



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA  
INDOAMÉRICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**TEMA:**

---

**PROPUESTA DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO EN EQUIPOS DAF DE LA  
EMPRESA INCUBANDINA S.A.**

---

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial.

**Autor**

Lasluisa Herrera Guillermo Javier

**Tutor**

Ing. Romero Morales Estalin José Mgtr.

AMBATO – ECUADOR

2026

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA,  
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL  
TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Yo, Lasluisa Herrera Guillermo Javier, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular con el nombre “Propuesta de gestión del mantenimiento en equipos DAF de la empresa INCUBANDINA S.A.”, como requisito para optar al grado de Ingeniero Industrial y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Ambato, a los 10 días del mes de enero de 2026, firmo conforme:

Autor: lasluisa Herrera Guillermo Javier

Firma:

Número de Cédula: 0502413529

Dirección: Cotopaxi, Latacunga, Juan Montalvo, Cuipila.

Correo Electrónico: lasluisaguillermo@gmail.com

Teléfono: 0990837278

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Integración Curricular PROPUESTA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO EN EQUIPOS DAF DE LA EMPRESA INCUBANDINA S.A. presentado por Lasluisa Herrera Guillermo Javier, para optar por el Título de Ingeniero Industrial,

### **CERTIFICO**

Que dicho Trabajo de Integración Curricular ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte los Lectores que se designe.

Ambato, 15 de marzo del 2026

.....

Mgr. Romero Morales Estalin José

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Integración Curricular, como requerimiento previo para la obtención del Título de Ingeniero Industrial, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor

Ambato, 15 de marzo 2026

.....

Lasluisa Herrera Guillermo Javier

0502413529

## **APROBACIÓN DE LECTORES**

El Trabajo de Integración Curricular ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: PROPUESTA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO EN EQUIPOS DAF DE LA EMPRESA INCUBANDINA S.A., previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del Trabajo de Integración Curricular.

Ambato, 15 de marzo de 2026

.....

Mgtr. Ruales Martínez María Belén  
LECTORA

.....

Mgtr. Teneda Ramos Eduardo Santiago  
LECTOR

## **DEDICATORIA**

A mi Dios, mi roca, mi fortaleza, mi luz y mi esperanza; a la memoria de mi amada Glenda cuya presencia vive en mi corazón; a mis bellas hijas Viviana y Gabriela fuente de mi motivación y perseverancia.

Guillermo Javier L.H.

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso mi sincero agradecimiento a Universidad tecnológica Indoamérica, así como a todas y cada una de sus distinguidas autoridades por brindarme la oportunidad de formar parte de esta prestigiosa institución, así como la formación recibida, en el ámbito humano y profesional.

De igual manera expreso mi gratitud a la Empresa INCUBANDINA S.A., por su ayuda incondicional durante el desarrollo de la investigación.

Agradezco a todas las personas que estuvieron presentes a lo largo de este proceso, quienes contribuyeron a que pudiera lograr tan valioso objetivo.

Gracias.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA .....	i
AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR .....	ii
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iv
APROBACIÓN DE LECTORES .....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
RESUMEN EJECUTIVO .....	xxii
ABSTRACT.....	xxiii

### CAPÍTULO I

#### INTRODUCCIÓN

Antecedentes .....	3
Antecedentes investigativos.....	4
Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).....	4
RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) / RBM (Mantenimiento Basado en el Riesgo) .....	5
Aplicación de la norma ISO 55001 en gestión de activos .....	5
Aplicación del análisis AMEF (FMEA) en sistemas industriales.....	6
Estudios de mantenimiento en plantas de tratamiento de aguas residuales .....	6

Aplicación de sistemas de flotación por aire disuelto (DAF) en el tratamiento de aguas industriales .....	7
Justificación .....	8
Objetivo general.....	10
Objetivos específicos .....	10

## **CAPÍTULO II**

### **INGENIERÍA DEL PROYECTO**

Diagnóstico de la situación actual de la empresa INCUBANDINA S.A. ....	11
Historia de la empresa.....	12
Actividad económica .....	12
Ubicación geográfica de la Empresa.....	13
Estructura organizacional de la empresa INCUBANDINA S.A. ....	13
Principales áreas de la infraestructura del proceso productivo .....	14
Layout general de la planta de faenamiento .....	15
Flujograma de proceso .....	16
Ubicación del Sistema de tratamiento y equipos DAF .....	17
Diagrama de procesos planta de agua residual (actual) .....	18
Equipos que conforman el sistema de separación de sólido - líquido .....	19
Diagnóstico del estado actual del sistema DAF .....	19
Componentes del sistema de flotación “DAF” fuera de operación .....	20
Costos de mantenimiento.....	20
Costos de mantenimiento por trimestres en el área del sistema DAF 2025.....	22
Encuesta .....	25
Validación del instrumento .....	25
Resultados de la encuesta.....	26

Diagrama de Ishikawa.....	30
Identificación del problema .....	32
Área de estudio .....	32
Justificación del Área de Estudio.....	32
Modelo operativo .....	33
Descripción de actividades del modelo operativo .....	33

### **CAPÍTULO III**

#### **PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS**

Presentación de la propuesta.....	37
Alcance de la propuesta .....	38
Limitaciones.....	39
Diseño del plan de mantenimiento mediante RCM .....	39
Contexto del sistema DAF dentro de la empresa INCUBANDINA S.A.....	40
Descripción general de la empresa .....	40
Diagrama funcional del sistema DAF .....	41
P&ID Diagrama de proceso del sistema DAF .....	42
Sistema DAF empresa INCUBANDINA S.A. ....	43
Diagnóstico del sistema DAF .....	44
Descripción del proceso productivo donde interviene el DAF .....	44
Ubicación y función del sistema DAF dentro del proceso .....	44
Condiciones operativas del sistema DAF .....	45
Partes interesadas relacionadas con el sistema DAF .....	46
Alcance del sistema de gestión de mantenimiento del DAF.....	48
Identificación de activos críticos del sistema DAF de la empresa.....	49

Aplicación de los principios de la ISO 55001 en la gestión operativa del mantenimiento .....	49
Concepto de activo y criticidad en el contexto de la ISO 55001 .....	50
Inventario técnico de los equipos del sistema DAF .....	50
Objetivo del inventario .....	50
Criterios de identificación.....	50
Inventario de activos del sistema DAF .....	51
Criterios técnicos para la determinación de criticidad.....	52
Metodología de evaluación de criticidad .....	53
Nivel de criticidad elementos del sistema DAF.....	53
Clasificación de activos según su nivel de criticidad.....	54
Diagrama de Pareto.....	56
Diagrama causa.....	57
Selección de activos críticos para el AMEF y el RCM.....	58
Riesgo Operativo .....	63
Diseño del plan de mantenimiento mediante RCM.....	65
Enfoque operativo de la ISO 55001, aplicado al sistema DAF .....	65
Fundamentos del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).....	65
Aplicación de los principios de la ISO 55001 en la gestión operativa del mantenimiento .....	65
Definición de frecuencias de mantenimiento.....	66
Relación entre el AMEF y el RCM en el sistema DAF .....	68
Clasificación de las estrategias de mantenimiento aplicadas.....	70
Árbol lógico de decisiones RCM aplicado al sistema DAF .....	71
Diagrama de árbol lógico RCM clásico (SAE JA1011) .....	71
Diseño del plan de mantenimiento del sistema DAF según RCM.....	72
Diagrama del plan de mantenimiento preventivo en equipos DAF.....	73

Impacto operativo .....	75
Fuente y validación de los datos de fallas de equipos con mayor criticidad del sistema DAF	75
Bomba de recirculación .....	76
Sistema de bomba de lodos.....	77
Sistema de dosificación química.....	78
Sistema de arrastre de lodos Skimmer .....	79
Sistema de bomba de aguas residuales .....	80
Motor reductor del sistema de agitación DAF .....	81
Determinación del tiempo efectivo .....	82
Análisis e interpretación de los indicadores.....	83
Indicadores de desempeño: MTTR, MTBF y Disponibilidad .....	83
Enfoque de la norma ISO 55001 sobre la evaluación del desempeño .....	83
Importancia de los indicadores de desempeño en la gestión del mantenimiento .....	84
Definición de los indicadores MTTR, MTBF y Disponibilidad.....	84
Frecuencia de evaluación de los indicadores .....	85
Cálculo de MTTR, MTBF y Disponibilidad aplicado a un equipo del sistema DAF .....	85
Aplicación de los indicadores en los equipos del sistema DAF .....	86
Análisis técnico sobre los Indicadores de desempeño del sistema DAF .....	86
Relación de los indicadores con la mejora continua .....	88
Matriz hoja de decisión RCM – Frecuencia de mantenimiento.....	91
Árbol de decisión .....	91
Enfoque del plan bajo la norma ISO 55001 .....	93
Propuesta del plan de gestión de activos.....	93
Diseño del plan de mantenimiento preventivo.....	93
Actividades para reducción de fallas detectadas.....	95

Frecuencias de mantenimiento.....	97
Mantenimiento conforme a los indicadores de MTBF, MTTR y disponibilidad.....	99
Determinación de las frecuencias de mantenimiento basadas en AMEF, RCM y confiabilidad .....	101
Criterio de determinación de intervalos de mantenimiento .....	102
Vinculación cuantitativa entre MTBF y frecuencias de mantenimiento.....	104
Diagrama metodológico: Integración AMEF – RCM – Confiabilidad.....	105
Procedimientos estándar .....	106
Análisis del ciclo de vida del activo .....	109
Mejora continua según la Norma ISO 55001 .....	110
Objetivo del Plan de Mejora Continua del DAF.....	110
Plan de Mejora Continua del Sistema de Mantenimiento del Sistema DAF .....	111
Elementos del Plan de Mejora Continua.....	112
Diagrama de plan de mejora continua .....	113
Proceso de Gestión de No Conformidades y Acciones Correctivas .....	114
Construcción del diagrama de Ishikawa .....	116
Identificación de categorías de causas: .....	116
Integración del Plan de Mejora con los Indicadores MTTR, MTBF y Disponibilidad .....	117
Control Documental del Plan de Mejora Continua.....	117
Beneficios Técnicos de la Mejora Continua en el Sistema DAF.....	117
Relación del Plan de Mejora Continua con la Norma ISO 55001 .....	118
Porcentaje de mantenimiento preventivo vs. Correctivo .....	118
Análisis comparativo entre el mantenimiento correctivo histórico y el mantenimiento preventivo propuesto.....	120
MTTR, MTBF y Disponibilidad en el análisis económico del sistema DAF.....	125

MTTR actual y DISPONIBILIDAD actual en el análisis económico del sistema DAF .....	127
MTTR proyectado y DISPONIBILIDAD proyectado en el análisis económico del sistema DAF.....	127
Costos de recursos necesarios .....	129
Costos de inversión inicial .....	131
Tasa de descuento .....	131
Costos evitados (beneficios económicos) .....	133
Costo asociado a capacitaciones .....	135
VAN /TIR / COSTO BENEFICIO / CURVA “S” .....	136
Cronograma de actividades.....	141

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Conclusiones:.....	142
Recomendaciones: .....	146
BIBLIOGRAFÍA: .....	146
ANEXOS .....	153

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Generación y uso de agua en la industria avícola .....	11
<b>Tabla 2.</b> Volumen estimado de aguas residuales (m <sup>3</sup> ) .....	12
<b>Tabla 3.</b> Desagregación de costos de mantenimiento del sistema DAF por trimestre según componentes operativos.....	21
<b>Tabla 4.</b> Consolidado anual de costos de mantenimiento del sistema DAF.....	23
<b>Tabla 5.</b> Análisis comparativo del sistema DAF .....	24
<b>Tabla 6.</b> Personal de mantenimiento .....	26
<b>Tabla 7.</b> Área de investigación .....	32
<b>Tabla 8.</b> Matriz de variables .....	35
<b>Tabla 9.</b> Relación entre la norma ISO 55001:2014 – Sistemas de gestión de activos – Requisitos y el desarrollo de la propuesta de gestión de mantenimiento del sistema DAF.....	39
<b>Tabla 10.</b> Especificaciones del sistema DAF .....	45
<b>Tabla 11.</b> Condiciones operativas.....	46
<b>Tabla 12.</b> Codificación .....	51
<b>Tabla 13.</b> Codificación del activo según taxonomía ISO 14224 (nivel 4) .....	51
<b>Tabla 14.</b> Matriz de criticidad .....	53
<b>Tabla 15.</b> Rangos de criticidad .....	53
<b>Tabla 16.</b> Evaluación de la criticidad .....	54
<b>Tabla 17.</b> Criticidad de equipos del sistema DAF .....	55
<b>Tabla 18.</b> Equipos con mayor criticidad.....	56
<b>Tabla 19.</b> Criterios para la valoración de la Severidad del sistema DAF .....	61
<b>Tabla 20.</b> Criterios para la valoración de la Ocurrencia del sistema DAF .....	62
<b>Tabla 21.</b> Criterios para la valoración de la Detección del sistema DAF .....	62
<b>Tabla 22.</b> Clasificación del Riesgo NPR – Sistema DAF .....	63
<b>Tabla 23.</b> Número de Prioridad de Riesgo (NPR).....	64
<b>Tabla 24.</b> Matriz de priorización de riesgos (NPR).....	66
<b>Tabla 25.</b> Programación de mantenimiento de los equipos críticos del sistema según RCM.67	
<b>Tabla 26.</b> Vinculación AMEF y (RCM) en el sistema DAF.....	69
<b>Tabla 27.</b> Plan de mantenimiento del sistema DAF basado en RCM y orientado a indicadores de desempeño.....	73

<b>Tabla 28.</b> Escala cualitativa del impacto operativo .....	75
<b>Tabla 29.</b> Base de datos para el análisis de confiabilidad de la bomba de recirculación del sistema DAF.....	77
<b>Tabla 30.</b> Base de datos para el análisis de confiabilidad de la bomba de lodos del sistema DAF.....	78
<b>Tabla 31.</b> Base de datos para el análisis de confiabilidad de la bomba del sistema de dosificación química del sistema DAF .....	79
<b>Tabla 32.</b> Base de datos para el análisis de confiabilidad del motor reductor del sistema skimmer del sistema DAF.....	80
<b>Tabla 33.</b> Base de datos para el análisis de confiabilidad de la bomba de aguas residuales del sistema DAF.....	81
<b>Tabla 34.</b> Base de datos para el análisis de confiabilidad del sistema de agitación del sistema DAF.....	82
<b>Tabla 35.</b> Determinación del tiempo efectivo destinado a la operación del sistema DAF.....	83
<b>Tabla 36.</b> Indicadores de desempeño por equipo crítico del sistema DAF .....	86
<b>Tabla 37.</b> Matriz de Hoja de Decisión RCM – Frecuencia de Mantenimiento .....	91
<b>Tabla 38.</b> Actividades preventivas recomendadas por el fabricante .....	94
<b>Tabla 39.</b> Actividades para reducción de fallas detectadas bajo norma ISO 55001 .....	96
<b>Tabla 40.</b> Frecuencias razonables.....	98
<b>Tabla 41.</b> Propuesta plan de mantenimiento Bomba de Recirculación DAF (Equipo Crítico) .....	99
<b>Tabla 42.</b> Propuesta plan de mantenimiento Bomba de Lodos .....	99
<b>Tabla 43.</b> Propuesta plan de mantenimiento Sistema de Dosificación Química.....	100
<b>Tabla 44.</b> Propuesta plan de mantenimiento Motor Reductor Skimmer .....	100
<b>Tabla 45.</b> Propuesta plan de mantenimiento Bomba de aguas residuales .....	100
<b>Tabla 46.</b> Propuesta plan de mantenimiento Motor Reductor Agitador DAF.....	101
<b>Tabla 47.</b> Fracciones del MTBF dependiendo de la criticidad del equipo:.....	103
<b>Tabla 48.</b> Frecuencias operativas .....	103
<b>Tabla 49.</b> Determinación de las frecuencias de mantenimiento a partir del MTBF y NPR (AMEF–RCM).....	103
<b>Tabla 50.</b> Procedimiento estándar para mantenimiento preventivo Bomba de recirculación del sistema DAF.....	106
<b>Tabla 51.</b> Procedimiento estándar para mantenimiento preventivo Bomba de lodos del sistema DAF.....	107

<b>Tabla 52.</b> Procedimiento estándar para mantenimiento preventivo sistema de dosificación química del sistema DAF.....	107
<b>Tabla 53.</b> Procedimiento estándar para mantenimiento preventivo Motor reductor del sistema DAF.....	108
<b>Tabla 54.</b> Procedimiento estándar para mantenimiento preventivo Bomba de aguas residuales.....	108
<b>Tabla 55.</b> Procedimiento estándar para mantenimiento preventivo Motor reductor del agitador del sistema DAF.....	109
<b>Tabla 56.</b> Ciclo de Vida del Activo aplicado al Sistema DAF .....	109
<b>Tabla 57.</b> Formato de registro de no conformidades activos del equipo DAF.....	115
<b>Tabla 58.</b> Plan de Mejora Continua vs Norma ISO 55001 .....	118
<b>Tabla 59.</b> Porcentaje de mantenimiento preventivo .....	119
<b>Tabla 60.</b> Costo anual basado en MTTR actual .....	124
<b>Tabla 61.</b> Costo anual basado en MTTR Proyectado .....	125
<b>Tabla 62.</b> MTTR actual y DISPONIBILIDAD actual en Análisis económico por indisponibilidad operativa del sistema DAF .....	127
<b>Tabla 63.</b> MTTR proyectado y DISPONIBILIDAD proyectado Análisis económico por indisponibilidad operativa del sistema DAF .....	127
<b>Tabla 64.</b> Costo por remuneración estimada promedio (USD/mes) del personal de mantenimiento.....	129
<b>Tabla 65.</b> Tabla de costos en repuestos .....	130
<b>Tabla 66.</b> Costo del sistema DAF.....	132
<b>Tabla 67.</b> Estimación del costo económico anual por riesgo ambiental operativo .....	133
<b>Tabla 68.</b> Análisis de sensibilidad .....	134
<b>Tabla 69.</b> Costo asociado a capacitaciones .....	135
<b>Tabla 70.</b> Costos acumulados vs Beneficios acumulados .....	139
<b>Tabla 71.</b> Cronograma de actividades para Implementar la propuesta de gestión de mantenimiento en equipos DAF .....	141
<b>Tabla 72.</b> Verificación de la hipótesis de investigación .....	145

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1.</b> : RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) / RBM (Mantenimiento Basado en el Riesgo).....	5
<b>Gráfico 2.</b> Estructura organizacional INCUBANDINA S.A. ....	13
<b>Gráfico 3.</b> Diagrama de proceso de la planta de faenamieto .....	17
<b>Gráfico 4.</b> Diagrama de procesos separación sólido - líquidos (actual).....	18
<b>Gráfico 5.</b> Costo por mantenimiento primer trimestre.....	22
<b>Gráfico 6.</b> Costo por mantenimiento segundo trimestre .....	22
<b>Gráfico 7.</b> Costo por mantenimiento tercer trimestre .....	23
<b>Gráfico 8.</b> Costo por mantenimiento cuarto trimestre.....	23
<b>Gráfico 9.</b> Conocimiento general de equipo DAF .....	26
<b>Gráfico 10.</b> Experiencias en operación y mantenimiento .....	27
<b>Gráfico 11.</b> Documentación, registros y control .....	27
<b>Gráfico 12.</b> Mantenimiento preventivo y gestión .....	28
<b>Gráfico 13.</b> Capacitación y competencias.....	29
<b>Gráfico 14.</b> Evaluación interna .....	29
<b>Gráfico 15.</b> Seguridad, riesgos y contingencia .....	30
<b>Gráfico 16.</b> Diagrama de Ishikawa del sistema DAF.....	31
<b>Gráfico 17.</b> Desarrollo del modelo operativo (Ciclo PHVA).....	33
<b>Gráfico 18.</b> funcionamiento de un equipo DAF.....	41
<b>Gráfico 19.</b> P&ID Sistema DAF .....	42
<b>Gráfico 20.</b> Partes interesadas.....	46
<b>Gráfico 21.</b> Estructura del sistema de gestión de mantenimiento propuesto para los equipos DAF conforme a ISO 55001.....	48
<b>Gráfico 22.</b> Diagrama de Pareto.....	56
<b>Gráfico 23.</b> Diagrama Ishikawa .....	57
<b>Gráfico 24.</b> Gestión de mantenimiento RCM .....	59
<b>Gráfico 25.</b> Árbol lógico de decisiones RCM.....	71
<b>Gráfico 26.</b> Flujo del plan de mantenimiento preventivo del sistema DAF basado en los lineamientos de la ISO 55001.....	74
<b>Cálculo del MTBF</b> .....	86
<b>Gráfico 27.</b> MTTR vs MTBF .....	88
<b>Gráfico 28.</b> MTTR vs (%) Disponibilidad.....	89

<b>Gráfico 29.</b> MTBF vs (%) Disponibilidad .....	90
<b>Gráfico 30.</b> Árbol lógico de decisión para la priorización de estrategias de mantenimiento mediante el uso integrado de NPR (AMEF), MTBF, MTTR y disponibilidad operativa.....	92
<b>Gráfico 31.</b> Intervalos y frecuencias de mantenimiento .....	105
<b>Gráfico 32.</b> Ciclo de mejora continua .....	111
<b>Gráfico 33.</b> Plan de mejora continua.....	113
<b>Gráfico 34.</b> Costos acumulados vs Beneficios acumulados.....	139

## ÍNDICE DE IMÁGENES

<b>Imagen 1.</b> Ubicación Geográfica: Sector Lasso .....	13
<b>Imagen 2.</b> Layout general planta de faenamiento .....	15
<b>Imagen 3.</b> Ubicación del sistema de tratamiento de aguas y equipos “DAF”. .....	17
<b>Imagen 4.</b> Equipo DAF (fuera de operación).....	19
<b>Imagen 5.</b> Equipo de separación por sólidos suspendidos flotación por aire disuelto DAF...43	
<b>Imagen 6.</b> Bomba de recirculación DAF .....	76
<b>Imagen 7.</b> Bomba de lodos DAF.....	77
<b>Imagen 8.</b> Bomba del sistema de dosificación química del sistema DAF .....	78
<b>Imagen 9.</b> Motor reductor del sistema de arrastre de lodos (Skimmer) del sistema DAF .....	79
<b>Imagen 10.</b> Bomba de aguas residuales del sistema DAF .....	80
<b>Imagen 11.</b> Motor reductor del sistema de agitación del sistema DAF .....	81

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1:</b> MTTR (Tiempo Medio de Reparación).....	84
<b>Ecuación 2:</b> MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas).....	85
<b>Ecuación 3:</b> Disponibilidad.....	85
<b>Ecuación 4:</b> Disponibilidad (%).....	86
<b>Ecuación 5:</b> Intervalos de Mantenimiento .....	102
<b>Ecuación 6:</b> Costos Evitados.....	135
<b>Ecuación 7:</b> Valor Anual Neto .....	137
<b>Ecuación 8:</b> Tasa Interna de Retorno .....	137
<b>Ecuación 9:</b> Costo Acumulado Lineal .....	138

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b>	Certificado Interno .....	153
<b>Anexo 2.</b>	Agitador de químicos (motor reductor) .....	154
<b>Anexo 3.</b>	Barredor skimmer de lodos flotantes .....	154
<b>Anexo 4.</b>	Bomba de proceso.....	154
<b>Anexo 5.</b>	Bomba de recirculación .....	155
<b>Anexo 6.</b>	Cámara de separación de sólidos y flotantes - .....	155
<b>Anexo 7.</b>	Manómetros .....	155
<b>Anexo 8.</b>	Serpentín .....	156
<b>Anexo 9.</b>	Sistema de dispersores .....	156
<b>Anexo 10.</b>	Sistema de dosificación de químicos .....	156
<b>Anexo 11.</b>	Tablero eléctrico.....	157
<b>Anexo 12.</b>	Tanque de saturación.....	157
<b>Anexo 13.</b>	Válvula de control.....	157
<b>Anexo 14.</b>	Desarrollo de los cálculos de los indicadores de confiabilidad y mantenibilidad del sistema DAF.....	158
<b>Anexo 15.</b>	Indicadores de desempeño por equipo crítico del sistema DAF.....	160
<b>Anexo 16.</b>	Costo anual del sistema DAF debido a indisponibilidad.....	164
<b>Anexo 17.</b>	Calculo MTBF actual vs MTBF Proyectado .....	165
<b>Anexo 18.</b>	Formato de encuesta .....	166
<b>Anexo 19.</b>	Formato de entrevista.....	167

# UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA

## FACULTAD DE INGENIERÍAS

### CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**TEMA:** PROPUESTA DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO EN EQUIPOS DAF DE LA EMPRESA INCUBANDINA S.A.

