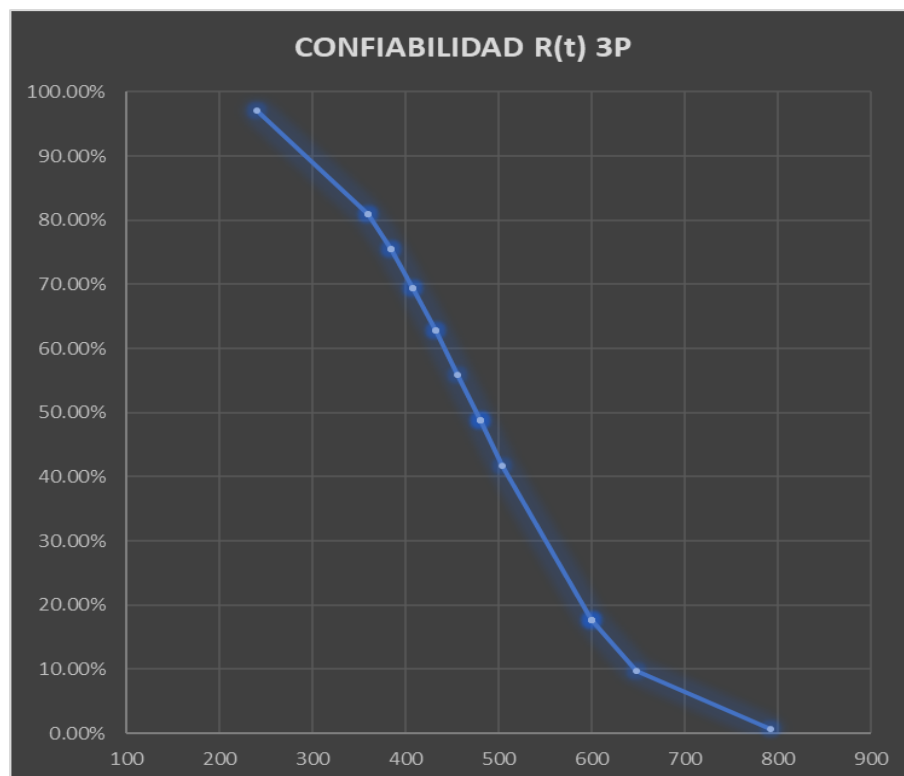
**Tabla 30:** Valores obtenidos Weibull 3 parámetros para la balanza automática de insumos

Parámetro	Valor
Parámetro de Forma ( $\beta$ )	3.22
Parámetro de escala ( $\eta$ )	422.64
Parámetro de posición ( $\gamma$ )	98.90
Coefficiente de Correlación (R)	0.9660
Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF)	378.66

Elaboración propia

Realizando una comparativa entre los valores obtenidos de la distribución de Weibull, se puede identificar que la distribución de Weibull de 3 parámetros se ajusta mejor a los datos de falla, y para este caso graficaremos las curvas de Confiabilidad e Infiabilidad para determinar los intervalos de intervención de mantenimiento preventivo para las balanzas automáticas de insumos sólidos.

**Figura 35:** Curva de confiabilidad de la balanza automática de insumos



Elaboración propia



**Figura 36:** Curva de Infiabilidad de la balanza automática de insumos



Elaboración propia

De las gráficas de distribución de Weibull de 3 parámetros, se obtiene que el tiempo medio entre fallas (MTBF) es de 378.66 horas para una confiabilidad de 76.62%, la vida característica ( $\eta$ ) es de 422.64 horas y una vida asegurada ( $\gamma$ ) de 98.90 horas.

Se concluye que un mantenimiento óptimo para este caso es el mantenimiento preventivo que se debe de realizar cada 336 horas (2 semanas) de operación, para una confiabilidad de 86.32%. Este resultado es aplicable para todas las balanzas automáticas de insumos sólidos ya que tienen las mismas capacidades y trabajan en las mismas condiciones de operación.

El mantenimiento preventivo a realizarse para las balanzas automáticas de insumos sólidos es principalmente la limpieza al interior de las mismas y la calibración de las balanzas con peso patrón.

#### 4.9.3. Distribución weibull para el tornillo de descarga insumos sólidos

En la siguiente tabla se presenta el cuadro con el registro de fallas según el periodo de estudio.

**Tabla 31:** Registro de fallas tornillo de descarga de insumos

ITEM	FECHA	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	CAUSA	HORÓMETRO (HORAS)
1	14/05/2020	Recalentamiento del motorreductor por sobrecarga en el tornillo sin fin.	Atoro del insumo en el tornillo.	480
2	30/05/2020	VSD en falla por sobrecarga del motorreductor.	Atoro del insumo en el tornillo.	1080
3	6/07/2020	Recalentamiento del motorreductor por sobre esfuerzo y falla en el variador de velocidad.	Formación de grumos en el tornillo por humedad del	1968
4	17/07/2020	Variador de Velocidad en falla por sobrecarga del motorreductor del tornillo sin fin.	Atoro del insumo en el tornillo.	2232
5	11/08/2020	Vibración anormal del tornillo sin fin.	Solidificación del insumo en las hélices del tornillo.	2832
6	12/09/2020	VSD en falla por sobrecarga del motorreductor del tornillo sin fin.	Atoro del insumo en el tornillo.	3600
7	20/10/2020	Trabamiento del tornillo sin fin.	Humedad y formación de grumos del insumo sólido.	4512
8	14/11/2020	Apelmazamiento del insumo polvo sólido en la salida del tornillo sin fin.	Humedad del insumo y formación de grumos.	5136
9	2/12/2020	Vibración del motorreductor.	Soltura de pernos de sujeción de la base.	5568
10	18/12/2020	Vibración anormal del tornillo sin fin.	Solidificación del insumo en las hélices del tornillo.	5952
11	7/01/2021	Deficiencia de transmisión de movimiento entre el motorreductor y el tornillo sin fin.	Cadena suelta y defectuoso.	6408
12	31/01/2021	Apelmazamiento del insumo polvo sólido en la salida del tornillo sin fin.	Humedad del insumo y formación de grumos.	6912
13	20/03/2021	Desalineamiento del tornillo sin fin.	Rodajes de las chumaceras del tornillo defectuosos.	8088
14	3/04/2021	Recalentamiento de las Chumaceras del tornillo.	Falta de engrasamiento.	8424
15	1/05/2021	Pérdida de la transmisión de giro en el piñón del motorreductor del tornillo sin fin.	Desgaste de la chaveta del piñón.	9120
16	26/05/2021	Apelmazamiento del insumo polvo sólido en la salida del tornillo sin fin.	Humedad del insumo y formación de grumos.	9744
17	12/06/2021	Elevado amperaje y recalentamiento del motoreductor.	Rodamientos desgastados y defectuosos del reductor.	10152

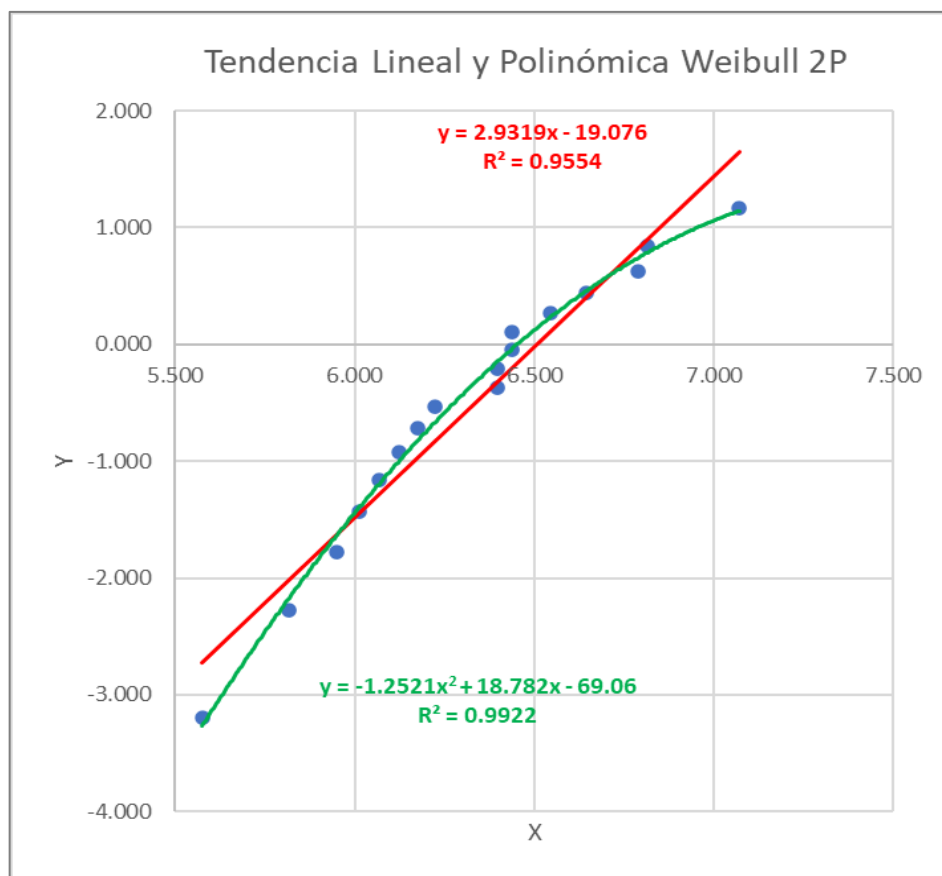
Elaboración propia

**Tabla 32:** Valores obtenidos para la confiabilidad del tornillo de descarga de insumos

Número de Fallas	Horas para la Falla	WEIBULL 2 PARÁMETROS				WEIBULL 3 PARÁMETROS				
		Probabilidad de Falla	Ln(ti)	Ln(Ln(1/(1-F(ti))))	Confiabilidad 2P	Diferencia (ti-y)	Ln(ti-y)	Ln(Ln(1/(1-F(ti))))	Confiabilidad 3P	Infiabilidad 3P
(i)	(ti)	F(ti)	X	Y	R(t)	(ti-y)	X	Y	R(t)	F(t)
1	264	4.02%	5.576	-3.193	95.98%	73	4.288	-3.193	96.36%	3.64%
2	336	9.77%	5.817	-2.275	90.23%	145	4.975	-2.275	88.13%	11.87%
3	384	15.52%	5.951	-1.780	84.48%	193	5.262	-1.780	81.01%	18.99%
4	408	21.26%	6.011	-1.431	78.74%	217	5.379	-1.431	77.14%	22.86%
5	432	27.01%	6.068	-1.156	72.99%	241	5.484	-1.156	73.12%	26.88%
6	456	32.76%	6.122	-0.924	67.24%	265	5.579	-0.924	69.01%	30.99%
7	480	38.51%	6.174	-0.721	61.49%	289	5.666	-0.721	64.86%	35.14%
8	504	44.25%	6.223	-0.537	55.75%	313	5.746	-0.537	60.70%	39.30%
9	600	50.00%	6.397	-0.367	50.00%	409	6.013	-0.367	44.72%	55.28%
10	600	55.75%	6.397	-0.204	44.25%	409	6.013	-0.204	44.72%	55.28%
11	624	61.49%	6.436	-0.047	38.51%	433	6.070	-0.047	41.02%	58.98%
12	624	67.24%	6.436	0.110	32.76%	433	6.070	0.110	41.02%	58.98%
13	696	72.99%	6.545	0.269	27.01%	505	6.224	0.269	30.96%	69.04%
14	768	78.74%	6.644	0.437	21.26%	577	6.357	0.437	22.59%	77.41%
15	888	84.48%	6.789	0.622	15.52%	697	6.546	0.622	12.44%	87.56%
16	912	90.23%	6.816	0.844	9.77%	721	6.580	0.844	10.93%	89.07%
17	1176	95.98%	7.070	1.167	4.02%	985	6.892	1.167	2.10%	97.90%

Elaboración propia

**Figura 37:** Gráfica Weibull 2 parámetros para el tornillo de descarga de insumos



Elaboración propia

Los parámetros que se obtienen del gráfico de la tendencia lineal se muestran a continuación:

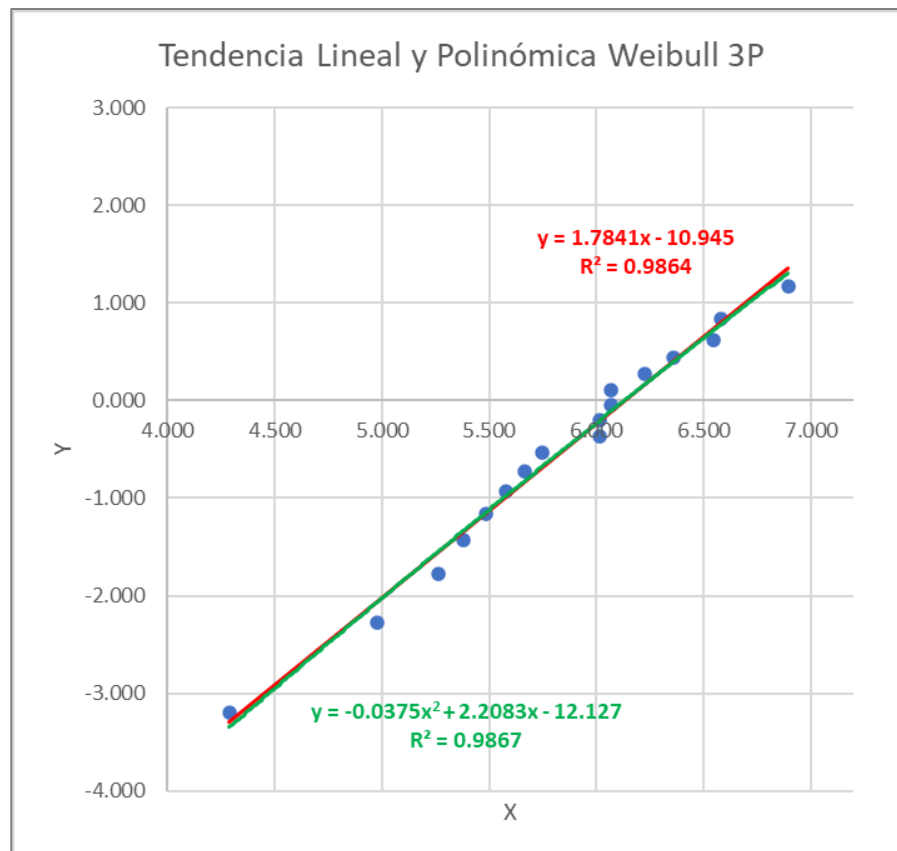
**Tabla 33:** Valores obtenidos Weibull 2 parámetros para el tornillo de descarga de insumo

Parámetro	Valor
Parámetro de Forma ( $\beta$ )	2.93
Parámetro de escala ( $\eta$ )	669.25
Parámetro de posición ( $\gamma$ )	0
Coefficiente de Correlación (R)	0.9775
Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF)	597.03

Elaboración propia

Desarrollo de la gráfica de Weibull de 3 parámetros:

**Figura 38:** Gráfica Weibull 3 parámetros para el tornillo de descarga de insumo



Elaboración propia

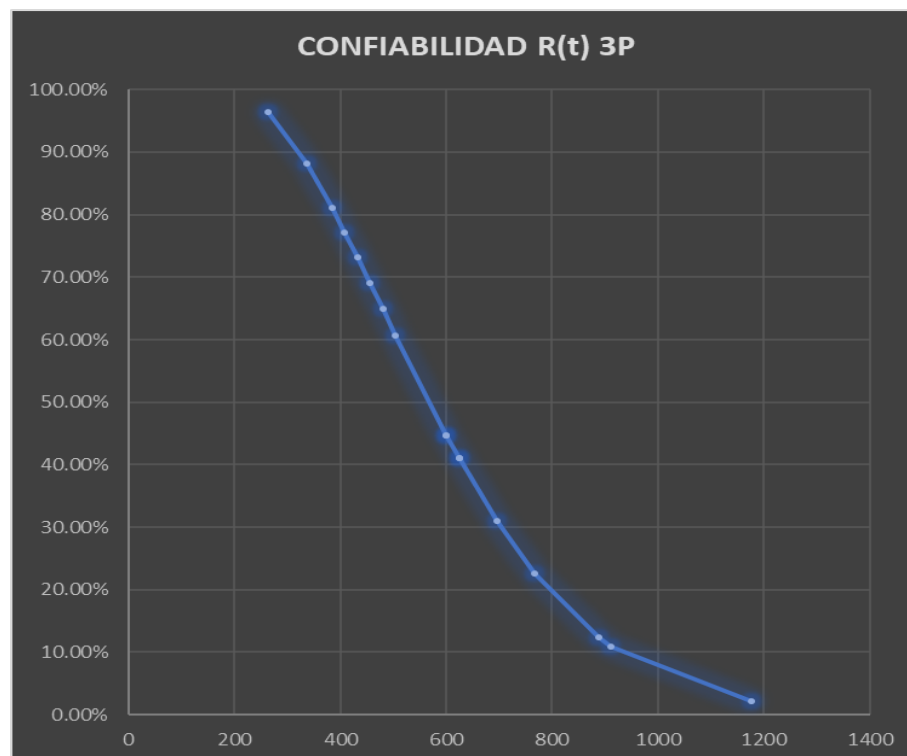
**Tabla 34:** Valores obtenidos Weibull 3 parámetros para el tornillo de descarga de insumo

Parámetro	Valor
Parámetro de Forma ( $\beta$ )	1.784
Parámetro de escala ( $\eta$ )	461.69
Parámetro de posición ( $\gamma$ )	191.21
Coefficiente de Correlación (R)	0.9932
Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF)	410.76

Elaboración propia

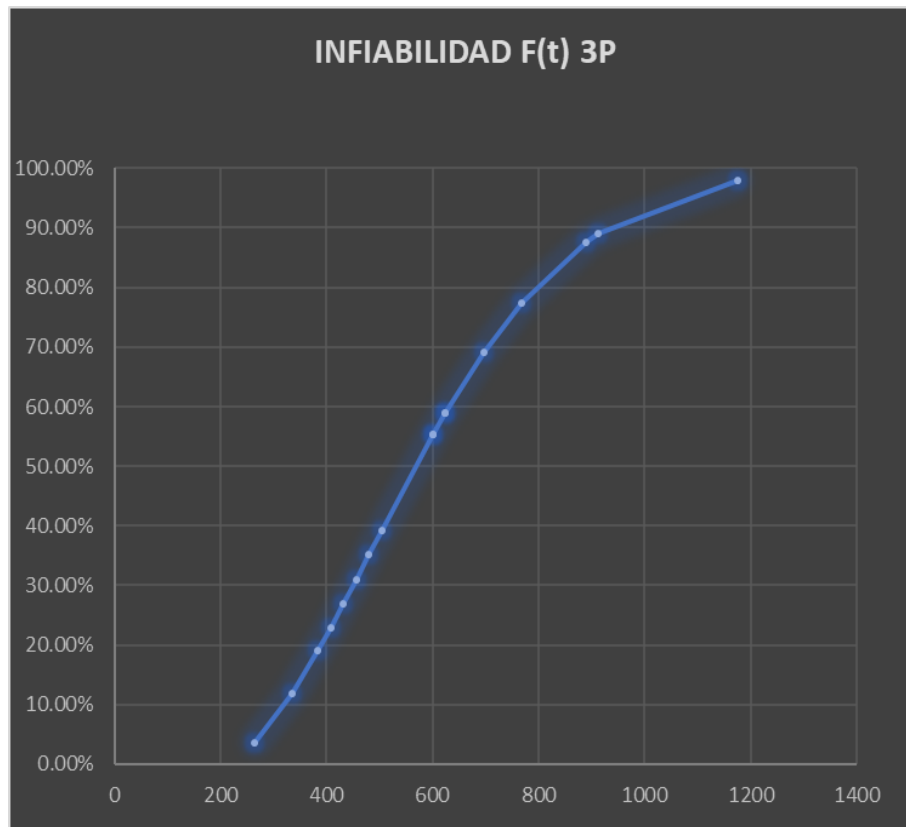
Realizando una comparativa entre los valores obtenidos de la distribución de Weibull, se puede identificar que la distribución de Weibull de 3 parámetros se ajusta a los datos de falla, y para este caso graficaremos las curvas de Confiabilidad e Infiabilidad para determinar los intervalos de intervención de mantenimiento preventivo para las balanzas automáticas de insumos sólidos.

**Figura 39:** Curva de Confiabilidad tornillo de descarga de insumos



Elaboración propia

**Figura 40:** Curva de Infiabilidad tornillo de descarga de insumos



Elaboración propia

De las gráficas de distribución de Weibull de 3 parámetros, se obtiene que el tiempo medio entre fallas (MTBF) es de 410.76 horas para una confiabilidad de 76.68%, la vida característica ( $\eta$ ) es de 461.69 horas y se tiene una vida asegurada ( $\gamma$ ) de 191.21 horas.

Se concluye que un mantenimiento óptimo para este caso es el mantenimiento preventivo que se debe de realizar cada 336 horas (2 semanas) de operación, para una confiabilidad de 87.15%. Este resultado es aplicable para todos los tornillos de descarga de insumos sólidos, ya que estas son de las mismas capacidades y trabajan en las mismas condiciones de operación.

El mantenimiento preventivo a realizarse para los tornillos de descarga de insumos sólidos es principalmente la limpieza del canalón y las hélices del tornillo sin fin.

#### 4.9.4. Distribución weibull para el tornillo de descarga mayor

En la siguiente tabla se presenta el cuadro con el registro de fallas según el periodo de estudio.

**Tabla 35:** Registro de fallas tornillo de descarga mayor

ITEM	FECHA	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	CAUSA	HORÓMETRO (HORAS)
1	5/12/2020	Cojinete del soporte intermedio del tornillo se encuentra desgastado.	Fricción del eje con la bocina.	672
2	9/01/2021	Cojinete del soporte intermedio del tornillo se encuentra desgastado.	Fricción del eje con la bocina.	1512
3	19/02/2021	Altas vibraciones del tornillo de descarga mayor.	Cojinete totalmente desgastado.	2496
4	22/03/2021	Cojinete del soporte intermedio del tornillo se encuentra desgastado.	Fricción del eje con la bocina.	3240
5	4/05/2021	Cojinete del soporte intermedio del tornillo se encuentra desgastado.	Fricción del eje con la bocina.	4296
6	9/06/2021	Bocina desgastada del soporte intermedio del tornillo sin fin.	Fricción con el eje del tornillo.	5136
7	15/07/2021	Cojinete del soporte intermedio del tornillo se encuentra desgastado.	Fricción del eje con la bocina.	6000
8	26/08/2021	Altas vibraciones del tornillo de descarga mayor.	Cojinete totalmente desgastado.	7008
9	29/09/2021	Sobrecarga del motorreductor por desalineamiento del eje tornillo sin fin.	Cojinete desgastado y apelmaza del insumo	7824
10	23/10/2021	Cojinete del soporte intermedio del tornillo se encuentra desgastado.	Fricción del eje con la bocina.	8400
11	24/11/2021	Altas vibraciones del tornillo de descarga mayor.	Cojinete totalmente desgastado.	9168
12	18/12/2021	Bocina desgastada del soporte intermedio del tornillo sin fin.	Fricción con el eje del tornillo.	9744
13	29/01/2022	Alojamiento del cojinete del soporte intermedio con desgaste.	Bocina de teflón desgastado por completo.	10752
14	28/02/2021	Cojinete del soporte intermedio del tornillo se encuentra desgastado.	Fricción del eje con la bocina.	11472

Elaboración propia

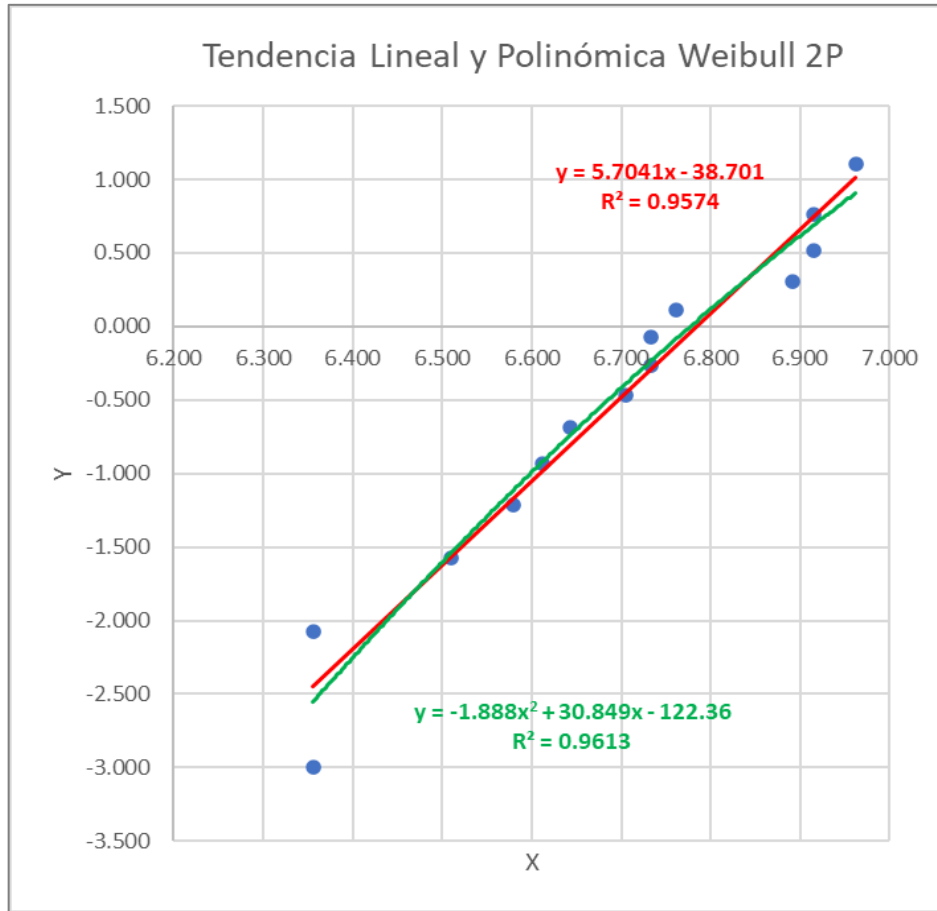
**Tabla 36:** Valores obtenidos para la Confiabilidad tornillo de descarga mayor

Número de Fallas	Horas para la Falla	WEIBULL 2 PARÁMETROS				WEIBULL 3 PARÁMETROS				
		Probabilidad de Falla	Ln(ti)	Ln(Ln(1/(1-F(ti))))	Confiabilidad 2P	Diferencia (ti-y)	Ln(ti-y)	Ln(Ln(1/(1-F(ti))))	Confiabilidad 3P	Infiabilidad 3P
(i)	(ti)	F(ti)	X	Y	R(t)	(ti-y)	X	Y	R(t)	F(t)
1	576	4.86%	6.356	-2.999	95.14%	281	5.637	-2.999	92.50%	7.50%
2	576	11.81%	6.356	-2.074	88.19%	281	5.637	-2.074	92.50%	7.50%
3	672	18.75%	6.510	-1.572	81.25%	377	5.931	-1.572	80.47%	19.53%
4	720	25.69%	6.579	-1.214	74.31%	425	6.051	-1.214	71.90%	28.10%
5	744	32.64%	6.612	-0.929	67.36%	449	6.106	-0.929	67.06%	32.94%
6	768	39.58%	6.644	-0.685	60.42%	473	6.158	-0.685	61.94%	38.06%
7	816	46.53%	6.704	-0.468	53.47%	521	6.255	-0.468	51.13%	48.87%
8	840	53.47%	6.733	-0.268	46.53%	545	6.300	-0.268	45.62%	54.38%
9	840	60.42%	6.733	-0.076	39.58%	545	6.300	-0.076	45.62%	54.38%
10	864	67.36%	6.762	0.113	32.64%	569	6.343	0.113	40.18%	59.82%
11	984	74.31%	6.892	0.307	25.69%	689	6.535	0.307	16.93%	83.07%
12	1008	81.25%	6.916	0.515	18.75%	713	6.569	0.515	13.52%	86.48%
13	1008	88.19%	6.916	0.759	11.81%	713	6.569	0.759	13.52%	86.48%
14	1056	95.14%	6.962	1.107	4.86%	761	6.634	1.107	8.12%	91.88%