**AUTOR:** Lasluisa Herrera Guillermo Javier

**TUTOR:** Romero Morales Estalin José

#### RESUMEN EJECUTIVO

Este estudio desarrolló una propuesta de gestión de mantenimiento para el sistema de Flotación por Aire Disuelto (DAF) de la empresa INCUBANDINA S.A., a partir de un diagnóstico técnico que evidenció un enfoque predominantemente correctivo, alta recurrencia de fallas y ausencia de priorización estructurada de activos. Estas condiciones afectaban negativamente la disponibilidad operativa y generaban pérdidas económicas y riesgo ambiental en el tratamiento de aproximadamente 108.420 m<sup>3</sup> de aguas residuales al año. El objetivo fue diseñar un modelo de gestión de mantenimiento alineado con los requisitos de la norma ISO 55001, orientado a incrementar la confiabilidad del sistema y reducir los costos asociados a fallas críticas. El estudio se fundamentó en la hipótesis de que la implementación de herramientas de gestión de activos y del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) mejoraría el desempeño técnico y económico del sistema. La metodología incluyó levantamiento de información en campo, análisis de criticidad, Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA), evaluación del Tiempo Medio de Reparación (MTTR) y un análisis económico comparativo entre el escenario actual y el propuesto. Los resultados demostraron que seis activos concentran el 86,21 % del riesgo operacional y que la implementación del modelo propuesto reduciría los costos asociados al MTTR de USD 1.235,94 a USD 321,36, generando un ahorro anual estimado de USD 914,58 y disminuyendo significativamente el impacto del tiempo de inactividad de los equipos. Los hallazgos evidencian que la aplicación de un sistema estructurado de gestión de activos fortalece la sostenibilidad operativa, mejora la toma de decisiones técnicas y económicas, y reduce la exposición financiera y ambiental de la organización.

**DESCRIPTORES:** Gestión de activos, mantenimiento centrado en la confiabilidad, Norma ISO 55001 sistema, Tratamiento de aguas residuales.

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**Industrial Engineering**

**AUTHOR:** LASLUISA HERRERA GUILLERMO JAVIER

**TUTOR:** PHD. ROMERO MORALES ESTALIN JOSE

**THEME**

A MAINTENANCE MANAGEMENT PROPOSAL FOR DAF EQUIPMENT AT “INCUBANDINA” S.A.

**ABSTRACT**

This study developed a maintenance management proposal for the Dissolved Air Flotation (DAF) system of INCUBANDINA S.A., based on a technical diagnosis that revealed a predominantly corrective approach, a high recurrence of failures, and a lack of structured asset prioritization. These conditions adversely affected operational availability, resulting in economic losses and environmental risks associated with the treatment of approximately 108,420 m<sup>3</sup> of wastewater annually. The objective was to design a maintenance management model aligned with the requirements of ISO 55001, aimed at increasing system reliability and reducing the costs associated with critical failures. The study was based on the hypothesis that implementing asset management tools and Reliability-Centered Maintenance (RCM) would improve the system's technical and economic performance. The methodology included field data collection, criticality analysis, Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), Mean Time To Repair (MTTR) assessment, and a comparative economic analysis between the current and proposed scenarios. The results showed that six assets account for 86.21% of operational risk and that implementing the proposed model would reduce MTTR-related costs from USD 1,235.94 to USD 321.36, generating an estimated annual savings of USD 914.58 and significantly decreasing the impact of equipment downtime. The findings demonstrate that applying a structured asset management system strengthens operational sustainability, improves technical and economic decision-making, and reduces the organization's financial and environmental exposure.

**KEYWORDS:** asset management, ISO 55001 system, reliability-centered maintenance, wastewater treatment.



# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

A nivel mundial, las industrias del sector alimenticio conforman un eje vital en el desarrollo económico y social, aportando la generación de empleo y la dinamización de las economías locales. Sin embargo, sus procesos productivos generan impactos ambientales significativos, particularmente en lo relacionado con la generación de aguas residuales con elevada carga orgánica, sólidos suspendidos, grasas y aceites, las cuales requieren un tratamiento adecuado previo a su descarga al medio ambiente (Matias-Pillasagua et al., 2023). En respuesta a esta problemática, la ingeniería ha desarrollado y perfeccionado diversas tecnologías orientadas al tratamiento de efluentes industriales, con el objetivo de reducir su impacto ambiental y cumplir con las normativas vigentes. Entre los sistemas más utilizados en la industria alimentaria se encuentran la flotación por aire disuelto (DAF), la flotación por aire inducido, los separadores API, las trampas de grasa industriales, los procesos de coagulación - floculación con sedimentación y la electrocoagulación. Estas tecnologías permiten mejorar la eficiencia de la remoción de contaminantes y garantizar una descarga controlada de los efluentes tratados (Muñoz-Alegría et al., 2021).

En el Ecuador, el marco legal ambiental reconoce al agua como un patrimonio nacional estratégico de uso público, esencial para la vida y sujeto a principios de protección, conservación y uso sostenible (*Ministerio Del Ambiente, Agua y Transición Ecológica | Mendeley*, n.d.). En concordancia con esta perspectiva, las empresas del sector agroindustrial están obligadas a implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales que aseguren el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos por la normativa ambiental vigente, así como a mantener dichos sistemas en condiciones operativas adecuadas (Doria & Antonella, 2024).

La ciudad de Lasso, ubicada en la provincia de Cotopaxi, representa un punto estratégico para el desarrollo industrial del centro del país, en este entorno opera la empresa INCUBANDINA S.A., dedicada al faenamiento industrial de aves bajo la marca CRIPOLLO, cuyas actividades productivas generan efluentes líquidos con alta concentración de materia orgánica, propios del proceso de sacrificio y procesamiento avícola (Karchiyappan et al., 2025). Para el tratamiento de estos efluentes, la empresa dispone de sistemas de flotación por aire disuelto (DAF), los cuales desempeñan un rol importante en la separación sólido - líquido y en la reducción de la carga contaminante.

La operación eficiente de los sistemas DAF no depende únicamente de su diseño o tecnología instalada, sino de la aplicación de una adecuada gestión del mantenimiento que garantice su disponibilidad, confiabilidad y continuidad operativa a lo largo de su ciclo de vida. La ausencia de un sistema estructurado de mantenimiento puede derivar en fallas recurrentes, incrementos en los tiempos de parada, disminución del rendimiento del tratamiento y consecuentemente riesgos de incumplimiento ambiental.

En este sentido, una correcta gestión del mantenimiento asegura el desempeño sostenido de los equipos DAF, optimizar el uso de los recursos técnicos y económicos, y contribuir al cumplimiento de los estándares ambientales exigidos. Bajo esta perspectiva, la presente investigación se orienta al desarrollo de una propuesta de gestión del mantenimiento para los equipos DAF de la empresa INCUBANDINA S.A., fundamentada en criterios técnicos, normativos y de confiabilidad operativa.

## **Antecedentes**

Dentro de su estructura corporativa, INCUBANDINA S.A. opera su planta de faenamiento avícola bajo la marca CRIPOLLO, ubicada en la ciudad de Lasso, provincia de Cotopaxi.

Durante el proceso de faenamiento de aves se generan aguas residuales con elevada carga orgánica, caracterizadas por la presencia de sólidos suspendidos, grasas y aceites. La descarga de estos efluentes sin un tratamiento adecuado conlleva a un riesgo ambiental significativo, debido a los impactos adversos que pueden generar en los ecosistemas acuáticos y en la salud pública.

Con el objetivo de mitigar dichos impactos y cumplir con la normativa ambiental ecuatoriana sobre descargas de efluentes industriales, INCUBANDINA S.A. incorporó en su planta sistemas de flotación por aire disuelto (DAF)(Cámara et al., 2021). Estos equipos cumplen una función muy importante en la remoción de contaminantes, permitiendo la separación eficiente de sólidos suspendidos, grasas y aceites generados durante las distintas etapas del procesamiento avícola.

Frente a este escenario, la empresa inició un proceso de renovación tecnológica, adquiriendo e instalando nuevos sistemas DAF con mayor capacidad de tratamiento y tecnología actualizada, orientados a mejorar la eficiencia del proceso de tratamiento de aguas residuales. La incorporación de estos nuevos equipos representa una oportunidad estratégica para establecer un sistema de gestión del mantenimiento fundamentada en la norma ISO 55001, la cual permitirá una correcta gestión de activos.

De esta manera una gestión de mantenimiento estructurada permite asegurar la confiabilidad y prolongación de la vida útil de los equipos DAF. Mejorar los procedimientos de mantenimiento adecuados puede reducir significativamente los problemas operativos experimentados con los sistemas anteriores, comprometiendo nuevamente el desempeño ambiental y productivo de la planta.

## **Antecedentes investigativos**

### **Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)**

El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) ha sido ampliamente utilizado en diferentes sectores industriales para optimizar las estrategias de mantenimiento. Un estudio realizado por The Reliability-Centered Maintenance (RCM) effect on plant availability and downtime loss in the process industry analizó la implementación de esta metodología en una planta industrial de fertilizantes, demostrando que el uso de RCM permitió mejorar la disponibilidad de los equipos y reducir las pérdidas por paradas no planificadas mediante la identificación de componentes críticos y la planificación de mantenimiento preventivo basado en confiabilidad(Khasanah et al., 2021).

De manera similar, investigaciones sobre mantenimiento industrial destacan que el enfoque RCM permite establecer programas de mantenimiento basados en la criticidad de los activos y el análisis de modos de falla, lo cual contribuye a incrementar la confiabilidad operativa y disminuir los costos asociados a fallas inesperadas(da Silva et al., 2023).

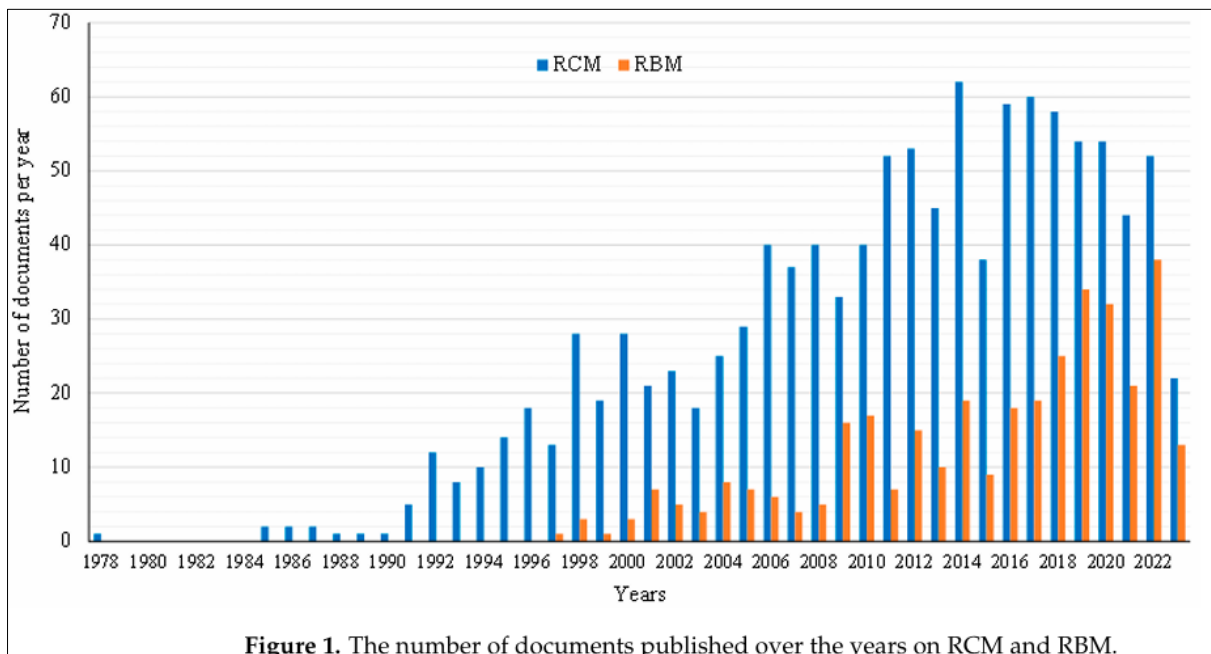
En la gestión moderna del mantenimiento industrial es fundamental articular enfoques como el Reliability-Centered Maintenance (RCM) y el Risk-Based Maintenance (RBM), ya que ambos contribuyen a optimizar la confiabilidad de los activos desde perspectivas complementarias. El RCM se orienta al análisis técnico de los modos de falla y sus efectos sobre la operación de los equipos, permitiendo definir estrategias de mantenimiento que aseguren el cumplimiento de sus funciones operativas. Por su parte, el RBM incorpora criterios de evaluación del riesgo, considerando la probabilidad de ocurrencia de fallas y las consecuencias asociadas en términos de seguridad, impacto económico y continuidad operativa.

La integración de ambos enfoques permite establecer niveles de criticidad de equipos, priorizando las acciones de mantenimiento sobre aquellos activos cuya falla podría generar mayores impactos en el sistema productivo. De esta manera, la combinación de RCM y RBM fortalece la confiabilidad operacional, al permitir una gestión más eficiente

de los recursos de mantenimiento basada tanto en el análisis técnico de los activos como en la evaluación estratégica del riesgo.

En consecuencia, mientras el RCM proporciona una base analítica para comprender el comportamiento y confiabilidad de los activos, el RBM permite optimizar la asignación de recursos de mantenimiento al priorizar aquellos elementos cuya falla representaría un mayor nivel de riesgo para la operación.

### **RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) / RBM (Mantenimiento Basado en el Riesgo)**



**Figure 1.** The number of documents published over the years on RCM and RBM.

**Gráfico 1.** RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) / RBM (Mantenimiento Basado en el Riesgo)

**Fuente:** Imagen obtenida de:(da Silva et al., 2023).

### **Aplicación de la norma ISO 55001 en gestión de activos**

La norma internacional ISO 55001 se ha establecido como un estándar de gestión para la gestión estratégica de activos en organizaciones industriales (Bannister, 2024). Estudios recientes indican que la implementación de sistemas de gestión de activos bajo esta norma permite integrar los objetivos estratégicos con el ciclo de vida de los activos, fortalecer la

toma de decisiones técnicas y operativas en mantenimiento y operación (González-Prida et al., 2022).

Un caso aplicado en empresas del sector energético demostró que la adopción de ISO 55001, combinada con herramientas de gestión estratégica como el Balanced Scorecard, permitió mejorar el control del desempeño de los activos, optimizar la planificación del mantenimiento y fortalecer la gestión de riesgos asociados a la operación de equipos críticos.

### **Aplicación del análisis AMEF (FMEA) en sistemas industriales**

El análisis de modos y efectos de falla (AMEF o FMEA) una herramienta ampliamente aplicada en la ingeniería de mantenimiento para identificar fallas potenciales y priorizar acciones preventivas en sistemas industriales. Diversas investigaciones evidencian que esta metodología permite identificar los componentes más propensos a fallas y evaluar sus efectos en el desempeño del sistema (Sielaff, 2022).

Dentro de las investigaciones sobre mantenimiento industrial, el uso combinado de FMEA dentro de metodologías de confiabilidad como RCM permite analizar las funciones de los equipos, identificar modos de falla y definir tareas de mantenimiento.

### **Estudios de mantenimiento en plantas de tratamiento de aguas residuales**

Las plantas de tratamiento de aguas residuales demandan una gestión eficiente de sus activos operativos para garantizar su eficiencia operativa. La implementación de programas de mantenimiento estructurados contribuye a optimizar el desempeño de equipos como bombas, sistemas de aireación y unidades de separación sólido – líquido.

Diversos estudios en plantas de tratamiento evidencian que la aplicación de metodologías de gestión del mantenimiento y análisis de confiabilidad permite reducir los tiempos de parada y optimizar el consumo energético del proceso, optimizando la operación de los sistemas encargados de la remoción de sólidos y contaminantes presentes en el agua residual(Oliveira & Von Sperling, 2008).

## **Aplicación de sistemas de flotación por aire disuelto (DAF) en el tratamiento de aguas industriales**

Los sistemas de flotación por aire disuelto (DAF) constituyen una tecnología ampliamente aplicada en el tratamiento de aguas residuales industriales, especialmente en sectores como la industria alimenticia, donde es necesaria la separación eficiente de grasas, sólidos suspendidos y materia orgánica. Estudios desarrollados por la Water Environment Federation, concluyen que los sistemas DAF contribuyen a incrementar la eficiencia de los procesos de tratamiento mediante la inyección de microburbujas de aire que favorecen la flotación de los contaminantes hacia la superficie para su posterior remoción (Koivunen & Heinonen-Tanski, 2008).

El rendimiento de estos sistemas depende en gran medida de la confiabilidad de sus equipos críticos, entre los que se encuentran bombas de recirculación, bombas de lodos, agitadores y sistemas de dosificación química (Tetteh & Rathilal, 2018). Para esto se requiere de la implementación de estrategias de mantenimiento basadas en análisis de confiabilidad para mejorar la disponibilidad operativa de los sistemas DAF y reducir los tiempos de parada asociados a fallas en estos equipos (Mohammed & Albarazanje, 2019).

A partir de los antecedentes revisados, permite establecer que la aplicación de metodologías de confiabilidad como RCM y AMEF, así como la implementación de sistemas de gestión de activos basados en la norma ISO 55001, constituyen herramientas fundamentales para mejorar el desempeño y la disponibilidad de equipos industriales. En el contexto de plantas de tratamiento de aguas residuales, y particularmente en sistemas de flotación por aire disuelto (DAF), la confiabilidad de equipos críticos como bombas de recirculación es un factor crítico para garantizar la continuidad operativa del proceso. En este sentido, la presente investigación se enfoca en analizar la confiabilidad de dichos equipos como base para la propuesta de implementación de un modelo de gestión de activos alineado con los principios de la norma ISO 55001.

## **Justificación**

La presente investigación se fundamenta en aspectos técnicos, metodológicos y operativos, en función de la necesidad de fortalecer la gestión del mantenimiento de los equipos de flotación por aire disuelto (DAF) recientemente incorporados en la planta de faenamiento avícola de la empresa INCUBANDINA S.A.

Desde el punto de vista técnico, la implementación de un sistema de gestión del mantenimiento facilitará el aseguramiento de la operación de los equipos DAF, disminuyendo la frecuencia de fallas no programadas, reduciendo los tiempos de parada y optimizando la continuidad del proceso. La propuesta se sustenta en el uso de indicadores técnicos de desempeño como el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), el Tiempo Medio de Reparación (MTTR) y la disponibilidad operativa, de esta manera, se contribuye a prolongar la vida útil de los equipos y a reducir riesgos asociados al incumplimiento ambiental.

Desde la perspectiva metodológica, la investigación integra herramientas reconocidas de la ingeniería de mantenimiento, tales como el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF), el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) y los lineamientos de la norma ISO 55001 para la gestión de activos. Esta combinación metodológica permite estructurar un proceso sistemático y técnicamente fundamentado para la identificación de fallas, evaluación de riesgos y definición de estrategias de mantenimiento basadas en criterios cuantificables, asegurando criterios de objetividad, trazabilidad y coherencia técnica.

Desde el enfoque práctico y operativo, la empresa dispondrá de un plan de mantenimiento preventivo claramente definido, que facilite la planificación de actividades, la asignación eficiente de recursos humanos y materiales, y la programación de intervenciones en función de la criticidad de los equipos. La aplicación de este sistema contribuirá a la reducción de costos asociados a mantenimientos correctivos.

**Importancia e impacto:** La presente investigación se orienta al análisis de la confiabilidad y disponibilidad de los equipos DAF, considerados activos estratégicos dentro del sistema de tratamiento de efluentes de la empresa. Desde el punto de vista

técnico-operativo, la implementación de una gestión de mantenimiento basada en la norma ISO 55001 contribuirá a optimizar el desempeño del sistema, reducir fallas recurrentes y facilitar la toma de decisiones técnicas. En el ámbito ambiental, un funcionamiento confiable del sistema DAF contribuye a una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes, mitigando los impactos ambientales y asegurando el cumplimiento de los límites permisibles establecidos por la normativa vigente.

**Utilidad:** En este contexto, la propuesta presenta una utilidad significativa debido a que proporciona herramientas metodológicas y técnicas que contribuye a optimizar la gestión, operación y control de los procesos involucrados, facilita la toma de decisiones técnicas basadas en información estructurada y confiable, contribuyendo a la mejora continua y al incremento de la eficiencia operativa.

De igual manera, su aplicación permite estandarizar procedimientos, reducir errores y maximizar el aprovechamiento de los recursos disponibles, generando fortalecimiento del desempeño organizacional, como en la calidad de los resultados obtenidos.

**Beneficiarios directos.** - Los beneficiarios directos de esta investigación son la empresa INCUBANDINA S.A. y su personal técnico y administrativo del área de mantenimiento, quienes contarán con una herramienta de gestión estructurada y aplicable. De manera indirecta, se benefician las comunidades aledañas y los organismos de control ambiental, derivado de la adecuada gestión de los efluentes industriales.

**Factibilidad:** La presente investigación presenta condiciones favorables para su implementación, dado que la empresa dispone de la infraestructura física necesaria, así como del acceso a información técnica y operativa de los equipos del sistema DAF, además de contar con personal capacitado en el área de mantenimiento para la ejecución del plan propuesto. Estas condiciones permiten viabilizar su aplicación en el entorno operativo de la organización, garantizando su pertinencia y factibilidad dentro del contexto real.

## **Objetivo general**

Proponer un sistema de gestión del mantenimiento para los equipos DAF de la empresa INCUBANDINA S.A., basado en los lineamientos de la norma ISO 55001, orientado a mejorar la disponibilidad operativa y reducir la ocurrencia de fallas críticas durante su ciclo de vida.

## **Objetivos específicos**

- Diagnosticar el estado actual del mantenimiento de los equipos DAF, identificando fallas recurrentes, causas principales y su criticidad.
- Diseñar una propuesta de gestión del mantenimiento basada en la ISO 55001, que incluya el plan preventivo, actividades, frecuencias y recursos necesarios.
- Estimar el impacto técnico y económico de la propuesta de gestión del mantenimiento, mediante indicadores como: MTTR, MTBF y disponibilidad, comparando la situación actual con la proyectada.

## CAPÍTULO II

### INGENIERÍA DEL PROYECTO

#### **Diagnóstico de la situación actual de la empresa INCUBANDINA S.A.**

Es la industria avícola dedicada al procesamiento de aves, que genera elevados volúmenes de efluentes líquidos y residuos orgánicos, tales como aguas de lavado de equipos, plumas, sangre, grasa y vísceras, los cuales requieren una gestión técnica adecuada para evitar impactos ambientales negativos (Karchiyappan et al., 2025). Estos efluentes constituyen una carga considerable para los sistemas de tratamiento, particularmente en procesos que requieren la remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica.

En este contexto, la Tabla 1 presenta valores referenciales de generación de aguas residuales por ave procesada, los cuales permiten dimensionar la magnitud del problema en sistemas de producción avícola.

**Tabla 1.** Generación y uso de agua en la industria avícola

Proceso / Aspecto	Valor	Unidad	Observación
Aguas residuales en evisceración	7,8	L/pollo	Generadas durante el proceso de evisceración
Aguas residuales en lavado	4,46	L/pollo	Generadas durante el proceso de lavado
Aguas residuales totales por pollo (2,5 kg)	27,8	L/pollo	Valor promedio total por ave procesada

**Fuente:** (Karchiyappan et al., 2025)

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

Los valores reportados evidencian que el volumen de aguas residuales generado por ave procesada es considerable, lo que implica una alta exigencia operativa para los sistemas de tratamiento de aguas, especialmente en unidades como los sistemas de flotación por aire disuelto (DAF).