Elaboración propia

Desarrollo de la gráfica de Weibull de 2 parámetros:

**Figura 41:** Gráfica Weibull 2 parámetros para el tornillo de descarga mayor



Elaboración propia

Los parámetros que se obtienen del gráfico Weibull de la tendencia lineal se muestran a continuación:

**Tabla 37:** Valores obtenidos Weibull 2 parámetros para el tornillo de descarga mayor

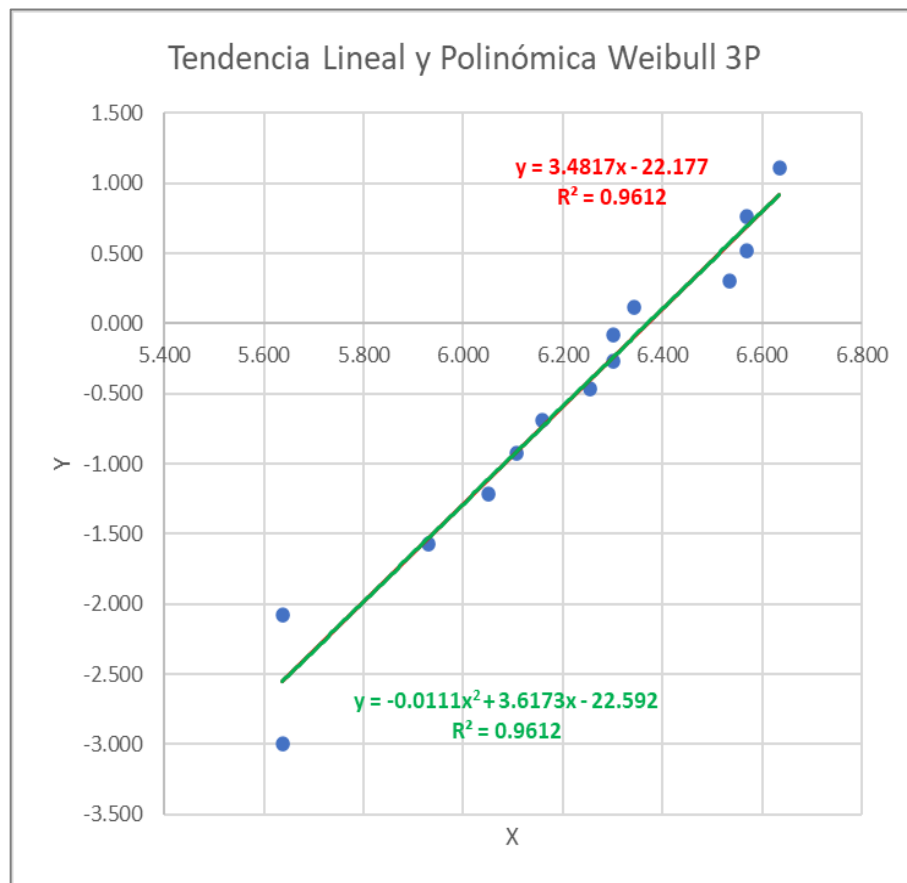
Parámetro	Valor
Parámetro de Forma ( $\beta$ )	5.7041
Parámetro de escala ( $\eta$ )	884.35
Parámetro de posición ( $\gamma$ )	0
Coefficiente de Correlación (R)	0.9785
Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF)	818.11

Elaboración propia



Desarrollo de la gráfica de Weibull de 3 parámetros:

**Figura 42:** Gráfica Weibull 3 parámetros para el tornillo de descarga mayor



Elaboración propia

Los parámetros que se obtienen del gráfico Weibull de la tendencia lineal se muestran a continuación:

**Tabla 38:** Valores obtenidos Weibull 3 parámetros para el tornillo de descarga mayor

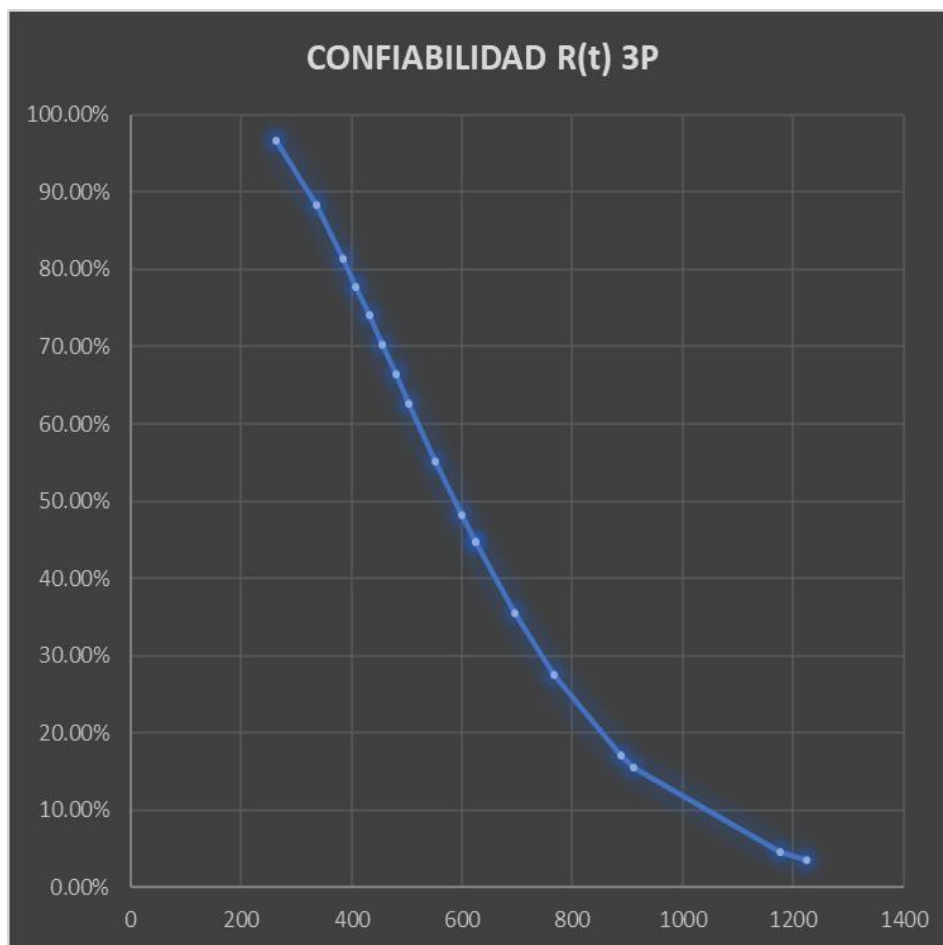
Parámetro	Valor
Parámetro de Forma ( $\beta$ )	3.4817
Parámetro de escala ( $\eta$ )	583.91
Parámetro de posición ( $\gamma$ )	295.36
Coefficiente de Correlación (R)	0.9804
Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF)	525.22

Elaboración propia

Realizando una comparativa entre los valores obtenidos de la distribución de Weibull de 2 parámetros y 3 parámetros, se puede apreciar que la que más se ajusta a los datos de falla es la distribución de Weibull de 3 parámetros, ya que su coeficiente de correlación ( $R$ ) está más cerca de la unidad y así mismo existe una dependencia lineal de los datos de falla, como también el parámetro de escala ( $\eta$ ) está dentro de las horas para la falla.

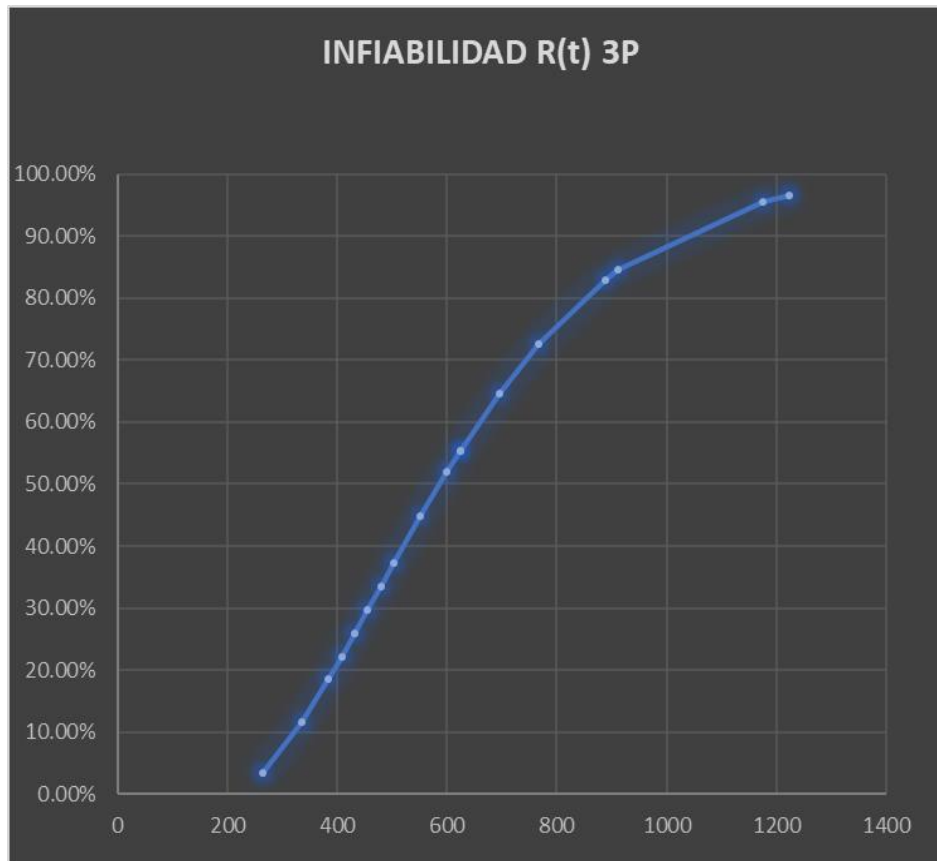
Como la distribución de Weibull de 3 parámetros se ajusta mejor a los datos de falla, graficaremos las curvas de Confiabilidad e Infiabilidad para determinar los intervalos de intervención de mantenimiento preventivo para el tornillo de carga de insumos.

**Figura 43:** Curva de Confiabilidad tornillo de descarga mayor



Elaboración propia

**Figura 44:** Curva de Infiabilidad tornillo de descarga mayor



Elaboración propia

De las gráficas de distribución de Weibull de 3 parámetros, se obtiene que el tiempo medio entre fallas (MTBF) es de 525.22 horas para una confiabilidad de 59.34%, la vida característica ( $\eta$ ) es de 583.91 horas y una vida asegurada ( $\gamma$ ) de 295.36 horas.

Se concluye que un mantenimiento óptimo para este caso es el mantenimiento preventivo que se debe de realizar cada 504 horas (3 semanas) de operación, para una confiabilidad de 62.68%.

Como el parámetro de forma ( $\beta$ ) es superior a 1, la tasa de fallos es creciente (fallas por desgaste).

El mantenimiento preventivo a realizarse será principalmente el cambio del cojinete intermedio cada 504 horas de operación (3 semanas) para el tornillo sin fin de descarga mayor de insumos sólidos.

#### 4.9.5. Distribución weibull para la balanza automática de líquidos

En la siguiente tabla se presenta el cuadro con el registro de fallas según el periodo de estudio.

El registro de fallas hace referencia a la balanza de líquidos, así como a la balanza de ácido (HLAS)

**Tabla 39:** Registro de fallas balanza automática de líquidos

ITEM	FECHA	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	CAUSA	HORÓMETRO (HORAS)
1	22/07/2020	La celda de la balanza no transfiere la señal del peso al controlador CB920X y/o scada.	Falso contacto de borneras en el tablero de celda.	888
2	7/08/2020	Balanza automática de insumo líquidos descalibrado.	Sobrecarga por falla de la Scada.	1272
3	18/08/2020	Falla del controlador de Peso y dosificación CB920X	Polvo en la tarjeta del controlador.	1536
4	5/09/2020	Balanza automática de insumo líquidos descalibrado.	Sobrecarga por falla del sistema de control.	1968
5	26/10/2020	Celdas de carga en mal estado y con acumulación de óxido.	Falta de limpieza y lubricación.	3192
6	14/10/2020	Balanza automática de insumo líquidos descalibrado.	Sobrecarga por falla de la Scada.	3648
7	21/11/2020	Válvula automática no abre para la carga del insumo líquido hacia las balanzas.	Bobina abierto de la electroválvula.	4560
8	10/01/2021	No carga el insumo líquido a la balanza.	Pérdida de señal del controlador CB920X.	5736
9	1/02/2021	La celda de la balanza no transfiere la señal del peso al controlador CB920X y/o scada.	Falso contacto de borneras en el tablero de celda.	6240
10	27/02/2021	Celda de carga manda falsa lectura de peso a la Scada.	Celdas de carga obstruidos por el polvo.	6864
11	24/03/2021	Celdas de carga con una desviación de +/- 3mV	Sobrecargas progresivas.	7464
12	19/04/2021	Balanza automática de insumo líquidos descalibrado.	Sobrecarga por falla del sistema de control.	8088
13	3/05/2021	La celda de la balanza no transfiere la señal del peso al controlador CB920X y/o scada.	Falso contacto de borneras en el tablero de celda.	8424
14	20/05/2021	Actuador neumático de la válvula automática con pase de aire.	Desgaste interior en el actuador.	8832
15	21/06/2021	Balanza automática de insumo líquidos descalibrado.	Sobrecarga por falla de la Scada.	9600
16	14/07/2021	No carga el insumo líquido a la balanza.	Pérdida de señal del controlador CB920X.	10152
17	12/08/2021	Celdas de carga con una desviación de +/- 3mV	Sobrecargas progresivas.	10848
18	1/09/2021	No carga el insumo líquido a la balanza.	Pérdida de señal del controlador CB920X.	11328

Elaboración propia

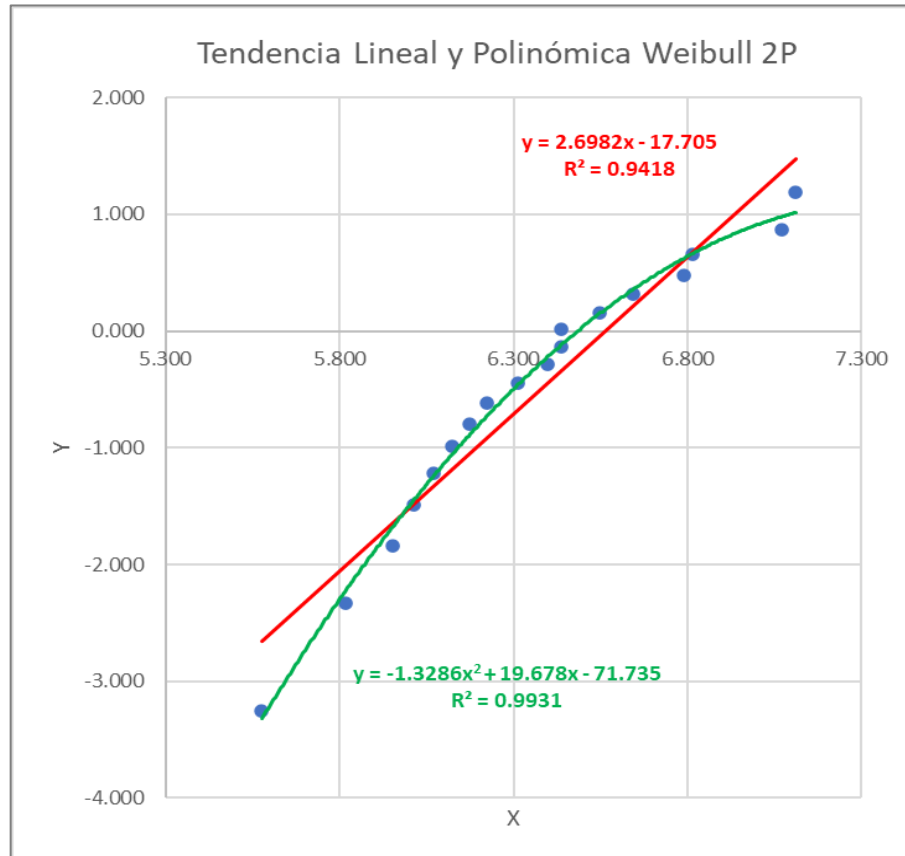
**Tabla 40:** Valores obtenidos para la Confiabilidad balanza automática de líquidos

Número de Fallas	Horas para la Falla	WEIBULL 2 PARÁMETROS				WEIBULL 3 PARÁMETROS				
		Probabilidad de Falla	Ln(ti)	Ln(Ln(1/(1-F(ti))))	Confiabilidad 2P	Diferencia (ti-y)	Ln(ti-y)	Ln(Ln(1/(1-F(ti))))	Confiabilidad 3P	Infiabilidad 3P
(i)	(ti)	F(ti)	X	Y	R(t)	(ti-y)	X	Y	R(t)	F(t)
1	264	3.80%	5.576	-3.250	96.20%	59	4.078	-3.250	96.60%	3.40%
2	336	9.24%	5.817	-2.334	90.76%	131	4.876	-2.334	88.31%	11.69%
3	384	14.67%	5.951	-1.841	85.33%	179	5.188	-1.841	81.44%	18.56%
4	408	20.11%	6.011	-1.494	79.89%	203	5.313	-1.494	77.79%	22.21%
5	432	25.54%	6.068	-1.221	74.46%	227	5.425	-1.221	74.04%	25.96%
6	456	30.98%	6.122	-0.992	69.02%	251	5.526	-0.992	70.24%	29.76%
7	480	36.41%	6.174	-0.792	63.59%	275	5.617	-0.792	66.43%	33.57%
8	504	41.85%	6.223	-0.612	58.15%	299	5.701	-0.612	62.63%	37.37%
9	552	47.28%	6.314	-0.446	52.72%	347	5.849	-0.446	55.19%	44.81%
10	600	52.72%	6.397	-0.289	47.28%	395	5.979	-0.289	48.10%	51.90%
11	624	58.15%	6.436	-0.138	41.85%	419	6.038	-0.138	44.73%	55.27%
12	624	63.59%	6.436	0.010	36.41%	419	6.038	0.010	44.73%	55.27%
13	696	69.02%	6.545	0.159	30.98%	491	6.197	0.159	35.42%	64.58%
14	768	74.46%	6.644	0.311	25.54%	563	6.333	0.311	27.44%	72.56%
15	888	79.89%	6.789	0.473	20.11%	683	6.527	0.473	17.14%	82.86%
16	912	85.33%	6.816	0.652	14.67%	707	6.561	0.652	15.50%	84.50%
17	1176	90.76%	7.070	0.868	9.24%	971	6.878	0.868	4.49%	95.51%
18	1224	96.20%	7.110	1.184	3.80%	1019	6.927	1.184	3.50%	96.50%

Elaboración propia

Desarrollo de la gráfica de Weibull de 2 parámetros:

**Figura 45:** Gráfica Weibull 2 parámetros balanza automática de líquidos



Elaboración propia

Los parámetros que se obtienen del gráfico Weibull de la tendencia lineal se muestran a continuación:

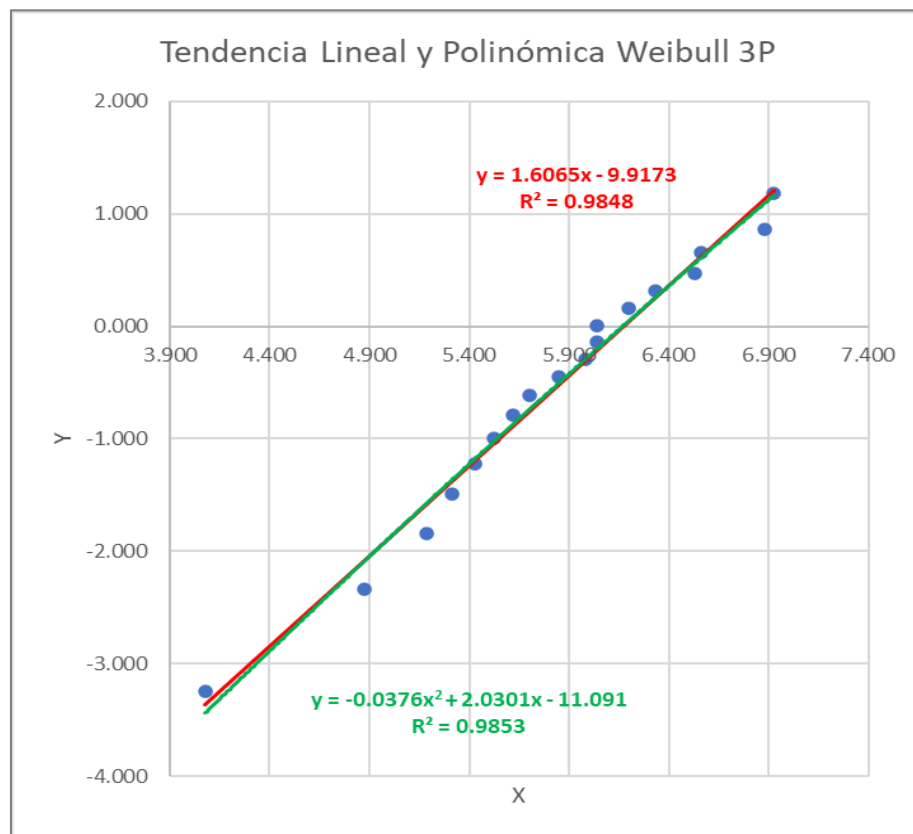
**Tabla 41:** Valores obtenidos Weibull 2 parámetros para la balanza automática de líquidos

Parámetro	Valor
Parámetro de Forma ( $\beta$ )	2.6982
Parámetro de escala ( $\eta$ )	707.56
Parámetro de posición ( $\gamma$ )	0
Coefficiente de Correlación (R)	0.9704
Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF)	629.21

Elaboración propia

Desarrollo de la gráfica de Weibull de 3 parámetros:

**Figura 46:** Gráfica Weibull 3 parámetros balanza automática de líquidos



Elaboración propia

**Tabla 42:** Valores obtenidos Weibull 3 parámetros para la balanza automática de líquidos

Parámetro	Valor
Parámetro de Forma ( $\beta$ )	1.6065
Parámetro de escala ( $\eta$ )	479.81
Parámetro de posición ( $\gamma$ )	204.95
Coefficiente de Correlación (R)	0.9924
Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF)	430.02

Elaboración propia

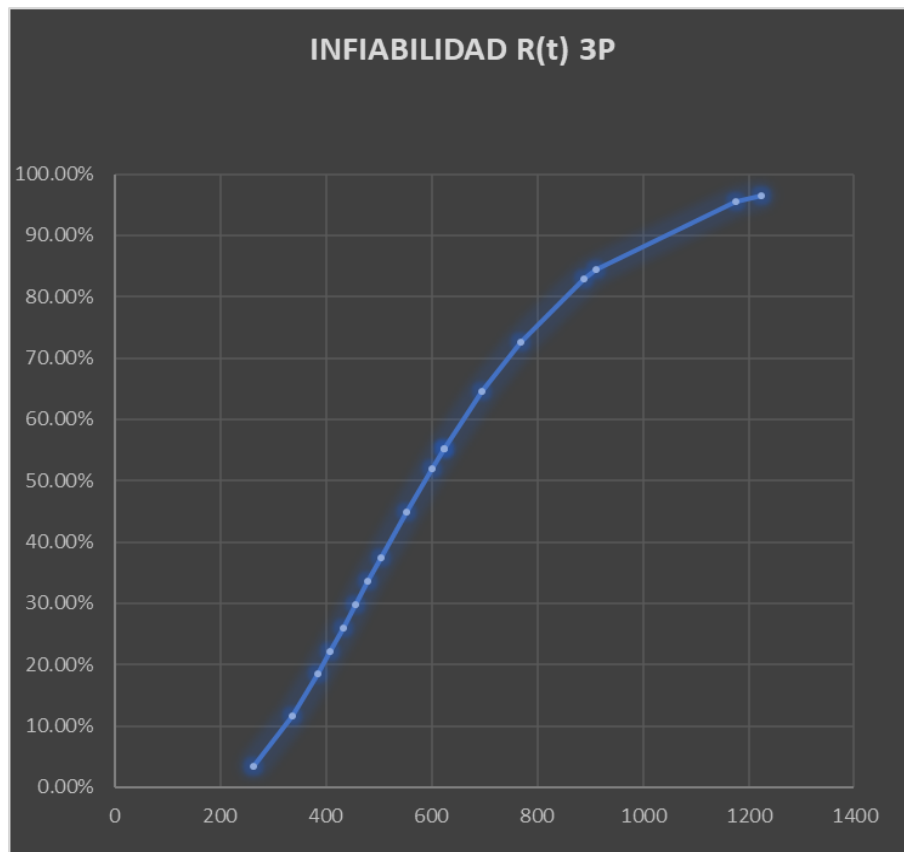
Se puede identificar que la distribución de Weibull de 3 parámetros se ajusta a los datos de falla, y para este caso graficaremos las curvas de Confiabilidad e Infiabilidad para determinar los intervalos de intervención de mantenimiento preventivo para las balanzas automáticas de insumos sólidos.

**Figura 47:** Curva de Confiabilidad balanza automática de líquidos



Elaboración propia

**Figura 48:** Curva de Infiabilidad balanza automática de líquidos



Elaboración propia

De las gráficas de distribución de Weibull de 3 parámetros, se obtiene que el tiempo medio entre fallas (MTBF) es de 410.76 horas para una confiabilidad de 74.35%, la vida característica ( $\eta$ ) es de 479.81 horas y una vida asegurada ( $\gamma$ ) de 204.95 horas.

Se concluye que un mantenimiento óptimo para este caso es el mantenimiento preventivo que se debe de realizar cada 336 horas (2 semanas) de operación, para una confiabilidad de 87.50%. Este resultado también se aplicará para la balanza automática de ácido sulfónico, ya que estas trabajan en las mismas condiciones de operación.

El mantenimiento preventivo a realizarse para las balanzas automáticas de líquidos y ácido sulfónico (HLAS) será principalmente la limpieza al interior del mismo y la calibración de las mismas con peso patrón. Así mismo se debe de considerar la limpieza de las celdas de carga.



#### 4.9.6. Distribución weibull para la batidora crutcher

En la siguiente tabla se presenta el cuadro con el registro de fallas según el periodo de estudio.

**Tabla 43:** Registro de fallas batidora Crutcher

ITEM	FECHA	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	CAUSA	HORÓMETRO (HORAS)
1	8/02/2018	Desalineamiento y altas vibración del agitador.	Desgaste de la bocina inferior.	4512
2	30/05/2018	Desalineamiento y altas vibración del agitador.	Desgaste de la bocina inferior.	7176
3	27/09/2018	Desalineamiento y altas vibración del agitador.	Desgaste de la bocina inferior.	10056
4	12/01/2019	Desalineamiento y altas vibración del agitador.	Desgaste de la bocina inferior.	12624
5	24/05/2019	Sobrecarga en el motorreductor por desalineamiento del agitador.	Cojinete inferior del agitador desgastado.	15792
6	17/10/2019	Sobrecarga en el motorreductor por desalineamiento del agitador.	Cojinete inferior del agitador desgastado.	19296
7	10/01/2020	Desalineamiento y altas vibración del agitador.	Desgaste de la bocina inferior.	21336
8	2/07/2020	Recalentamiento del reductor.	Agitador desalineado y desgaste de la bobina.	25512
9	18/11/2020	Desalineamiento y altas vibración del agitador.	Desgaste de la bocina inferior.	28848
10	20/02/2021	Desalineamiento y altas vibración del agitador.	Desgaste de la bocina inferior.	31104
11	20/08/2021	Desalineamiento y altas vibración del agitador.	Desgaste de la bocina inferior.	35448
12	28/12/2021	Desalineamiento y altas vibración del agitador.	Desgaste de la bocina inferior.	38568
13	24/03/2022	Sobrecarga en el motorreductor por desalineamiento del agitador.	Cojinete inferior del agitador desgastado.	40392

Elaboración propia

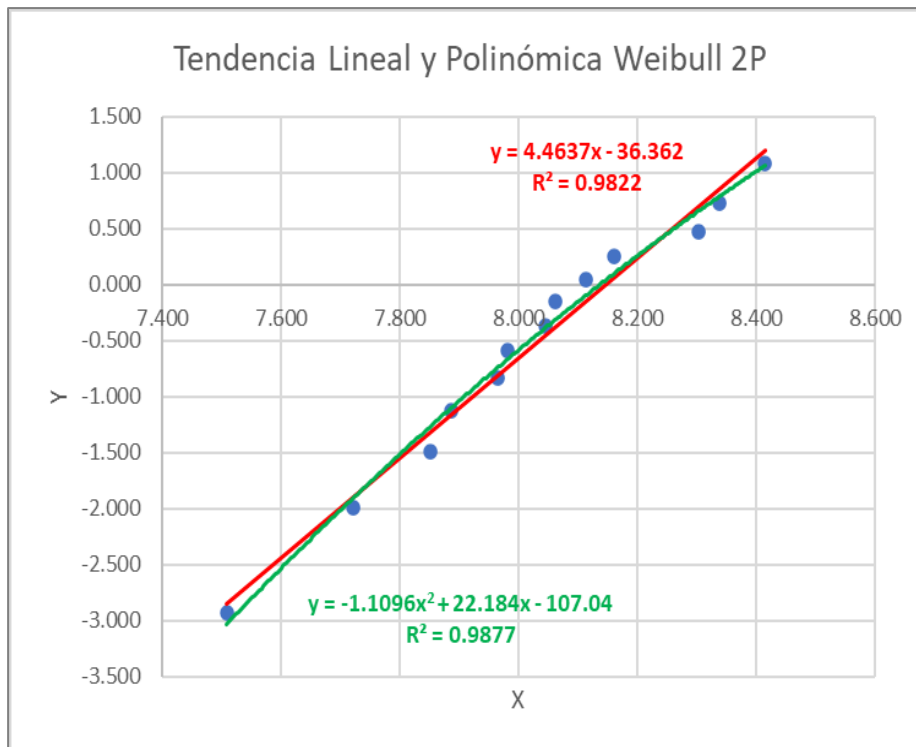
**Tabla 44:** Valores obtenidos para la Confiabilidad Batidora Crutcher

Número de Fallas	Horas para la Falla	WEIBULL 2 PARÁMETROS				WEIBULL 3 PARÁMETROS				
		Probabilidad de Falla	Ln(ti)	Ln(Ln(1/(1-F(ti))))	Confiabilidad 2P	Diferencia (ti-y)	Ln(ti-y)	Ln(Ln(1/(1-F(ti))))	Confiabilidad 3P	Infiabilidad 3P
(i)	(ti)	F(ti)	X	Y	R(t)	(ti-y)	X	Y	R(t)	F(t)
1	1824	5.22%	7.509	-2.925	94.78%	1036	6.944	-2.925	95.18%	4.82%
2	2256	12.69%	7.721	-1.998	87.31%	1468	7.292	-1.998	85.96%	14.04%
3	2568	20.15%	7.851	-1.492	79.85%	1780	7.485	-1.492	75.52%	24.48%
4	2664	27.61%	7.888	-1.130	72.39%	1876	7.537	-1.130	71.72%	28.28%
5	2880	35.07%	7.966	-0.839	64.93%	2092	7.646	-0.839	62.40%	37.60%
6	2928	42.54%	7.982	-0.591	57.46%	2140	7.669	-0.591	60.22%	39.78%
7	3120	50.00%	8.046	-0.367	50.00%	2332	7.755	-0.367	51.26%	48.74%
8	3168	57.46%	8.061	-0.157	42.54%	2380	7.775	-0.157	49.00%	51.00%
9	3336	64.93%	8.113	0.047	35.07%	2548	7.843	0.047	41.15%	58.85%
10	3504	72.39%	8.162	0.252	27.61%	2716	7.907	0.252	33.62%	66.38%
11	4032	79.85%	8.302	0.471	20.15%	3244	8.085	0.471	14.55%	85.45%
12	4176	87.31%	8.337	0.725	12.69%	3388	8.128	0.725	10.90%	89.10%
13	4512	94.78%	8.414	1.082	5.22%	3724	8.223	1.082	4.97%	95.03%

Elaboración propia

Con los valores de X e Y, calculamos los parámetros de la tendencia lineal y polinómica de Weibull 2 y 3 parámetros, así mismo calculamos el coeficiente de correlación (R) quién debe estar muy cercano a la unidad para que la distribución de los valores X e Y se aproximen a la tendencia lineal.

**Figura 49:** Gráfica Weibull 2 parámetros para la batidora Crutcher



Elaboración propia

Los parámetros del gráfico Weibull de la tendencia lineal se muestran a continuación:

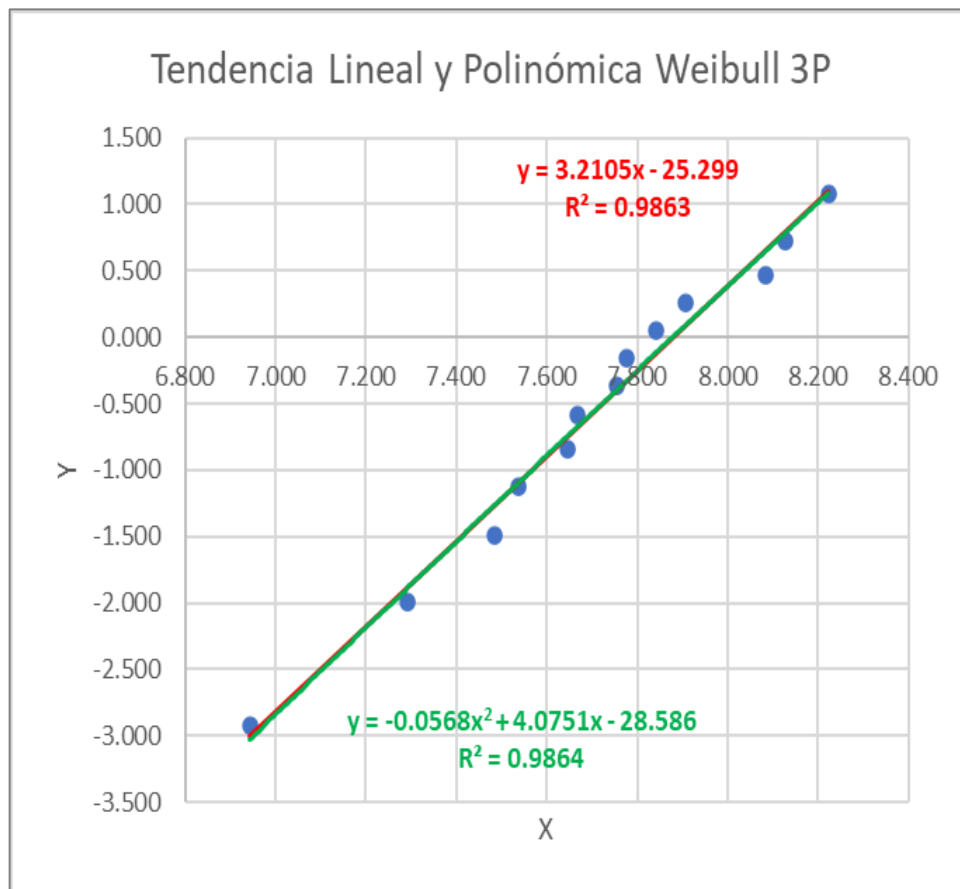
**Tabla 45:** Valores obtenidos Weibull 2 parámetros para la batidora crutcher

Parámetro	Valor
Parámetro de Forma ( $\beta$ )	4.4637
Parámetro de escala ( $\eta$ )	3450.28
Parámetro de posición ( $\gamma$ )	0
Coefficiente de Correlación (R)	0.9910
Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF)	3147.16

Elaboración propia

Desarrollo de la gráfica de Weibull de 3 parámetros:

**Figura 50:** Gráfica Weibull 3 parámetros para la batidora Crutcher



Elaboración propia

Los parámetros que se obtienen del gráfico Weibull de la tendencia lineal se muestran a continuación:

**Tabla 46:** Valores obtenidos Weibull 3 parámetros para la batidora Crutcher

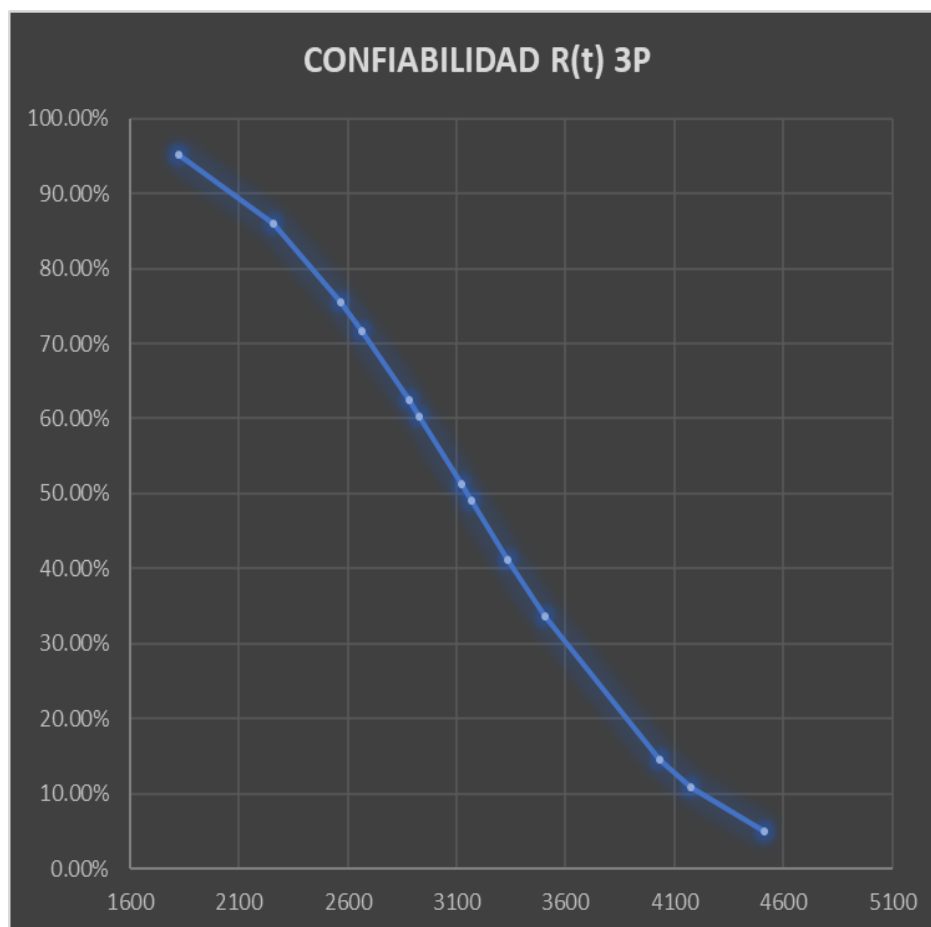
Parámetro	Valor
Parámetro de Forma ( $\beta$ )	3.2105
Parámetro de escala ( $\eta$ )	2644.54
Parámetro de posición ( $\gamma$ )	787.52
Coefficiente de Correlación (R)	0.9931
Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF)	2368.97

Elaboración propia

Realizando una comparativa entre los valores obtenidos de la distribución de Weibull de 2 parámetros y 3 parámetros, se puede identificar que, la que más se ajusta a los datos de falla es la distribución de Weibull de 3 parámetros, ya que su coeficiente de correlación ( $R$ ) está más cerca de la unidad y así mismo existe una dependencia lineal de los datos de falla, como también el parámetro de escala ( $\eta$ ) está dentro de las horas para la falla.

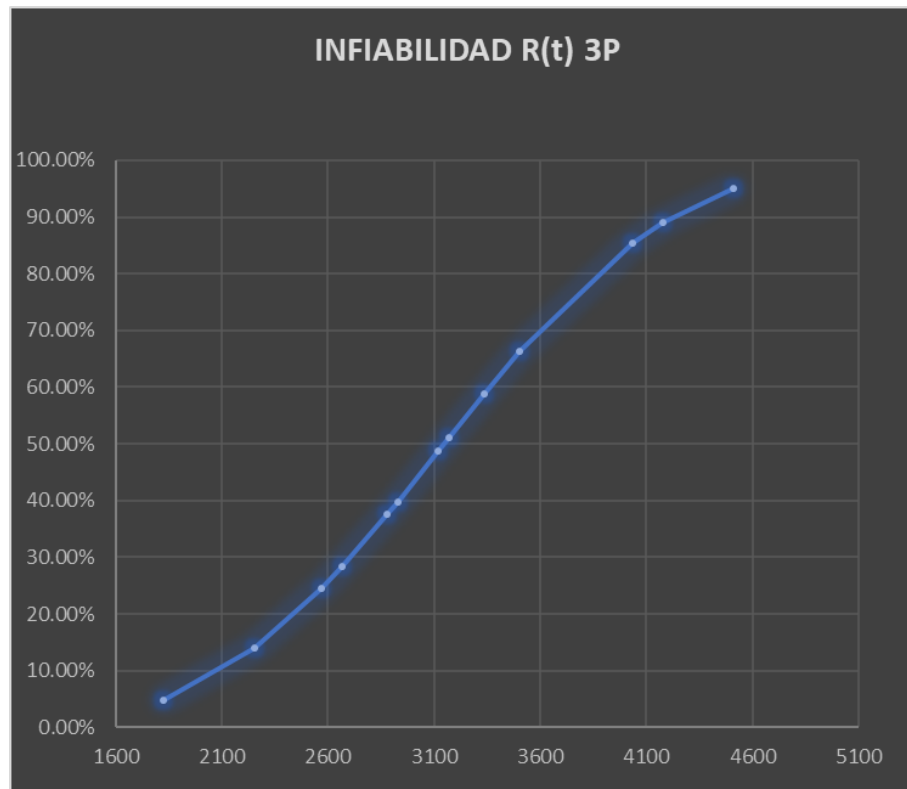
Como la distribución de Weibull de 3 parámetros se ajusta mejor a los datos de falla, graficaremos las curvas de Confiabilidad e Infiabilidad para determinar los intervalos de intervención de mantenimiento preventivo para la mezcladora o batidora Crutcher.

**Figura 51:** Curva de Confiabilidad batidora Crutcher



Elaboración propia

**Figura 52:** Curva de Infiabilidad batidora crutcher



Elaboración propia

De las gráficas de distribución de Weibull de 3 parámetros, se obtiene que el tiempo medio entre fallas (MTBF) es de 2368.97 horas para una confiabilidad de 82.18%, la vida característica ( $\eta$ ) es de 2644.54 horas y se tiene una vida asegurada ( $\gamma$ ) de 787.52 horas.

Se concluye que un mantenimiento óptimo para este caso es el mantenimiento preventivo que se debe de realizar cada 2160 horas (3 meses) de operación, para una confiabilidad de 88.01%.

Como el parámetro de forma ( $\beta$ ) es superior a 1, la tasa de fallos es creciente (fallas por desgaste).

El mantenimiento preventivo a realizarse será principalmente el cambio de la bocina inferior del agitador de la batidora crutcher A y B, ya que ambos trabajan en las mismas condiciones de operación.

#### 4.9.7. Distribución weibull para el agitador autolimpiante

En la siguiente tabla se presenta el cuadro con el registro de fallas según el periodo de estudio.

**Tabla 47:** Registro de fallas agitador autolimpiante

ITEM	FECHA	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	CAUSA	HORÓMETRO (HORAS)
1	12/04/2018	El colador no realiza el filtrado de la pasta batida.	Escobillas desgastadas y colador obstruido.	3888
2	11/10/2018	El colador no realiza el filtrado de la pasta batida.	Escobillas desgastadas y colador obstruido.	8256
3	14/03/2019	El Slurry queda atrapado en el colador del autolimpiante.	Agujeros del colador con Slurry solidificado.	11736
4	12/06/2019	El Slurry queda atrapado en el colador del autolimpiante.	Escobillas desgastadas.	13680
5	26/09/2019	El colador no realiza el filtrado de la pasta batida.	Escobillas desgastadas y colador obstruido.	16224
6	25/01/2020	El colador no realiza el filtrado de la pasta batida.	Escobillas desgastadas y colador obstruido.	19128
7	2/05/2020	El colador no realiza el filtrado de la pasta batida.	Escobillas desgastadas y colador obstruido.	21480
8	7/10/2020	Colador y escobillas desalineados que imposibilita realizar el colado pasta batida.	Desgaste de las escobillas y colador desalineado.	25248
9	15/04/2021	El Slurry queda atrapado en el colador del autolimpiante.	Agujeros del colador con Slurry solidificado.	29808
10	27/08/2021	El Slurry queda atrapado en el colador del autolimpiante.	Agujeros del colador con Slurry solidificado.	33024
11	25/01/2022	El colador no realiza el filtrado de la pasta batida.	Escobillas desgastadas y colador obstruido.	36600

Elaboración propia

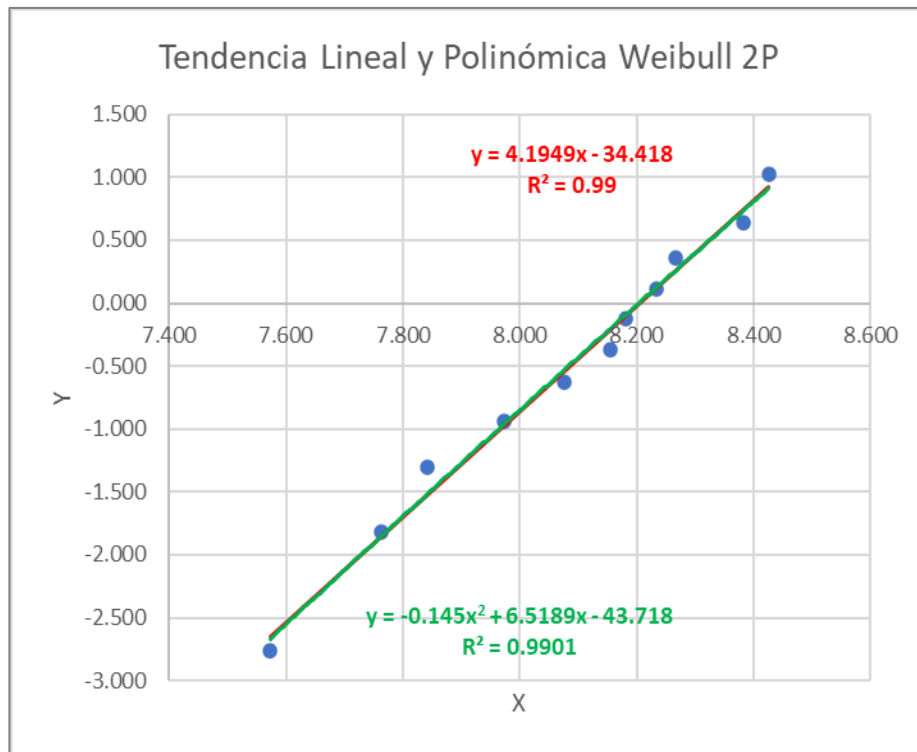
**Tabla 48:** Valores obtenidos para el agitador autolimpiante

Número de Fallas	Horas para la Falla	WEIBULL 2 PARÁMETROS				WEIBULL 3 PARÁMETROS				
		Probabilidad de Falla	Ln(ti)	Ln(Ln(1/(1-F(ti))))	Confiabilidad 2P	Diferencia (ti-γ)	Ln(ti-γ)	Ln(Ln(1/(1-F(ti))))	Confiabilidad 3P	Infiabilidad 3P
(i)	(ti)	F(ti)	X	Y	R(t)	(ti-γ)	X	Y	R(t)	F(t)
1	1944	6.14%	7.573	-2.759	93.86%	1616	7.387	-2.759	93.42%	6.58%
2	2352	14.91%	7.763	-1.823	85.09%	2024	7.613	-1.823	85.43%	14.57%
3	2544	23.68%	7.841	-1.308	76.32%	2216	7.703	-1.308	80.19%	19.81%
4	2904	32.46%	7.974	-0.935	67.54%	2576	7.854	-0.935	67.92%	32.08%
5	3216	41.23%	8.076	-0.632	58.77%	2888	7.968	-0.632	55.31%	44.69%
6	3480	50.00%	8.155	-0.367	50.00%	3152	8.056	-0.367	44.02%	55.98%
7	3576	58.77%	8.182	-0.121	41.23%	3248	8.086	-0.121	39.95%	60.05%
8	3768	67.54%	8.234	0.118	32.46%	3440	8.143	0.118	32.10%	67.90%
9	3888	76.32%	8.266	0.365	23.68%	3560	8.177	0.365	27.49%	72.51%
10	4368	85.09%	8.382	0.643	14.91%	4040	8.304	0.643	12.64%	87.36%
11	4560	93.86%	8.425	1.026	6.14%	4232	8.350	1.026	8.55%	91.45%

Elaboración propia

Con los valores de X e Y, calculamos los parámetros de la tendencia lineal y polinómica de Weibull 2 y 3 parámetros, así mismo calculamos el coeficiente de correlación (R) quién debe estar muy cercano a la unidad para que la distribución de los valores X e Y se aproximen a la tendencia lineal.

**Figura 53:** Gráfica Weibull 2 parámetros para el agitador autolimpiante



Elaboración propia

Los parámetros del gráfico Weibull de la tendencia lineal se muestran a continuación:

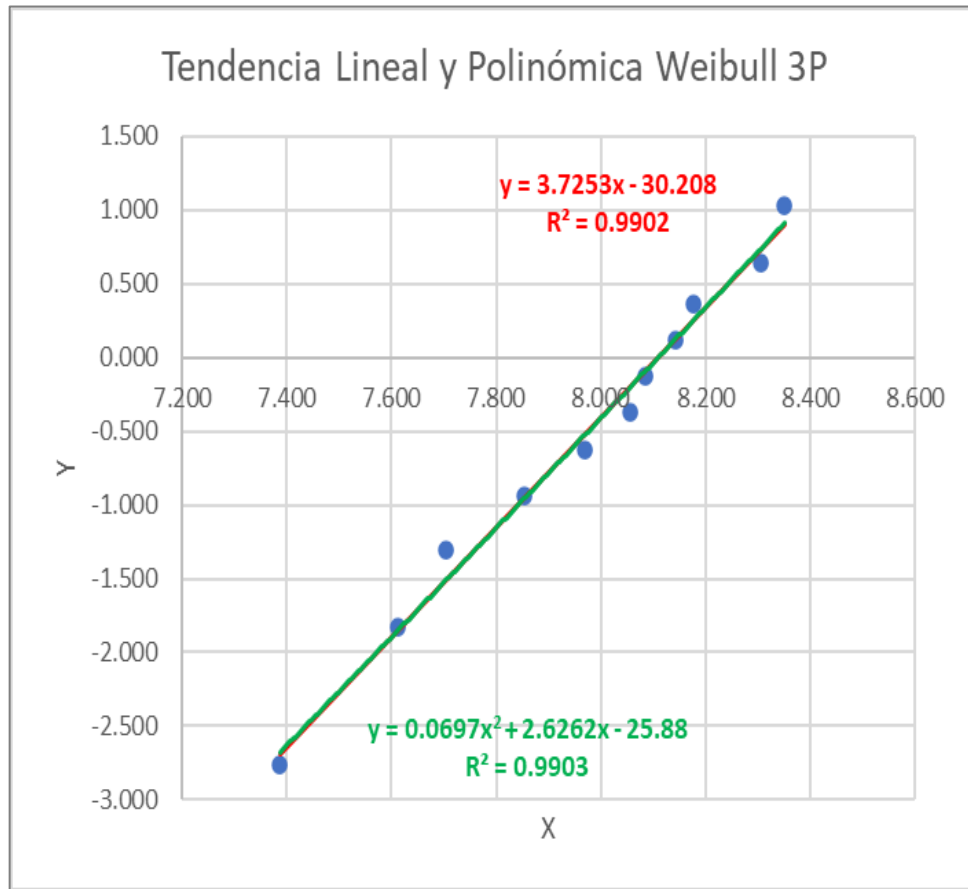
**Tabla 49:** Valores obtenidos Weibull 2 parámetros para el agitador autolimpiante

Parámetro	Valor
Parámetro de Forma ( $\beta$ )	4.1949
Parámetro de escala ( $\eta$ )	3658.06
Parámetro de posición ( $\gamma$ )	0
Coefficiente de Correlación (R)	0.9950
Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF)	3324.71

Elaboración propia

Desarrollo de la gráfica de Weibull de 3 parámetros:

**Figura 54:** Gráfica Weibull 3 parámetros para el agitador autolimpiante



Elaboración propia

Los parámetros que se obtienen del gráfico Weibull de la tendencia lineal se muestran a continuación:

**Tabla 50:** Valores obtenidos Weibull 3 parámetros para el agitador autolimpiante

Parámetro	Valor
Parámetro de Forma ( $\beta$ )	3.7253
Parámetro de escala ( $\eta$ )	3323.48
Parámetro de posición ( $\gamma$ )	328.41
Coefficiente de Correlación (R)	0.9951
Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF)	3000.41

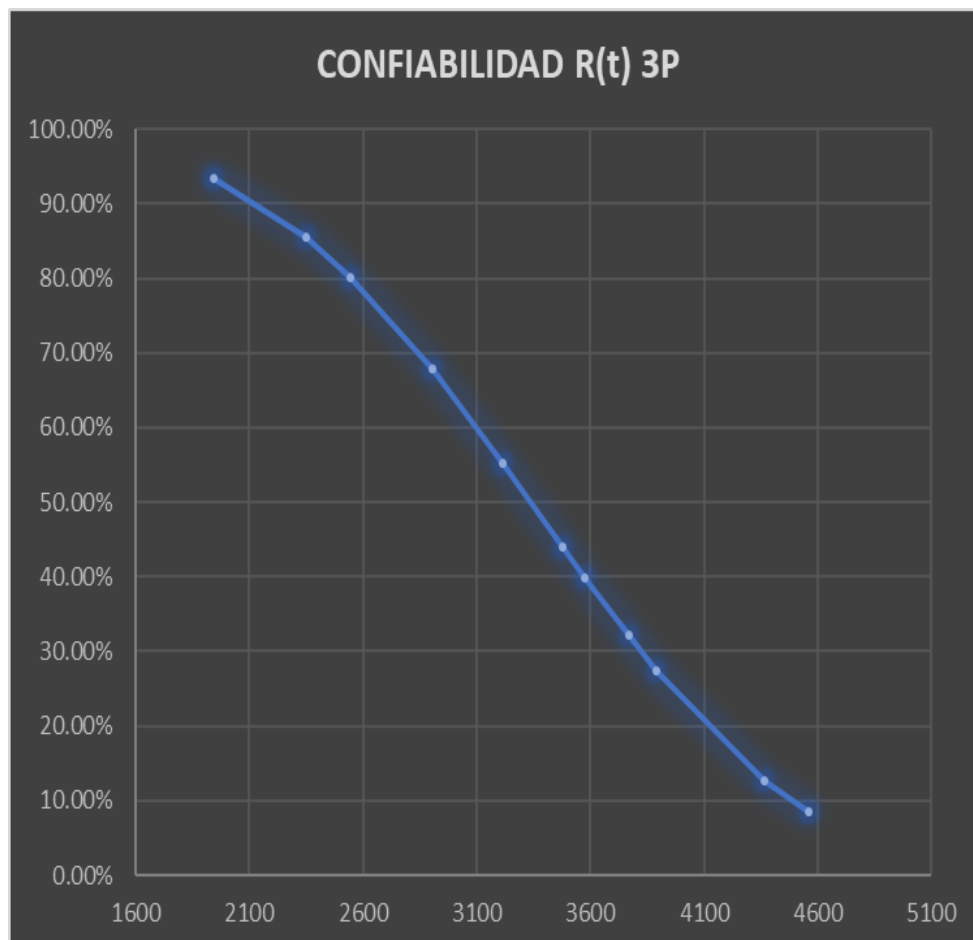
Elaboración propia



Realizando una comparativa entre los valores obtenidos de la distribución de Weibull de 2 parámetros y 3 parámetros, se puede identificar que, la que más se ajusta a los datos de falla es la distribución de Weibull de 3 parámetros, ya que su coeficiente de correlación ( $R$ ) está más cerca de la unidad y así mismo existe una dependencia lineal de los datos de falla, como también el parámetro de escala ( $\eta$ ) está dentro de las horas para la falla.