Por otra parte, con base en información proporcionada por la empresa INCUBANDINA S.A. (2025), se estimó el volumen de aguas residuales generado en función de una capacidad de procesamiento de 15.000 pollos por día, cuyos resultados se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Volumen estimado de aguas residuales (m<sup>3</sup>)

Volumen estimado de aguas residuales (m <sup>3</sup> ) — 15.000 pollos/día		
Periodo	Cálculo (base)	Volumen estimado
Diario	15.000 pollos × 27,8 L/pollo = 417.000 L	417 m <sup>3</sup> /día
Semanal (5 días de trabajo)	417 m <sup>3</sup> /día × 5 días = 2.085 m <sup>3</sup> /semana	2.085 m <sup>3</sup> /semana
Mensual (promedio)	2.085 m <sup>3</sup> /semana × (52/12 ≈ 4,333) = 9.035 m <sup>3</sup> /mes	9.035 m <sup>3</sup> /mes
Anual (260 días laborales)	417 m <sup>3</sup> /día × 260 días = 108.420 m <sup>3</sup> /año	108.420 m <sup>3</sup> /año

**Fuente:** INCUBANDINA S.A (2025)

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

El volumen anual estimado de 108.420 m<sup>3</sup> de aguas residuales indica que el sistema de tratamiento opera bajo condiciones de alta carga hidráulica, lo cual incrementa la exigencia sobre los equipos involucrados en el proceso. En este escenario, el sistema de flotación por aire disuelto (DAF) constituye una unidad crítica dentro del proceso de tratamiento, ya que permite la remoción de grasas, sólidos suspendidos y materia orgánica.

No obstante, se ha evidenciado que los equipos asociados a este sistema presentan condiciones de desgaste y obsolescencia, lo que afecta su desempeño operativo y compromete la eficiencia del tratamiento. En consecuencia, la operación del sistema bajo estas condiciones incrementa la probabilidad de fallas en componentes críticos, lo que justifica la necesidad de implementar una gestión de mantenimiento hacia los nuevos equipos DAF.

### **Historia de la empresa**

INCUBANDINA S.A. fue constituida en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua, Ecuador, el 6 de julio de 1992, como resultado de la unión de avicultores de la zona.

### **Actividad económica**

Su actividad principal es la cría de aves de corral.

## Ubicación geográfica de la Empresa

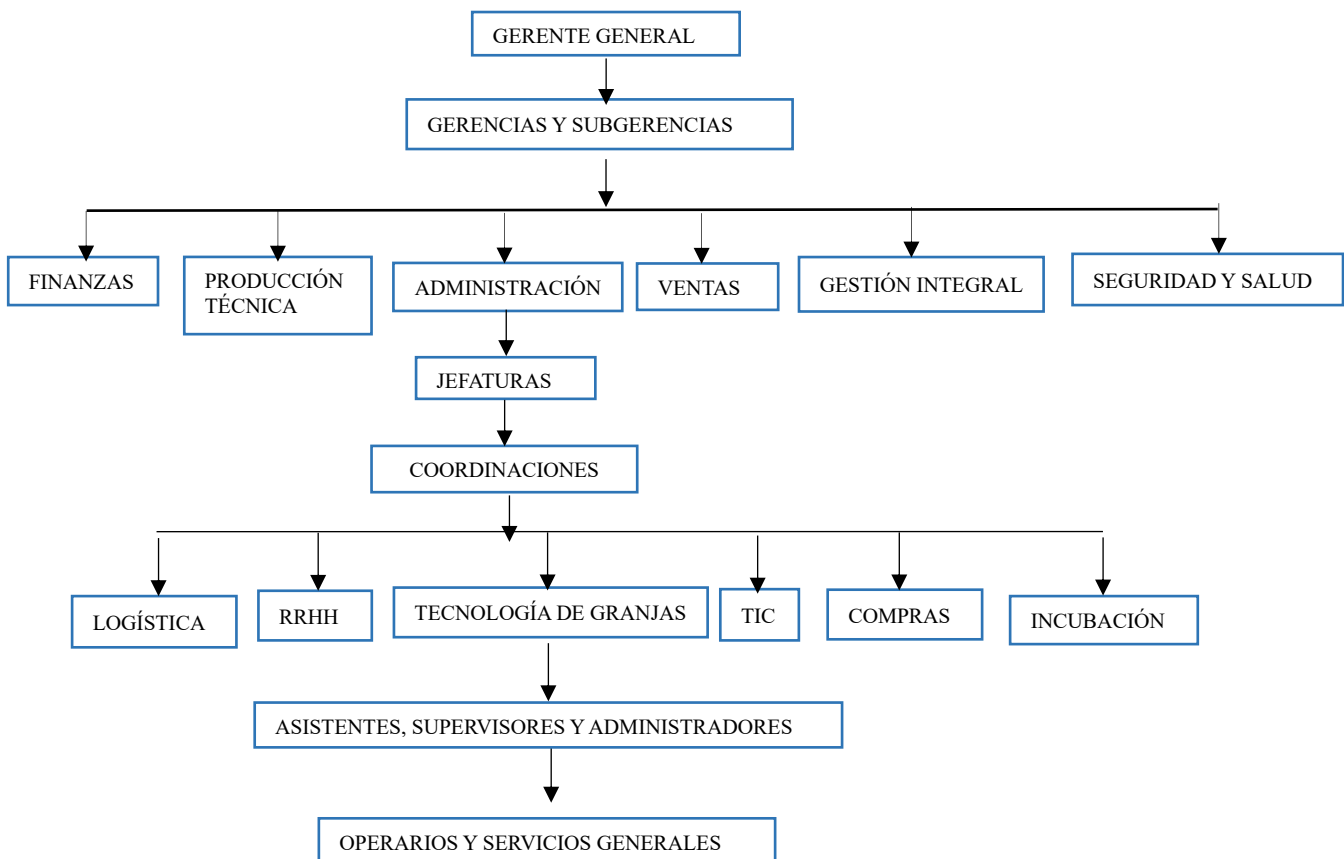


**Imagen 1.** Ubicación Geográfica: Sector Lasso

**Fuente:** Google Maps (2026)

Coordenadas: E765616.68 m, N:9915096.94 m

## Estructura organizacional de la empresa INCUBANDINA S.A.



**Gráfico 2.** Estructura organizacional INCUBANDINA S.A.

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

## **Principales áreas de la infraestructura del proceso productivo**

INCUBANDINA S.A. mantiene una distribución muy organizada de su planta de faenamiento, su estructura proporciona una línea de producción donde mantiene altos estándares en su proceso productivo.

## **Áreas funcionales relacionadas con el mantenimiento del sistema DAF**

El mantenimiento del sistema DAF (Dissolved Air Flotation) requiere la integración coordinada de diversas áreas funcionales.

En primer lugar, el área de mantenimiento mecánico es responsable de la integridad estructural y funcional de los equipos, sus actividades incluyen inspección, lubricación, alineación y reemplazo de componentes, lo que incide directamente en la reducción del tiempo medio de reparación (MTTR).

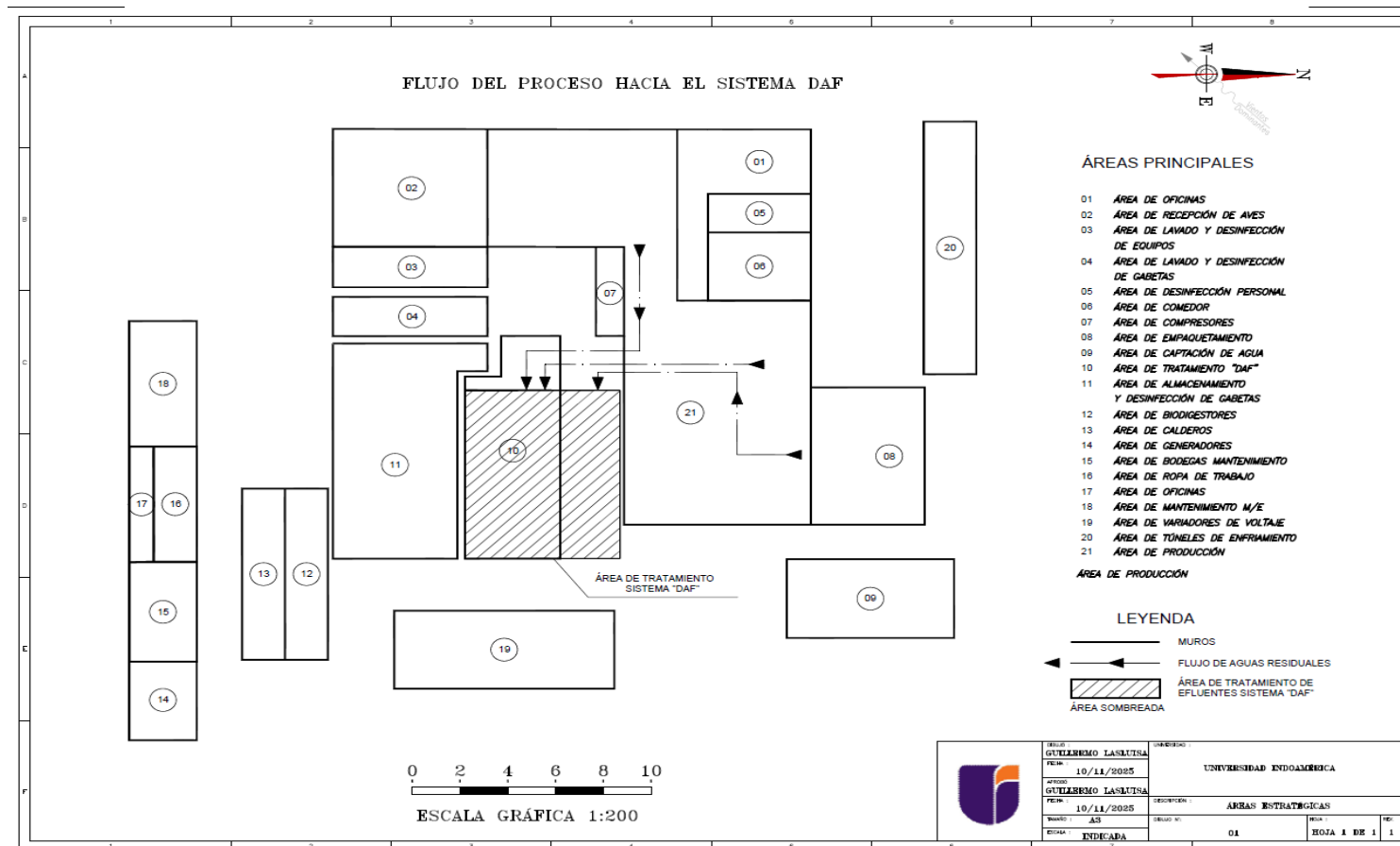
El área de mantenimiento eléctrico asegura el correcto funcionamiento de motores, tableros de control y sistemas de protección.

El área de operación del sistema cumple un rol clave en la prevención de fallas, al encargarse del control de variables críticas como caudal, presión y dosificación química, mediante inspecciones rutinarias y aplicación de procedimientos estandarizados.

Por su parte, el área de tratamiento químico garantiza la eficiencia del proceso de flotación, controlando la dosificación de reactivos y evitando problemas como obstrucciones o pérdida de eficiencia operativa. Asimismo, el área de gestión de repuestos permite reducir los tiempos de indisponibilidad mediante la definición de stock mínimo de componentes críticos.

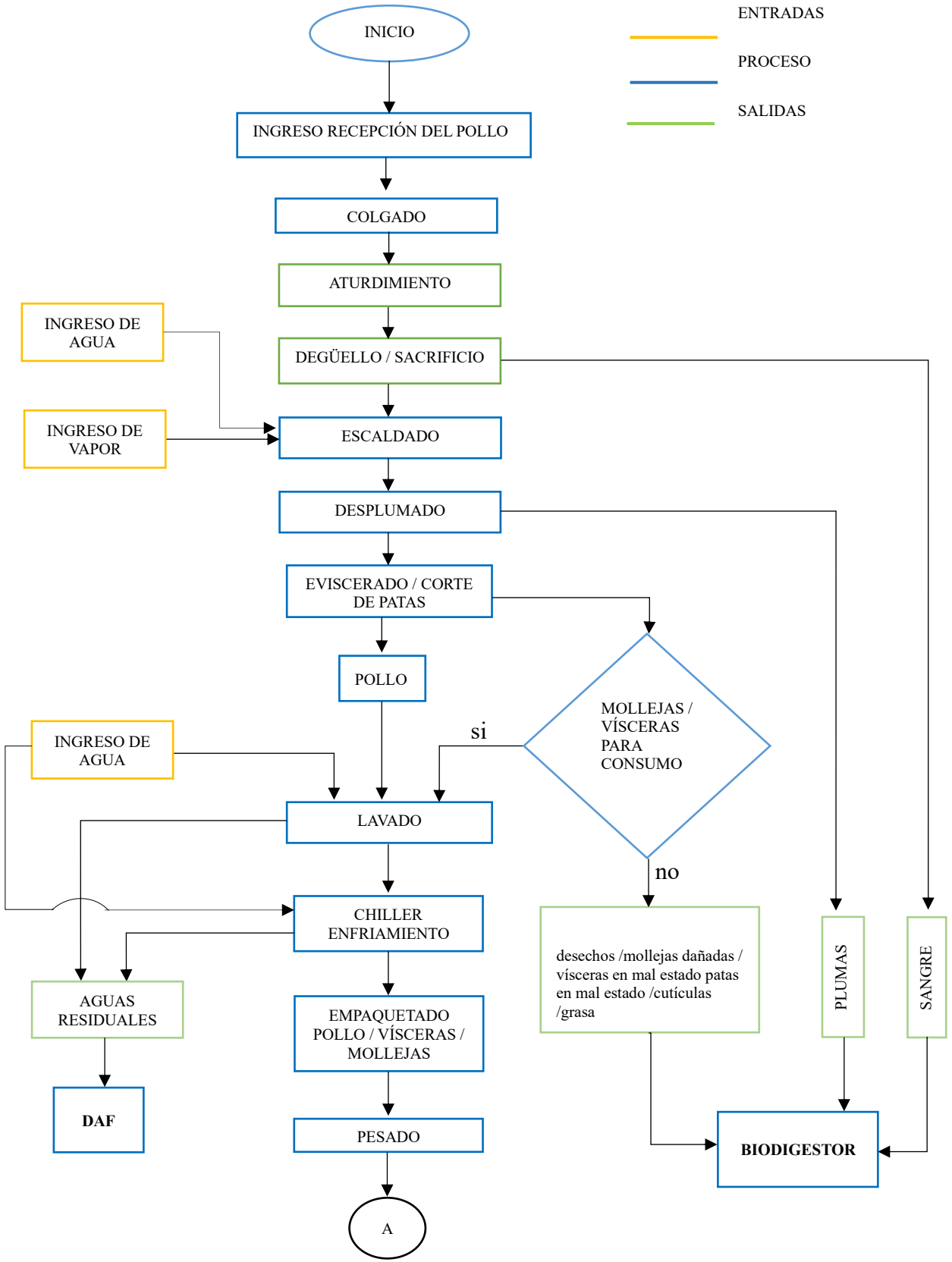
Finalmente, el área de ingeniería de mantenimiento integra herramientas como AMEF, RCM y análisis de indicadores (MTBF, MTTR), permitiendo la definición de estrategias y frecuencias de mantenimiento basadas en confiabilidad, mientras que el área de seguridad y medio ambiente asegura el cumplimiento normativo y la gestión de riesgos asociados a la operación del sistema.

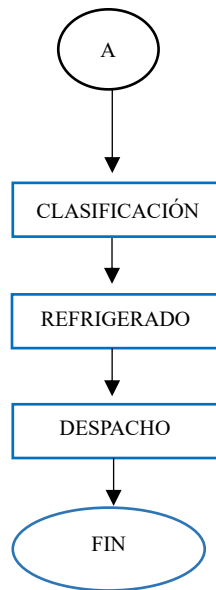
## Layout general de la planta de faenamiento



**Imagen 2.** Layout general planta de faenamiento  
 Elaborado por: Lasluisa, Guillermo (2026).

# Flujograma de proceso

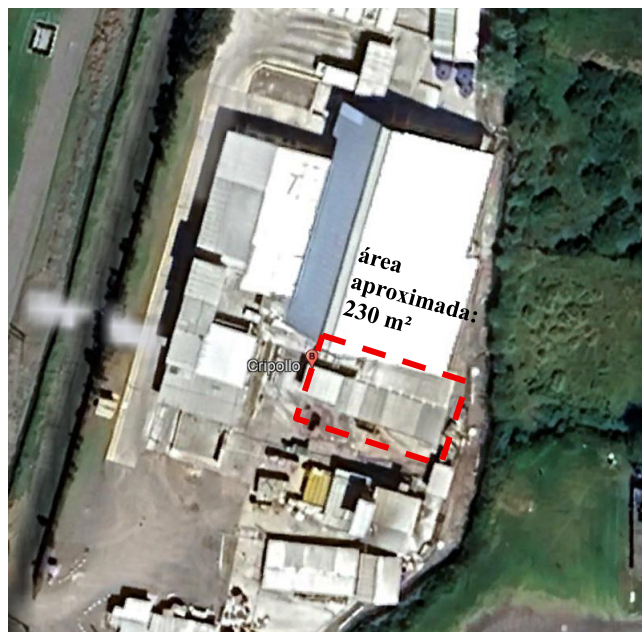




**Gráfico 3.** Diagrama de proceso de la planta de faenamiento  
**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026)

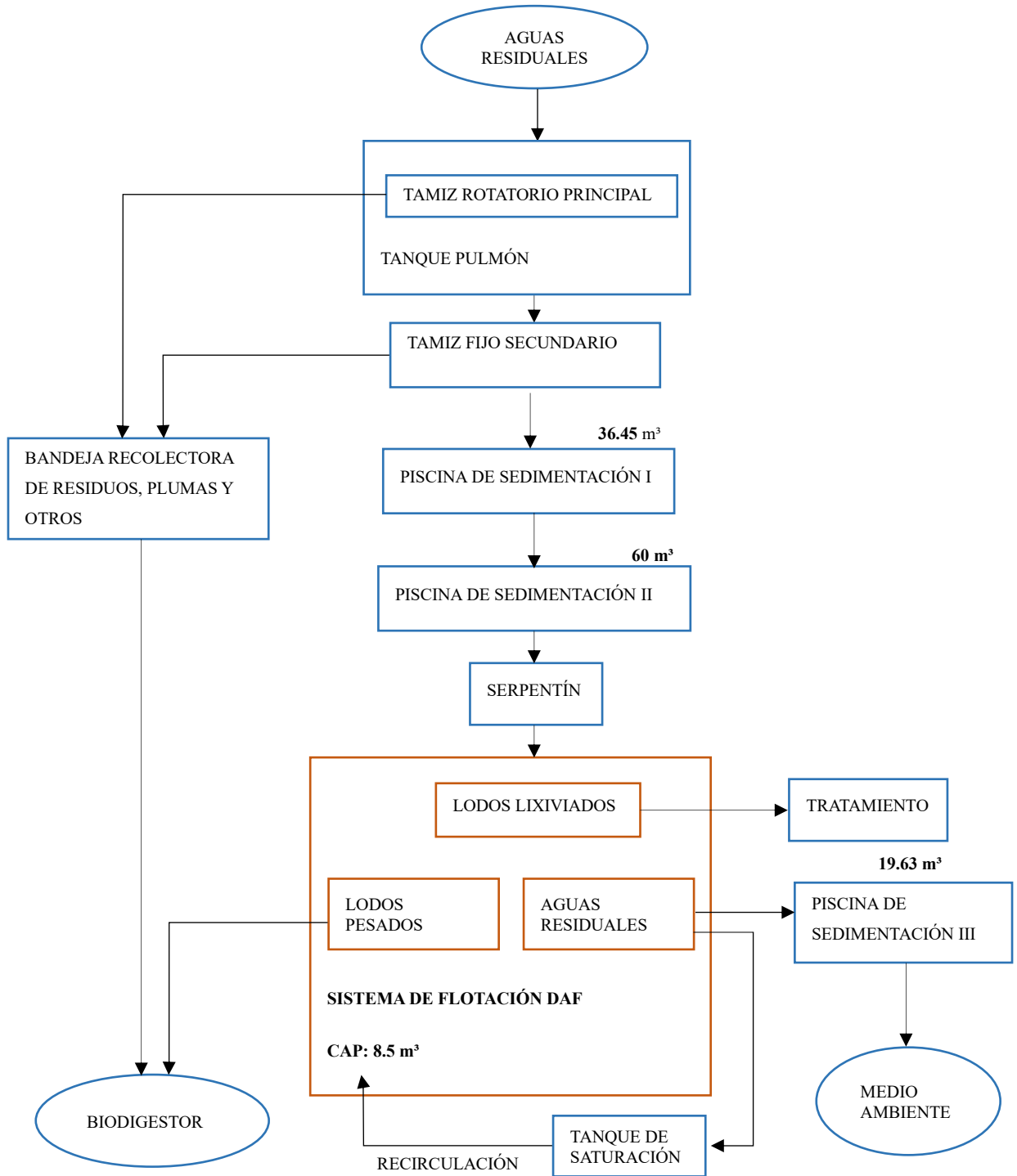
La ubicación del sistema DAF dentro del proceso de faenamiento confirma su rol como etapa crítica de pretratamiento, ya que cualquier indisponibilidad del equipo interrumpe la continuidad del tratamiento de efluentes y compromete el cumplimiento ambiental.

### Ubicación del Sistema de tratamiento y equipos DAF



**Imagen 3.** Ubicación del sistema de tratamiento de aguas y equipos "DAF".  
**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

**Diagrama de procesos planta de agua residual (actual)**



**Gráfico 4.** Diagrama de procesos separación sólido - líquidos (actual)  
**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

## Equipos que conforman el sistema de separación de sólido - líquido



**Imagen 4.** Equipo DAF (fuera de operación)

### **Diagnóstico del estado actual del sistema DAF**

El sistema de flotación por aire disuelto (DAF) existente en la planta se encuentra actualmente fuera de operación. Este estado condición atribuida al desgaste progresivo de sus componentes, la falta de mantenimiento estructurado y la limitada disponibilidad de repuestos en el mercado, lo que ha imposibilitado su rehabilitación operativa.

En consecuencia, la planta ha operado sin un sistema eficiente de tratamiento primario de efluentes, generando afectaciones en la eficiencia del tratamiento y en el cumplimiento de normativas ambientales.

Bajo este contexto, se plantea la implementación de un nuevo sistema DAF, acompañado de un modelo de gestión de mantenimiento diseñado desde su fase inicial, con el objetivo de garantizar su confiabilidad, disponibilidad y sostenibilidad operativa a largo plazo.

Esta transición no solo responde a la necesidad de reemplazo tecnológico, sino que integra un enfoque preventivo y estratégico de mantenimiento, evitando la repetición de las condiciones que llevaron a la obsolescencia del sistema anterior.

### **Componentes del sistema de flotación “DAF” fuera de operación**

La indisponibilidad parcial de estos componentes compromete la continuidad del proceso de tratamiento, incrementa la carga operativa sobre los equipos restantes y eleva el riesgo de fallas en cascada, justificando la necesidad de una gestión de mantenimiento estructurada basada en confiabilidad. Nota: imágenes ver Anexo 2 a 13.

- Agitador de químicos (motor reductor)
- Barredor skimmer de SS flotantes (motor reductor)
- Bomba de proceso
- Bomba de recirculación
- Cámara de separación de sólidos y flotantes
- Manómetros
- Serpentín
- Sistema de dispersores
- Sistema de dosificación de químicos
- Tablero eléctrico
- Tanque de saturación
- Válvula de control

### **Costos de mantenimiento**

Con el propósito de mejorar la trazabilidad y comprensión de los costos de mantenimiento del sistema DAF, los valores registrados por intervenciones correctivas fueron reclasificados en tres componentes principales: mantenimiento preventivo, repuestos y mano de obra.