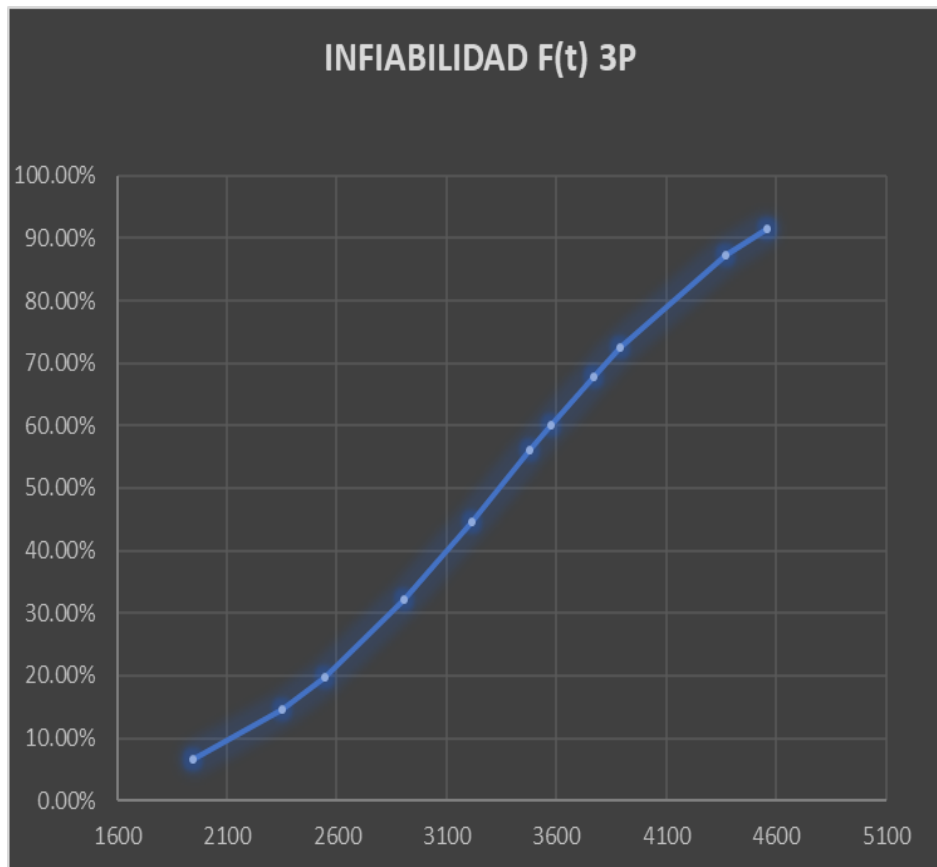
Como la distribución de Weibull de 3 parámetros se ajusta mejor a los datos de falla, graficaremos las curvas de Confiabilidad e Infiabilidad para determinar los intervalos de intervención de mantenimiento preventivo para el equipo agitador autolimpiante.

**Figura 55:** Curva de Confiabilidad agitador autolimpiante



Elaboración propia

**Figura 56:** Curva de Infiabilidad agitador autolimpiante



**FUENTE:** (Elaboración propia)

De las gráficas de distribución de Weibull de 3 parámetros, se obtiene que el tiempo medio entre fallas (MTBF) es de 3000.41 horas para una confiabilidad de 64.02%, la vida característica ( $\eta$ ) es de 3323.48 horas y se tiene una vida asegurada ( $\gamma$ ) de 328.41 horas.

Se concluye que un mantenimiento óptimo para este caso es el mantenimiento preventivo que se debe de realizar cada 2160 horas (3 meses) de operación, para una confiabilidad de 89.19%.

Como el parámetro de forma ( $\beta$ ) es superior a 1, la tasa de fallos es creciente (fallas por desgaste).

El mantenimiento preventivo a realizarse para este caso será principalmente la limpieza y regulación de ajuste del colador, así mismo el reemplazo y regulación de las escobillas.

#### 4.9.8. Distribución weibull para la bomba de alta presión

En la siguiente tabla se presenta el cuadro con el registro de fallas según el periodo de estudio.

**Tabla 51:** Registro de fallas bomba de alta presión

ITEM	FECHA	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	CAUSA	HORÓMETRO (HORAS)
1	9/05/2020	Bomba de pistones alta presión es incapaz de transferir la pasta batida a la torre de secado.	Chevrones desgastados.	384
2	29/05/2020	Bomba de pistones alta presión es incapaz de transferir la pasta batida a la torre de secado.	Chevrones desgastados.	864
3	19/06/2020	Bomba de pistones alta presión es incapaz de transferir la pasta batida a la torre de secado.	Chevrones desgastados.	1368
4	4/08/2020	Bomba de pistones alta presión es incapaz de transferir la pasta batida a la torre de secado.	Chevrones desgastados.	2448
5	28/08/2020	Bomba de pistones alta presión es incapaz de transferir la pasta batida a la torre de secado.	Chevrones desgastados.	3024
6	16/10/2020	Pistones de la bomba de alta presión con fuga de pasta batida.	Chevrones desgastados y pistones con rayaduras.	4200
7	19/11/2020	Pistones con fuga de pasta batida.	Chevrones desgastados.	4992
8	30/12/2020	Bomba de pistones alta presión es incapaz de transferir la pasta batida a la torre de secado.	Chevrones desgastados.	5976
9	5/02/2021	Bomba de pistones alta presión es incapaz de transferir la pasta batida a la torre de secado.	Chevrones desgastados.	6864
10	23/04/2021	Pistones con fuga de pasta batida.	Chevrones desgastados.	8328
11	7/05/2021	Bomba de pistones alta presión es incapaz de transferir la pasta batida a la torre de secado.	Chevrones desgastados.	8592
12	1/07/2021	Bomba de pistones alta presión es incapaz de transferir la pasta batida a la torre de secado.	Chevrones desgastados.	9912
13	19/07/2021	Pistones de la bomba de alta presión con fuga de pasta batida.	Chevrones desgastados y pistones con rayaduras.	10344

Elaboración propia

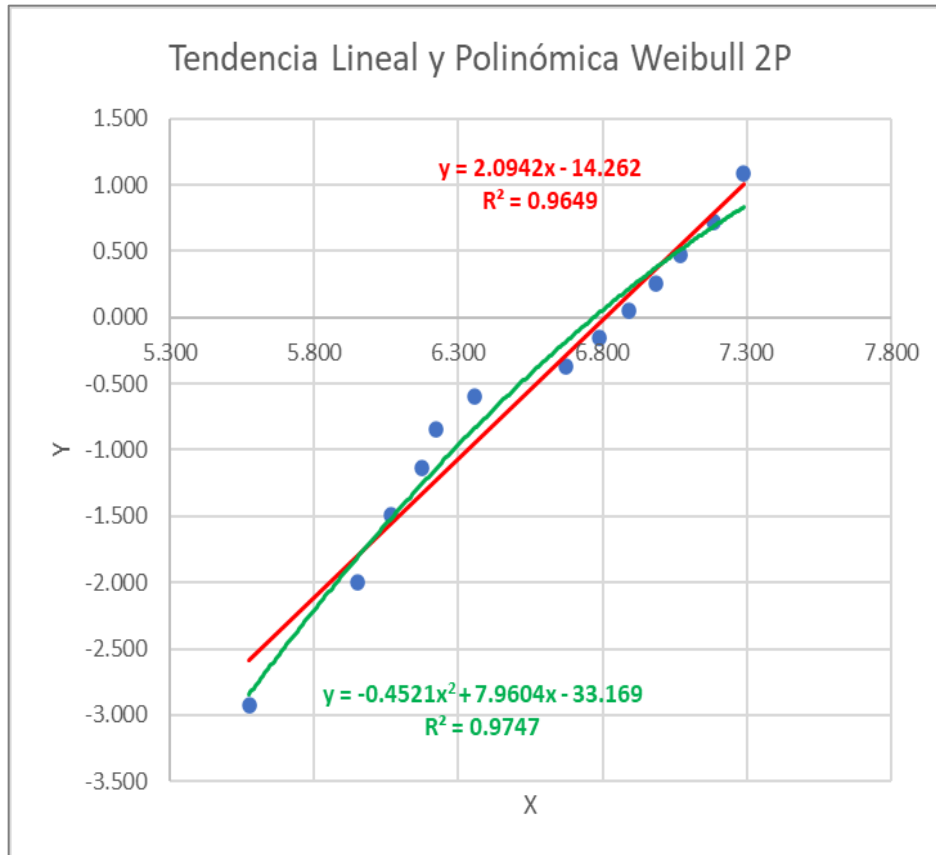
**Tabla 52:** Valores obtenidos para la bomba de alta presión

Número de Fallas	Horas para la Falla	WEIBULL 2 PARÁMETROS				WEIBULL 3 PARÁMETROS				
		Probabilidad de Falla	Ln(ti)	Ln(Ln(1/(1-F(ti))))	Confiabilidad 2P	Diferencia (ti-y)	Ln(ti-y)	Ln(Ln(1/(1-F(ti))))	Confiabilidad 3P	Infiabilidad 3P
(i)	(ti)	F(ti)	X	Y	R(t)	(ti-y)	X	Y	R(t)	F(t)
1	264	5.22%	5.576	-2.925	94.78%	95	4.554	-2.925	94.87%	5.13%
2	384	12.69%	5.951	-1.998	87.31%	215	5.371	-1.998	84.10%	15.90%
3	432	20.15%	6.068	-1.492	79.85%	263	5.572	-1.492	79.28%	20.72%
4	480	27.61%	6.174	-1.130	72.39%	311	5.740	-1.130	74.35%	25.65%
5	504	35.07%	6.223	-0.839	64.93%	335	5.814	-0.839	71.87%	28.13%
6	576	42.54%	6.356	-0.591	57.46%	407	6.009	-0.591	64.49%	35.51%
7	792	50.00%	6.675	-0.367	50.00%	623	6.435	-0.367	44.24%	55.76%
8	888	57.46%	6.789	-0.157	42.54%	719	6.578	-0.157	36.61%	63.39%
9	984	64.93%	6.892	0.047	35.07%	815	6.703	0.047	29.94%	70.06%
10	1080	72.39%	6.985	0.252	27.61%	911	6.815	0.252	24.21%	75.79%
11	1176	79.85%	7.070	0.471	20.15%	1007	6.915	0.471	19.37%	80.63%
12	1320	87.31%	7.185	0.725	12.69%	1151	7.048	0.725	13.61%	86.39%
13	1464	94.78%	7.289	1.082	5.22%	1295	7.166	1.082	9.37%	90.63%

Elaboración propia

Con los valores de X e Y, calculamos los parámetros de la tendencia lineal y polinómica de Weibull 2 y 3 parámetros, así mismo calculamos el coeficiente de correlación (R) quién debe estar muy cercano a la unidad para que la distribución de los valores X e Y se aproximen a la tendencia lineal.

**Figura 57:** Gráfica Weibull 2 parámetros para la bomba de alta presión



Elaboración propia

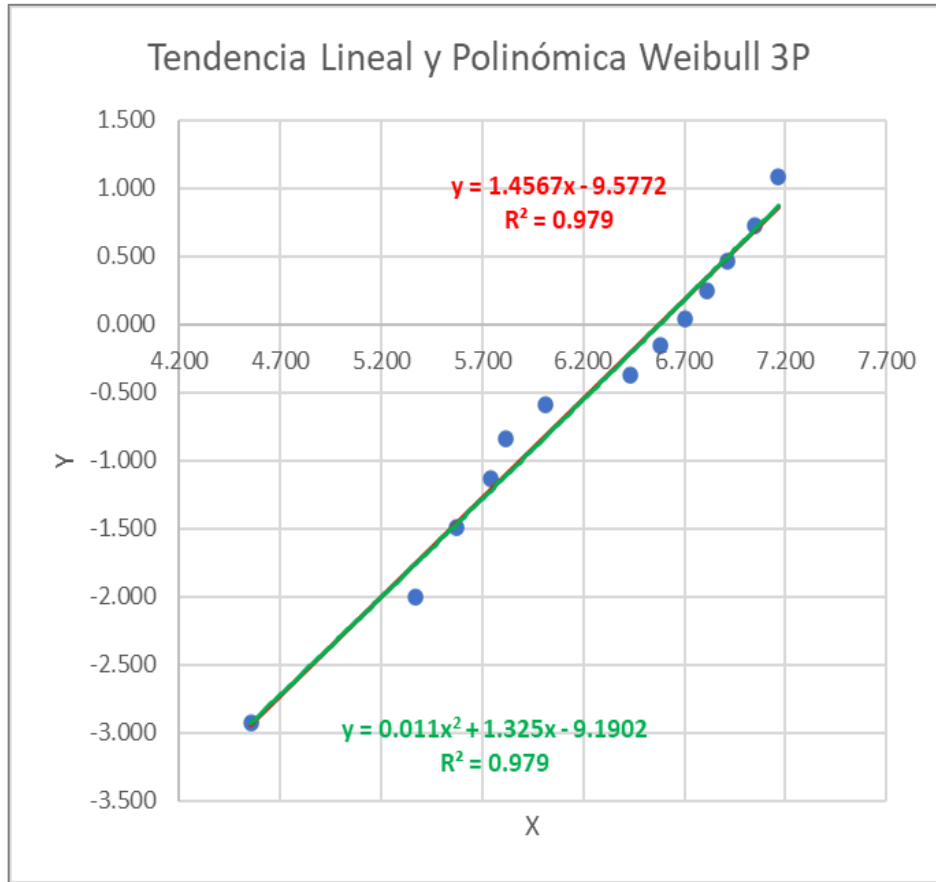
**Tabla 53:** Valores obtenidos Weibull 2 parámetros para la bomba de alta presión

Parámetro	Valor
Parámetro de Forma ( $\beta$ )	2.0942
Parámetro de escala ( $\eta$ )	907.29
Parámetro de posición ( $\gamma$ )	0
Coeficiente de Correlación (R)	0.9823
Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF)	803.59

Elaboración propia

Desarrollo de la gráfica de Weibull de 3 parámetros:

**Figura 58:** Gráfica Weibull 3 parámetros para la bomba de alta presión



Elaboración propia

Los parámetros que se obtienen del gráfico Weibull de la tendencia lineal se muestran a continuación:

**Tabla 54:** Valores obtenidos Weibull 3 parámetros para la bomba de alta presión

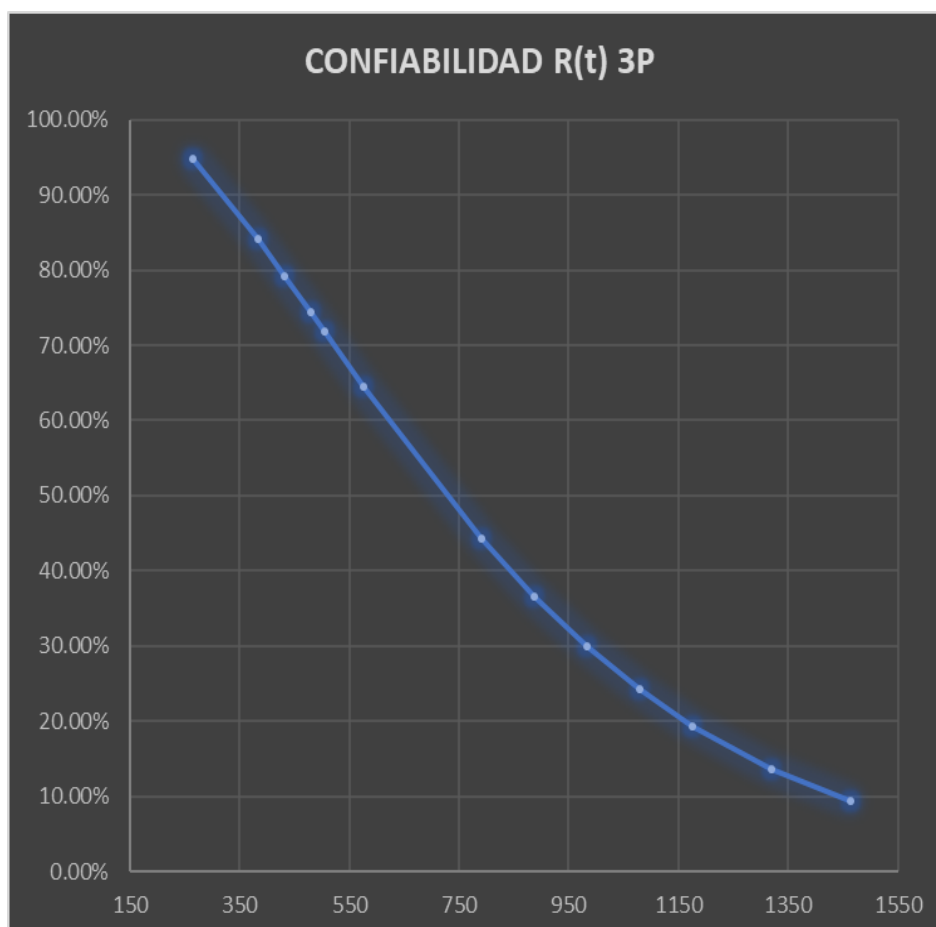
Parámetro	Valor
Parámetro de Forma ( $\beta$ )	1.4567
Parámetro de escala ( $\eta$ )	716.68
Parámetro de posición ( $\gamma$ )	168.98
Coefficiente de Correlación (R)	0.9894
Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF)	649.42

Elaboración propia

Realizando una comparativa entre los valores obtenidos de la distribución de Weibull de 2 parámetros y 3 parámetros, se puede identificar que, la que más se ajusta a los datos de falla es la distribución de Weibull de 3 parámetros, ya que su coeficiente de correlación ( $R$ ) está más cerca de la unidad y así mismo existe una dependencia lineal de los datos de falla, como también el parámetro de escala ( $\eta$ ) está dentro de las horas para la falla.

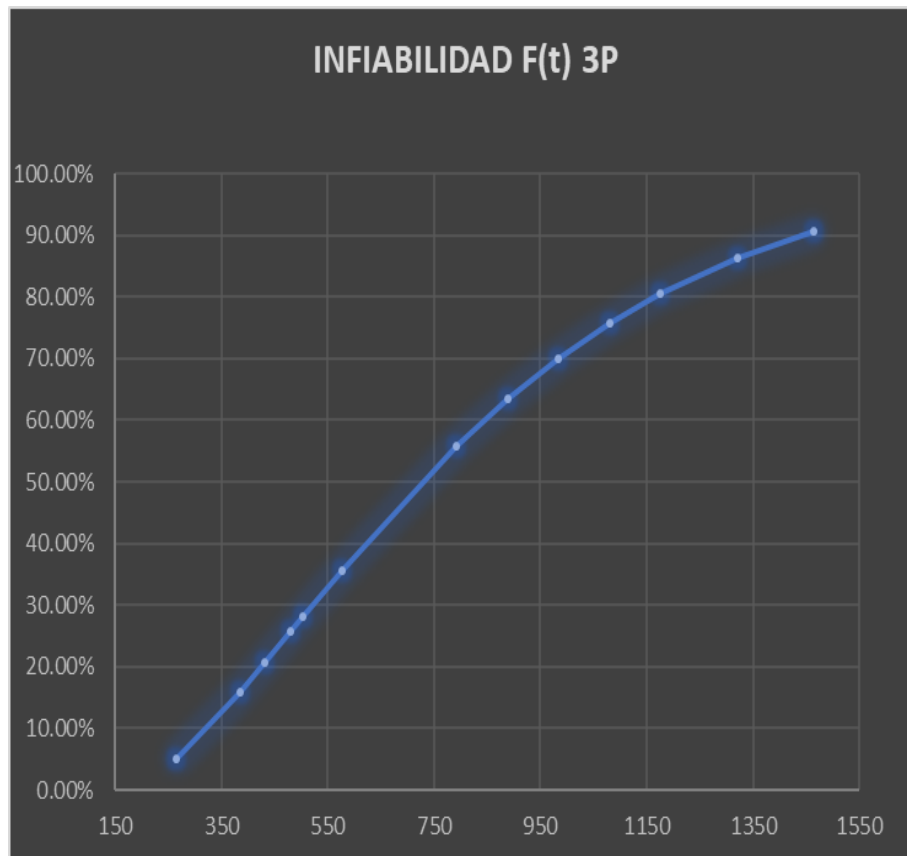
Como la distribución de Weibull de 3 parámetros se ajusta mejor a los datos de falla, a continuación, graficaremos las curvas de Confiabilidad e Infiabilidad para determinar los intervalos de intervención de mantenimiento preventivo para la bomba de alta presión.

**Figura 59:** Curva de Confiabilidad bomba de alta presión



Elaboración propia

**Figura 60:** Curva de Infiabilidad bomba de alta presión



Elaboración propia

De las gráficas de distribución de Weibull de 3 parámetros, se obtiene que el tiempo medio entre fallas (MTBF) es de 649.42 horas para una confiabilidad de 57.61%, la vida característica ( $\eta$ ) es de 716.68 horas y se tiene una vida asegurada ( $\gamma$ ) de 168.98 horas.

Se concluye que un mantenimiento óptimo para este caso es el mantenimiento preventivo que se debe de realizar cada 336 horas (2 semanas) de operación, para una confiabilidad de 88.41%. Como el parámetro de forma ( $\beta$ ) es superior a 1, la tasa de fallos es creciente (fallas por desgaste).

El mantenimiento preventivo a realizarse será principalmente la limpieza de cabezales y reemplazo de los Chevrones y será aplicable para las bombas de alta presión A y B, ya que ambos trabajan en las mismas condiciones de operación.

#### 4.9.9. Distribución weibull para el ventilador primario

En la siguiente tabla se presenta el cuadro con el registro de fallas según el periodo de estudio.

**Tabla 55:** Registro de fallas ventilador primario

ITEM	FECHA	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	CAUSA	HORÓMETRO (HORAS)
1	19/03/2020	Imposible generar la primera etapa de la llama en el quemador.	Chispero averiado.	1632
2	13/05/2020	Alejamiento del electrodo inferior a 1cm con respecto al inyector de gas avivador de Chispa.	Soltura del chispero por vibraciones del quemador.	2952
3	26/06/2020	Imposible generar la primera etapa de la llama en el quemador.	Soltura del chispero por vibraciones del quemador.	3984
4	16/07/2020	Imposible generar la primera etapa de la llama en el quemador.	Soltura del chispero por vibraciones del quemador.	4464
5	3/08/2020	Electrodo generador de la primera llama defectuoso.	Hollín en la punta del electrodo.	4896
6	15/08/2020	Alejamiento del electrodo inferior a 1cm con respecto al inyector de gas avivador de Chispa.	Soltura del chispero por vibraciones del quemador.	5184
7	28/09/2020	Sensor de Fotocelda ultravioleta HONEYWELL no detecta la presencia de la primera llama UV.	Polvo de refractarios en la lente de la fotocelda.	6048
8	14/10/2020	Electrodo generador de la primera llama defectuoso.	Hollín en la punta del electrodo.	6432
9	21/11/2020	Alejamiento del electrodo inferior a 1cm con respecto al inyector de gas avivador de Chispa.	Soltura del chispero por vibraciones del quemador.	7344
10	17/01/2021	Alejamiento del electrodo inferior a 1cm con respecto al inyector de gas avivador de Chispa.	Soltura del chispero por vibraciones del quemador.	8640
11	27/02/2021	Imposible generar la primera etapa de la llama en el quemador.	Chispero averiado.	9624
12	24/03/2021	Imposible generar la primera etapa de la llama en el quemador.	Soltura del chispero por vibraciones del quemador.	10224

Elaboración propia

**Tabla 56:** Valores obtenidos para el ventilador primario

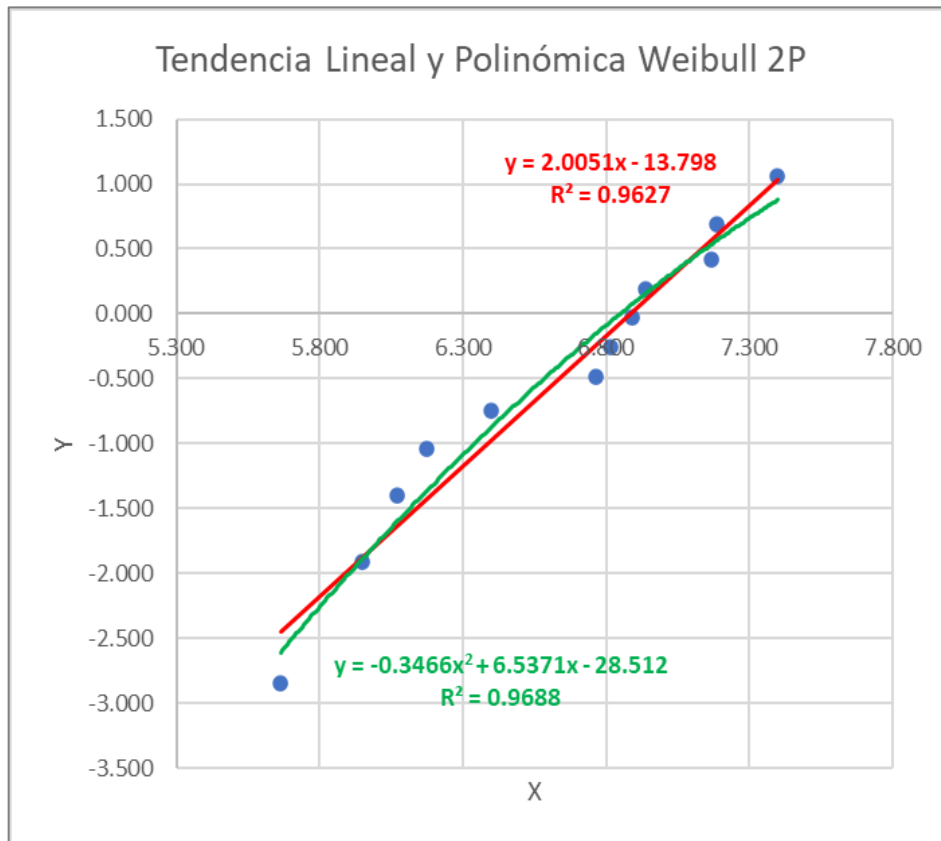
Número de Fallas	Horas para la Falla	WEIBULL 2 PARÁMETROS				WEIBULL 3 PARÁMETROS				
		Probabilidad de Falla	Ln(ti)	Ln(Ln(1/(1-F(ti))))	Confiabilidad 2P	Diferencia (ti-y)	Ln(ti-y)	Ln(Ln(1/(1-F(ti))))	Confiabilidad 3P	Infiabilidad 3P
(i)	(ti)	F(ti)	X	Y	R(t)	(ti-y)	X	Y	R(t)	F(t)
1	288	5.65%	5.663	-2.845	94.35%	84	4.436	-2.845	94.16%	5.84%
2	384	13.71%	5.951	-1.914	86.29%	180	5.196	-1.914	85.14%	14.86%
3	432	21.77%	6.068	-1.404	78.23%	228	5.431	-1.404	80.39%	19.61%
4	480	29.84%	6.174	-1.037	70.16%	276	5.622	-1.037	75.63%	24.37%
5	600	37.90%	6.397	-0.741	62.10%	396	5.983	-0.741	64.06%	35.94%
6	864	45.97%	6.762	-0.485	54.03%	660	6.493	-0.485	42.24%	57.76%
7	912	54.03%	6.816	-0.252	45.97%	708	6.563	-0.252	38.92%	61.08%
8	984	62.10%	6.892	-0.030	37.90%	780	6.660	-0.030	34.31%	65.69%
9	1032	70.16%	6.939	0.190	29.84%	828	6.720	0.190	31.49%	68.51%
10	1296	78.23%	7.167	0.422	21.77%	1092	6.996	0.422	19.15%	80.85%
11	1320	86.29%	7.185	0.687	13.71%	1116	7.018	0.687	18.27%	81.73%
12	1632	94.35%	7.398	1.056	5.65%	1428	7.264	1.056	9.65%	90.35%

Elaboración propia



Con los valores de X e Y, calculamos los parámetros de la tendencia lineal y polinómica de Weibull 2 y 3 parámetros, así mismo calculamos el coeficiente de correlación (R) quién debe estar muy cercano a la unidad para que la distribución de los valores X e Y se aproximen a la tendencia lineal.

**Figura 61:** Gráfica Weibull 2 parámetros para el ventilador primario



Elaboración propia

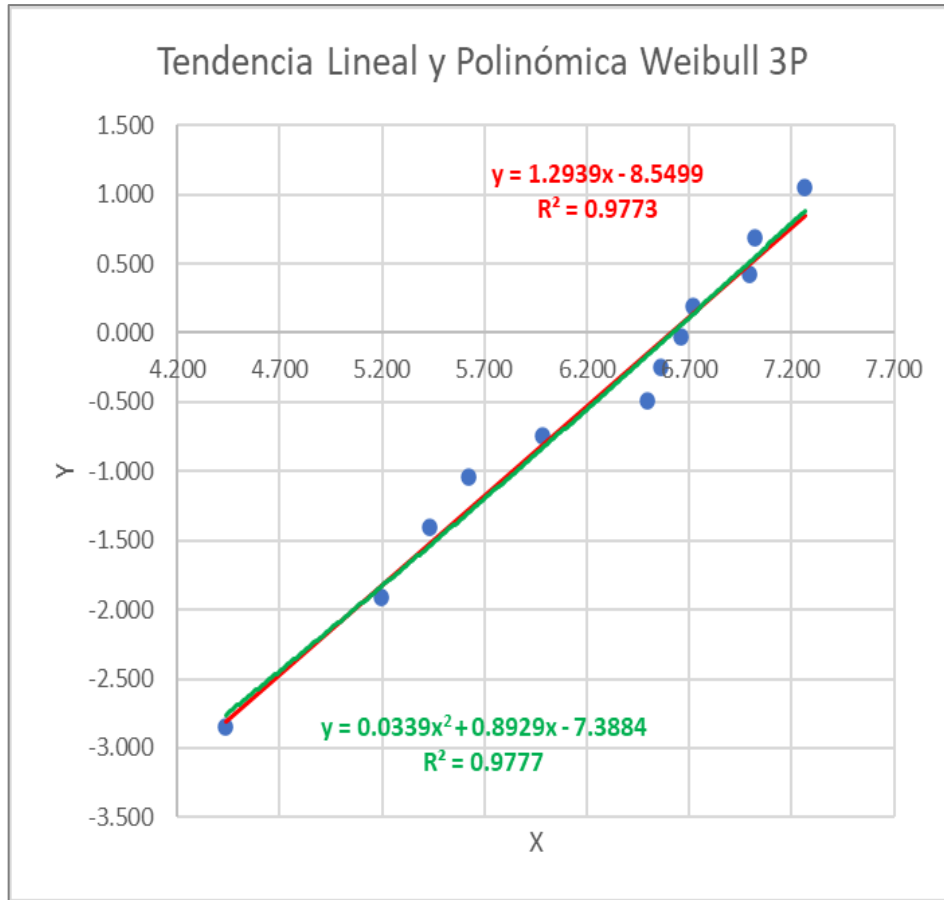
**Tabla 57:** Valores obtenidos Weibull 2 parámetros para el ventilador primario

Parámetro	Valor
Parámetro de Forma ( $\beta$ )	2.0051
Parámetro de escala ( $\eta$ )	974.31
Parámetro de posición ( $\gamma$ )	0
Coefficiente de Correlación (R)	0.9812
Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF)	863.42

Elaboración propia

Desarrollo de la gráfica de Weibull de 3 parámetros:

**Figura 62:** Gráfica Weibull 3 parámetros para el ventilador primario



Elaboración propia

Los parámetros que se obtienen del gráfico de la tendencia lineal se muestran a continuación:

**Tabla 58:** Valores obtenidos Weibull 3 parámetros para el ventilador primario

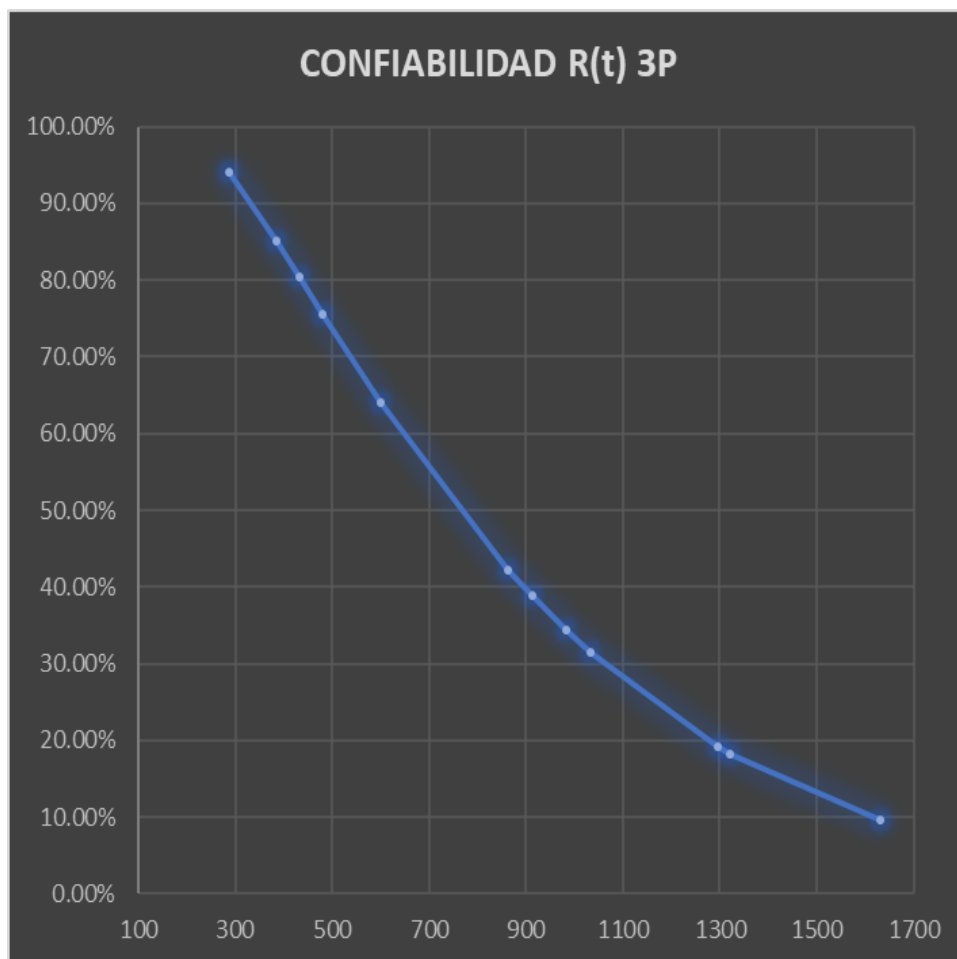
Parámetro	Valor
Parámetro de Forma ( $\beta$ )	1.2939
Parámetro de escala ( $\eta$ )	740.89
Parámetro de posición ( $\gamma$ )	203.53
Coefficiente de Correlación (R)	0.9886
Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF)	684.92

Elaboración propia

Realizando una comparativa entre los valores obtenidos de la distribución de Weibull de 2 parámetros y 3 parámetros, se puede identificar que, la que más se ajusta a los datos de falla es la distribución de Weibull de 3 parámetros, ya que su coeficiente de correlación ( $R$ ) está más cerca de la unidad y así mismo existe una dependencia lineal de los datos de falla, como también el parámetro de escala ( $\eta$ ) está dentro de las horas para la falla.

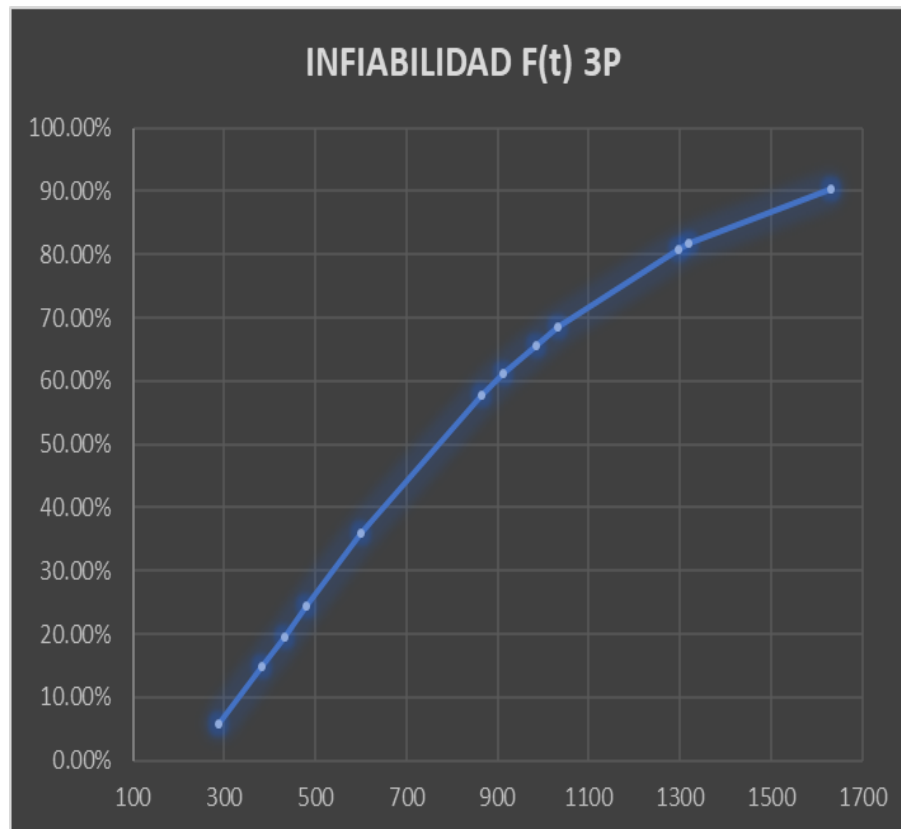
Como la distribución de Weibull de 3 parámetros se ajusta mejor a los datos de falla del equipo, se procede a graficar las curvas de Confiabilidad e Infiabilidad para determinar los intervalos de intervención de mantenimiento preventivo para el ventilador primario.

**Figura 63:** Curva de Confiabilidad ventilador primario



Elaboración propia

**Figura 64:** Curva de Infiabilidad ventilador primario



Elaboración propia

De las gráficas de distribución de Weibull de 3 parámetros, se obtiene que el tiempo medio entre fallas (MTBF) es de 684.92 horas para una confiabilidad de 57.04%, la vida característica ( $\eta$ ) es de 740.89 horas y una vida asegurada ( $\gamma$ ) de 203.53 horas. Se concluye que un mantenimiento óptimo para el ventilador primario será el mantenimiento preventivo que se realizará cada 504 horas (3 semanas) de operación, para una confiabilidad de 73.32%.

El mantenimiento preventivo a realizarse será principalmente el ajuste y la limpieza del chispero de encendido de la primera etapa de la llama en el quemador, para evitar la formación de hollín en la punta del electrodo o reemplazar en caso amerite. Así mismo se deberá realizar la limpieza de la lente del sensor de fotocelda ultravioleta para evitar la acumulación del polvo refractario y de esa manera garantizar la generación de la segunda etapa y final de la llama en el hogar del quemador.

#### 4.9.10. Distribución weibull para la tolva de recuperación de granos finos

En la siguiente tabla se presenta el cuadro con el registro de fallas según el periodo de estudio.

Para el análisis de fallas se tuvo que estudiar los multiciclones, tolva de recuperación de finos y el ventilador que inyecta a la torre de secado los polvos finos recuperados.

**Tabla 59:** Registro de fallas tolva de recuperación de granos finos

ITEM	FECHA	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	CAUSA	HORÓMETRO (HORAS)
1	9/01/2021	Multiciclones no descarga el polvo fino a la tolva de finos de detergente.	Atoro en las lonas de descarga de multiciclones.	432
2	29/01/2021	Multiciclones no descarga el polvo fino a la tolva de finos de detergente.	Atoro en las lonas de descarga de multiciclones.	912
3	10/02/2021	Multiciclones no descarga el polvo fino a la tolva de finos de detergente.	Atoro en las lonas de descarga de multiciclones.	1128
4	3/03/2021	Multiciclones no descarga el polvo fino a la tolva de finos de detergente.	Atoro en las lonas de descarga de multiciclones.	1656
5	12/04/2021	Multiciclones no descarga el polvo fino a la tolva de finos de detergente.	Atoro en las lonas de descarga de multiciclones.	2616
6	18/05/2021	Ventilador de finos no inyecta los polvos finos a la torre de secado.	Atoro en la tubería transportador de finos.	3480
7	10/06/2021	Multiciclones no descarga el polvo fino a la tolva de finos de detergente.	Atoro en las lonas de descarga de multiciclones.	4032
8	25/06/2021	Multiciclones no descarga el polvo fino a la tolva de finos de detergente.	Atoro en las lonas de descarga de multiciclones.	4392
9	9/07/2021	Multiciclones no descarga el polvo fino a la tolva de finos de detergente.	Atoro en las lonas de descarga de multiciclones.	4728
10	21/08/2021	Ventilador de finos no inyecta los polvos finos a la torre de secado.	Atoro en la tubería transportador de finos.	5712
11	22/09/2021	Multiciclones no descarga el polvo fino a la tolva de finos de detergente.	Atoro en las lonas de descarga de multiciclones.	6480
12	5/10/2021	Ventilador de finos no inyecta los polvos finos a la torre de secado.	Atoro de polvos finos en las paletas del ventilador.	6792
13	18/11/2021	Multiciclones no descarga el polvo fino a la tolva de finos de detergente.	Atoro en las lonas de descarga de multiciclones.	7848
14	20/12/2021	Multiciclones no descarga el polvo fino a la tolva de finos de detergente.	Atoro en las lonas de descarga de multiciclones.	8424

Elaboración propia

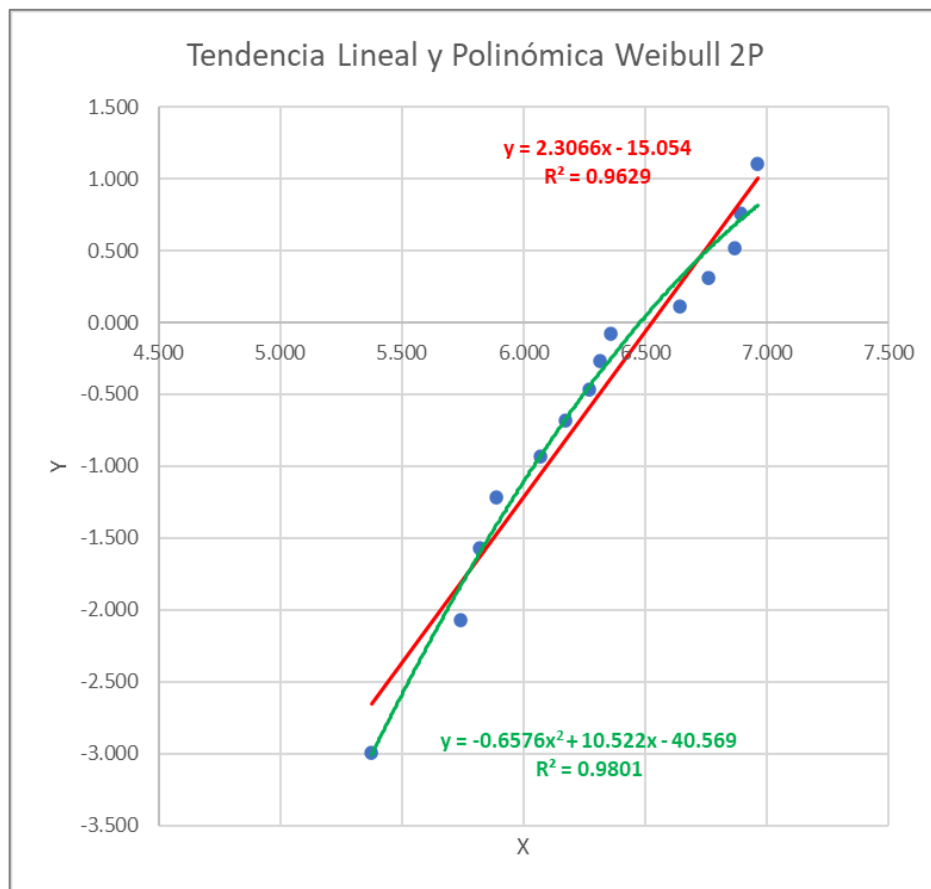
**Tabla 60:** Valores obtenidos para la tolva de recuperación de granos finos

Número de Fallas	Horas para la Falla	WEIBULL 2 PARÁMETROS				WEIBULL 3 PARÁMETROS				
		Probabilidad de Falla	Ln(ti)	Ln(Ln(1/(1-F(ti))))	Confiabilidad 2P	Diferencia (ti-γ)	Ln(ti-γ)	Ln(Ln(1/(1-F(ti))))	Confiabilidad 3P	Infiabilidad 3P
(i)	(ti)	F(ti)	X	Y	R(t)	(ti-γ)	X	Y	R(t)	F(t)
1	216	4.86%	5.375	-2.999	95.14%	77	4.343	-2.999	95.36%	4.64%
2	312	11.81%	5.743	-2.074	88.19%	173	5.153	-2.074	84.30%	15.70%
3	336	18.75%	5.817	-1.572	81.25%	197	5.283	-1.572	81.08%	18.92%
4	360	25.69%	5.886	-1.214	74.31%	221	5.398	-1.214	77.76%	22.24%
5	432	32.64%	6.068	-0.929	67.36%	293	5.680	-0.929	67.50%	32.50%
6	480	39.58%	6.174	-0.685	60.42%	341	5.832	-0.685	60.68%	39.32%
7	528	46.53%	6.269	-0.468	53.47%	389	5.963	-0.468	54.05%	45.95%
8	552	53.47%	6.314	-0.268	46.53%	413	6.023	-0.268	50.85%	49.15%
9	576	60.42%	6.356	-0.076	39.58%	437	6.080	-0.076	47.74%	52.26%
10	768	67.36%	6.644	0.113	32.64%	629	6.444	0.113	26.84%	73.16%
11	864	74.31%	6.762	0.307	25.69%	725	6.586	0.307	19.27%	80.73%
12	960	81.25%	6.867	0.515	18.75%	821	6.710	0.515	13.48%	86.52%
13	984	88.19%	6.892	0.759	11.81%	845	6.739	0.759	12.28%	87.72%
14	1056	95.14%	6.962	1.107	4.86%	917	6.821	1.107	9.19%	90.81%

Elaboración propia

Desarrollo de la gráfica de Weibull de 2 parámetros:

**Figura 65:** Gráfica Weibull 2 parámetros para la tolva de recuperación de granos finos



Elaboración propia

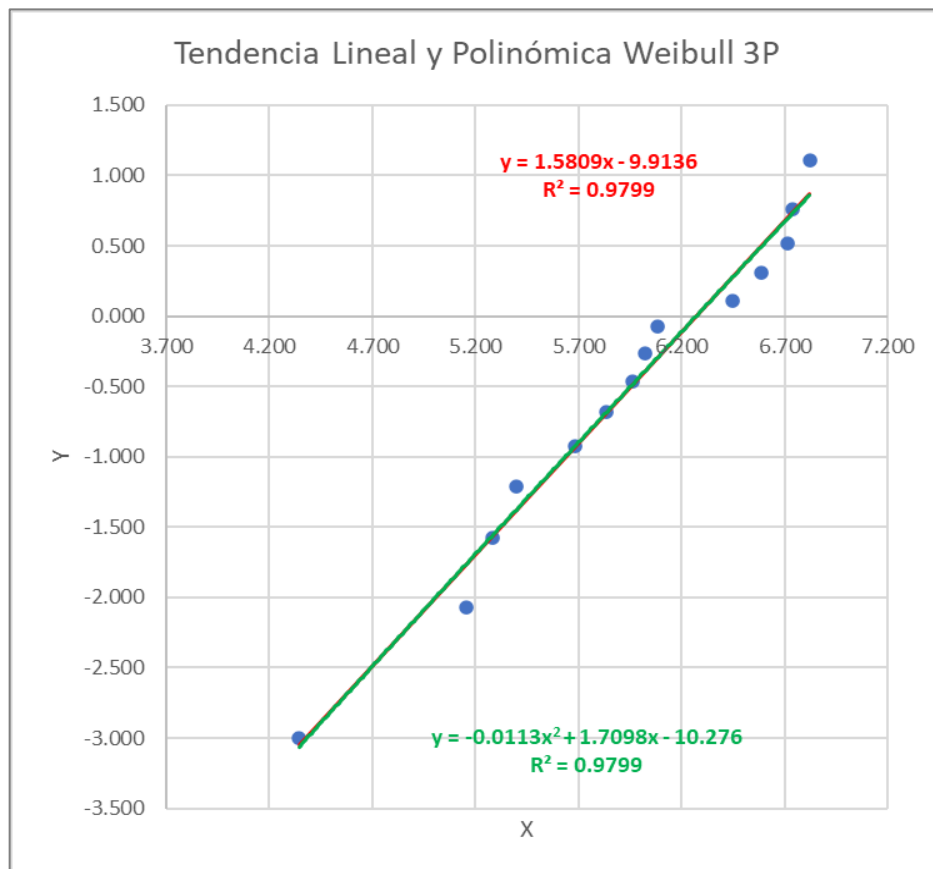
Los parámetros que se obtienen del gráfico de la tendencia lineal se muestran a continuación:

**Tabla 61:** Valores obtenidos Weibull 2 parámetros para la tolva de recuperación de granos finos

Parámetro	Valor
Parámetro de Forma ( $\beta$ )	2.3066
Parámetro de escala ( $\eta$ )	683.14
Parámetro de posición ( $\gamma$ )	0
Coefficiente de Correlación (R)	0.9813
Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF)	605.22

Elaboración propia

**Figura 66:** Gráfica de Weibull 3 parámetros para la tolva de recuperación de granos finos



Elaboración propia

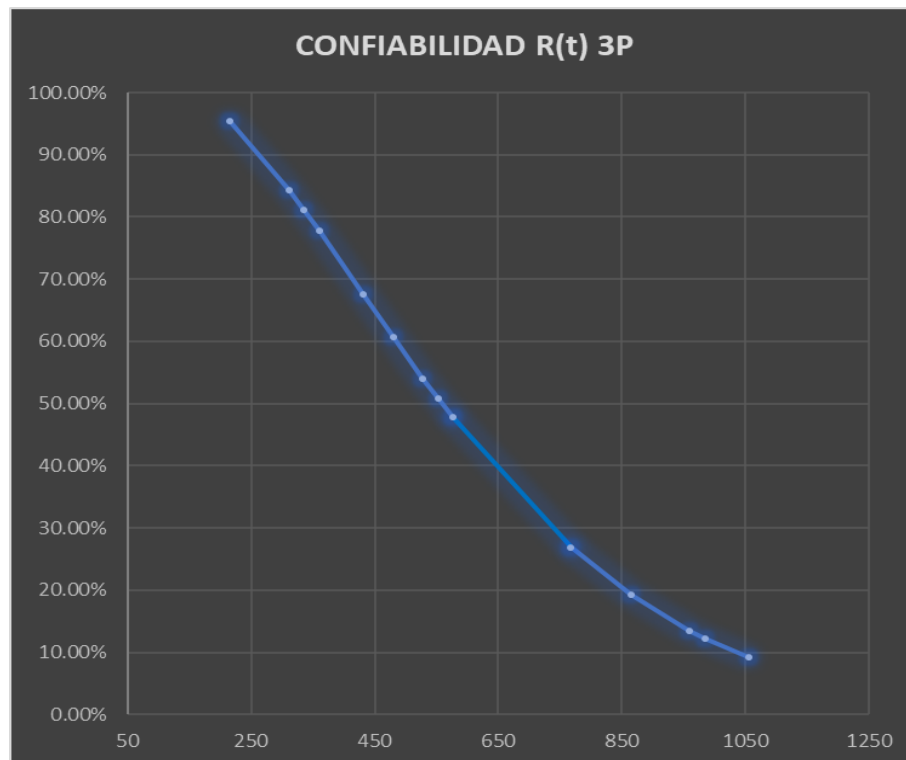
**Tabla 62:** Valores obtenidos Weibull 3 parámetros para la tolva de recuperación de granos finos

Parámetro	Valor
Parámetro de Forma ( $\beta$ )	1.5809
Parámetro de escala ( $\eta$ )	528.85
Parámetro de posición ( $\gamma$ )	139.07
Coefficiente de Correlación (R)	0.9899
Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF)	474.69

Elaboración propia

Realizando una comparativa entre los valores obtenidos de la distribución de Weibull de 2 y 3 parámetros, se puede identificar que, la que más se ajusta a los datos de falla es la distribución de Weibull de 3 parámetros, ya que su coeficiente de correlación (R) está más cerca de la unidad y hay dependencia lineal de los datos, como también el parámetro de escala ( $\eta$ ) está dentro de las horas para la falla.

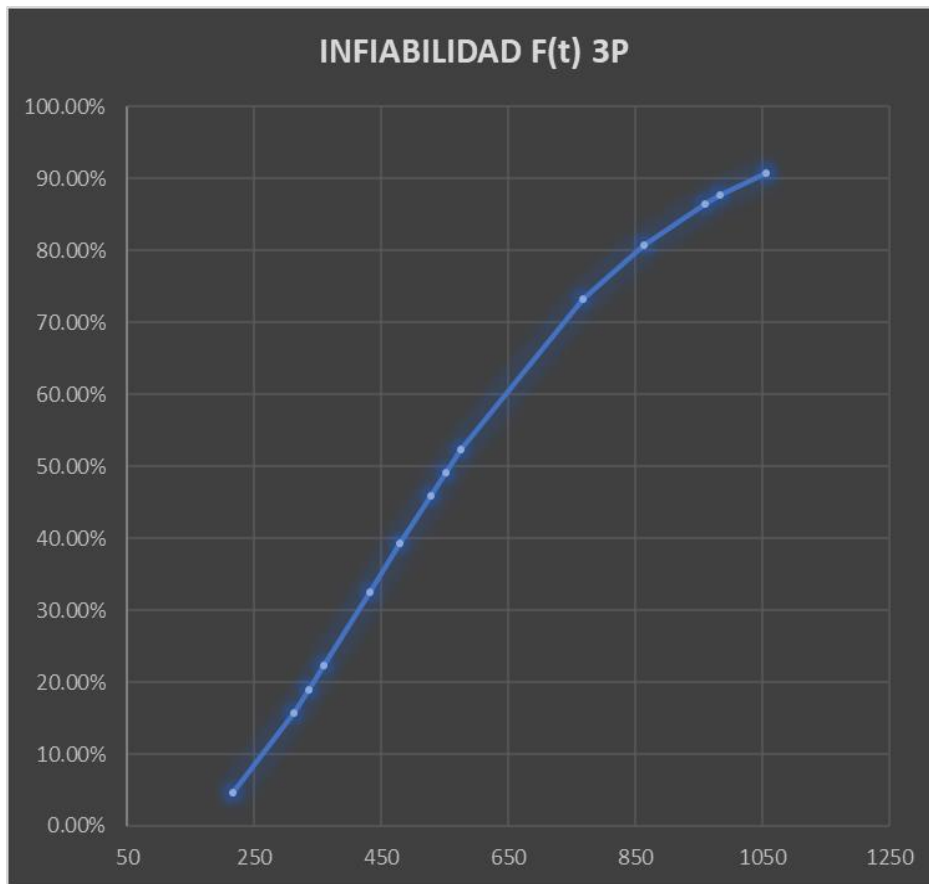
**Figura 67:** Curva de Confiabilidad tolva de recuperación de granos finos



Elaboración propia



**Figura 68:** Curva de Infiabilidad tolva de recuperación de granos finos



Elaboración propia

De las gráficas de distribución de Weibull de 3 parámetros, se obtiene que el tiempo medio entre fallas (MTBF) es de 474.69 horas para una confiabilidad de 61.43%, la vida característica ( $\eta$ ) es de 528.85 horas y se tiene una vida asegurada ( $\gamma$ ) de 139.07 horas.