Esta clasificación se fundamenta en la naturaleza de las fallas identificadas en los equipos críticos del sistema, donde predominan fallas de tipo mecánico asociadas al desgaste de

componentes, lo que implica una mayor incidencia en costos de repuestos, seguida de costos de mano de obra para su intervención.

**Tabla 3.** Desagregación de costos de mantenimiento del sistema DAF por trimestre según componentes operativos

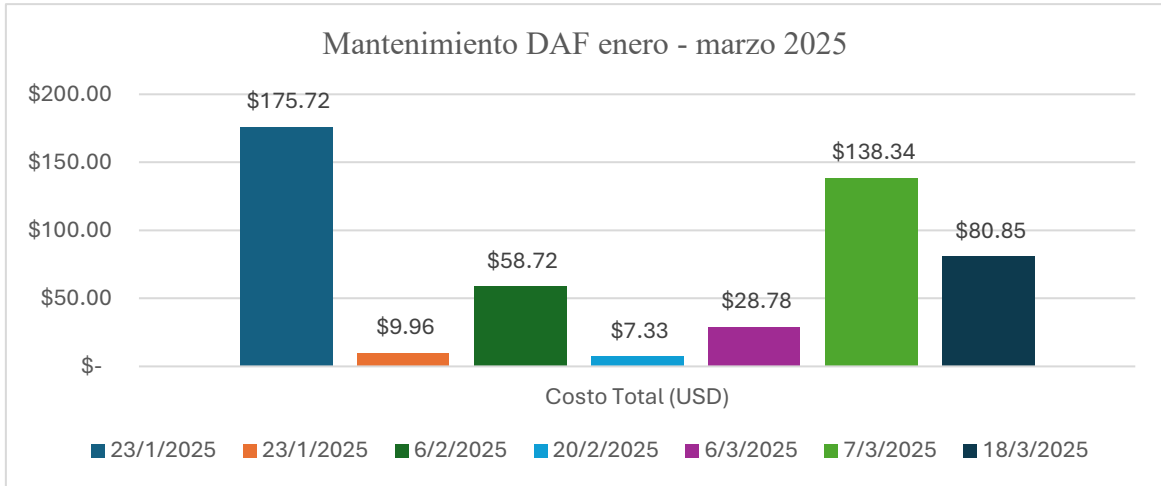
<b>TRIMESTRE 1 (Total: 499.70 USD)</b>			
Concepto	Frecuencia	Costo unitario (USD)	Subtotal (USD)
Mantenimiento preventivo	3	25	75
Repuestos	—	—	274.7
Mano de obra	7 intervenciones	21.43	150
Total, T1	—	—	499.7
<b>TRIMESTRE 2 (Total: 717.21 USD)</b>			
Concepto	Frecuencia	Costo unitario (USD)	Subtotal (USD)
Mantenimiento preventivo	3	30	90
Repuestos	—	—	412.21
Mano de obra	9 intervenciones	23.89	215
Total, T2	—	—	717.21
<b>TRIMESTRE 3 (Total: 1511.16 USD)</b>			
(Aquí hay mayor carga de fallas, por lo tanto, mayor costo en repuestos)			
Concepto	Frecuencia	Costo unitario (USD)	Subtotal (USD)
Mantenimiento preventivo	3	35	105
Repuestos	—	—	961.16
Mano de obra	14 intervenciones	31.86	445
Total, T3	—	—	1511.16
<b>TRIMESTRE 4 (Total: 1056.58 USD)</b>			
Concepto	Frecuencia	Costo unitario (USD)	Subtotal (USD)
Mantenimiento preventivo	3	35	105
Repuestos	—	—	661.58
Mano de obra	9 intervenciones	32.4	290
Total, T4	—	—	1056.58

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

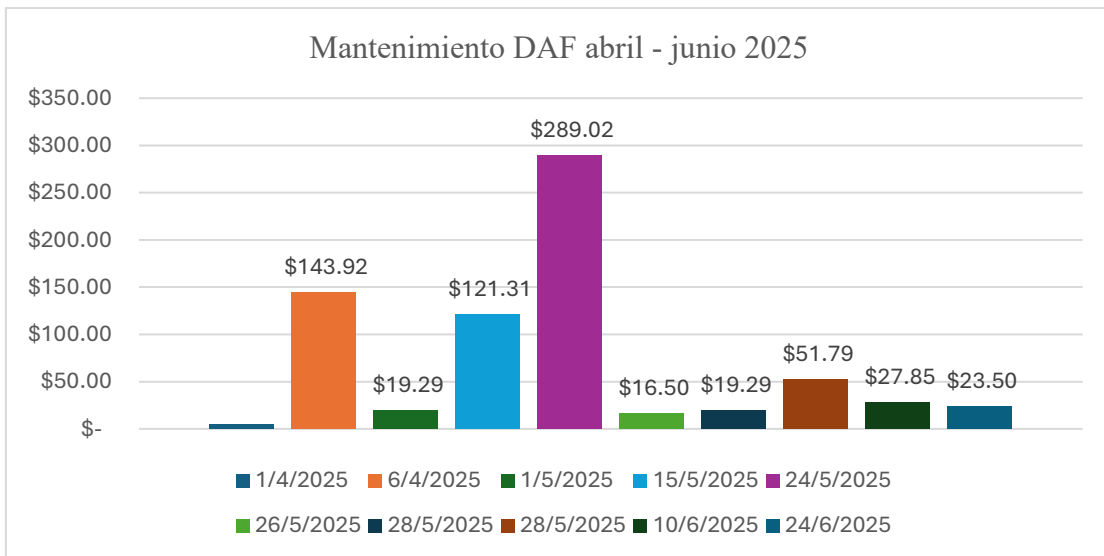
Adicionalmente, se incorpora un componente referencial de mantenimiento preventivo, con el fin de establecer una base comparativa para la propuesta de mejora del sistema de gestión de mantenimiento.

La distribución de los costos se realizó de manera proporcional en función del número de intervenciones registradas y el comportamiento histórico de fallas, garantizando coherencia con el costo total trimestral previamente determinado.

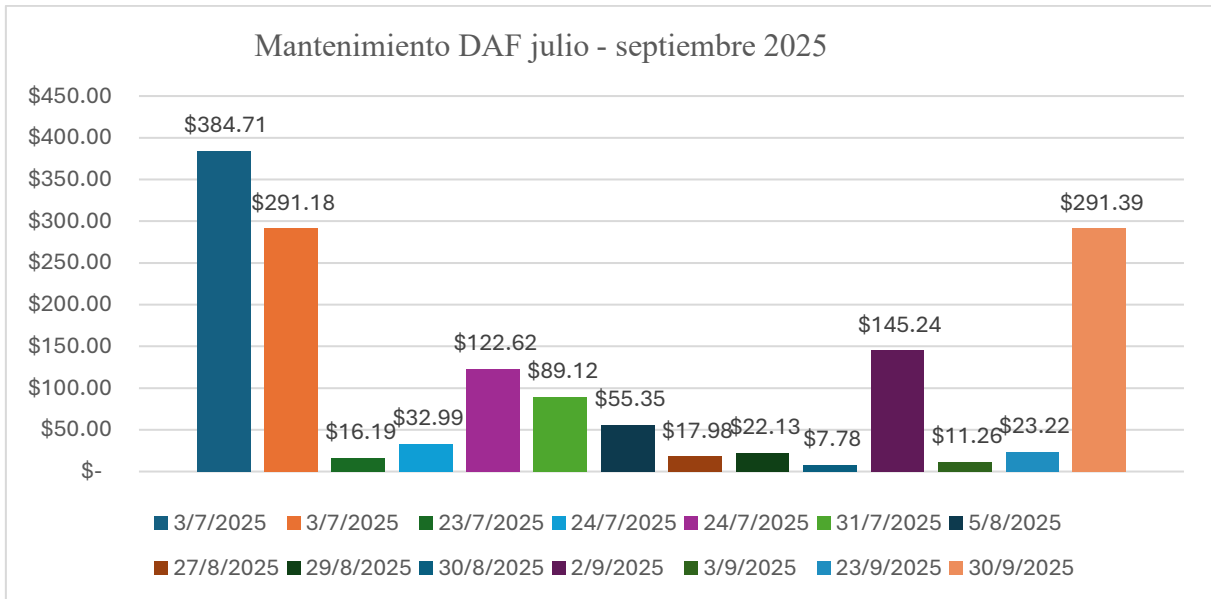
**Costos de mantenimiento por trimestres en el área del sistema DAF 2025**



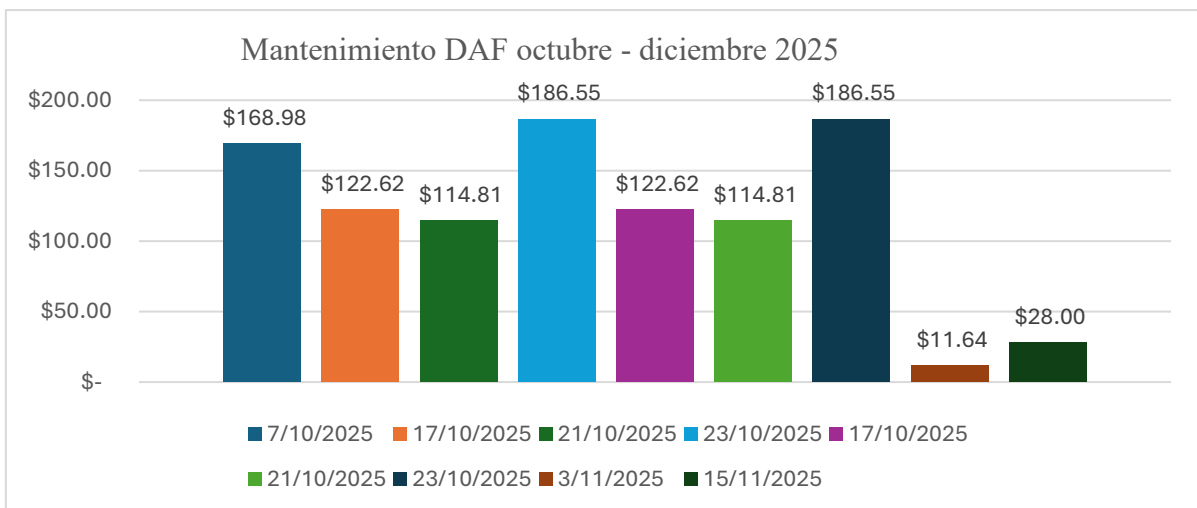
**Gráfico 5.** Costo por mantenimiento primer trimestre  
**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).



**Gráfico 6.** Costo por mantenimiento segundo trimestre  
**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).



**Gráfico 7.** Costo por mantenimiento tercer trimestre  
**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).



**Gráfico 8.** Costo por mantenimiento cuarto trimestre  
**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

**Tabla 4.** Consolidado anual de costos de mantenimiento del sistema DAF

Trimestre	Meses	Costo trimestral (USD)
T1	Enero – Febrero – Marzo	499.70
T2	Abril – Mayo – Junio	717.21
T3	Julio – Agosto – Septiembre	1511.16
T4	Octubre – Noviembre – Diciembre	1056.58
<b>Total, anual</b>	—	<b>3.785 USD</b>

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

Se observa que el tercer trimestre presenta el mayor costo de mantenimiento, alcanzando 1511.16 USD, lo cual representa el punto crítico de operación del sistema durante el periodo analizado. Este comportamiento se asocia a un incremento en la frecuencia de fallas y a la necesidad de intervenciones correctivas de mayor complejidad. En contraste, el primer trimestre presenta el menor costo, evidenciando una menor carga operativa o menor incidencia de fallas en dicho periodo.

El costo anual de mantenimiento del sistema DAF se obtiene mediante la suma de los costos trimestrales, conforme a la siguiente expresión:

$$C_{anual} = C_{T1} + C_{T2} + C_{T3} + C_{T4}$$

Donde:

$C_{T1}, C_{T2}, C_{T3}, C_{T4}$  representan los costos de mantenimiento por trimestre.

La estructura presentada permite garantizar la trazabilidad de los costos de mantenimiento, facilitando la verificación de los valores desde el nivel de intervención individual hasta su consolidación trimestral y anual.

El análisis de los costos de mantenimiento del sistema DAF correspondientes al año 2025, proporcionados por el área operativa de la empresa, permite comprender el comportamiento real del sistema en términos de frecuencia de fallas, intervenciones técnicas y distribución económica de los trabajos realizados.

**Tabla 5.** Análisis comparativo del sistema DAF

<b>Criterio</b>	<b>Sistema actual (obsoleto)</b>	<b>Sistema propuesto</b>
Estado operativo	Fuera de servicio	Operativo
Tipo de mantenimiento	Correctivo no planificado	Preventivo planificado
Control de costos	No estructurado	Controlado (3.785 USD/año)
Frecuencia de fallas	Alta	Reducida
Confiabilidad	Baja	Alta
Disponibilidad	Limitada	Mejorada

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

El análisis comparativo evidencia que el sistema actual presenta una gestión reactiva del mantenimiento, caracterizada por intervenciones correctivas no planificadas y ausencia

de control de costos. En contraste, la propuesta del nuevo sistema DAF incorpora un enfoque estructurado de mantenimiento, orientado a la planificación, control y optimización de recursos.

### **Encuesta**

La población objeto de estudio está conformada por el personal directamente vinculado a la operación y mantenimiento del sistema DAF de la empresa INCUBANDINA S.A., integrada por un total de 6 trabajadores (5 técnicos y 1 jefe de mantenimiento mecánico).

Considerando el tamaño reducido de la población y su carácter altamente especializado, se aplicó un muestreo de tipo censal, encuestando al 100% de los individuos. Este enfoque garantiza la representatividad total de la información recopilada, eliminando errores de muestreo y permitiendo obtener una visión integral del estado operativo y de gestión del sistema.

En este contexto, la muestra no busca representatividad estadística externa, sino validez interna orientada al diagnóstico técnico del sistema analizado.

### **Validación del instrumento**

El instrumento de recolección de datos (encuesta) fue validado mediante criterio de juicio experto, considerando la revisión por parte de profesionales con experiencia en mantenimiento industrial y operación de sistemas electromecánicos. La validación se centró en la coherencia, claridad y pertinencia de las preguntas en relación con los objetivos de la investigación.

Adicionalmente, se verificó que las preguntas estén alineadas con variables clave de análisis, tales como: conocimiento técnico, gestión del mantenimiento, documentación, frecuencia de fallas y condiciones operativas.

La estructura del instrumento permitió obtener información tanto cualitativa como cuantitativa, facilitando su posterior análisis e interpretación dentro del contexto del sistema DAF.

La población está conformada por 6 trabajadores: 4 técnicos del área de mantenimiento eléctrico, 1 técnico de mantenimiento mecánico y 1 líder de mantenimiento mecánico.

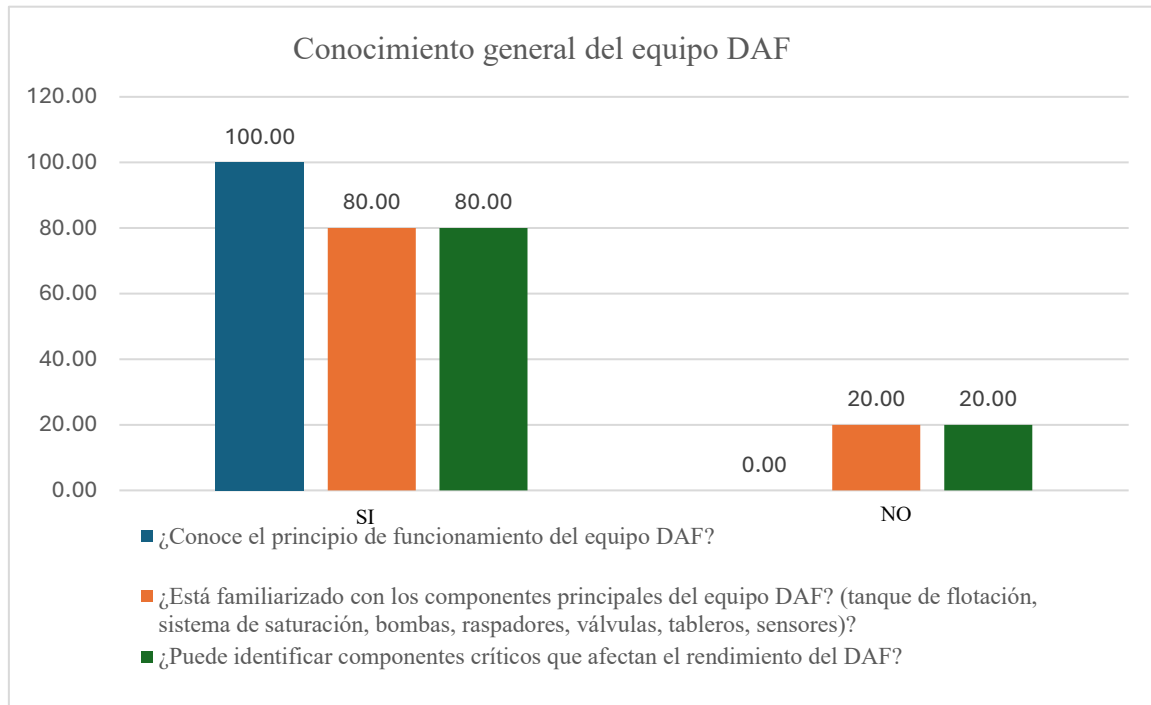
**Tabla 6.** Personal de mantenimiento

Área	Trabajadores
Mantenimiento Eléctrico	4
Mantenimiento Mecánico	1
Líder de mantenimiento mecánico	1
<b>TOTAL</b>	<b>6</b>

**Fuente:** INCUBANDINA S.A.

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

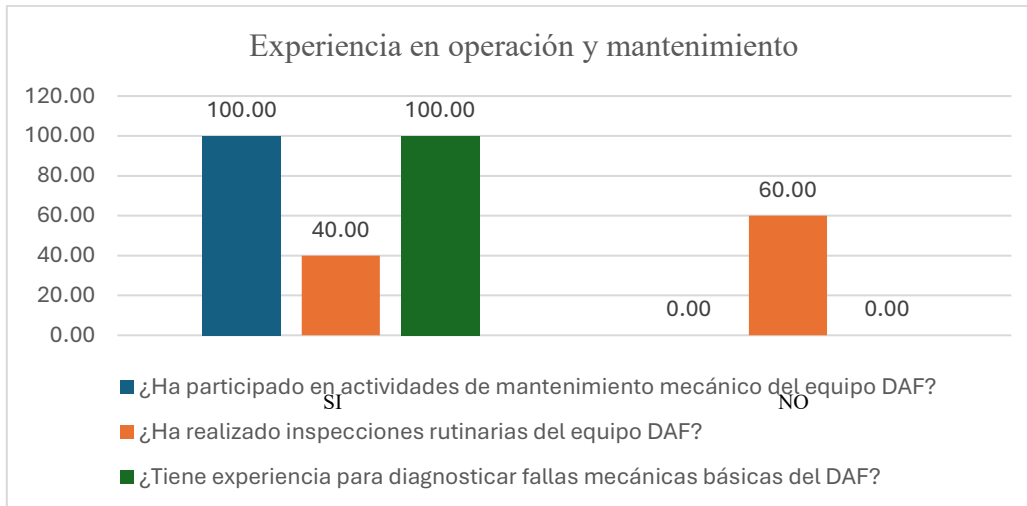
### Resultados de la encuesta



**Gráfico 9.** Conocimiento general de equipo DAF

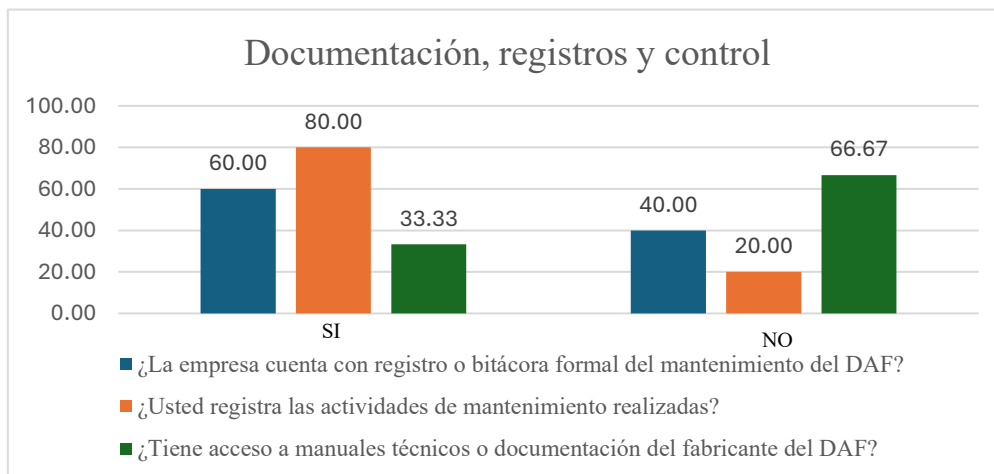
**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

Los resultados evidencian que el personal posee un alto nivel de conocimiento sobre el funcionamiento general del sistema DAF y sus componentes principales, alcanzando valores cercanos al 100% en reconocimiento del principio de operación. Sin embargo, se identifican ligeras brechas en la capacidad de identificar componentes críticos, lo que podría afectar la detección temprana de fallas y la toma de decisiones en mantenimiento.



**Gráfico 10.** Experiencias en operación y mantenimiento  
**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026)

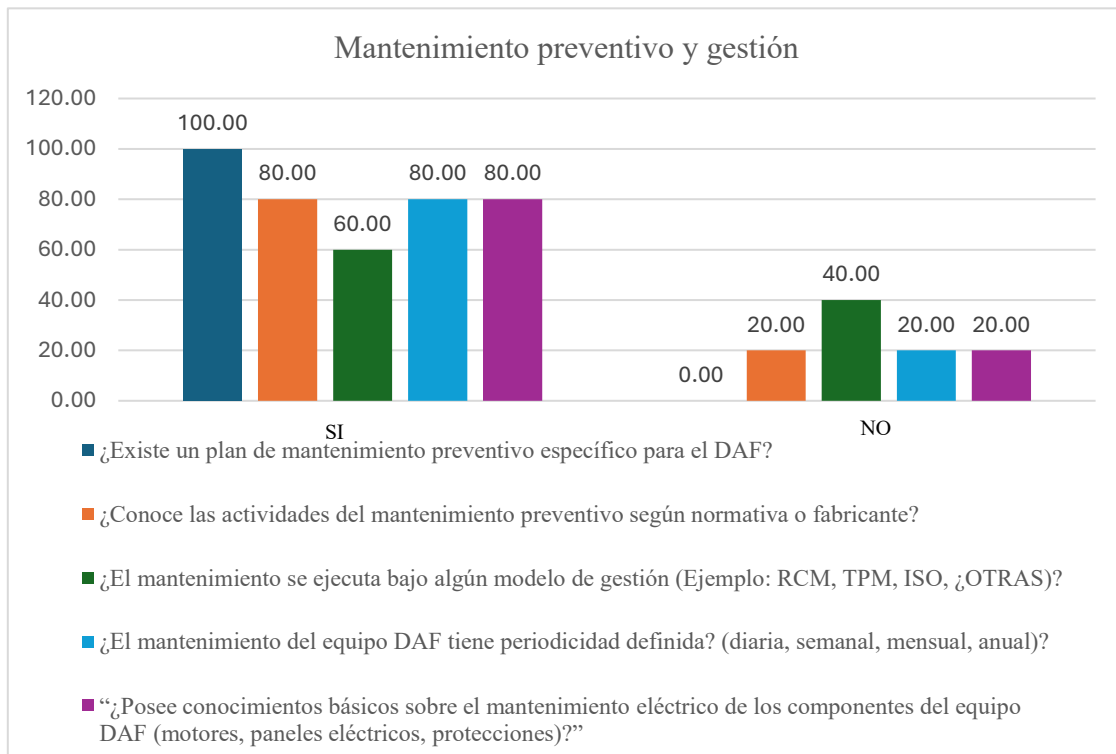
Se observa que la totalidad del personal ha participado en actividades de mantenimiento mecánico del sistema DAF, lo que evidencia experiencia operativa directa. No obstante, la menor proporción en inspecciones rutinarias y diagnóstico de fallas sugiere una posible debilidad en la sistematización de actividades preventivas, predominando un enfoque correctivo.