Se concluye que un mantenimiento óptimo para la tolva de recuperación de granos finos será el mantenimiento preventivo que se realizará cada 336 horas (2 semanas) de operación, para una confiabilidad de 81.03%.

El mantenimiento preventivo a realizarse será principalmente la limpieza de los ductos multiciclones, desatoro de las lonas de descarga, así mismo la limpieza del ventilador inyector de granos finos con todas las medidas de seguridad que amerita los procedimientos para dichas actividades.

#### 4.9.11. Distribución weibull para el ventilador de escape

En la siguiente tabla se presenta el cuadro con el registro de fallas según el periodo de estudio.

**Tabla 63:** Registro de fallas ventilador de escape

ITEM	FECHA	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	CAUSA	HORÓMETRO (HORAS)
1	19/10/2018	Altas vibraciones del motor - reductor - ventilador de escape.	Apelmaza del polvo fino en las paletas del ventilador.	5520
2	15/02/2019	Altas vibraciones del motor - reductor - ventilador de escape.	Apelmaza del polvo fino en las paletas del ventilador.	8520
3	6/07/2019	Altas vibraciones del motor.	Soltura de pernos de la base del motor.	11928
4	24/10/2019	Altas vibraciones del motor - reductor - ventilador de escape.	Apelmaza del polvo fino en las paletas del ventilador.	14544
5	26/12/2019	Altas vibraciones del motor - reductor - ventilador de escape.	Apelmaza del polvo fino en las paletas del ventilador.	16056
6	6/02/2020	Altas vibraciones del motor - reductor - ventilador de escape.	Apelmaza del polvo fino en las paletas del ventilador.	17064
7	12/05/2020	Altas vibraciones del motor - reductor - ventilador de escape.	Apelmaza del polvo fino en las paletas del ventilador.	19368
8	30/10/2020	Altas vibraciones del motor - reductor - ventilador de escape.	Apelmaza del polvo fino en las paletas del ventilador.	23472
9	13/01/2021	Altas vibraciones del motor - reductor - ventilador de escape.	Apelmaza del polvo fino en las paletas del ventilador.	25272
10	21/06/2021	Altas vibraciones del motor.	Soltura de pernos de la base del motor.	29088
11	18/10/2021	Altas vibraciones del motor - reductor - ventilador de escape.	Desvalance en las paletas del ventilador.	31896
12	10/05/2022	Altas vibraciones del motor - reductor - ventilador de escape.	Desvalance en las paletas del ventilador.	36792

Elaboración propia

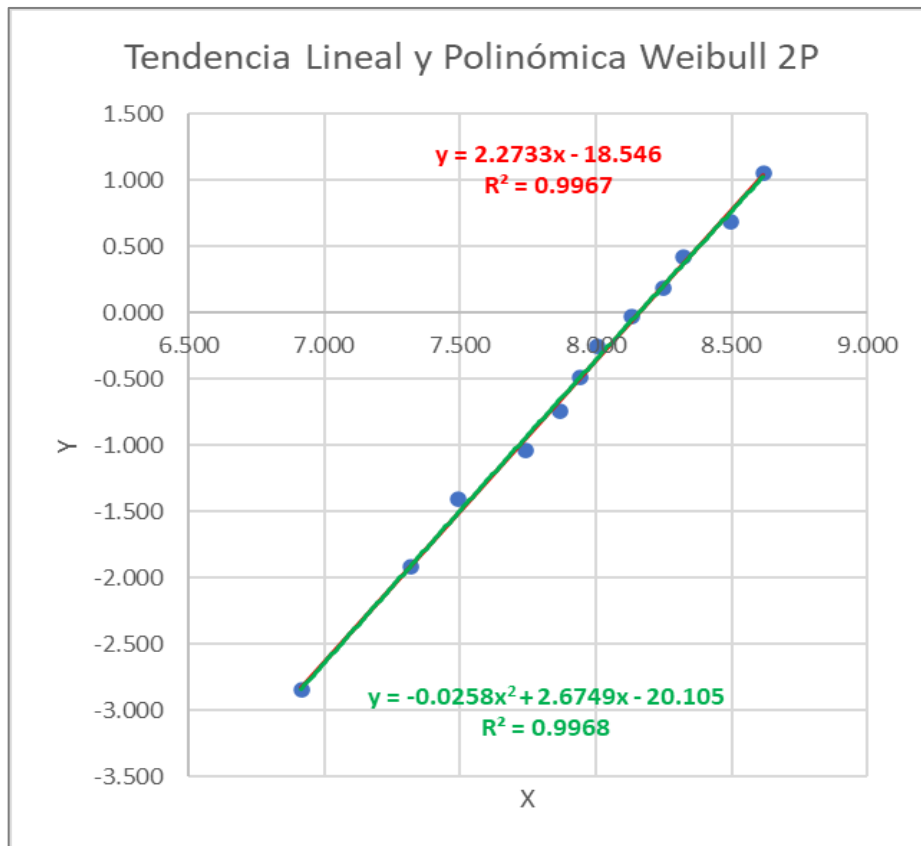
**Tabla 64:** Valores obtenidos para el ventilador de escape

Número de Fallas	Horas para la Falla	WEIBULL 2 PARÁMETROS				WEIBULL 3 PARÁMETROS				
		Probabilidad de Falla	Ln(ti)	Ln(Ln(1/(1-F(ti))))	Confiabilidad 2P	Diferencia (ti-y)	Ln(ti-y)	Ln(Ln(1/(1-F(ti))))	Confiabilidad 3P	Infiabilidad 3P
(i)	(ti)	F(ti)	X	Y	R(t)	(ti-y)	X	Y	R(t)	F(t)
1	1008	5.65%	6.916	-2.845	94.35%	957	6.864	-2.845	94.33%	5.67%
2	1512	13.71%	7.321	-1.914	86.29%	1461	7.287	-1.914	86.12%	13.88%
3	1800	21.77%	7.496	-1.404	78.23%	1749	7.467	-1.404	80.02%	19.98%
4	2304	29.84%	7.742	-1.037	70.16%	2253	7.720	-1.037	67.63%	32.37%
5	2616	37.90%	7.869	-0.741	62.10%	2565	7.850	-0.741	59.35%	40.65%
6	2808	45.97%	7.940	-0.485	54.03%	2757	7.922	-0.485	54.21%	45.79%
7	3000	54.03%	8.006	-0.252	45.97%	2949	7.989	-0.252	49.11%	50.89%
8	3408	62.10%	8.134	-0.030	37.90%	3357	8.119	-0.030	38.74%	61.26%
9	3816	70.16%	8.247	0.190	29.84%	3765	8.234	0.190	29.42%	70.58%
10	4104	78.23%	8.320	0.422	21.77%	4053	8.307	0.422	23.67%	76.33%
11	4896	86.29%	8.496	0.687	13.71%	4845	8.486	0.687	11.74%	88.26%
12	5520	94.35%	8.616	1.056	5.65%	5469	8.607	1.056	6.06%	93.94%

Elaboración propia

Con los valores de X e Y, calculamos los parámetros de la tendencia lineal y polinómica de Weibull 2 y 3 parámetros, así mismo calculamos el coeficiente de correlación (R) quién debe estar muy cercano a la unidad para que la distribución de los valores X e Y se aproximen a la tendencia lineal.

**Figura 69:** Gráfica Weibull 2 parámetros para el ventilador de escape



Elaboración propia

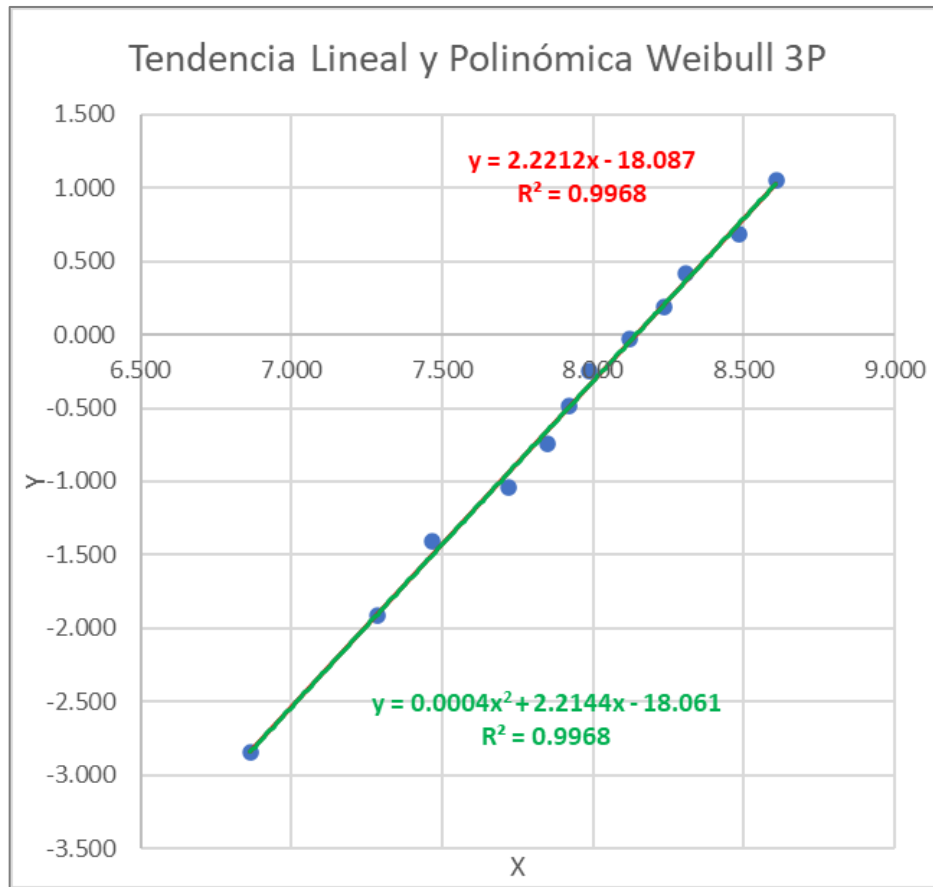
**Tabla 65:** Valores obtenidos Weibull 2 parámetros para el ventilador de escape

Parámetro	Valor
Parámetro de Forma ( $\beta$ )	2.2733
Parámetro de escala ( $\eta$ )	3492.25
Parámetro de posición ( $\gamma$ )	0
Coefficiente de Correlación (R)	0.9984
Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF)	3093.46

Elaboración propia

Desarrollo de la gráfica de Weibull de 3 parámetros:

**Figura 70:** Gráfica Weibull 3 parámetros para el ventilador de escape



Elaboración propia

Los parámetros que se obtienen del gráfico de la tendencia lineal se muestran a continuación:

**Tabla 66:** Valores obtenidos Weibull 3 parámetros para el ventilador de escape

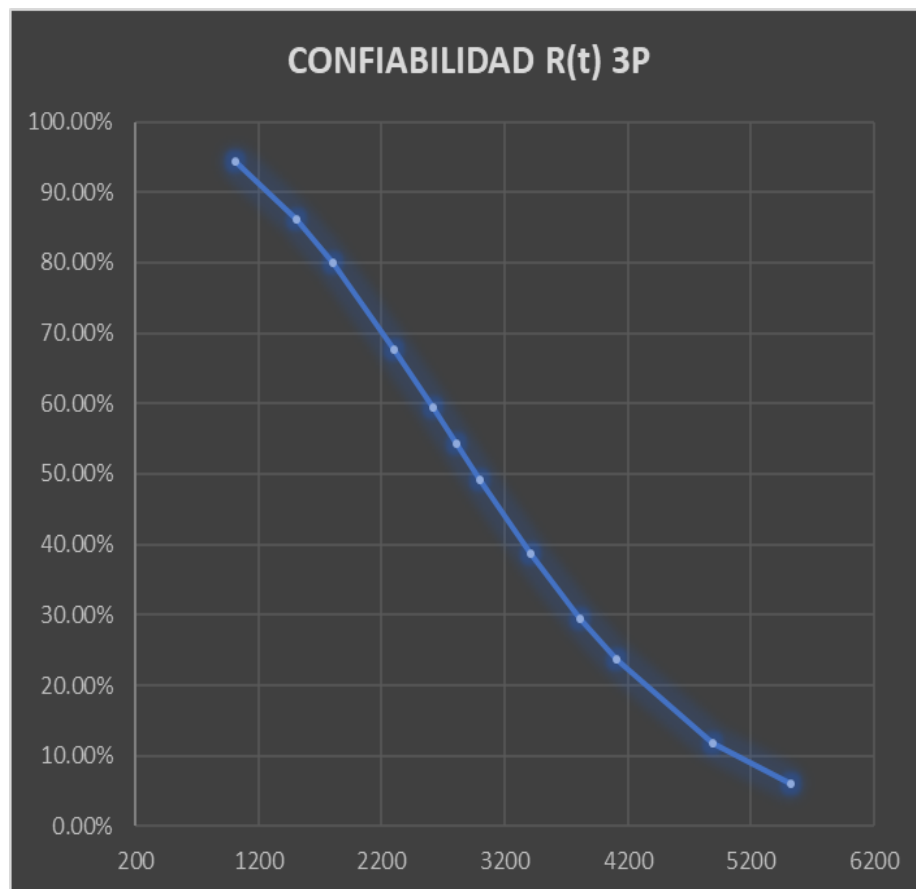
Parámetro	Valor
Parámetro de Forma ( $\beta$ )	2.2212
Parámetro de escala ( $\eta$ )	3438.63
Parámetro de posición ( $\gamma$ )	50.58
Coefficiente de Correlación (R)	0.9984
Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF)	3045.46

Elaboración propia

Realizando una comparativa entre los valores obtenidos de las gráficas de distribución de Weibull 2 y 3 parámetros, se puede identificar que ambas distribuciones se ajustan a los datos de falla, ya que para ambos cálculos coinciden el coeficiente de correlación (R) y hay una dependencia lineal para ambos cálculos, como también el parámetro de escala ( $\eta$ ) para ambas distribuciones se encuentran dentro de las horas para la falla.

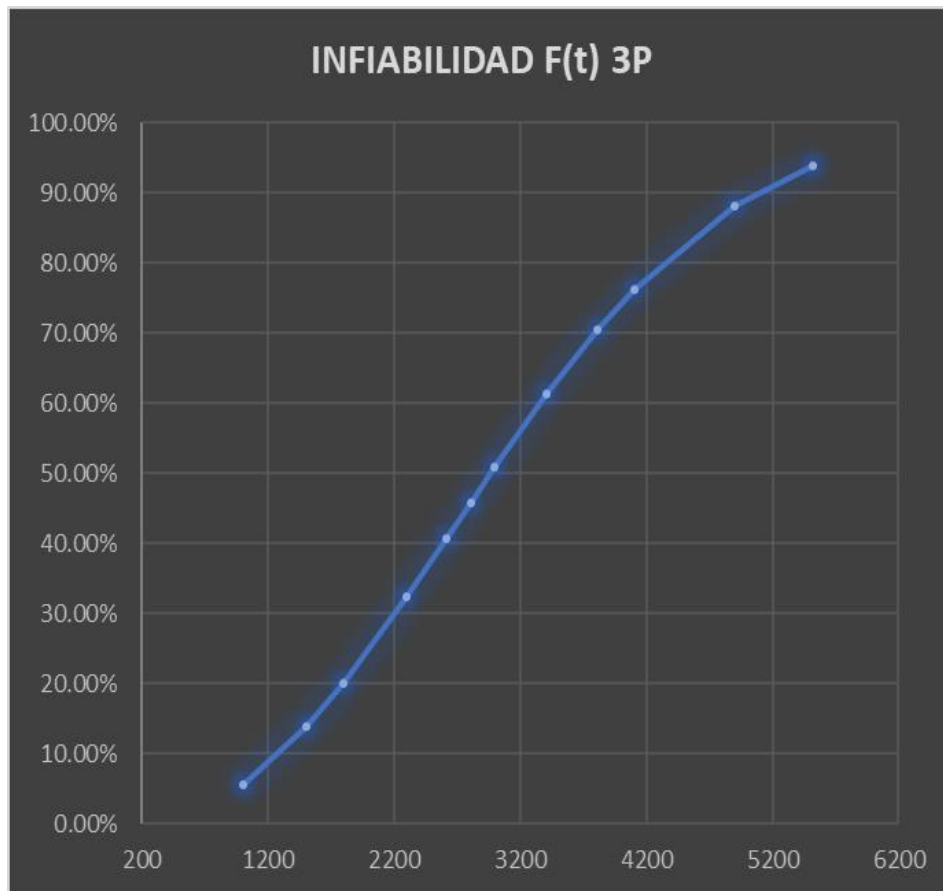
Como el parámetro de forma ( $\beta$ ) en la distribución de Weibull de 3 parámetros es menor que la distribución de 2 parámetros, graficaremos las curvas de Confiabilidad e Infiabilidad para la distribución Weibull de 3 parámetros ya que es quien más se aproxima a la tendencia lineal y determinar los intervalos de intervención de mantenimiento preventivo para el ventilador de escape.

**Figura 71:** Curva de Confiabilidad ventilador de escape



Elaboración propia

**Figura 72:** Curva de Infiabilidad ventilador de escape



Elaboración propia

De las gráficas de distribución de Weibull de 3 parámetros, se obtiene que el tiempo medio entre fallas (MTBF) es de 3045.46 horas para una confiabilidad de 47.95%, la vida característica ( $\eta$ ) es de 3438.63 horas y se tiene una vida asegurada ( $\gamma$ ) de 50.58 horas. Se concluye que un mantenimiento óptimo para el ventilador de escape será el mantenimiento predictivo, que se realizará cada 2160 horas (3 meses) de operación, para una confiabilidad de 71.17%.

El mantenimiento predictivo a realizarse será principalmente el análisis vibracional del ventilador de escape y será aplicable para el ventilador de escape 1 y 2. Así mismo se aplicará para el ventilador elevador de producto y ventilador secundario, ya que estos dos últimos equipos tienen potencias y funciones similares al ventilador de escape, como también se considera un único servicio de mantenimiento predictivo.

#### 4.9.12. Distribución weibull faja caída de producto base

En la siguiente tabla se presenta el cuadro con el registro de fallas según el periodo de estudio.

**Tabla 67:** Registro de fallas faja caída de producto base

ITEM	FECHA	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	CAUSA	HORÓMETRO (HORAS)
1	12/02/2020	Recalentamiento del motorreductor de la faja transportadora de Detergente base.	Detergente base adherido a los polines inclinadas.	960
2	27/03/2020	Recalentamiento del motorreductor de la faja transportadora de Detergente base.	Detergente base adherido a los polines inclinadas.	2016
3	22/05/2021	Brekeo del Guardamotor por sobre corriente en el motorreductor.	Rodillo motriz adherido con detergente base.	3360
4	24/06/2021	Sobrecarga del motorreductor de la faja transportadora.	Detergente base adherido a los polines inclinadas.	4152
5	12/08/2021	Recalentamiento del motorreductor de la faja transportadora de Detergente base.	Detergente base adherido a los polines inclinadas.	5328
6	15/09/2021	Recalentamiento del motorreductor de la faja transportadora de Detergente base.	Detergente base adherido a los polines inclinadas.	6144
7	10/11/2021	Recalentamiento del motorreductor de la faja transportadora de Detergente base.	Detergente base adherido a los polines inclinadas.	7512
8	2/02/2021	Brekeo del Guardamotor por sobre corriente en el motorreductor.	Rodillo motriz adherido con detergente base.	9312
9	10/03/2021	Sobrecarga del motorreductor de la faja transportadora.	Detergente base adherido a los polines inclinadas.	10152
10	11/05/2021	Sobrecarga del motorreductor de la faja transportadora.	Detergente base adherido a los polines inclinadas.	11640
11	9/06/2021	Patinaje de la faja transportadora y sobrecarga en el motorreductor.	Rodamientos de los polines defectuosos.	12336
12	12/07/2021	Recalentamiento del motorreductor de la faja transportadora de Detergente base.	Detergente base adherido a los polines inclinadas.	13104
13	30/07/2021	Recalentamiento del motorreductor de la faja transportadora de Detergente base.	Detergente base adherido a los polines inclinadas.	13512

Elaboración propia

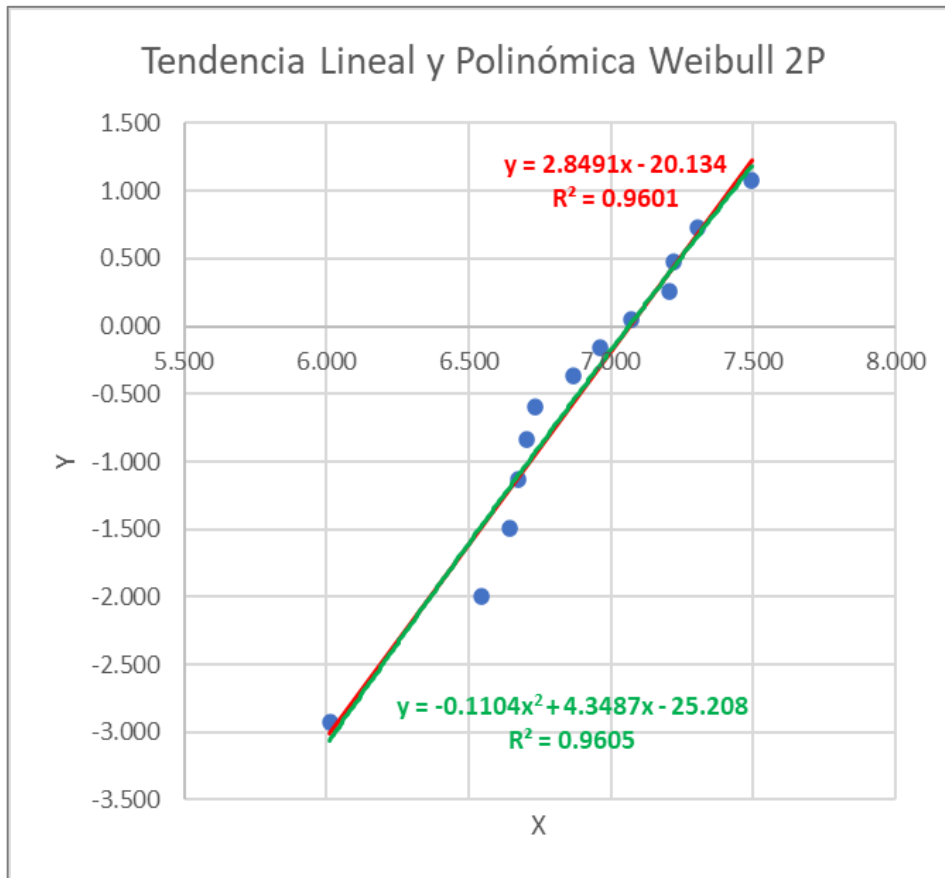
**Tabla 68:** Valores obtenidos para la faja caída de producto

Número de Fallas	Horas para la Falla	WEIBULL 2 PARÁMETROS				WEIBULL 3 PARÁMETROS				
		Probabilidad de Falla	Ln(ti)	Ln(Ln(1/(1-F(ti))))	Confiabilidad 2P	Diferencia (ti-y)	Ln(ti-y)	Ln(Ln(1/(1-F(ti))))	Confiabilidad 3P	Infiabilidad 3P
(i)	(ti)	F(ti)	X	Y	R(t)	(ti-y)	X	Y	R(t)	F(t)
1	408	5.22%	6.011	-2.925	94.78%	385	5.954	-2.925	95.27%	4.73%
2	696	12.69%	6.545	-1.998	87.31%	673	6.512	-1.998	79.64%	20.36%
3	768	20.15%	6.644	-1.492	79.85%	745	6.614	-1.492	73.96%	26.04%
4	792	27.61%	6.675	-1.130	72.39%	769	6.646	-1.130	71.94%	28.06%
5	816	35.07%	6.704	-0.839	64.93%	793	6.676	-0.839	69.87%	30.13%
6	840	42.54%	6.733	-0.591	57.46%	817	6.706	-0.591	67.74%	32.26%
7	960	50.00%	6.867	-0.367	50.00%	937	6.843	-0.367	56.60%	43.40%
8	1056	57.46%	6.962	-0.157	42.54%	1033	6.941	-0.157	47.43%	52.57%
9	1176	64.93%	7.070	0.047	35.07%	1153	7.051	0.047	36.38%	63.62%
10	1344	72.39%	7.203	0.252	27.61%	1321	7.187	0.252	22.90%	77.10%
11	1368	79.85%	7.221	0.471	20.15%	1345	7.205	0.471	21.24%	78.76%
12	1488	87.31%	7.305	0.725	12.69%	1465	7.290	0.725	14.04%	85.96%
13	1800	94.78%	7.496	1.082	5.22%	1777	7.483	1.082	3.50%	96.50%

Elaboración propia

Desarrollo de la gráfica de Weibull de 2 parámetros:

**Figura 73:** Gráfica Weibull 2 parámetros para la faja caída de producto



Elaboración propia

Los parámetros que se obtienen del gráfico Weibull de la tendencia lineal se muestran a continuación:

**Tabla 69:** Valores obtenidos de Weibull 2 parámetros para la faja caída de producto

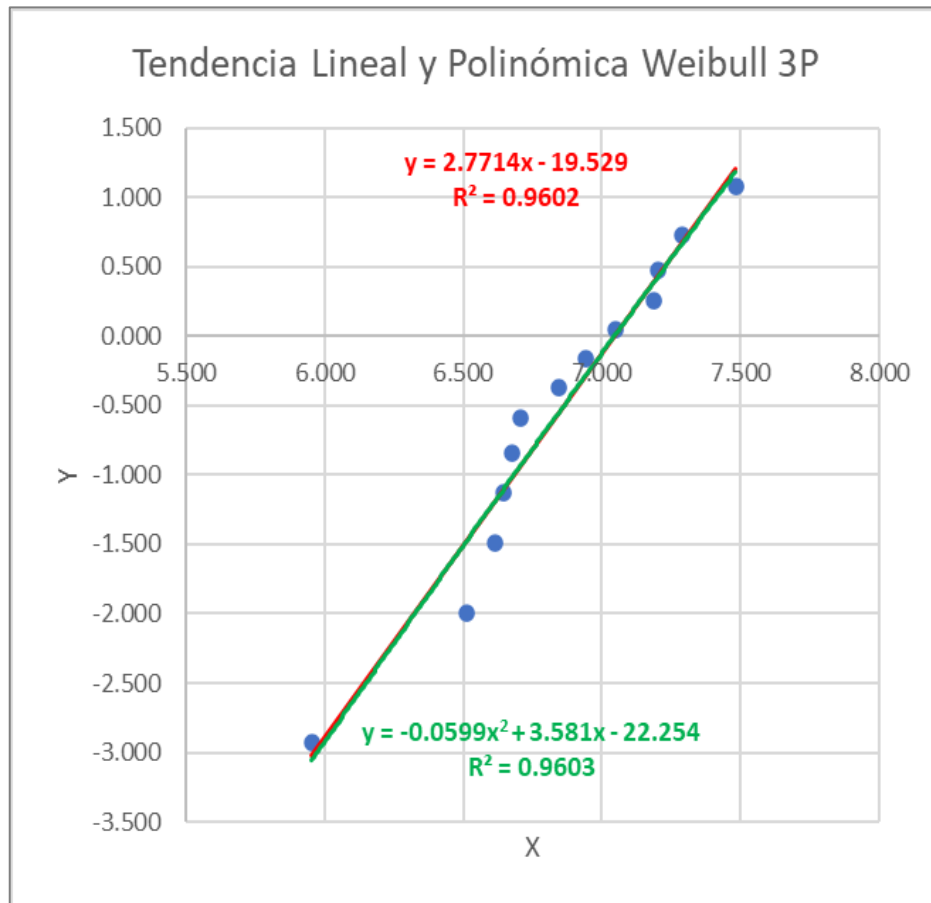
Parámetro	Valor
Parámetro de Forma ( $\beta$ )	2.8491
Parámetro de escala ( $\eta$ )	1172.16
Parámetro de posición ( $\gamma$ )	0
Coefficiente de Correlación (R)	0.9798
Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF)	1044.46

Elaboración propia



Desarrollo de la gráfica de Weibull de 3 parámetros:

**Figura 74:** Gráfica Weibull 3 parámetros para la faja caída de producto.



Elaboración propia

Los parámetros que se obtienen del gráfico Weibull de la tendencia lineal se muestran a continuación:

**Tabla 70:** Valores obtenidos Weibull 3 parámetros para la faja caída de producto

Parámetro	Valor
Parámetro de Forma ( $\beta$ )	2.7714
Parámetro de escala ( $\eta$ )	1148.83
Parámetro de posición ( $\gamma$ )	22.53
Coefficiente de Correlación (R)	0.9799
Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF)	1022.59

Elaboración propia

Realizando una comparativa entre los valores obtenidos de la distribución de Weibull de 2 parámetros y 3 parámetros, se puede identificar que, la que más se ajusta a los datos de falla es la distribución de Weibull de 3 parámetros, ya que su coeficiente de correlación ( $R$ ) está más cerca de la unidad y así mismo existe una dependencia lineal de los datos de falla, como también el parámetro de escala ( $\eta$ ) está dentro de las horas para la falla.