**Gráfico 11.** Documentación, registros y control  
**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

Los resultados reflejan una limitada estandarización en la gestión documental del mantenimiento, evidenciándose que no todos los trabajadores registran las actividades realizadas y tampoco disponen con acceso a documentación técnica del fabricante. Esta

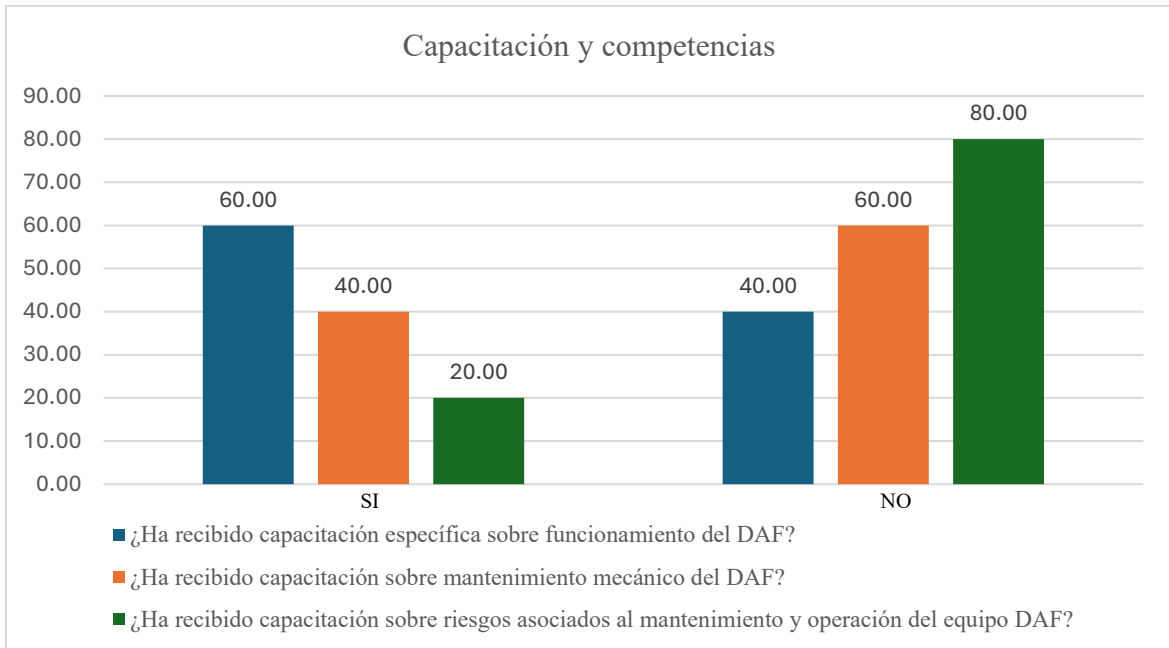
situación representa una debilidad en la trazabilidad de las intervenciones y en la gestión del conocimiento técnico.



**Gráfico 12.** Mantenimiento preventivo y gestión

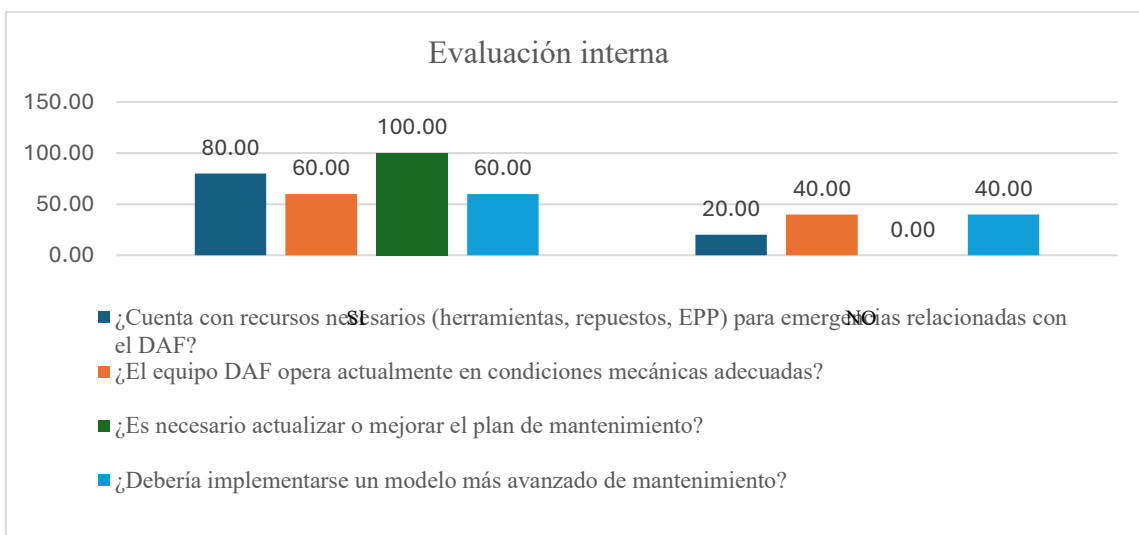
**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

Se identifica la ausencia de un modelo estructurado de mantenimiento, evidenciado en la falta de un plan preventivo formal y en el desconocimiento de metodologías de gestión como RCM o TPM. Aunque existe cierta periodicidad en las actividades, esta no responde a una planificación técnica definida, lo que incrementa la probabilidad de fallas no planificadas.



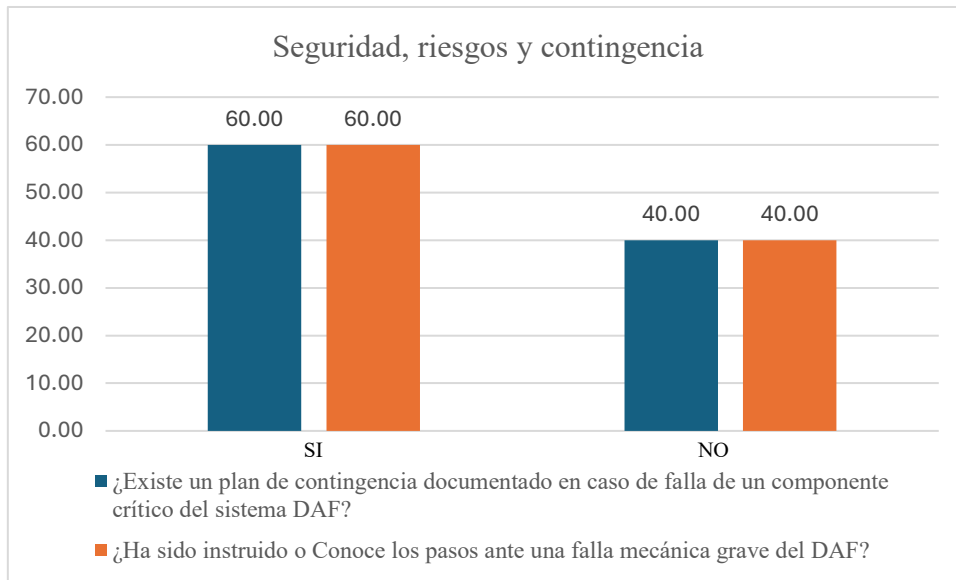
**Gráfico 13.** Capacitación y competencias  
**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

Los resultados muestran una brecha significativa en la capacitación del personal, especialmente en aspectos relacionados con mantenimiento mecánico y gestión de riesgos. Esta situación limita la capacidad técnica del equipo para ejecutar intervenciones eficientes y seguras, afectando directamente la confiabilidad del sistema.



**Gráfico 14.** Evaluación interna  
**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

Se evidencia que, aunque el personal cuenta parcialmente con recursos para intervenciones, existen deficiencias en las condiciones operativas del sistema DAF. La mayoría de los encuestados coincide en la necesidad de mejorar el plan de mantenimiento e implementar un modelo más avanzado, lo que valida la pertinencia de la propuesta planteada en la investigación.

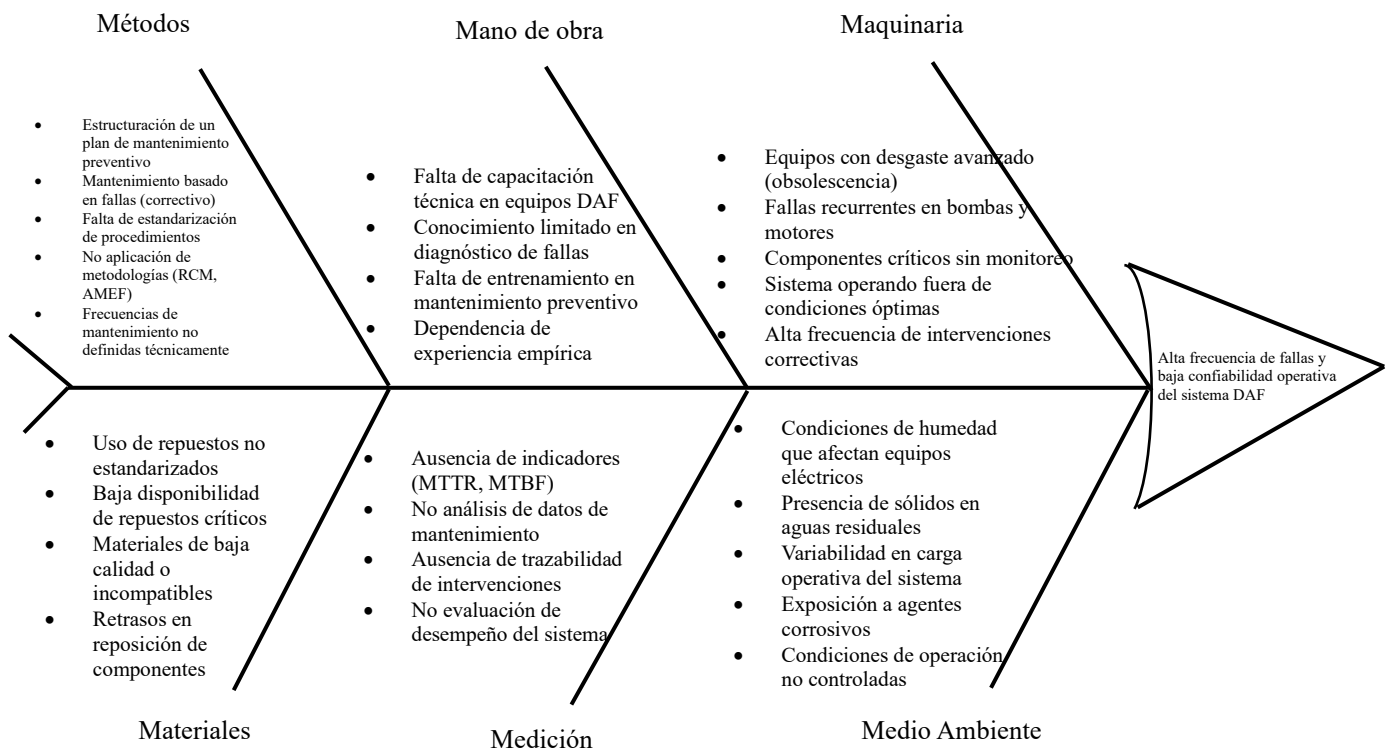


**Gráfico 15.** Seguridad, riesgos y contingencia  
**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

Los resultados indican una ausencia parcial de planes de contingencia formalmente establecidos, así como limitaciones en el conocimiento del personal frente a fallas críticas. Esto representa un riesgo operativo significativo, especialmente en sistemas como el DAF donde las fallas pueden afectar procesos ambientales y productivos.

**Diagrama de Ishikawa**

Este análisis confirma que la causa raíz del problema no es únicamente técnica, sino organizacional y metodológica, lo que justifica la implementación de un sistema de gestión del mantenimiento basado en ISO 55001.



**Gráfico 16.** Diagrama de Ishikawa del sistema DAF  
**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

Del análisis del diagrama de Ishikawa, se identifica que la causa predominante se concentra en la categoría Método, debido a la ausencia de un sistema estructurado de gestión de mantenimiento. Esta condición origina un enfoque reactivo basado en fallas, lo cual impacta directamente en la confiabilidad del sistema, incrementando la frecuencia de intervenciones correctivas y los costos operativos.

De manera complementaria, las categorías de Mano de obra y Medición refuerzan esta problemática, evidenciando la falta de capacitación técnica y la inexistencia de indicadores de desempeño, lo que limita la capacidad de control y mejora continua del sistema DAF.

## Identificación del problema

El Diagrama de Ishikawa permitió identificar de manera estructurada las principales causas que afectan la confiabilidad del sistema DAF. A partir del análisis realizado, se evidencia que la problemática no se limita a fallas técnicas de los equipos, sino que responde a deficiencias en la gestión del mantenimiento, complementación en la capacitación del personal y la ausencia de sistemas de control y medición. La identificación de estas causas implica la base para el desarrollo de la propuesta de implementación de un modelo de gestión de mantenimiento, orientado a mejorar la confiabilidad, disponibilidad y eficiencia operativa del sistema.

## Área de estudio

Sistemas de flotación por aire disuelto (DAF).

**Tabla 7.** Área de investigación

Dominio	Tecnología y Sociedad
Línea de investigación	Sistemas Industriales
Sub línea de investigación	Procesos, gestión del mantenimiento
Campo	Ingeniería Industrial
Área	Gestión de sistemas Productivos
Aspectos	Mantenimiento preventivo, aplicada a equipos DAF.
Objeto de estudio	Gestión del mantenimiento en Sistemas DAF utilizados para el tratamiento de aguas residuales en la empresa INCUBANDINA S.A.
Período	Octubre 2025 – febrero 2026

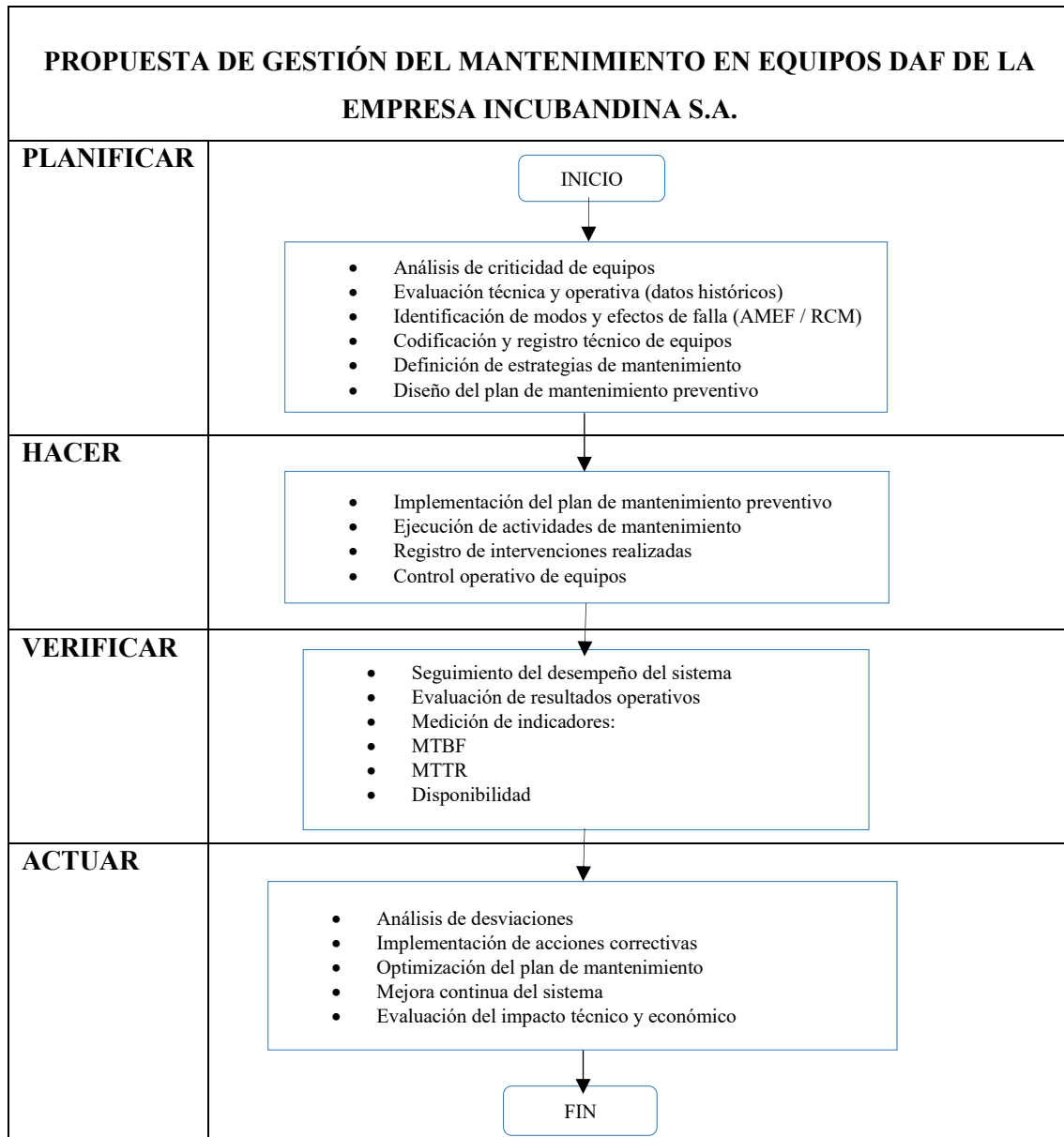
**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

## Justificación del Área de Estudio

La presente investigación se integra en el dominio de Tecnología y Sociedad, se estudiará la interacción entre los sistemas tecnológicos orientado al tratamiento de aguas residuales y su impacto en la eficiencia operativa de la empresa. La investigación se desarrolla dentro de la línea de Sistemas Industriales y la sub línea de Procesos y Gestión del Mantenimiento. El campo de estudio corresponde a Ingeniería Industrial, específicamente al área de Gestión del Mantenimiento de los equipos DAF, y se limita al análisis del

desempeño y la gestión de mantenimiento de los equipos críticos del sistema DAF, excluyendo procesos productivos previos y posteriores al tratamiento de efluentes.

### Modelo operativo



**Gráfico 17.** Desarrollo del modelo operativo (Ciclo PHVA)

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

### Descripción de actividades del modelo operativo

El modelo operativo propuesto se fundamenta en el ciclo de mejora continua PHVA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar), el cual permite estructurar la gestión del

mantenimiento del sistema DAF bajo un enfoque sistemático, orientado a la confiabilidad y alineado con los principios de la gestión de activos.

En la fase de **Planificar**, se desarrollan actividades orientadas al análisis técnico del sistema, incluyendo la identificación de equipos críticos, la evaluación de su criticidad mediante el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) y la definición de estrategias de mantenimiento basadas en el enfoque de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Asimismo, se establecen las frecuencias de mantenimiento a partir de criterios de confiabilidad como el MTBF, permitiendo estructurar un plan de mantenimiento preventivo.

En la fase de **Hacer**, se ejecutan las actividades definidas en el plan de mantenimiento, tales como inspecciones, intervenciones preventivas y correctivas, así como el registro sistemático de las acciones realizadas. Esta fase garantiza la implementación operativa del modelo y la trazabilidad de la información necesaria para su control.

En la fase de **Verificar**, se realiza el seguimiento y control del desempeño del sistema mediante el análisis de indicadores de gestión del mantenimiento, tales como el tiempo medio entre fallas (MTBF), el tiempo medio de reparación (MTTR) y la disponibilidad operativa. Estos indicadores conforman herramientas de medición que permiten evaluar la efectividad del plan de mantenimiento y el comportamiento real de los equipos en operación.

En la fase de **Actuar**, se analizan los resultados obtenidos en la fase de verificación con el fin de identificar desviaciones, causas raíz y oportunidades de mejora. Con base en este análisis, se ejecutan acciones correctivas y de optimización, tales como el ajuste de frecuencias de mantenimiento, la redefinición de estrategias y la actualización del plan de mantenimiento. Esta fase asegura la retroalimentación del modelo operativo y la mejora continua del sistema.

Con el objetivo de garantizar el rigor metodológico de la investigación y asegurar la correcta verificación de la hipótesis planteada, se realizó la operacionalización de las variables de estudio.

**Tabla 8.** Matriz de variables

**Tema:** Propuesta de Gestión de Mantenimiento en Equipos DAF de la empresa INCUBANDINA S.A.

**Problema:** ¿De qué manera la gestión de mantenimiento impacta en la confiabilidad y costos operativos de los equipos DAF?

**Hipótesis:** La aplicación de una propuesta de gestión de mantenimiento estructurada reduce fallas, paradas no programadas y costos asociados.

**VARIABLE INDEPENDIENTE: Gestión de mantenimiento aplicada a equipos DAF**

VARIABLE	INDICADOR	DEFINICIÓN OPERACIONAL	FÓRMULA	UNIDAD	FUENTE DE DATOS	MÉTODO
Gestión de mantenimiento	Plan de mantenimiento	Nivel de implementación de actividades preventivas en función de criticidad	N/A	Cualitativo	Planes de mantenimiento o Registros de mantenimiento	Análisis documental
Gestión de mantenimiento	Frecuencia de mantenimiento	Número de intervenciones programadas en un periodo determinado	Nº intervenciones / periodo	intervenciones/mes	Registros de mantenimiento	Análisis de criticidad

**VARIABLE DEPENDIENTE: Desempeño operativo y económico del sistema DAF**

VARIABLE	INDICADOR	DEFINICIÓN OPERACIONAL	FÓRMULA	UNIDAD	FUENTE DE DATOS	MÉTODO
Confiabilidad	MTBF	Tiempo promedio de operación entre fallas de los equipos DAF	Horas operativas / Nº fallas	horas	Historial de fallas	Cálculo de indicadores
Fallas	Frecuencia de fallas	Número de fallas registradas en un periodo determinado	Nº fallas / periodo	fallas/mes	Registros de mantenimiento	Análisis de datos
Disponibilidad	Disponibilidad operativa	Porcentaje de tiempo en que el equipo está disponible para operar	(Tiempo programado – Tiempo de parada) / Tiempo programado	%	Reportes operativos	Modelación técnica
Costos	Costo de mantenimiento	Costos asociados a mantenimiento correctivo y preventivo	Mano de obra + repuestos	USD	Registros contables	Evaluación económica
Impacto económico	Ahorro económico	Diferencia entre costos actuales y proyectados	Costo actual – Costo proyectado	USD	Análisis comparativo	Comparación de escenarios

**Fuente:** Elaboración propia, basada en ISO 55001:2014 y en literatura de gestión del mantenimiento y confiabilidad industrial

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

Este proceso permite definir de manera precisa los indicadores de medición, sus respectivas unidades, las fuentes de información y los métodos de análisis utilizados. En este sentido, la Tabla 8 presenta la estructura de operacionalización, como base para la evaluación del desempeño del sistema DAF mediante indicadores cuantitativos como el MTBF, la frecuencia de fallas, la disponibilidad operativa y los costos de mantenimiento.

A partir de la operacionalización de las variables presentada, se establecen los criterios técnicos necesarios para la medición y análisis del desempeño del sistema de mantenimiento. Los indicadores definidos permiten evaluar la situación actual del sistema DAF y compararla con un escenario proyectado bajo la implementación de la propuesta de gestión de mantenimiento, facilitando así la validación de la hipótesis de investigación mediante un enfoque cuantitativo.

## CAPÍTULO III

### PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS

#### Presentación de la propuesta

El presente capítulo desarrolla la propuesta técnica y su ejecución metodológica, así como el análisis de los resultados esperados derivados de su aplicación en el sistema DAF.

La propuesta de gestión de los equipos del sistema DAF, se encuentra diseñada no únicamente como un cumplimiento normativo, sino como una herramienta estratégica orientada a mejorar el desempeño operativo, económico y ambiental de la empresa. En el contexto actual, la operación de equipos críticos sin un modelo estructurado de gestión conlleva riesgos asociados a paradas no planificadas, incremento de costos de mantenimiento.

Frente a esta realidad, se plantea una propuesta de gestión de activos basada en los lineamientos de la norma ISO 55001, adaptada a las condiciones reales de operación del sistema DAF. Esta propuesta busca transformar la gestión tradicional reactiva en un modelo preventivo, permitiendo a la empresa tomar decisiones fundamentadas sobre la operación, mantenimiento e inversión en sus activos críticos.

La propuesta contempla la identificación y codificación de los activos que conforman el sistema DAF, así como el análisis de criticidad de cada equipo en función de su impacto operativo. Se incorpora la evaluación de indicadores clave de desempeño del mantenimiento, tales como MTTR, MTBF y disponibilidad, los cuales permiten medir la confiabilidad y disponibilidad operativa del sistema, sin constituir en sí mismos una metodología, sino herramientas de análisis dentro del proceso de gestión de activos, junto con la aplicación de diagramas de decisión orientados a la definición de estrategias y tareas de mantenimiento. De manera complementaria, se establecen planes de mantenimiento estructurados, que incluyen frecuencias de intervención y descripciones técnicas claramente definidas, alineadas con el comportamiento real de los equipos. Todo ello se desarrolla bajo un enfoque de mejora continua.

Desde una perspectiva gerencial, la implementación de esta propuesta permitirá a la empresa reducir costos asociados a fallas y paradas no programadas, optimizar el uso de recursos, minimizar riesgos operativos y ambientales, y generar beneficios económicos medibles a lo largo del horizonte de vida útil del proyecto. En este sentido, la gestión de los equipos DAF bajo el marco de la ISO 55001 se presenta como una inversión estratégica que fortalece la competitividad y sostenibilidad de la organización.

### **Alcance de la propuesta**

El presente trabajo tiene como alcance el diseño de un sistema de gestión del mantenimiento aplicado a los equipos que conforman el sistema de flotación por aire disuelto (DAF) de la empresa INCUBANDINA S.A., estructurado conforme a los lineamientos de la ISO 55001. La propuesta está orientada a mejorar la confiabilidad y la disponibilidad operativa de los activos, así como a reducir la ocurrencia de fallas críticas que afectan el desempeño del sistema.

Para ello, se basa en un análisis técnico de los equipos que han presentado fallas durante el periodo de estudio, utilizando información recopilada en campo y validada con el personal de mantenimiento. Este análisis incluye registros históricos de fallas, tiempos de inactividad, intervenciones correctivas y condiciones reales de operación, lo que permite establecer un diagnóstico preciso de la situación actual.

Asimismo, el alcance considera la evaluación del impacto técnico y económico de la propuesta mediante la aplicación de indicadores de gestión del mantenimiento, tales como el MTTR, MTBF y la disponibilidad, comparando el estado actual con un escenario proyectado.

Finalmente, la propuesta se limita al desarrollo metodológico del sistema de gestión del mantenimiento, sin contemplar su implementación física ni la realización de modificaciones estructurales en el sistema DAF, garantizando así su coherencia con los objetivos planteados en la investigación.

## Limitaciones

La presente investigación no contempla la implementación integral de un sistema de gestión de activos conforme a todos los requisitos de la norma ISO 55001, ni su aplicación a nivel corporativo. Su alcance se limita a la adaptación de sus principios al contexto del mantenimiento del sistema DAF.

En este sentido, la propuesta se basa en la aplicación de herramientas técnicas como el análisis de criticidad, AMEF y RCM, así como en el uso de indicadores de desempeño (MTTR, MTBF y disponibilidad), como soporte para el diseño de un modelo de gestión orientado a la confiabilidad de los activos.

**Tabla 9.** Relación entre la norma ISO 55001:2014 – Sistemas de gestión de activos – Requisitos y el desarrollo de la propuesta de gestión de mantenimiento del sistema DAF

<b>Estructura ISO 55001</b>	<b>Propuesta de gestión de mantenimiento para equipos DAF empresa INCUBANDINA S. A.</b>
CAPÍTULO 4 4. Contexto de la organización 4.1 Comprensión de la organización y de su contexto 4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas 4.3 Determinación del alcance del sistema de gestión de activos 4.4 Sistema de gestión de activos	<b>Contexto del sistema DAF en la empresa INCUBANDINA S.A.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Descripción general de la empresa INCUBANDINA S.A.</li> <li>• Descripción del proceso productivo donde interviene el DAF</li> <li>• Ubicación y función del sistema DAF dentro del proceso</li> <li>• Condiciones operativas del sistema DAF</li> <li>• Partes interesadas relacionadas con el sistema DAF</li> <li>• Alcance del sistema de gestión de mantenimiento del DAF</li> <li>• Concepto de activo y criticidad en el contexto de la ISO 55001</li> </ul>
CAPÍTULO 6 6. Planificación 6.1 Acciones para abordar riesgos y oportunidades 6.2 Objetivos de gestión de activos y planificación para lograrlos)	<b>Identificación de activos críticos del sistema DAF de INCUBANDINA S.A.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicación de los principios de la ISO 55001 en la gestión operativa del mantenimiento</li> <li>• Inventario técnico de los equipos del sistema DAF</li> <li>• Criterios técnicos para la determinación de criticidad</li> <li>• Metodología de evaluación de criticidad</li> <li>• Clasificación de los activos según su nivel de criticidad</li> <li>• Selección de activos críticos para el AMEF y el RCM</li> <li>•</li> </ul>
CAPÍTULO 8 8. Operación 8.1 Planificación y control operacional 8.2 Gestión del cambio 8.3 Externalización	<b>Diseño del plan de mantenimiento mediante RCM</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Enfoque operativo de la ISO 5500, aplicado al sistema DAF</li> <li>• Fundamentos del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)</li> <li>• Relación entre el AMEF y el RCM en el sistema DAF</li> <li>• Clasificación de las estrategias de mantenimiento aplicadas</li> <li>• Árbol lógico de decisiones RCM aplicado al sistema DAF</li> <li>• Diseño del plan de mantenimiento del sistema DAF según RCM</li> </ul>

<b>Estructura ISO 55001</b>	<b>Propuesta de gestión de mantenimiento para equipos DAF empresa INCUBANDINA S. A.</b>
CAPÍTULO 9 9. Evaluación del desempeño 9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación 9.2 Auditoría interna 9.3 Revisión por la dirección	<b>Indicadores de desempeño: MTTR, MTBF y Disponibilidad</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Enfoque de la ISO 55001 sobre la evaluación del desempeño</li> <li>• Importancia de los indicadores de desempeño en la gestión del mantenimiento</li> <li>• Definición de los indicadores MTTR, MTBF y Disponibilidad</li> <li>• Cálculo de MTTR, MTBF y Disponibilidad aplicado a un equipo del sistema DAF</li> <li>• Aplicación de los indicadores en los equipos del sistema DAF</li> <li>• Impacto operativo</li> </ul>
CAPÍTULO 10 10. Mejora 10.1 No conformidad y acción correctiva 10.2 Mejora continua	<b>Plan de Mejora Continua del Sistema de Mantenimiento del Sistema DAF</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejora continua según la Norma ISO 55001</li> <li>• Objetivo del Plan de Mejora Continua del DAF</li> <li>• Elementos del Plan de Mejora Continua</li> <li>• Proceso de Gestión de No Conformidades y Acciones Correctivas</li> <li>• Integración del Plan de Mejora con los Indicadores MTTR, MTBF y Disponibilidad</li> <li>• Control Documental del Plan de Mejora Continua</li> <li>• Beneficios Técnicos de la Mejora Continua en el Sistema DAF</li> <li>• Relación del Plan de Mejora Continua con la Norma ISO 55001</li> </ul>

**Fuente:** International Organization for Standardization (ISO). (2014). **ISO 55001:2014 – Asset management — Management systems — Requirements.**

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

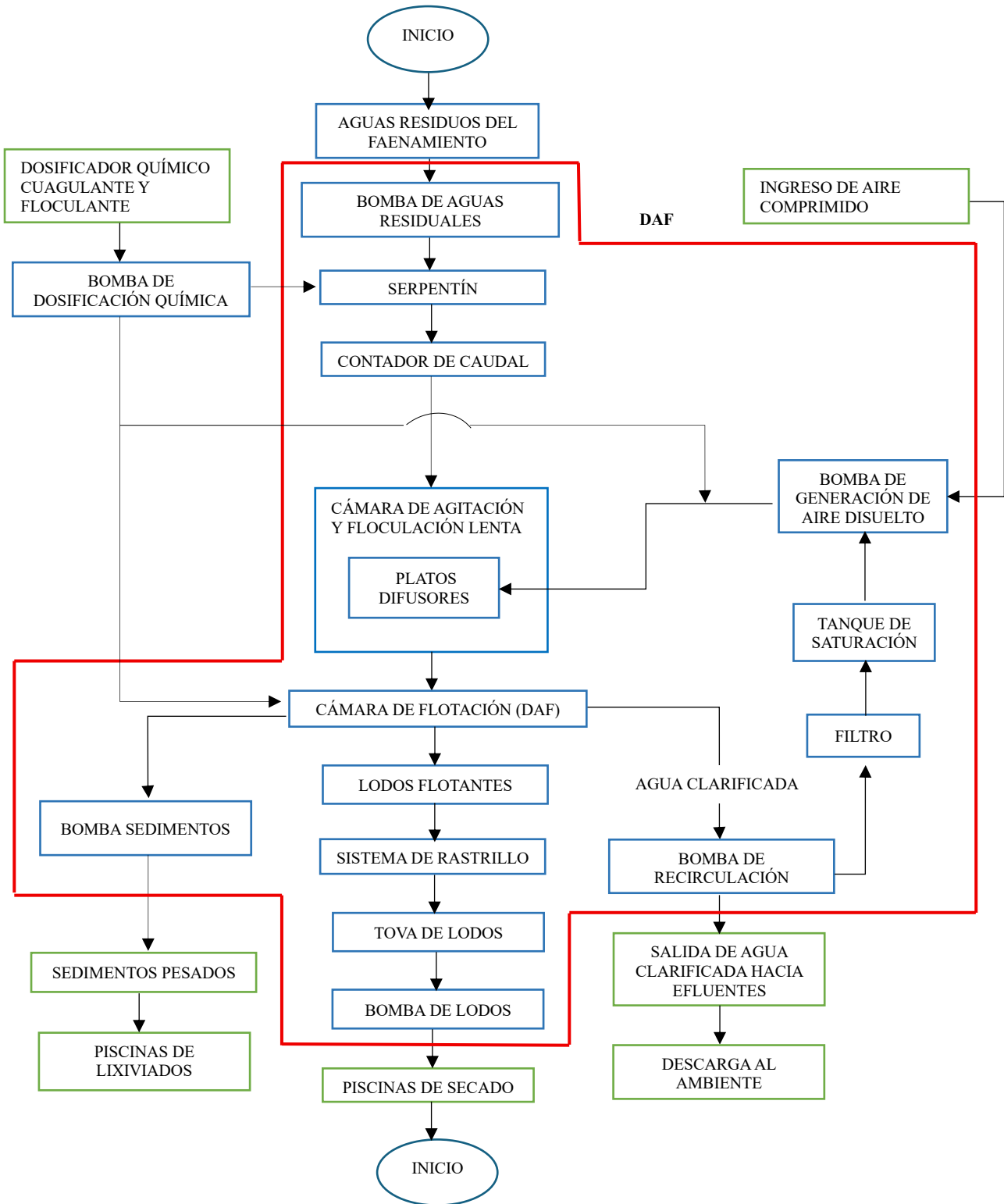
### **Contexto del sistema DAF dentro de la empresa INCUBANDINA S.A.**

En concordancia con el Capítulo 4 de la Norma ISO 55001, la presente propuesta de gestión de mantenimiento del sistema de flotación por aire disuelto (DAF) se desarrolla a partir de la comprensión del contexto organizacional de la empresa, considerando sus condiciones operativas, productivas y ambientales.

### **Descripción general de la empresa**

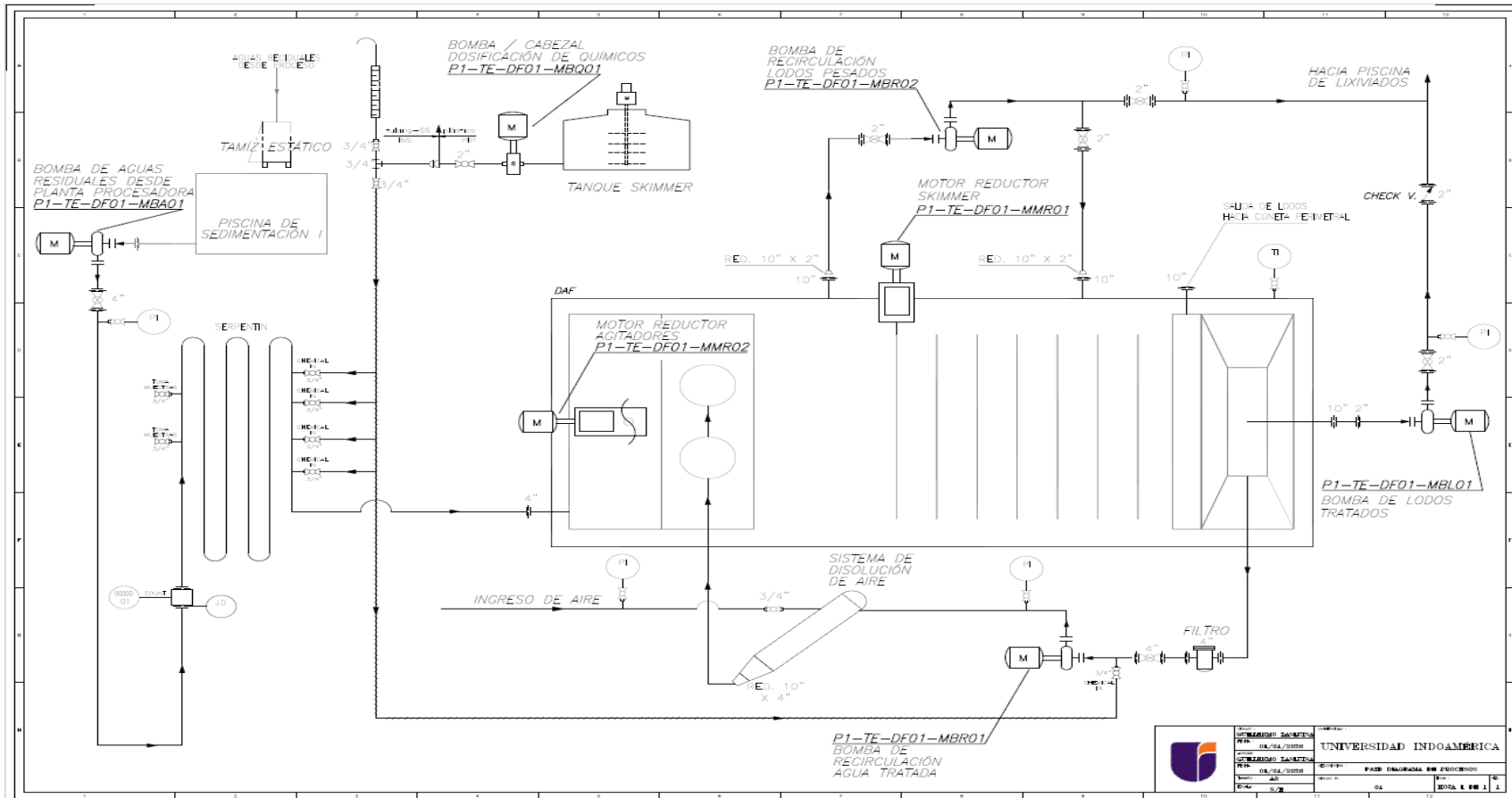
INCUBANDINA S.A. es una empresa del sector avícola ecuatoriano con sede en Ambato, dedicada a la producción, crianza y faenamiento de pollos, así como a la provisión de genética avícola de alto rendimiento.

## Diagrama funcional del sistema DAF



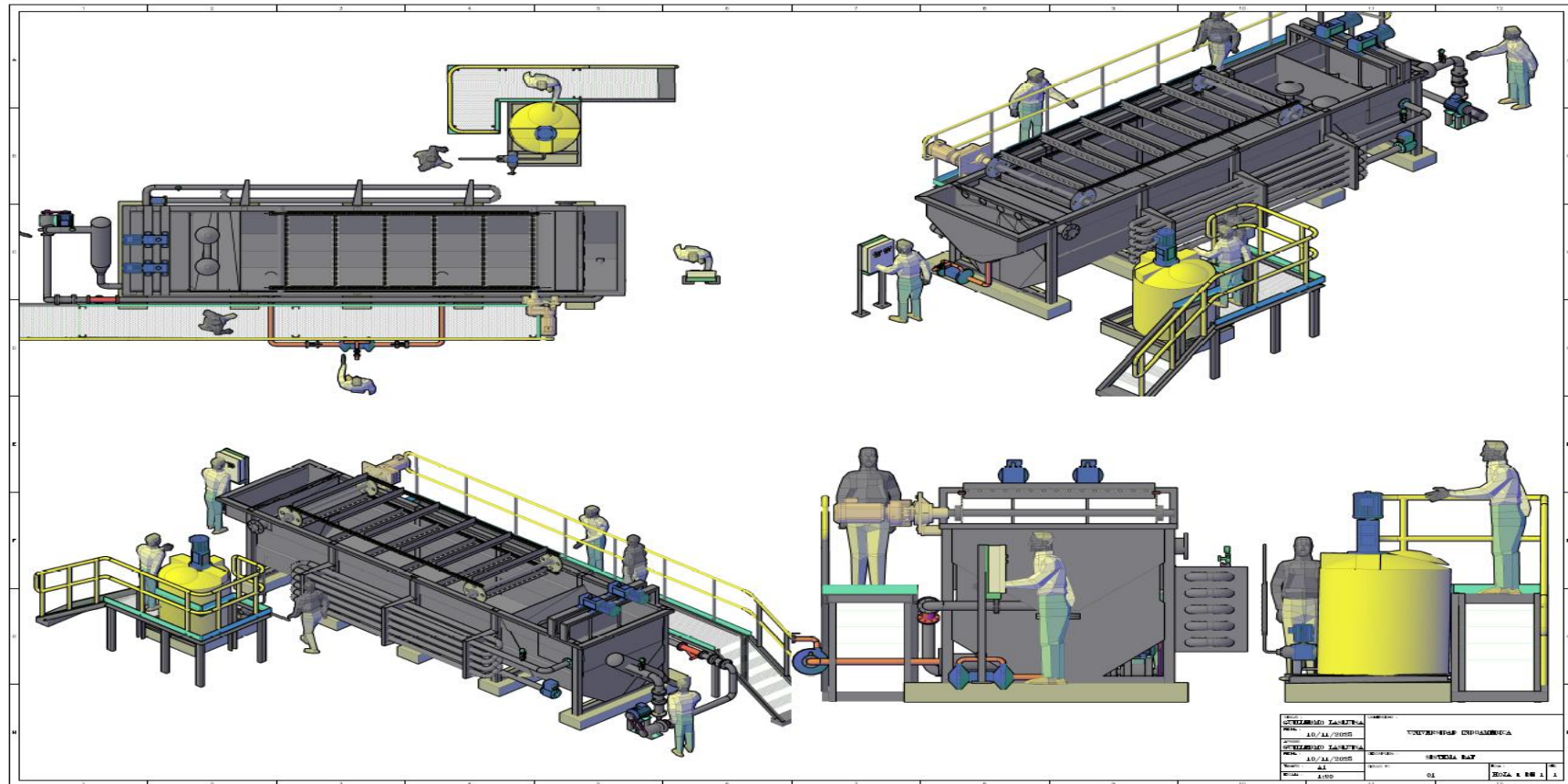
**Gráfico 18.** funcionamiento de un equipo DAF  
**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

# P&ID Diagrama de proceso del sistema DAF



**Gráfico 19. P&ID Sistema DAF**  
**Elaborado por: Lasluisa, Guillermo (2026).**

**Sistema DAF empresa INCUBANDINA S.A.**



**Imagen 5.** Equipo de separación por sólidos suspendidos flotación por aire disuelto DAF  
**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

## **Diagnóstico del sistema DAF**

En el desarrollo previo de la investigación se realizó un diagnóstico del sistema DAF enfocado en un equipo actualmente fuera de operación, lo cual permitió identificar fallas críticas, limitaciones operativas y oportunidades de mejora en la gestión del mantenimiento. Sin embargo, en el presente capítulo se aborda un nuevo diagnóstico orientado al sistema DAF recientemente adquirido por la empresa, como base para la propuesta de un modelo de gestión del mantenimiento. Este análisis evalúa las condiciones iniciales de operación, la criticidad de sus componentes y los posibles modos de falla, con el propósito de establecer estrategias de mantenimiento conforme a la norma ISO 55001.

## **Descripción del proceso productivo donde interviene el DAF**

El proceso productivo de faenamiento se desarrolla a través de diversas etapas operativas, durante las cuales se generan aguas residuales caracterizadas por una elevada carga orgánica, presencia de grasas y sólidos suspendidos. Estos efluentes presentan concentraciones significativas de parámetros como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST), los cuales son indicadores clave de la contaminación presente.

Estos efluentes son conducidos hacia el sistema de tratamiento primario, donde el sistema de flotación por aire disuelto (DAF) facilita la separación físico - química de los contaminantes. Este proceso permite la remoción eficiente de grasas, aceites y sólidos, reduciendo la carga contaminante antes de su descarga o de la aplicación de tratamientos posteriores.

## **Ubicación y función del sistema DAF dentro del proceso**

El sistema DAF se encuentra ubicado en la etapa de pretratamiento del sistema de aguas residuales de la planta. Su función principal es remover grasas, sólidos suspendidos y parte de la carga orgánica del efluente mediante el principio de flotación por aire disuelto.

## Condiciones operativas del sistema DAF

El sistema DAF opera de forma continua durante los turnos de producción de la planta. Funciona bajo condiciones de caudal variable según la carga productiva diaria, con presencia de grasas, sangre, plumas finas y materia orgánica disuelta. Las condiciones típicas de operación incluyen variaciones de caudal, presencia de sólidos abrasivos, cambios de temperatura del efluente y niveles de pH asociados al proceso de faenamiento, factores que influyen directamente en el desgaste de los componentes mecánicos y eléctricos del sistema.

**Tabla 10.** Especificaciones del sistema DAF

DAF CARACTERÍSTICAS	
Campo	Valor
Marca	IEPP
Sistema	Super Atomization Dissolved Air Flotation
Modelo	YP-GQF40
Material	Acero inoxidable AISI 304
Tipo de Fluido	Aguas residuales (Wastewater)
Potencia	15.37 kW
Voltaje	440 V
Capacidad	40 m <sup>3</sup> /h
Capacidad Convertida	11.11 L/s
Número de Serie	202607029
Fecha de Fabricación	jul-25
Dimensiones (L x A x H)	8.635 m x 2.93 m x 2.01 m
Correo Electrónico	iepp@cniepp.com
Sitio Web	www.cniepp.com
Descripción	Equipo DAF para purificación de agua y tratamiento de aguas residuales

**Fuente:** Sistema DAF INCUBANDINA S.A.

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

Las tablas técnicas presentadas corresponden a diferentes características del equipo modelo IEPP YP-GQF40. Por un lado, la tabla de potencia describe los parámetros energéticos del sistema, tales como capacidad del motor, consumo eléctrico y requerimientos operativos, los cuales son fundamentales para evaluar el desempeño y la eficiencia del equipo. Por otro lado, la tabla de dimensiones presenta las características físicas del equipo, incluyendo largo, ancho, altura y peso, información relevante para su instalación, integración en planta y condiciones de operación. Ambas tablas cumplen funciones distintas pero complementarias, ya que permiten analizar tanto el comportamiento operativo como las condiciones de implementación del sistema DAF.