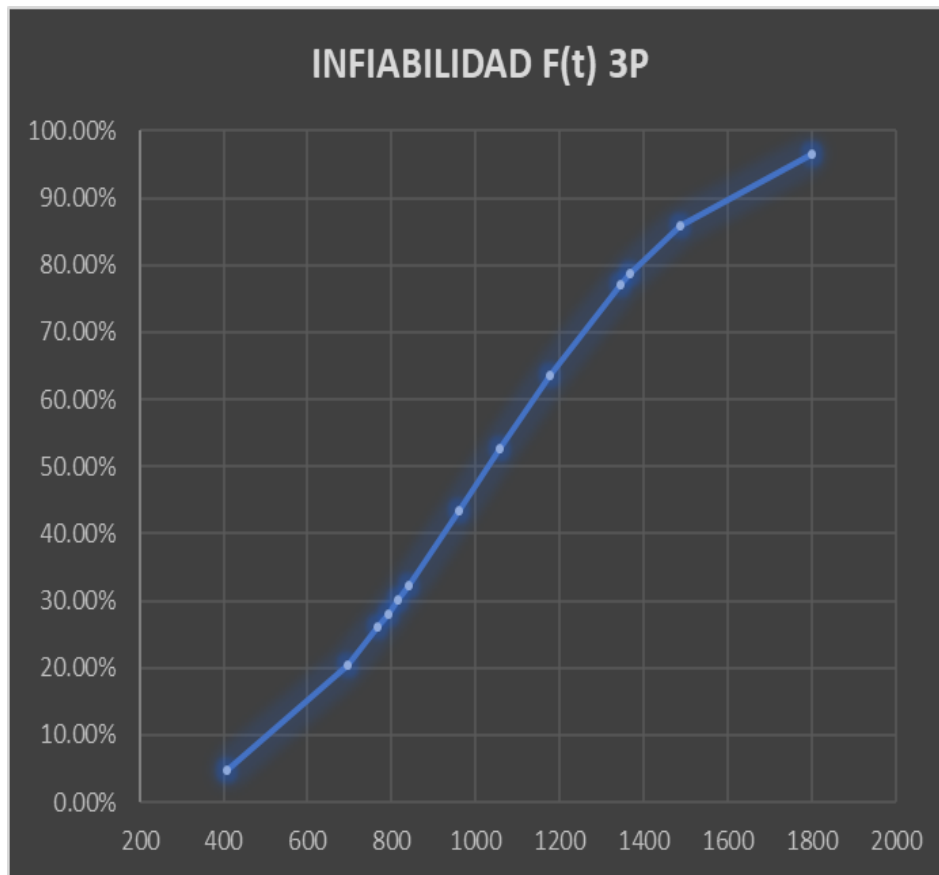
Como la distribución de Weibull de 3 parámetros se ajusta mejor a los datos de falla, graficaremos las curvas de Confiabilidad e Infiabilidad para determinar los intervalos de intervención de mantenimiento preventivo para la faja transportadora caída de producto.

**Figura 75:** Curva de confiabilidad faja caída de producto



Elaboración propia

**Figura 76:** Curva de Infiabilidad faja caída de producto



Elaboración propia

De las gráficas obtenidas de distribución de Weibull de 3 parámetros, se obtiene que el tiempo medio entre fallas (MTBF) es de 1022.59 horas para una confiabilidad de 50.62%, la vida característica ( $\eta$ ) es de 1148.83 horas y una vida asegurada ( $\gamma$ ) de 22.53 horas.

Se concluye que un mantenimiento óptimo para la faja de caída de producto será el mantenimiento preventivo que se realizará cada 720 horas (cada mes) de operación, para una confiabilidad de 77.75%.

El mantenimiento preventivo a realizarse será principalmente la limpieza y engrase de la cadena del sistema de transmisión, limpieza de los polines inclinados, motriz y transmitido. Así mismo la limpieza periódica de la banda transportadora e inspección general del mismo.

#### 4.9.13. Distribución weibull para la balanza faja madre

A continuación, la tabla con el registro de fallas según el periodo de estudio.

**Tabla 71:** Registro de fallas balanza faja madre

ITEM	FECHA	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	CAUSA	HORÓMETRO (HORAS)
1	10/06/2019	Sensor mecánico de final de carrera averiados por la faja transportadora.	Faja fuera de su posición sin retorno.	2808
2	28/10/2019	La faja sale de su posición sin retorno ya que el motor centrador de faja no recibe la señal.	Sensor final de carrera averiado.	5928
3	23/12/2019	El sensor final de carrera de la faja es imposible convertir la magnitud física en eléctrica.	Sensor final de carrera fuera de su posición.	7272
4	30/03/2020	El sensor final de carrera de la faja es imposible convertir la magnitud física en eléctrica.	Sensor final de carrera fuera de su posición.	9624
5	28/06/2020	Sensor mecánico de final de carrera averiados por la faja transportadora.	Faja fuera de su posición sin retorno.	11784
6	14/08/2020	El sensor final de carrera de la faja es imposible convertir la magnitud física en eléctrica.	Sensor final de carrera fuera de su posición.	12912
7	14/10/2020	Motor centrador de la faja no recibe la tensión para realizar su funcionamiento.	Falso contacto en los terminales del motor.	14376
8	31/12/2020	El sensor final de carrera de la faja es imposible convertir la magnitud física en eléctrica.	Sensor final de carrera fuera de su posición.	16248
9	2/04/2021	La faja sale de su posición sin retorno ya que el motor centrador de faja no recibe la señal.	Sensor final de carrera averiado.	18456
10	25/06/2021	El sensor final de carrera de la faja es imposible convertir la magnitud física en eléctrica.	Sensor final de carrera fuera de su posición.	20472
11	8/10/2021	El sensor final de carrera de la faja es imposible convertir la magnitud física en eléctrica.	Sensor final de carrera fuera de su posición.	22992
12	28/02/2022	La faja sale de su posición sin retorno ya que el motor centrador de faja no recibe la señal.	Sensor final de carrera averiado.	26424

Elaboración propia

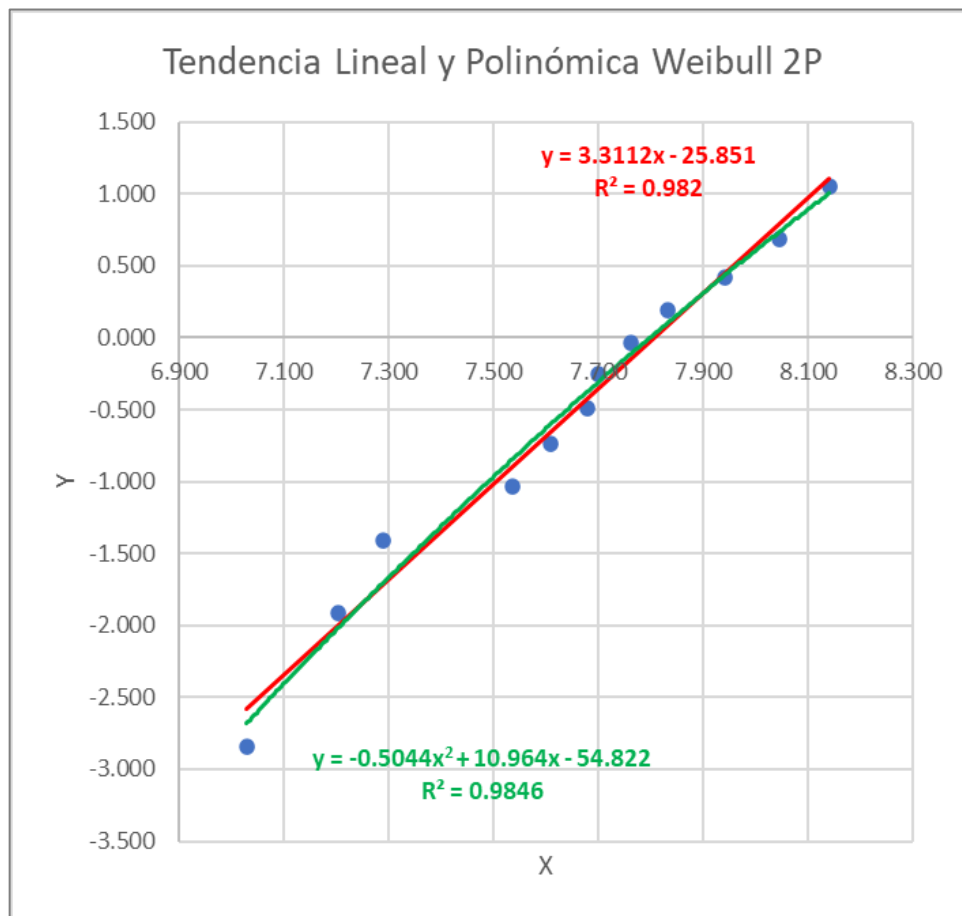
**Tabla 72:** Valores obtenidos para la balanza faja madre

Número de Fallas	Horas para la Falla	WEIBULL 2 PARÁMETROS				WEIBULL 3 PARÁMETROS				
		Probabilidad de Falla	Ln(ti)	Ln(Ln(1/(1-F(ti))))	Confiabilidad 2P	Diferencia (ti-y)	Ln(ti-y)	Ln(Ln(1/(1-F(ti))))	Confiabilidad 3P	Infiabilidad 3P
(i)	(ti)	F(ti)	X	Y	R(t)	(ti-y)	X	Y	R(t)	F(t)
1	1128	5.65%	7.028	-2.845	94.35%	596	6.391	-2.845	93.70%	6.30%
2	1344	13.71%	7.203	-1.914	86.29%	812	6.700	-1.914	87.39%	12.61%
3	1464	21.77%	7.289	-1.404	78.23%	932	6.838	-1.404	82.99%	17.01%
4	1872	29.84%	7.535	-1.037	70.16%	1340	7.201	-1.037	64.53%	35.47%
5	2016	37.90%	7.609	-0.741	62.10%	1484	7.303	-0.741	57.29%	42.71%
6	2160	45.97%	7.678	-0.485	54.03%	1628	7.395	-0.485	50.02%	49.98%
7	2208	54.03%	7.700	-0.252	45.97%	1676	7.424	-0.252	47.62%	52.38%
8	2352	62.10%	7.763	-0.030	37.90%	1820	7.507	-0.030	40.63%	59.37%
9	2520	70.16%	7.832	0.190	29.84%	1988	7.595	0.190	33.00%	67.00%
10	2808	78.23%	7.940	0.422	21.77%	2276	7.730	0.422	21.77%	78.23%
11	3120	86.29%	8.046	0.687	13.71%	2588	7.859	0.687	12.71%	87.29%
12	3432	94.35%	8.141	1.056	5.65%	2900	7.973	1.056	6.74%	93.26%

Elaboración propia

Desarrollo de la gráfica de Weibull de 2 parámetros:

**Figura 77:** Gráfica Weibull 2 parámetros para la balanza faja madre



Elaboración propia

Los parámetros que se obtienen del gráfico Weibull de la tendencia lineal se muestran a continuación:

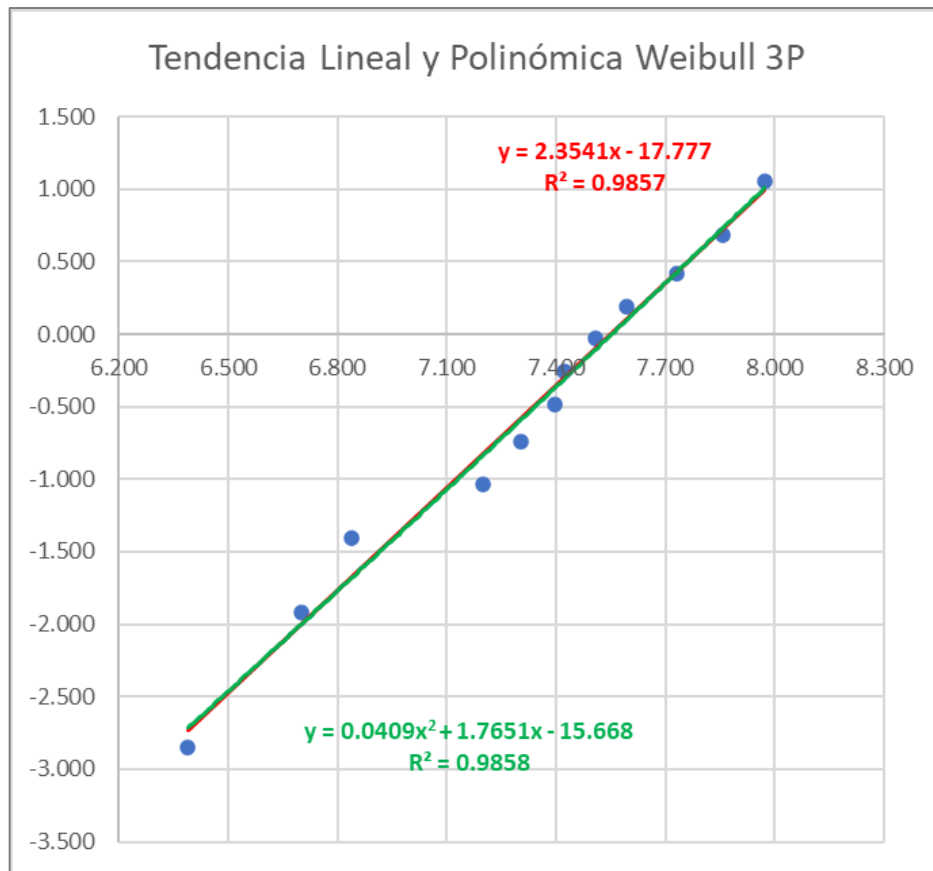
**Tabla 73:** Valores obtenidos Weibull 2 parámetros para la balanza faja madre

Parámetro	Valor
Parámetro de Forma ( $\beta$ )	3.3112
Parámetro de escala ( $\eta$ )	2457.57
Parámetro de posición ( $\gamma$ )	0
Coefficiente de Correlación (R)	0.9910
Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF)	2204.85

Elaboración propia

Desarrollo de la gráfica de Weibull de 3 parámetros:

**Figura 78:** Gráfica Weibull 3 parámetros para la balanza faja madre



Elaboración propia

Los parámetros que se obtienen del gráfico Weibull de la tendencia lineal se muestran a continuación:

**Tabla 74:** Valores obtenidos Weibull 3 parámetros para la balanza faja madre

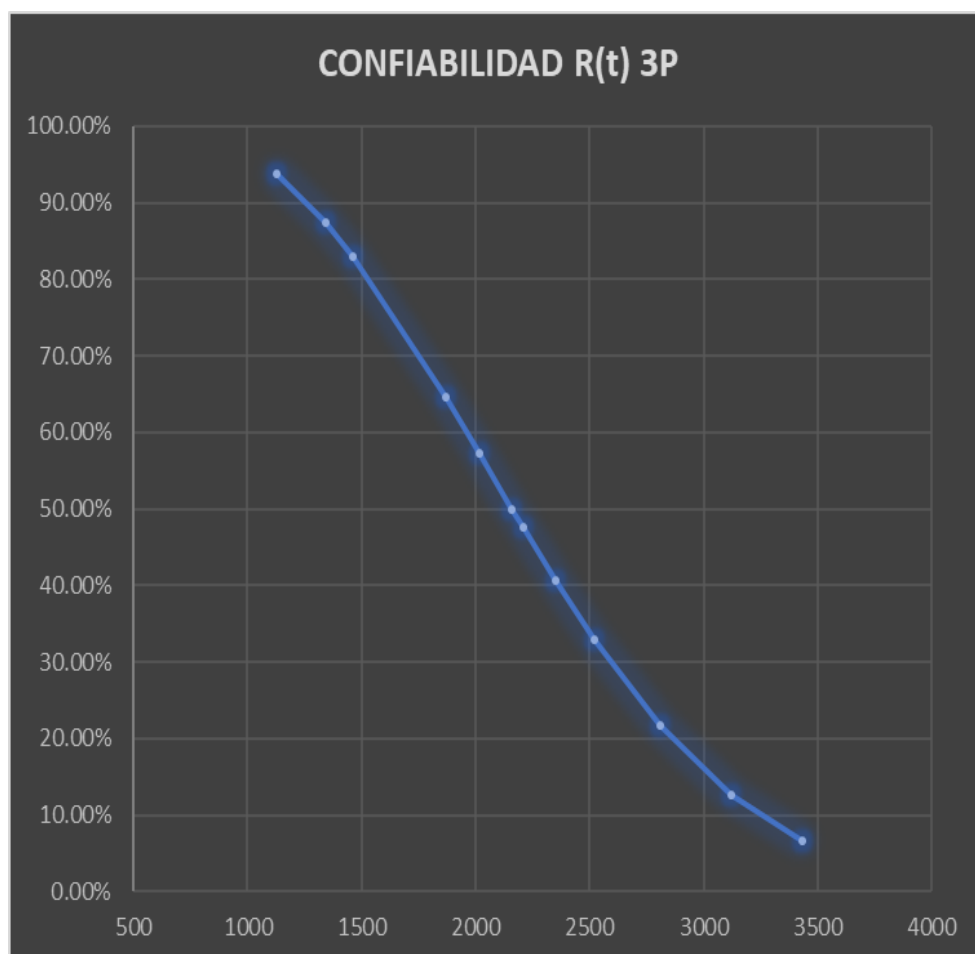
Parámetro	Valor
Parámetro de Forma ( $\beta$ )	2.3541
Parámetro de escala ( $\eta$ )	1903.00
Parámetro de posición ( $\gamma$ )	531.737
Coefficiente de Correlación (R)	0.9928
Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF)	1686.42

Elaboración propia

Realizando una comparativa entre los valores obtenidos de la distribución de Weibull de 2 parámetros y 3 parámetros, se puede identificar que, la que más se ajusta a los datos de falla es la distribución de Weibull de 3 parámetros, ya que su coeficiente de correlación ( $R$ ) está más cerca de la unidad y así mismo existe una dependencia lineal de los datos de falla, como también el parámetro de escala ( $\eta$ ) está dentro de las horas para la falla.

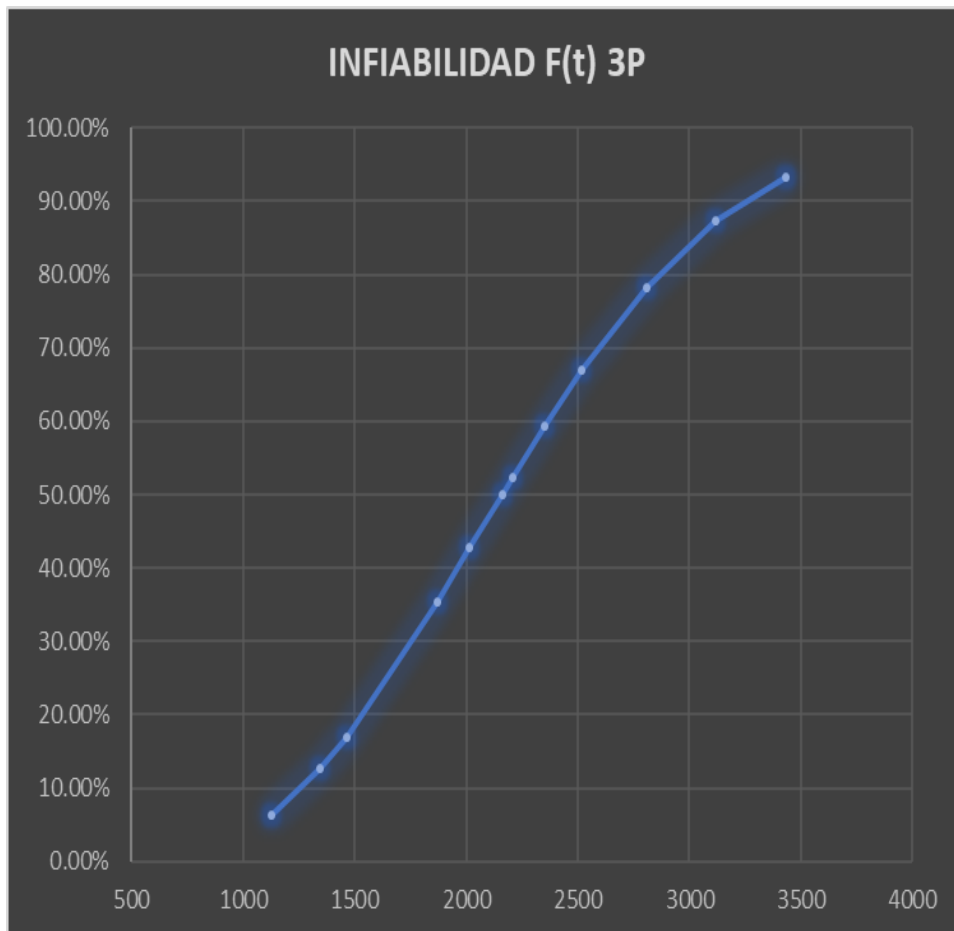
Como la distribución de Weibull de 3 parámetros se ajusta mejor a los datos de falla, graficaremos las curvas de Confiabilidad e Infiabilidad para determinar los intervalos de intervención de mantenimiento preventivo para la balanza faja madre de Detergente Base.

**Figura 79:** Curva de Confiabilidad balanza faja madre



Elaboración propia

**Figura 80:** Curva de Infiabilidad balanza faja madre



Elaboración propia

De las gráficas de distribución de Weibull de 3 parámetros, se obtiene que el tiempo medio entre fallas (MTBF) es de 1686.42 horas para una confiabilidad de 72.93%, la vida característica ( $\eta$ ) es de 1903 horas y se tiene una vida asegurada ( $\gamma$ ) de 531.73 horas.

Se concluye que un mantenimiento óptimo para la balanza faja madre de Detergente Base será el mantenimiento preventivo, y que se realizará cada 1440 horas (2 meses) de operación, para una confiabilidad de 83.87%.

El mantenimiento preventivo a realizarse será principalmente la limpieza, fijación y ajuste del sensor final de carrera, en caso exista deterioro del sensor reemplazar por backup. Así mismo se deberá realizar la limpieza integral de la faja madre y polines.



#### 4.9.14. Distribución weibull para el mezclador horizontal mixer

En la siguiente tabla se presenta el cuadro con el registro de fallas según el periodo de estudio.

**Tabla 75:** Registro de fallas mezclador horizontal mixer

ITEM	FECHA	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	CAUSA	HORÓMETRO (HORAS)
1	21/07/2020	Fuga de detergentes base por el empaque del ducto de carga del mezclador Rotary Mixer.	Desgaste de empaque.	432
2	6/08/2020	Fuga de detergentes base por el empaque del ducto de carga del mezclador Rotary Mixer.	Desgaste de empaque.	816
3	7/09/2020	Fuga de detergentes base por el empaque del ducto de carga del mezclador Rotary Mixer.	Desgaste de empaque.	1560
4	3/11/2020	Fuga de detergentes base por el empaque del ducto de carga del mezclador Rotary Mixer.	Desgaste de empaque.	2952
5	17/12/2020	Fuga de detergentes base por el empaque del ducto de carga del mezclador Rotary Mixer.	Desgaste de empaque.	4008
6	12/01/2021	Empaque fracturado.	Solidificación del Detergente.	4632
7	25/01/2021	Fuga de detergentes base por el empaque del ducto de carga del mezclador Rotary Mixer.	Desgaste de empaque.	4944
8	18/02/2021	Fuga de detergentes base por el empaque del ducto de carga del mezclador Rotary Mixer.	Desgaste de empaque.	5520
9	29/03/2021	Empaque fracturado.	Solidificación del Detergente.	6456
10	17/04/2021	Fuga de detergentes base por el empaque del ducto de carga del mezclador Rotary Mixer.	Desgaste de empaque.	6912
11	2/05/2021	Fuga de detergentes base por el empaque del ducto de carga del mezclador Rotary Mixer.	Desgaste de empaque.	7272
12	29/05/2021	Fuga de detergentes base por el empaque del ducto de carga del mezclador Rotary Mixer.	Desgaste de empaque.	7920
13	8/07/2021	Empaque fracturado.	Solidificación del Detergente.	8808

Elaboración propia

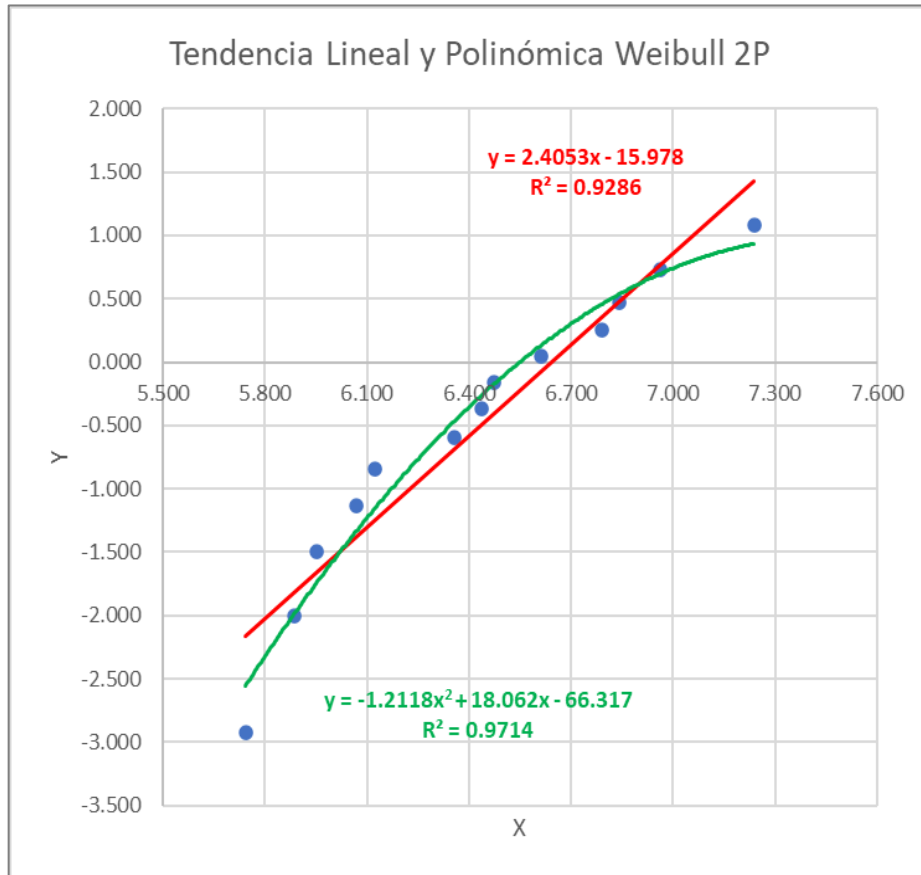
**Tabla 76:** Valores obtenidos para el mezclador horizontal mixer

Número de Fallas	Horas para la Falla	WEIBULL 2 PARÁMETROS				WEIBULL 3 PARÁMETROS				
		Probabilidad de Falla	Ln(ti)	Ln(Ln(1/(1-F(ti))))	Confiabilidad 2P	Diferencia (ti-γ)	Ln(ti-γ)	Ln(Ln(1/(1-F(ti))))	Confiabilidad 3P	Infiabilidad 3P
(i)	(ti)	F(ti)	X	Y	R(t)	(ti-γ)	X	Y	R(t)	F(t)
1	312	5.22%	5.743	-2.925	94.78%	31	3.424	-2.925	94.77%	5.23%
2	360	12.69%	5.886	-1.998	87.31%	79	4.366	-1.998	85.93%	14.07%
3	384	20.15%	5.951	-1.492	79.85%	103	4.632	-1.492	81.60%	18.40%
4	432	27.61%	6.068	-1.130	72.39%	151	5.015	-1.130	73.32%	26.68%
5	456	35.07%	6.122	-0.839	64.93%	175	5.163	-0.839	69.41%	30.59%
6	576	42.54%	6.356	-0.591	57.46%	295	5.686	-0.591	52.21%	47.79%
7	624	50.00%	6.436	-0.367	50.00%	343	5.837	-0.367	46.41%	53.59%
8	648	57.46%	6.474	-0.157	42.54%	367	5.905	-0.157	43.74%	56.26%
9	744	64.93%	6.612	0.047	35.07%	463	6.137	0.047	34.35%	65.65%
10	888	72.39%	6.789	0.252	27.61%	607	6.408	0.252	23.68%	76.32%
11	936	79.85%	6.842	0.471	20.15%	655	6.484	0.471	20.87%	79.13%
12	1056	87.31%	6.962	0.725	12.69%	775	6.652	0.725	15.16%	84.84%
13	1392	94.78%	7.238	1.082	5.22%	1111	7.013	1.082	6.04%	93.96%

Elaboración propia

Desarrollo de la gráfica de Weibull de 2 parámetros:

**Figura 81:** Gráfica Weibull 2 parámetros para el mezclador horizontal mixer



Elaboración propia

Los parámetros que se obtienen del gráfico Weibull de la tendencia lineal se muestran a continuación:

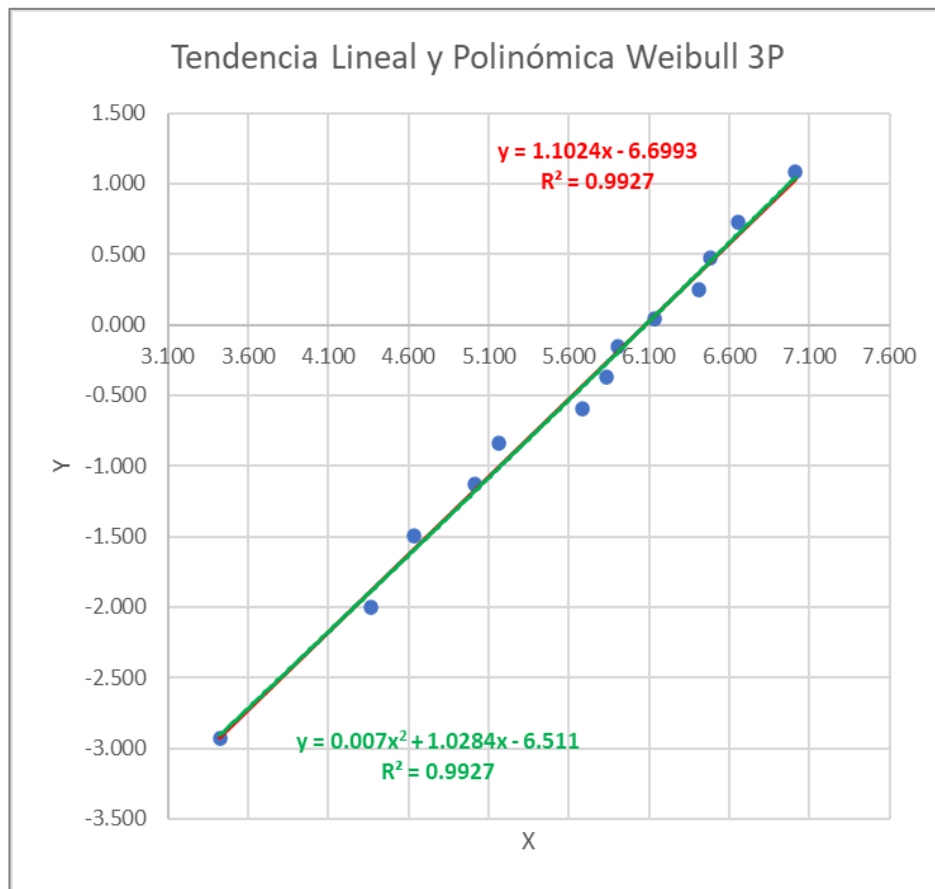
**Tabla 77:** Valores obtenidos Weibull 2 parámetros para el mezclador horizontal mixer

Parámetro	Valor
Parámetro de Forma ( $\beta$ )	2.4053
Parámetro de escala ( $\eta$ )	767.29
Parámetro de posición ( $\gamma$ )	0
Coefficiente de Correlación (R)	0.9636
Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF)	680.21

Elaboración propia

Desarrollo de la gráfica de Weibull de 3 parámetros:

**Figura 82:** Gráfica Weibull 3 parámetros para el mezclador horizontal mixer



Elaboración propia

Los parámetros que se obtienen del gráfico Weibull de la tendencia se muestran a continuación:

**Tabla 78:** Valores obtenidos Weibull 3 parámetros para el mezclador horizontal mixer

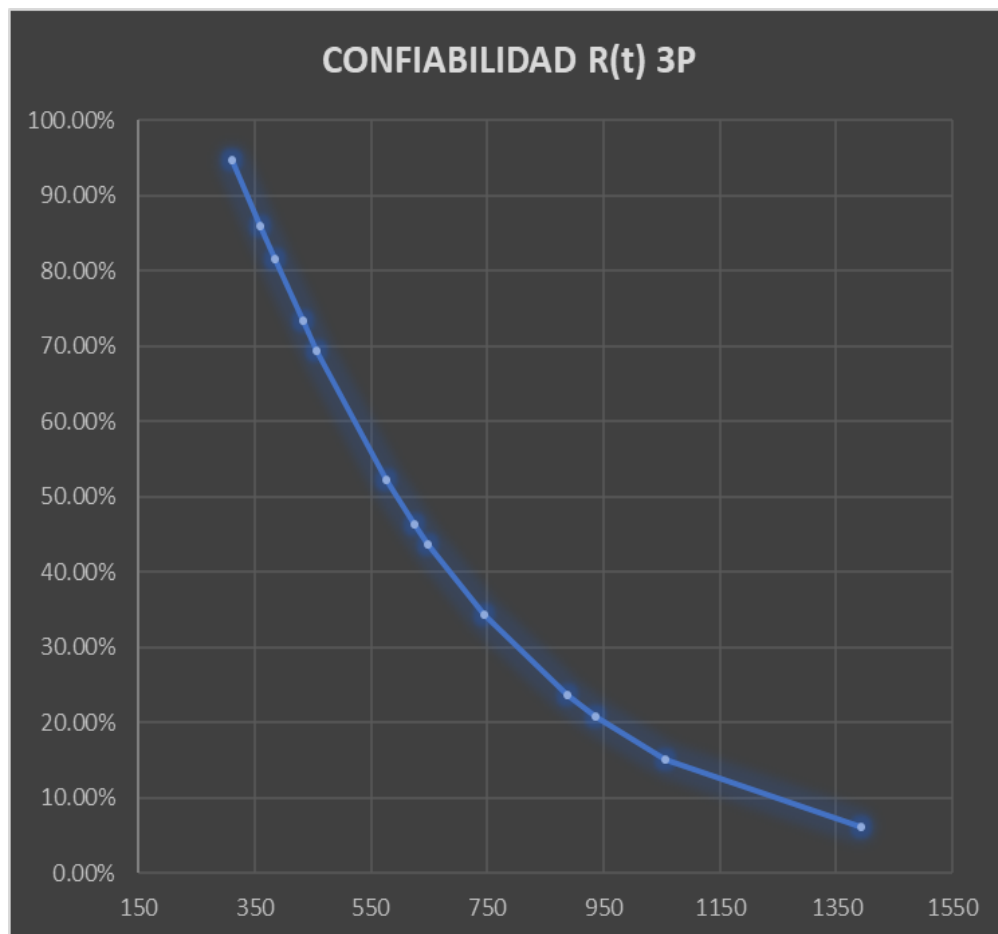
Parámetro	Valor
Parámetro de Forma ( $\beta$ )	1.1024
Parámetro de escala ( $\eta$ )	435.64
Parámetro de posición ( $\gamma$ )	281.31
Coefficiente de Correlación (R)	0.9963
Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF)	420.05

Elaboración propia

Realizando una comparativa entre los valores que se obtuvieron de la distribución de Weibull de 2 parámetros y 3 parámetros, se puede identificar que, la que más se ajusta a los datos de falla es la distribución de Weibull de 3 parámetros, ya que su coeficiente de correlación ( $R$ ) está más cerca de la unidad y existe una dependencia lineal de los datos de falla, como también el parámetro de escala ( $\eta$ ) está dentro de las horas para la falla.

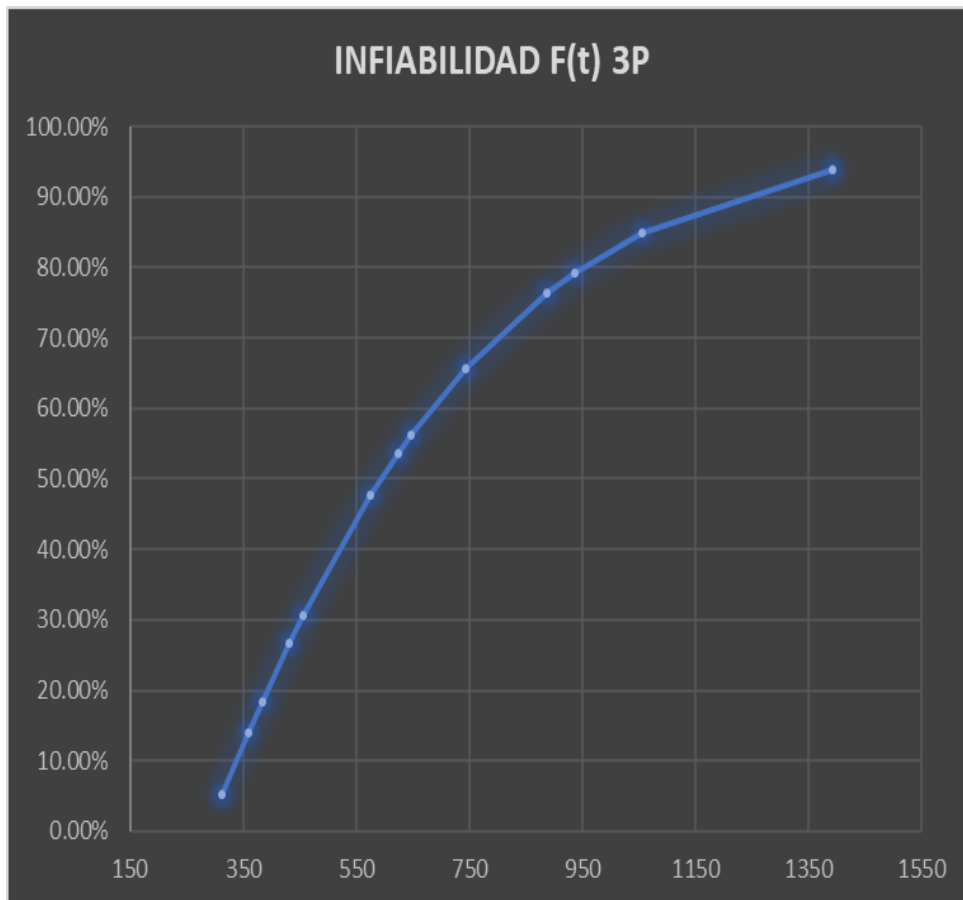
Como la distribución de Weibull de 3 parámetros se ajusta mejor a los datos de falla, graficaremos las curvas de Confiabilidad e Infiabilidad para determinar los intervalos de intervención de mantenimiento preventivo para el mezclador horizontal Mixer.

**Figura 83:** Curva de Confiabilidad mezclador horizontal mixer



Elaboración propia

**Figura 84:** Curva de Infiabilidad mezclador horizontal mixer



Elaboración propia

De las gráficas se obtiene que el tiempo medio entre fallas (MTBF) es de 420.05 horas para una confiabilidad de 75.38%, la vida característica ( $\eta$ ) es de 435.64 horas y se tiene una vida asegurada ( $\gamma$ ) de 281.31 horas. Se concluye que un mantenimiento óptimo para la mezcladora horizontal Mixer será el mantenimiento preventivo, y que se realizará cada 336 horas (2 semanas) de operación, para una confiabilidad de 90.35%. El mantenimiento preventivo a realizarse será principalmente la limpieza interior del equipo y cambio de empaquetadura del ducto de carga del Mixer.

#### 4.10. HOJA DE DECISIÓN.

Esta es el documento central de la metodología RCM y así mismo del proyecto de tesis. La hoja de Decisión nos permitirá asentar las respuestas a las preguntas formuladas en el Diagrama de Decisión.

**Tabla 79:** Hoja de Decisión de equipos críticos pre adición

HOJA DE DECISIONES	SISTEMA: Pre adición										Facilitador: Ronny Ali Ochoa Yucra	Hoja N° 1	
	SUB SISTEMA: Equipos críticos quienes los componen												
Referencia de información	Evaluación de las consecuencias										Fecha inicial (m=mes, s=semana)	A realizarse por	
FF FM H S E O	H1 S1 O1 NI	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a falta de				Fecha					
				H4	H5	S4							
Tornillo de carga de sulfato	1	B	4	S	N	N	S	N	S			2s	OP
Tornillo de carga de STIP Tripolifosfato	1	B	4	S	N	N	S	N	S			2s	OP
Tornillo de carga de carbonato	1	B	4	S	N	N	S	N	S			2s	OP
Tornillo de carga de polvos menores	1	B	4	S	N	N	S	N	S			2s	OP
Balanza automática de sulfato	1	C	1	S	N	N	S	N	S			2s	OP / INST
Balanza automática de STIP + Carbonato	1	C	1	S	N	N	S	N	S			2s	OP / INST
Balanza automática de polvos menores	1	C	1	S	N	N	S	N	S			2s	OP / INST
Tornillo de descarga tolva de pesaje de sulfato	1	D	5	S	N	N	S	N	S			2s	OP
Tornillo de descarga tolva pesaje STIP + Carbonato	1	D	5	S	N	N	S	N	S			2s	OP
Tornillo de descarga tolva pesaje polvos menores	1	D	5	S	N	N	S	N	S			2s	OP
Tornillo de descarga Mayor (Gusano Mayor)	1	F	4	S	N	N	S	N	S			3s	MEC
Balanza automática de líquidos	1	E	1	S	N	N	S	N	S			2s	OP / INST
Balanza automática de ácido sulfónico	1	E	1	S	N	N	S	N	S			2s	OP / INST
Batidora "A"	2	K	3	S	N	N	S	N	S			3m	MEC
Batidora "B"	2	K	3	S	N	N	S	N	S			3m	MEC
Agitador autolimpiante	2	M	1	S	N	N	S	N	S			3m	OP / MEC
	2	M	2	S	N	N	S	N	S			3m	OP / MEC

Elaboración propia

**Tabla 80:** Hoja de Decisión de equipos críticos torre de secado

HOJA DE DECISIONES		SISTEMA: Torre de Secado										Sistema N°	Facilitador:	Fecha	Hoja N°												
SUB SISTEMA: Equipos críticos quienes los componen		Evaluación de las consecuencias										Subsistema N°	Auditor:	Fecha	de												
Referencia de Información	F	FF	FM	H			S			E			H1	H2	H3	S1	S2	S3	O1	O2	O3	N1	N2	N3	Acción a falta de	Intervalo inicial (meses, semanas)	A realizarse por
				H	S	E	O	Ni	N2	N3	H4	H5															
<b>Bomba de Alta Presión "A"</b>																											
1	B	1	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	Reemplazo de Chevronees y limpieza de cabezales.	2s	MEC
<b>Bomba de Alta Presión "B"</b>																											
1	B	1	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	Reemplazo de Chevronees y limpieza de cabezales.	2s	MEC
<b>Ventilador Primario</b>																											
2	I	1	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	Limpieza del chispero o electrodo de encendido.	3s	ELEC
2	I	2	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	Ajuste del electrodo no menor a 1 cm respecto al inyector de gas	3s	ELEC
2	J	2	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	Limpieza de la lente del sensor de fotocelda ultravioleta.	3s	ELEC
<b>Ventilador secundario</b>																											
2	G	4	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	Análisis vibracional del motor - ventilador.	3m	TERCERO
<b>Tolva de recuperación de grano fino</b>																											
3	P	1	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	Limpieza de los multiciclones y alabes del ventilador inyector.	2s	OP
<b>Ventilador de escape 1</b>																											
3	M	4	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	Análisis vibracional del motor - ventilador.	3m	TERCERO
<b>Ventilador de escape 2</b>																											
3	M	4	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	Análisis vibracional del motor - ventilador.	3m	TERCERO
<b>Ventilador elevador de producto</b>																											
3	M	4	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N	S	Análisis vibracional del motor - ventilador.	3m	TERCERO

Elaboración propia

**Tabla 81:** Hoja de Decisión de equipos críticos post adición

HOJA DE DECISIONES	SISTEMA: Post adición		Facilitador: Ronny Ali Ochoa Yucra		Fecha 7/03/2022		Hoja N° 1				
	SUB SISTEMA: Equipos críticos quienes los componen		Auditor:		Fecha		de 1				
Referencia de Información	Evaluación de las consecuencias		Acción a falta de		Tarea Propuesta		Intervalo inicial (m=mes, s=semana)		A realizarse por		
F   FF   EM	H   S   E   O	H1   S1   O1   N1	H2   S2   O2   N2	H3   S3   O3   N3	H4   H5   S4	Componentes					
<b>Faja caída de producto</b>											
1	C	I	S	N	N	S	N	S			OP
											MEC
											OP
<b>Faja madre de Detergente base</b>											
2	F	3	S	N	N	S	N	S			ELEC
											OP
<b>Mezclador horizontal Mixer</b>											
3	I	4	S	N	N	S	N	S			MEC
											OP

Elaboración propia





## V. CONCLUSIONES

**PRIMERO:** Se realizó la sistematización de datos de los equipos e instalaciones del proceso y así mismo se efectuó el diagnóstico de la situación actual de los sistemas, sub sistemas y componentes de la planta, con lo cual ha sido posible determinar sus funciones, fallas funcionales, modos de falla, efectos de falla y consecuencias de falla (AMEF) y el número de prioridad de riesgo (NPR) de los modos de falla.

**SEGUNDO:** Se ha identificado las fallas y los elementos críticos del proceso de fabricación de detergente en polvo utilizando la matriz de criticidad, logrando jerarquizar 27 equipos con criticidad alta (42%), 26 equipos con criticidad media (40%) y 12 equipos con criticidad baja (18%). Así mismo se determinó la confiabilidad e intervalos de mantenimiento preventivo para los 27 equipos más críticos aplicando la metodología de la distribución de Weibull con el uso del historial de fallas, esta etapa nos permitió determinar la frecuencia óptima de intervención de cada uno de los equipos críticos, dado que influye directamente en la hoja de decisiones y en el establecimiento de las tareas de mantenimiento preventivo de cada equipo crítico.

**TERCERO:** Se ha diseñado el programa de gestión de mantenimiento preventivo para los equipos críticos del proceso de fabricación de Detergente en Polvo haciendo el uso del diagrama de decisiones y la hoja de decisión del RCM, que permitirá pronosticar las fallas.



## VI. RECOMENDACIONES

**PRIMERO:** Establecer los indicadores de gestión de mantenimiento preventivo como la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad.

**SEGUNDO:** Para futuros estudios de investigación se sugiere evaluar los costos que implica la implementación de la gestión de mantenimiento preventivo para los equipos críticos del proceso de fabricación de detergente en polvo.

**TERCERO:** Establecer la adquisición de los repuestos para los equipos críticos, efectuando un estudio de stock mínimo y máximos considerando la criticidad de los repuestos y la reposición automática de los mismos.

**CUARTO:** Elaborar un plan de capacitación anual para el personal involucrado que permita mejorar sus habilidades y competencias en la aplicación del RCM y en el programa de gestión de mantenimiento preventivo desarrollado para los equipos críticos.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abella, B. M. (2011). *Mantenimiento Industrial*. España: Universidad Carlos III.  
Obtenido de [https://www.academia.edu/26982070/Mantenimiento\\_Industrial](https://www.academia.edu/26982070/Mantenimiento_Industrial)
- Alanoca, E. J. (2015). *Reformulación de detergentes líquidos que sean biodegradables*.  
La Paz - Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés. Obtenido de  
<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/18145/M-280.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Alberto, S. S., & Adolfo, C. M. (2016). *Diseño de un plan de mantenimiento mediante metodología RCM para una línea de valorización de PEBD*. España: Universidad de Sevilla. Obtenido de [https://www.academia.edu/40987970/Diseño\\_de\\_un\\_plan\\_de\\_mantenimiento\\_mediante\\_metodología\\_RCM\\_para\\_una\\_línea\\_de\\_valorización\\_de\\_PEBD](https://www.academia.edu/40987970/Diseño_de_un_plan_de_mantenimiento_mediante_metodología_RCM_para_una_línea_de_valorización_de_PEBD)
- Alvarez, G. A., & Castro, A. G. (2004). *Programa de mantenimiento preventivo para la empresa metalmecánica industrias AVM S.A.* Colombia, Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Obtenido de <https://docplayer.es/6538094-Programa-de-mantenimiento-preventivo-para-la-empresa-metalmecanica-industrias-avm-s-a.html>
- Burga, M. D. (2010). *Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción*. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/567>
- Campos López, O., Tolentino Eslava, G., Toledo Velázquez, M., & Tolentino Eslava, R. (2019). *Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)*



*considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos.*

Lindavista-México: Instituto Politécnico Nacional México. Obtenido de [http://www.cientifica.esimez.ipn.mx/manuscritos/V23N1\\_051\\_059.pdf](http://www.cientifica.esimez.ipn.mx/manuscritos/V23N1_051_059.pdf)

COHEN, J., & MARTÍNEZ, P. (2005). *Estudio de factibilidad técnico-económico para la fabricación de un detergente en polvo destinado al mercado de consumo masivo.* Venezuela: Universidad Católica Andrés Bello. Obtenido de [http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAQ5345\\_1.pdf](http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAQ5345_1.pdf)

Cornejo, M. J. (2017). *Gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad de las redes del sub sistema de distribución eléctrico 22.9/13.2KV de San Gabán - Ollachea.* Perú, Puno: Universidad Nacional del Altiplano Puno. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6688>

Cruz, M. A. (2017). *Diseño de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para TOP ROLLS en VIDRIO ANDINO S.A.* Bogotá: Universidad Santo Tomás. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/9369/MottaMiguel2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Dianderas, S. P. (2020). *Aplicación del Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM) para la Elaboración de un Pland de Mantenimiento de un Molino de Bolas Thyssenkrupp de 12 MW en una mina de cobre en el Sur del Perú.* Perú: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/20.500.12773/12453?show=full>

Garrido, S. G. (2009). *Ingeniería de Mantenimiento.* España, Madrid: Renovetec. Obtenido de <http://www.renovetec.com/ingenieria-del-mantenimiento.pdf>



- Gavilán, N. A., & Martínez, A. G. (2011). *Fabricación de detergente en polvo*. Barcelona, Catalunya: UPC. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13097/Memòria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- González, A. C., & García, A. A. (2018). *Ingeniería básica de planta de fabricación de detergente en polvo de 20 . 000 Tn / año*. España, Sevilla: Universidad de Sevilla. Obtenido de <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/5890/fichero/PFC-5890-CAMPAÑA.pdf>
- Gutiérrez, A. M. (2015). *Mantenimiento. planeación, ejecución y control*. México: Alfaomega. Obtenido de <https://www.alfaomega.com.mx/default/mantenimiento-planeacion-ejecucion-y-control-5325.html>
- Hung, A. J. (2008). *Mantenimiento centrado en confiabilidad como estrategia para apoyar los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas en la Planta Oscar A. Machado EDC*. La habana, Cuba: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3291/329127741002.pdf>
- Julca, C. S. (2019). *El plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) y su influencia en la disponibilidad de las unidades de la flota vehicular municipalidad de San Miguel - Callao 2018*. Lima, Callao: Universidad Nacional del Callao. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12952/4309>
- Karina, L., Gabriela, D., A., M. A., & Carlos, R. (2016). *Detergente en Polvo*. Estado Carabobo: Universidad José Antonio Páez - UJAP. Obtenido de <https://ppqujap.files.wordpress.com/2016/05/proceso-detergente-en-polvo.pdf>



- Llanes, J. L., Cárdenas, L. Z., & Ones, O. P. (2015). *Evaluación del proceso de producción de detergente en polvo*. Medellín: Revista Ingenierías Universidad de Medellín. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v15n28/v15n28a13.pdf>
- Machado, A. D. (2012). *Manual de Gestión de Mantenimiento*. Cuba: Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Obtenido de <http://dspace.uclv.edu.cu:8089/handle/123456789/5574>
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. Estados Unidos: Lockhart, Rob.
- Pino, J. T. (1994). *Fiabilidad: La distribución de Weibull*. España: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo-España. Obtenido de [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp\\_331.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_331.pdf)
- Ramirez, J. C., & Moreno, H. F. (2017). *Elaboración de un análisis de criticidad y disponibilidad para la atracción X-Treme del Parque Mundo Aventura, tomando como referencia las Normas SAE JA1011 y SAE JA1012*. Bogotá: Universidad distrital francisco Jose de Caldas. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/7854/MorenoRobayolHugo;jsessionid=1A35F698CB3E5C7C53A94760F42A355B?sequence=1>
- Rivero, V., & Raul, V. (2016). *Gestión de mantenimiento centrado en confiabilidad para una maquina papelera*. Venezuela: Universidad de Carabobo. Obtenido de <http://mriuc.bc.uc.edu.ve/handle/123456789/7115>
- Romero, D. J., & Rivera, D. M. (2021). *Elaboración de un plan de mantenimiento basado en RCM para la flota vehicular de la empresa pública EMMAIPC-EP*. Cuenca -



Ecuador: Universidad Politécnica Salesina Sede Cuenca. Obtenido de  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20559/1/UPS-CT009196.pdf>

Roque, R. L. (2017). *Propuesta de plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos críticos de la empresa terminales portuarios peruanos S.A.C. en el año 2017*. Perú, Lima: Universidad Privada del Norte. Obtenido de  
<https://hdl.handle.net/11537/12420>

Salager, J.-L. (1988). *Detergentes Componentes, fabricación, fórmulas*. (L. F. QUÍMICA, Ed.) Venezuela, Mérida: F.I.R.P. Obtenido de [https://es.firp-ula.org/wp-content/uploads/2019/06/S332A\\_Detergentes.pdf](https://es.firp-ula.org/wp-content/uploads/2019/06/S332A_Detergentes.pdf)

Silva, W. R. (2006). *Modelo de gestión de mantenimiento para la planta de cementos andino, basado en la filosofía RCM 2*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Obtenido de <https://qdoc.tips/cemento-pdf-free.html>

Sotomayor, M. R. (2003). *Análisis de la Reducción del Sobrepeso de Producto en Diferentes Empresas de Polvo Detergente*. Guayaquil - Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral. Obtenido de  
<https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/d8c3475f-f7d0-4c23-9d2d-774183d2e4d6/D-105756.pdf>

TECSUP . (2021). *Introducción al Mantenimiento Centrado en La Confiabilidad*. Perú, Lima: TECSUP Central.

Urquiza, M. O. (2015). *Implementación del mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) a la empresa fabricaciones generales mantenimiento y servicios S.A.C.* Perú, Arequipa: Universidad Católica de Santa María. Obtenido de  
<https://1library.co/document/qvlvwvry-implementacion-mantenimiento-confiabilidad-empresa-fabricaciones-generales-mantenimiento-servicios.html>