**Tabla 11.** Condiciones operativas

General Type super atomization dissolved air flotation									
Model	Capacity (m <sup>3</sup> /h)	Amount of Water Disolved Air (m <sup>3</sup> /h)	Physical Dimensions (mm)(LxWxH)	Dissolved Air Pump Power (KW)	Air Compressor Power (KW)	Skimmer Power (KW)	Total Power (KW)	Empty Weight (T)	Operating weight (T)
YP-GQF 40	40	15	7425x3120x2900	7.5	4	0.37	11.87	4.33	23.08

**Fuente:** IEPP Environmental (2026). Dissolved Air Flotation system – Model YP-GQF40.

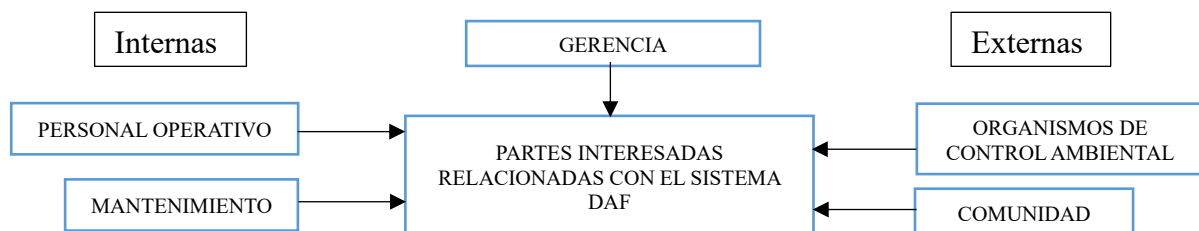
**Elaborado por:** Lasluisa. Guillermo (2026).

Los datos técnicos del equipo modelo IEPP YP-GQF40 fueron utilizados como referencia para la presente propuesta debido a que corresponden a un sistema DAF de características similares a las condiciones operativas de la empresa INCUBANDINA S.A.

Este equipo fue seleccionado considerando criterios como capacidad de tratamiento, configuración del sistema, tipo de componentes y condiciones de operación, lo que permite establecer una base técnica confiable para el diseño del modelo de gestión de mantenimiento. La información fue obtenida a partir de fichas técnicas del fabricante y documentación especializada, permitiendo analizar parámetros como potencia instalada, dimensiones y requerimientos operativos, los cuales sirven como referencia para la estructuración del sistema propuesto.

### Partes interesadas relacionadas con el sistema DAF

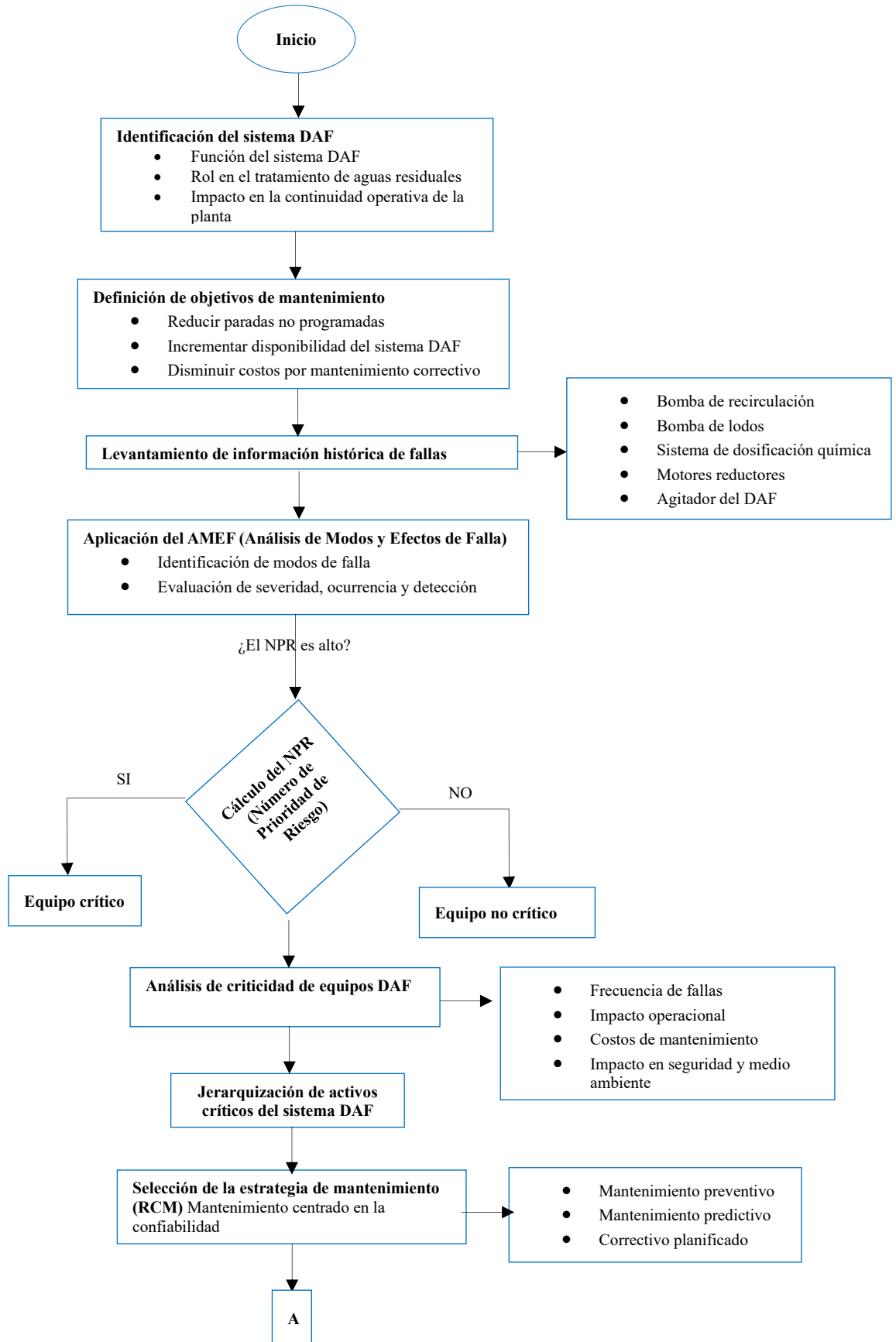
De acuerdo con la norma ISO 55001, la identificación de las partes interesadas permite comprender sus necesidades y expectativas en el contexto de la gestión de activos. En el caso del sistema DAF, estas partes incluyen la gerencia de planta, el área de mantenimiento, el personal operativo, la comunidad y las autoridades ambientales (Parra et al., 2024).

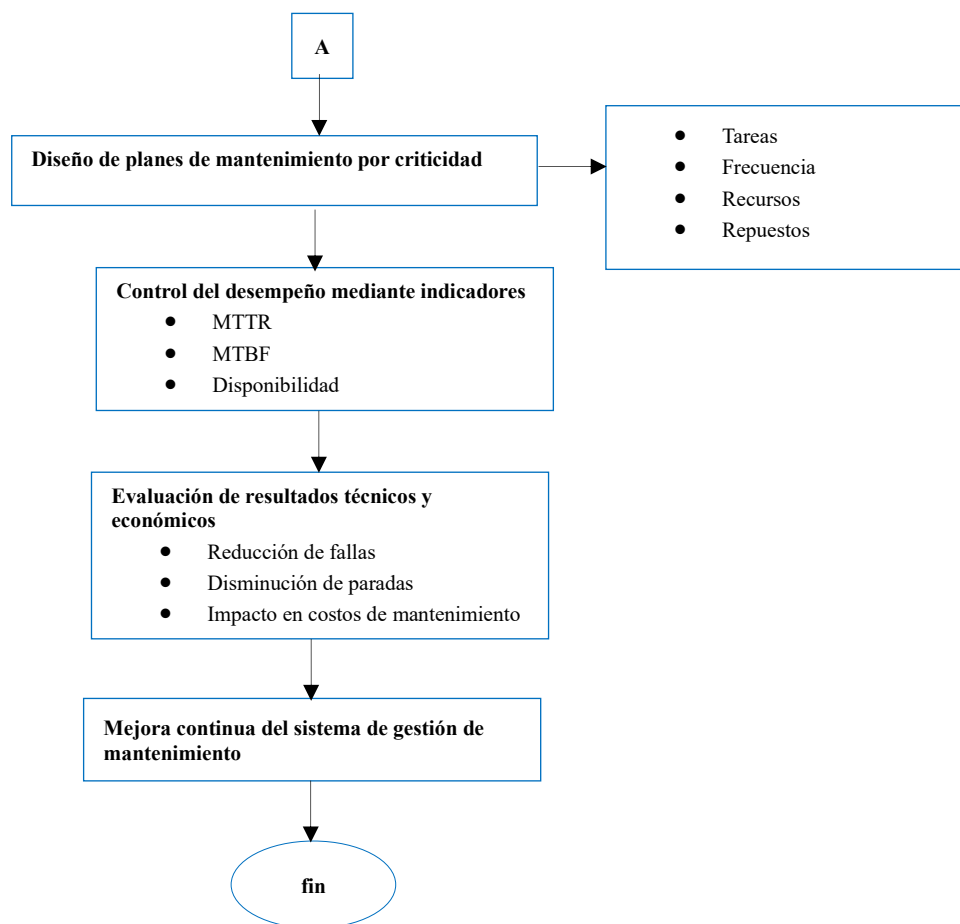


**Gráfico 20.** Partes interesadas

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

## Estructura del sistema de gestión de mantenimiento





**Gráfico 21.** Estructura del sistema de gestión de mantenimiento propuesto para los equipos DAF conforme a ISO 55001.

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

El gráfico N° 21, representa el diagrama de flujo de la propuesta de gestión de mantenimiento para los equipos DAF, estructurada bajo la norma ISO 55001. Este esquema define el alcance funcional de la propuesta, delimitando las actividades de diagnóstico, análisis de criticidad, selección de estrategias y evaluación mediante indicadores de desempeño.

### **Alcance del sistema de gestión de mantenimiento del DAF**

El modelo inicia con la identificación del contexto del sistema DAF y la definición de objetivos de mantenimiento alineados a la reducción de paradas no programadas, incremento de la disponibilidad y optimización de los costos de mantenimiento. Posteriormente, se realiza el levantamiento de información histórica de fallas, lo cual permite la aplicación del Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) y el cálculo del

Número de Prioridad de Riesgo (NPR), herramientas fundamentales para la identificación y priorización de riesgos asociados a los activos.

En función de los resultados obtenidos, se ejecuta un análisis de criticidad que permite jerarquizar los equipos del sistema DAF, sirviendo como base para la selección de la estrategia de mantenimiento más adecuada conforme al Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM). A partir de ello, se diseñan planes de mantenimiento diferenciados según la criticidad de los activos.

Finalmente, la propuesta incorpora el control del desempeño del sistema mediante indicadores clave de mantenimiento, tales como MTTR, MTBF y disponibilidad, los cuales permiten evaluar la eficacia de la gestión planteada y establecer un proceso de mejora continua.

### **Identificación de activos críticos del sistema DAF de la empresa**

La norma ISO 55001, particularmente en su Capítulo 6, establece directrices orientados a la planificación de acciones basadas en el análisis de riesgos, oportunidades y objetivos organizacionales. La aplicación de estos principios en el mantenimiento permite transformar las actividades tradicionales en procesos estratégicos, donde herramientas como el AMEF y el RCM facilitan la identificación de fallas, la priorización de intervenciones y la definición de planes de mantenimiento alineados con el desempeño esperado del sistema.

### **Aplicación de los principios de la ISO 55001 en la gestión operativa del mantenimiento**

La norma ISO 55001, específicamente en su cláusula 6 encaminada a la planificación, establece que las organizaciones deben definir acciones apoyadas en el análisis de riesgos, oportunidades y objetivos organizacionales. La aplicación de estos principios en el mantenimiento implica estructurar las actividades de intervención de manera sistemática, priorizando los activos críticos y estableciendo estrategias alineadas con su nivel de riesgo y desempeño esperado. De este modo, el mantenimiento deja de ser una función reactiva y se convierte en un proceso planificado y estratégico.

## **Concepto de activo y criticidad en el contexto de la ISO 55001**

De acuerdo con la norma ISO 55001, un activo se define como cualquier elemento, tangible o intangible, que posee un valor potencial o real para la organización (Norman David Yuseff et al., 2020). En el contexto del sistema DAF, los activos corresponden a los equipos, componentes e instalaciones que intervienen directamente en el proceso de tratamiento de aguas residuales.

La criticidad de un activo se refiere al nivel de impacto que tendría su falla sobre la operación, la seguridad del personal, el medio ambiente, los costos de mantenimiento y la continuidad del proceso productivo (Heinz Eric, 2021).

## **Inventario técnico de los equipos del sistema DAF**

### **Objetivo del inventario**

El inventario de activos del sistema DAF se elaboró a partir del levantamiento de información en campo, revisión de los equipos que intervienen directamente en el tratamiento de aguas residuales y que presentan mayor impacto operativo, sirviendo como base para el análisis de criticidad y la aplicación posterior del AMEF y RCM.

### **Criterios de identificación**

La codificación de los activos se estructuró conforme a la norma ISO 14224:2016, la cual establece una taxonomía jerárquica para la identificación de equipos en sistemas industriales. Esta estructura permite la estandarización de los activos del sistema DAF, facilitando la trazabilidad, el análisis de confiabilidad y la integración con sistemas de gestión del mantenimiento.

La nomenclatura adoptada sigue un esquema alfanumérico que identifica la planta, el sistema, el equipo principal y el componente específico, garantizando consistencia en el registro técnico y en el análisis posterior de indicadores como MTBF y MTTR.

Esta estructura permite identificar la instalación, el sistema, el equipo principal y el componente correspondiente, garantizando consistencia, trazabilidad y estandarización en el registro de información (da Silva et al., 2024).

**Nivel 1:** Planta: (P1 Planta de faenamiento), (P2 Planta de balanceados), etc.

**Nivel 2:** Sistema / Proceso: (Producción (P), Captación de Agua (CA), Tratamiento de Efluentes (TE), Generación Eléctrica (GE), Calderos (C), etc.)

**Nivel 3:** Equipo principal: DAF (sistema de flotación por aire disuelto) / Equipo 01

**Nivel 4:** categoría: Mecánico o Eléctrico / Componente o elemento / consecutivo.

**Tabla 12.** Codificación

<b>Ejemplo:</b>			
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4 Categoría/componente/consecutivo
Planta	Tratamiento de E.	Equipo DAF	Mecánico (M) o Eléctrico (E) /TF01
P1	TE	DF01	M / TF01

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

### **Inventario de activos del sistema DAF**

**Tabla 13.** Codificación del activo según taxonomía ISO 14224 (nivel 4)

CÓDIGO	Activo	Descripción	Función	Unidad
P1-TE-DF01-MTF01	Tanque principal de flotación	Estructura metálica de separación	Proporciona zona de flotación de sólidos y grasas	1
P1-TE-DF01-MBL01	Bomba de Lodos	Bomba centrífuga	Extraer lodos recolectados	1
P1-TE-DF01-MBR01	Bomba de Recirculación agua tratada	Bomba centrífuga	Recircular el agua tratada más químicos nuevamente al sistema	1
P1-TE-DF01-MBR02	Bomba de Recirculación lodos pesados	Bomba centrífuga	Circula los lodos pesados al interior del equipo DAF	1
P1-TE-DF01-MBA01	Bomba de Aguas residuales	Bomba centrífuga	transporta el agua de ingreso hacia el tanque de tratamiento DAF	1
P1-TE-DF01-MDQ01	Bomba Sistema de dosificación química	Bomba dosificadora	Inyectar coagulantes/floculantes	1
P1-TE-DF01-MMR01	Motor reductor	transmisión por medio de cadena	Skimeer para arrastre de lodos flotantes	1
P1-TE-DF01-MMR02	Motor reductor	Agitadores DAF	realizar la mezcla de agentes químicos (coagulantes y floculantes) (coagulantes y floculantes)	1
P1-TE-DF01-MMR03	Motor reductor	Agitadores Tanque químico	mezclar (coagulantes y floculantes)	1
P1-TE-DF01-MCA01	Compresor de aire	Equipo de compresión	Generar aire a presión para ingresar al DAF y formar microburbujas	1
P1-TE-DF01-MDA01	Sistema de disolución de aire	Tanque y tuberías de aire disuelto	Saturar agua con aire antes de liberarlo	1
P1-TE-DF01-MSK01	Skimmer o rascador	Sistema mecánico de raspado	Retira los sólidos flotantes hacia tolva	1

CÓDIGO	Activo	Descripción	Función	Unidad
P1-TE-DF01-MTA01	Tuberías y accesorios	Red de tuberías	Distribuir agua/aire dentro del sistema	Varias
P1-TE-DF01-MVC01	Válvulas de control	Válvulas manuales o automáticas	Control del flujo de agua/aire	Varias
P1-TE-DF01-MFI01	Filtro		retiene partículas para el reproceso	1
P1-TE-DF01-EPE01	Panel de control eléctrico	PLC / tablero de control	Controlar automatización y secuencia de operación	1
P1-TE-DF01-ESN01	Sensores de nivel	Sensores electrónicos	Medición de nivel del tanque DAF	2-3
P1-TE-DF01-ESF01	Sensores de flujo	Medidores	Monitorear caudal de entrada y recirculación	1-2
P1-TE-DF01-MCT01	Cadenas de transmisión	paso 8	transmisión	1
P1-TE-DF01-MCT02	Cadenas de transmisión	paso 100	transmisión	1
P1-TE-DF01-MES01	Estructura de soporte	Soporte metálico	Sostener equipos auxiliares	Varias
P1-TE-DF01-MMT01	Manómetro	medición de presión del tanque de saturación	medición de presión del tanque de saturación	1

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

Para efectos de estandarización del inventario, se asigna una unidad (1) a cada componente individual identificado dentro del sistema.

### **Criterios técnicos para la determinación de criticidad**

La identificación de activos críticos se realizó considerando el impacto de la falla sobre la continuidad operativa del sistema DAF, el cumplimiento ambiental y la seguridad del proceso, siguiendo criterios de la norma ISO 55001, lo cual permite analizar los recursos de mantenimiento en aquellos equipos cuya falla representa un mayor riesgo para la organización.

**Frecuencia.** – Frecuencia histórica de fallas. - Analiza si ese activo presenta alta frecuencia de fallas (datos reales o estimados).

**Impacto operacional.** – Impacto en la continuidad del proceso productivo. - Evalúa cuánto afecta la falla del activo a la operación de la planta, es decir si un activo se detiene completamente el proceso (ej. Bomba principal), su impacto es alto.

**Flexibilidad.** – capacidad que tiene el proceso o el sistema de seguir operando, aunque el activo falle.

**Costos de mantenimiento.** – Costos en reparación y reposición. - Considera el costo económico asociado a reparaciones del activo.

**Impacto en seguridad y medio ambiente.** – Evalúa el riesgo asociado a la seguridad del personal y al cumplimiento de normativas ambientales ante una falla del sistema.

**Impacto ambiental ante una falla.** Evalúa el riesgo de incumplir normativa ambiental por mala operación del sistema DAF (descarga de grasas, sólidos, turbidez elevada).

### Metodología de evaluación de criticidad

La evaluación de la criticidad se realizó mediante una matriz de ponderación, en la cual cada activo fue valorado en función de los criterios definidos.

A cada criterio se le asignó una escala de evaluación de 1 a 4, donde 1 representa impacto bajo y 4 impacto muy alto. Las expresiones utilizadas corresponden a una adaptación metodológica empleada en estudios de criticidad de mantenimiento, alineada con criterios de riesgo operacional y ambiental.

**Tabla 14.** Matriz de criticidad

CONSECUENCIA		1	2	3	4
FRECUENCIA	4	M	A	C	C
	3	M	A	A	C
	2	B	M	A	A
	1	B	B	M	A

**Fuente:** Adaptado de: (Segura-Monge et al., 2024).

### Nivel de criticidad elementos del sistema DAF

Con base en los resultados del índice de criticidad, los activos del sistema DAF se clasificaron en tres niveles: baja, media y alta criticidad, lo cual facilita la toma de decisiones sobre la prioridad de intervención técnica dentro del plan de mantenimiento.

**Tabla 15.** Rangos de criticidad

Rango Índice de criticidad	Clasificación
$0 \leq IC \leq 16$	BAJO
$17 \leq IC \leq 32$	MEDIO
$33 \leq IC \leq 48$	ALTO
$49 \leq IC \leq 64$	CRÍTICO

**Fuente:** Adaptado de: (Ocampo Lara, 2025a).

**Tabla 16.** Evaluación de la criticidad

<b>ANÁLISIS DE CRITICIDAD (RCM)</b>	
Criticidad =	frecuencia de fallas × consecuencia
Frecuencia=	Número de fallas en un periodo de tiempo
Consecuencia =	Impacto Operacional + Flexibilidad + Costos de mantenimiento + Impacto Seguridad y Medio ambiente
<b>FRECUENCIA DE FALLAS</b>	<b>CALIFICACIÓN</b>
ALTA ( $\geq 5$ fallas/año)	4
MEDIA (3 a 4 fallas/año)	3
BAJA ( $\leq 2$ fallas/año)	2
EXCELENTE (menos de una falla/año)	1
<b>IMPACTO OPERACIONAL</b>	<b>CALIFICACIÓN</b>
Parada total del sistema / afecta la planta	4
Parada parcial del sistema	3
Afecta la eficiencia	2
Impacto leve / no afecta calidad	1
<b>FLEXIBILIDAD</b>	<b>CALIFICACIÓN</b>
No existe opción de reemplazo	4
No existe opción de bypass / equipo repetido	3
Existe opción de bypass / equipo repetido	2
Existe opción de bypass parcial o limitado	1
<b>COSTOS DE MANTENIMIENTO</b>	<b>CALIFICACIÓN</b>
Mayor a \$2,000	4
Entre \$1,000 y \$2,000	3
Entre \$500 y \$1,000	2
Menor a \$500	1
<b>IMPACTO SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE</b>	<b>CALIFICACIÓN</b>
Afecta la seguridad humana / daños altos	4
Afecta leve al ambiente o instalaciones	3
Afecta parámetros menores / daños leves	2
Sin impacto en personas o ambiente	1

**Fuente:** Adaptado de: (Ocampo Lara, 2025a)

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

### **Clasificación de activos según su nivel de criticidad**

Los activos clasificados como de alta criticidad son aquellos que, ante una falla, genera impactos severos en la operación del sistema de tratamiento de efluentes perjudicando el ambiente o la seguridad.

**Tabla 17.** Criticidad de equipos del sistema DAF

ITEM	EQUIPO	ACTIVO	FRECUENCIA	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD	COSTOS DE MANTENIMIENTO	IMPACTO SEG Y MA	CONSECUENCIAS	I.C.	CLASIFICACIÓN
1	P1-TE-DF01-MTF01	Tanque principal de flotación	2	4	4	4	3	15	30	MEDIO
2	P1-TE-DF01-MBL01	Bomba de lodos	4	4	4	4	2	14	56	CRÍTICO
3	P1-TE-DF01-MBR01	Bomba de recirculación agua tratada	4	4	4	4	4	16	64	CRÍTICO
	P1-TE-DF01-MBR02	Bomba de recirculación lodos pesados	2	3	3	2	2	10	20	MEDIO
4	P1-TE-DF01-MBA01	Bomba de agua residual	4	3	4	3	3	13	52	CRÍTICO
5	P1-TE-DF01-MDQ01	Bomba sistema de dosificación química	4	4	4	4	2	14	56	CRÍTICO
6	P1-TE-DF01-MMR01	Motor reductor SK	4	4	3	3	3	13	52	CRÍTICO
7	P1-TE-DF01-MMR02	Motor reductor AG	4	4	4	4	3	15	60	CRÍTICO
8	P1-TE-DF01-MMR03	Motor reductor	2	4	2	3	1	10	20	MEDIO
9	P1-TE-DF01-MCA01	Compresor de aire	4	2	2	2	3	9	36	ALTO
10	P1-TE-DF01-MDA01	Sistema de disolución de aire	3	3	2	2	2	9	27	MEDIO
11	P1-TE-DF01-MSK01	Skimmer o rascador	3	2	2	2	2	8	24	MEDIO
12	P1-TE-DF01-MTA01	Tuberías y accesorios	3	3	2	2	2	9	27	MEDIO
13	P1-TE-DF01-MVC01	Válvulas de control	3	3	2	2	2	9	27	MEDIO
14	P1-TE-DF01-MF101	Filtro	3	4	4	4	4	16	48	ALTO
15	P1-TE-DF01-EPE01	Panel de control eléctrico	3	4	3	4	4	15	45	ALTO
16	P1-TE-DF01-ESN01	Sensores de nivel	2	2	2	1	1	6	12	BAJO
17	P1-TE-DF01-ESF01	Sensores de flujo	2	2	2	1	1	6	12	BAJO
18	P1-TE-DF01-MCT01	Cadenas de transmisión	4	3	2	1	1	7	28	MEDIO
19	P1-TE-DF01-MCT02	Cadenas de transmisión	4	3	2	2	1	8	32	MEDIO
20	P1-TE-DF01-MES01	Estructura de soporte	1	4	4	4	4	16	16	BAJO
21	P1-TE-DF01-MMT01	Manómetro	2	4	1	1	4	10	20	MEDIO
								248	764	

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

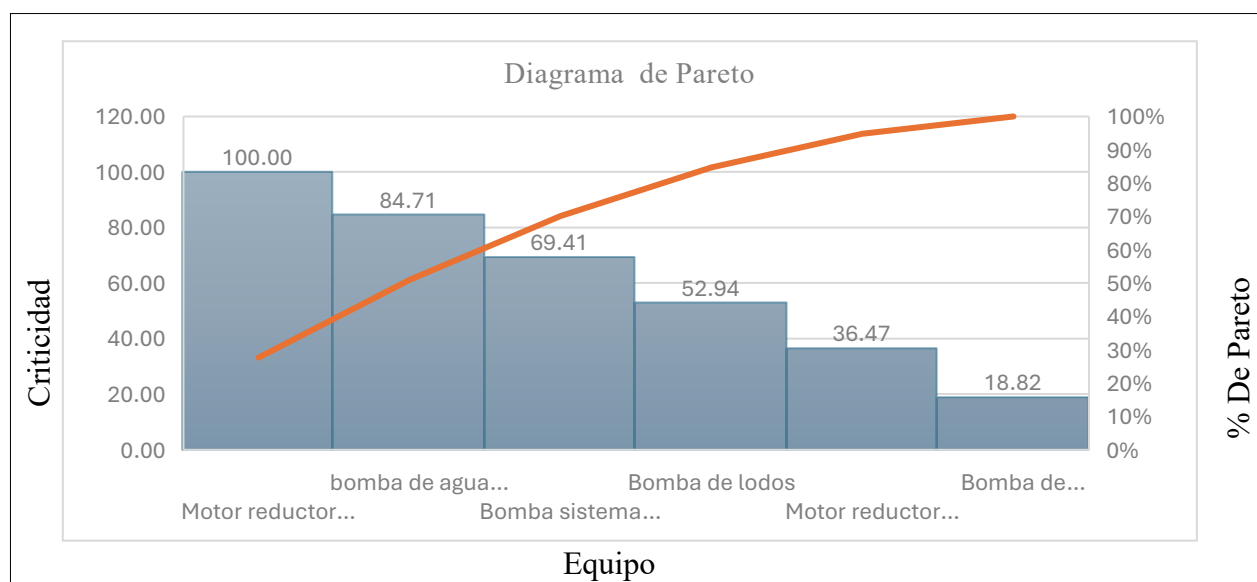
En la Tabla 18 y en el Gráfico 22, se observa que la mayor concentración de fallas se encuentra en los niveles de criticidad alta y crítica, lo que permite priorizar la intervención en estos equipos, aplicando el principio de Pareto para mitigar aproximadamente el 80% de las fallas del sistema.

**Tabla 18.** Equipos con mayor criticidad

EQUIPO	ACTIVO	FRECUENCIA	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD	COSTOS DE MANTENIMIENTO	IMPACTO SEG Y MA	CONSECUENCIAS	I.C.	CLASIFICACIÓN	%	% ACUMULADO
P1-TE-DF01-MBR01	Bomba de recirculación	4	4	4	4	4	16	64	CRÍTICO	18.82	18.82
P1-TE-DF01-MMR02	Motor reductor AG	4	4	4	4	3	15	60	CRÍTICO	17.65	36.47
P1-TE-DF01-MBL01	Bomba de lodos	4	4	4	4	2	14	56	CRÍTICO	16.47	52.94
P1-TE-DF01-MDQ01	Bomba sistema de dosificación química	4	4	4	4	2	14	56	CRÍTICO	16.47	69.41
P1-TE-DF01-MBA01	Bomba de agua residual	4	3	4	3	3	13	52	CRÍTICO	15.29	84.71
P1-TE-DF01-MMR01	Motor reductor SK	4	4	3	3	3	13	52	CRÍTICO	15.29	100.00
							85	340		100.00	

Elaborado por: Lasluisa, Guillermo (2026).

### Diagrama de Pareto

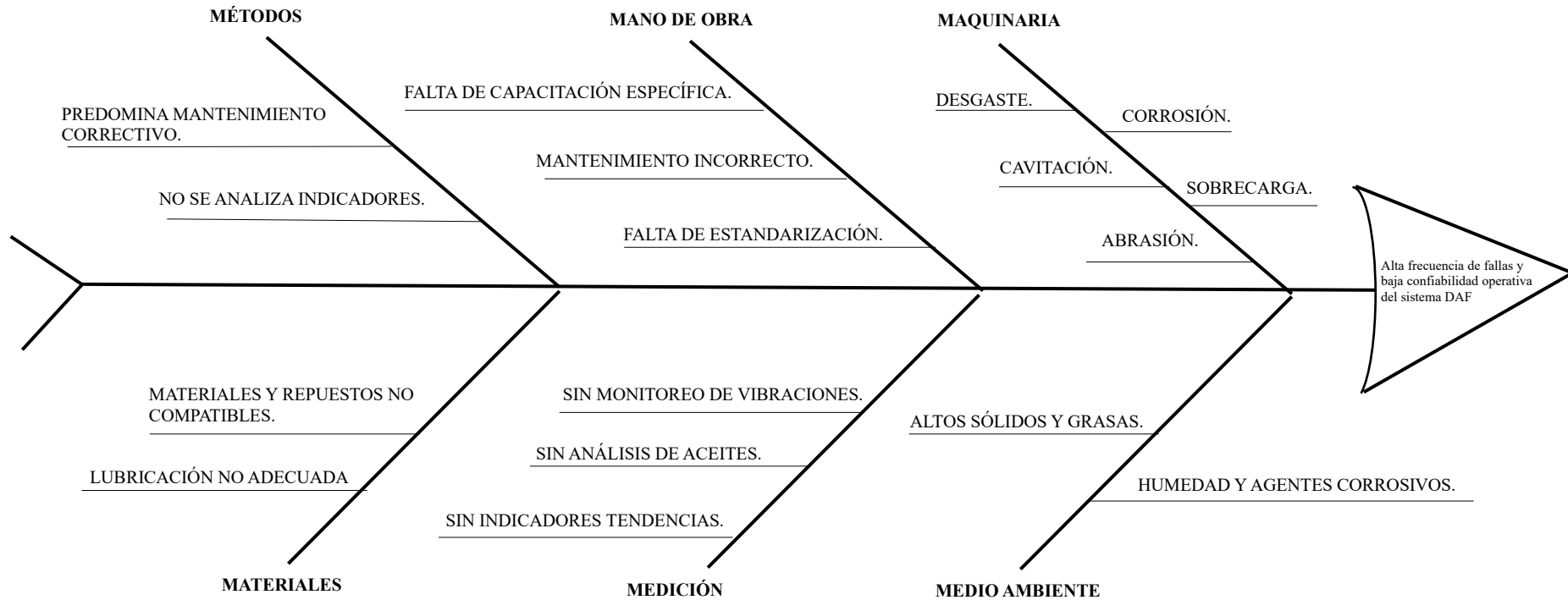


**Gráfico 22.** Diagrama de Pareto

Elaborado por: Lasluisa, Guillermo (2026).

El análisis de Pareto evidencia que la distribución de la criticidad en el sistema DAF presenta una concentración significativa en un grupo reducido de activos. A diferencia de una interpretación inicial, el umbral del 80% no se alcanza con los tres primeros equipos, sino con los cinco principales, los cuales acumulan un 84.71% del índice total de criticidad. En consecuencia, la estrategia de mantenimiento debe enfocarse en estos cinco activos clave, los cuales representan el núcleo del riesgo operativo del sistema.

## Diagrama causa



**Gráfico 23.** Diagrama Ishikawa  
**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

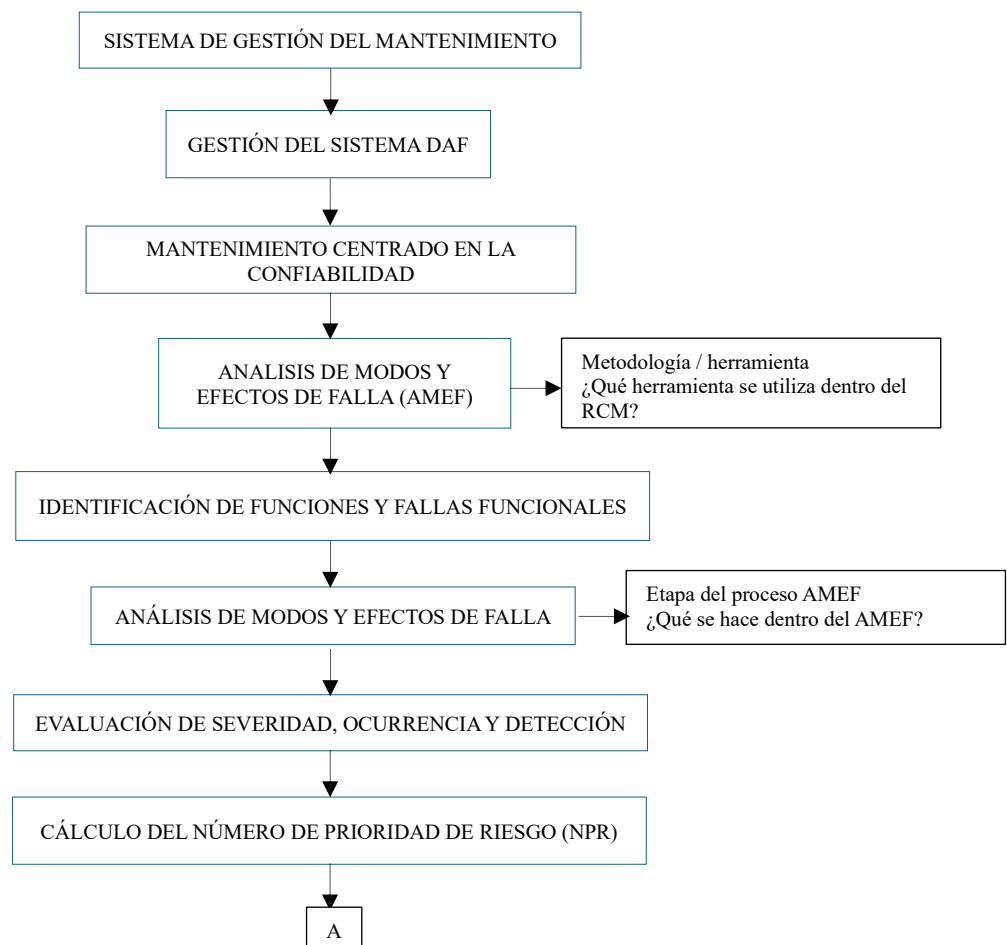
A diferencia del Diagrama de Ishikawa presentado en el Capítulo II (Gráfico 16), el cual aborda de manera general las causas que afectan la confiabilidad del sistema DAF, el Gráfico 23 se analiza específicamente en el análisis de las fallas críticas identificadas mediante la evaluación de criticidad.

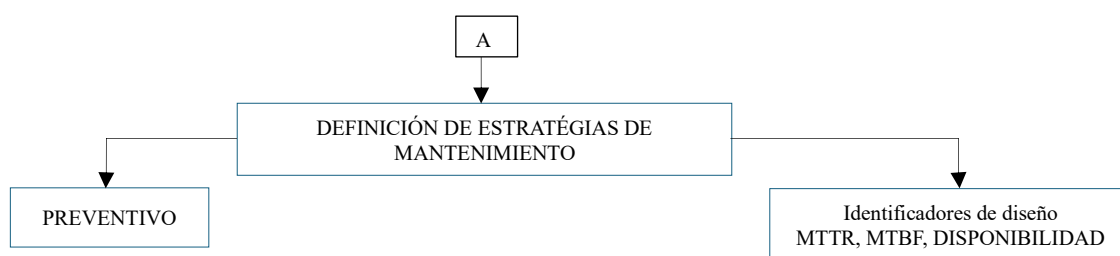
En este sentido, el primer diagrama tiene un enfoque diagnóstico global del sistema, mientras que el segundo profundiza en las causas raíz asociadas a los activos clasificados como críticos, permitiendo establecer una relación directa con la priorización de intervenciones dentro del plan de mantenimiento.

Esta diferenciación metodológica permite pasar de un análisis general a uno específico, fortaleciendo la base técnica de la propuesta de gestión del mantenimiento.

### Selección de activos críticos para el AMEF y el RCM

Estructura del sistema de gestión de mantenimiento RCM





**Gráfico 24.** Gestión de mantenimiento RCM  
**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

El mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) se emplea como metodología de análisis y toma de decisiones para el diseño del plan de mantenimiento, esto nos permite definir estrategias, frecuencias y actividades en función del comportamiento de los activos. A partir de la clasificación obtenida, se seleccionaron como activos críticos aquellos que presentan un índice de criticidad alto, los cuales serán analizados mediante la metodología AMEF y posteriormente integrados al plan de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM). Al identificar correctamente los activos críticos se garantiza que los recursos de mantenimiento se realicen hacia los equipos que representan mayor riesgo para la operación del sistema DAF (Andrade-Solórzano & Herrera-Suárez, 2021).

### **AMEF (Análisis de Modos y Efectos de Fallas)**

El análisis AMEF es seleccionada como herramienta principal de evaluación de criticidad debido a su capacidad para identificar modos de falla, evaluar sus efectos y jerarquizar los riesgos mediante el Número de Prioridad de Riesgo (NPR). Al Seleccionar los activos del sistema DAF que, por su índice de criticidad (IC) y su impacto operativo, serán analizados mediante AMEF y priorizados en el plan de mantenimiento RCM (Pulido & Salazar, 2014).

#### **a) Determinación del proceso AMEF en el sistema DAF**

En el sistema DAF, el proceso AMEF se aplica con el objetivo de analizar de forma sistemática los equipos que intervienen en la separación físico - química de grasas y sólidos del agua residual.

## **b) Fallas funcionales del sistema DAF**

Se identifican cuando los equipos dejan de cumplir su función principal, como mantener el caudal de recirculación, asegurar una dosificación química adecuada o garantizar la flotación eficiente de sólidos. Estas fallas se manifiestan en condiciones como reboses, pérdida de eficiencia de separación o interrupciones del proceso. Su identificación permite establecer claramente los límites de desempeño aceptables del sistema.

## **c) Modos de falla de los equipos del sistema DAF**

Son las causas técnicas que originan las fallas funcionales, tales como el deterioro del sello mecánico de las bombas, la saturación de impulsores por sólidos, la falta de lubricación en motores reductores o fallas en los sistemas de dosificación química. Al analizarlos nos permitirá comprender el comportamiento real de los equipos bajo las condiciones de operación existentes, generando información base para diseñar un plan de mantenimiento basado en confiabilidad.

## **d) Efecto potencial de la falla en el sistema DAF**

Se traduce en impactos directos sobre la operación, el ambiente y los costos de la planta, como reboses de agua residual, incumplimiento de parámetros de descarga, detención del proceso de faenamiento o incremento del tiempo fuera de servicio. Evaluar estos efectos contribuirá al dimensionamiento de la criticidad real de cada falla y generar acciones de mantenimiento.

## **e) Determinación de la causa de falla en el sistema DAF**

Permite identificar si el origen del problema está relacionado con condiciones de operación, deficiencias en el mantenimiento, desgaste natural de componentes o errores en la funcionabilidad de los equipos. Este análisis evita la repetición de fallas correctivas y encamina hacia la propuesta de mantenimiento hacia acciones preventivas y predictivas.

## **f) Condiciones actuales de los equipos del sistema DAF**

Reflejan el estado real de operación y mantenimiento al momento del estudio, considerando aspectos como frecuencia de fallas, prácticas de lubricación, nivel de monitoreo y disponibilidad de repuestos. Nos permitirá identificar brechas entre la situación actual y un escenario de mantenimiento gestionado, justificando técnicamente la necesidad de implementar un plan estructurado basado en AMEF y RCM.

**g) Severidad (S): gravedad de los efectos de la falla en el sistema DAF**

Evalúa el nivel de impacto que una falla del sistema DAF puede generar sobre la operación del tratamiento, la seguridad del personal y el cumplimiento ambiental. Fallas que provocan reboses, descargas fuera de norma o detenciones del proceso presentan una severidad elevada. Este criterio permite primar los modos de falla que requieren acciones de mantenimiento más estrictas dentro de la propuesta de gestión de mantenimiento del sistema DAF.

**Tabla 19.** Criterios para la valoración de la Severidad del sistema DAF

<b>Criterio (Sistema DAF)</b>	<b>Efecto en la operación</b>	<b>Rango</b>
La falla pone en riesgo inmediato al personal o genera incumplimiento ambiental grave sin advertencia previa.	Falla crítica de seguridad y ambiente	10
La falla pone en riesgo al personal o al ambiente, pero existen señales previas o alarmas.	Riesgo alto con advertencia	9
Detención total del sistema DAF, provocando rebose, vertido fuera de norma y paralización del proceso productivo.	Interrupción mayor del proceso	8
Pérdida significativa de eficiencia del DAF, incremento de carga contaminante o reducción del caudal tratado.	Interrupción significativa	7
El sistema DAF requiere reprocesar el agua tratada fuera del flujo normal, generando retrasos operativos.	Impacto operativo alto	6
Parte del efluente requiere reproceso o ajuste operativo para cumplir parámetros.	Interrupción moderada	5
Afectación operativa controlable mediante ajustes locales sin detener el sistema.	Interrupción moderada	4
Disminución leve del desempeño del DAF, sin afectar el cumplimiento normativo.	Interrupción menor	3
Molestia leve al proceso, sin impacto ambiental ni productivo.	Impacto bajo	2
No existe efecto apreciable en la operación del DAF.	Sin efecto	1

**Fuente:** Adaptado de: AIAG (2008) Citado en (Heinz Eric, 2021)

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

### h) Ocurrencia (O): probabilidad de ocurrencia de la falla en el sistema DAF

Mide la frecuencia con la que se presentan fallas en los equipos del sistema DAF, considerando el historial operativo y las condiciones reales de trabajo. Modos de falla recurrentes, como obstrucciones por sólidos o fallas por lubricación, incrementan el riesgo del sistema. Este análisis selecciona de tareas preventivas y predictivas que reduzcan la repetitividad de fallas.

**Tabla 20.** Criterios para la valoración de la Ocurrencia del sistema DAF

Criterio (Sistema DAF)	Probabilidad	Rango
La falla no se ha presentado en el sistema DAF ni en sistemas similares.	Remota	1
Existen antecedentes aislados en sistemas DAF similares.	Muy baja	2
La falla ocurre de forma puntual en condiciones específicas de operación.	Baja	3
La falla se presenta ocasionalmente, especialmente bajo alta carga orgánica.	Moderada	4 – 5 – 6
La falla ocurre con regularidad en equipos del sistema DAF.	Alta	7 – 8
La falla aparece de forma repetitiva y sistemática durante la operación.	Muy alta	9 – 10

**Fuente:** Adaptado de: AIAG (2008) Citado en (Heinz Eric, 2021)

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

### i) Detección (D): capacidad de detección de fallas en el sistema DAF

Se refiere a la capacidad actual del sistema DAF para identificar una falla en etapas tempranas, antes de que esta genere consecuencias operativas, productivas o ambientales. En la situación actual, la ausencia de mecanismos de monitoreo tales como análisis de vibraciones, medición de amperaje, sensores de condición o sistemas de alarmas limita significativamente la posibilidad de detectar fallas de manera oportuna.

**Tabla 21.** Criterios para la valoración de la Detección del sistema DAF

Criterio (Sistema DAF)	Capacidad de detección	Rango
No existen controles, sensores ni inspecciones que permitan detectar la falla.	Casi imposible	10
La falla solo se detecta mediante auditorías ocasionales o revisiones no sistemáticas.	Muy remota	9
La falla se detecta cuando el sistema DAF ya presenta rebose o pérdida de eficiencia.	Remota	8
La detección depende únicamente de inspección visual o sensorial del operador.	Muy baja	7
La falla se detecta mediante inspecciones manuales o mediciones ocasionales.	Baja	6
Existen controles operativos o alarmas que notifican al operador.	Moderada	5
Sensores o controles automáticos detectan la falla y evitan su avance.	Alta moderada	4
El sistema detecta automáticamente la falla y actúa para evitar su propagación.	Alta	3
El diseño del sistema previene la falla antes de que ocurra.	Muy alta	2

Criterio (Sistema DAF)	Capacidad de detección	Rango
La falla es prácticamente imposible por el diseño del sistema.	Casi cierta	1

Fuente: Adaptado de: AIAG (2008) Citado en (Heinz Eric, 2021).

Elaborado por: Lasluisa, Guillermo (2026).

## Riesgo Operativo

El riesgo operativo del sistema DAF se define como la combinación de la probabilidad de ocurrencia de una falla y la severidad de sus consecuencias sobre la continuidad del proceso, el cumplimiento ambiental y la operación global de la planta.

La clasificación del nivel de riesgo obtenida a partir del NPR permite jerarquizar los equipos del sistema DAF que presentan mayor impacto sobre la confiabilidad operativa. Diversos estudios señalan que activos con menor MTBF y mayor MTTR concentran los mayores riesgos operativos y deben ser intervenidos prioritariamente mediante estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo (Alvarado-Betancourt & Sabando-Piguabe, 2021). Los rangos de NPR se establecieron con base en recomendaciones de la metodología AMEF y literatura técnica, adaptándolos a la realidad operativa del sistema DAF. Para este propósito usamos 1 a 10 para S, O y D, estándar internacional definido en SAE J1739 y el manual AIAG-VDA. Esto permite cuantificar el riesgo de manera comparable.

**Tabla 22.** Clasificación del Riesgo NPR – Sistema DAF

NPR	Nivel de riesgo	Aceptabilidad	Justificación	Acción requerida
1 – 70	Bajo	Aceptable	Fallas de baja severidad o fácil detección No afectan continuidad del proceso No generan impacto ambiental ni de seguridad	Mantener controles actuales. Seguimiento rutinario.
71 – 120	Medio	Tolerable controlado	Fallas con impacto operativo moderado Afectan eficiencia, pero no detienen el DAF Requieren control preventivo	Implementar mantenimiento preventivo o detectivo.
121 – 150	Alto	No aceptable sin control	Fallas que afectan directamente el tratamiento de efluentes Generan riesgo ambiental u operativo Asociadas a MTBF bajo o fallas repetitivas	Acción correctiva prioritaria y revisión de estrategia.
> 150	Crítico	Intolerable	Fallas que provocan: Saturación del DAF Reboses Incumplimiento normativo ambiental Alta severidad y baja detectabilidad	Intervención inmediata. Prioridad máxima en RCM.

Fuente: Adaptado de: AIAG (2008), según (Heinz Eric, 2021)

Elaborado por: Lasluisa, Guillermo (2026).

**Tabla 23.** Número de Prioridad de Riesgo (NPR)

CÓDIGO	ACTIVO	FUNCIÓN	MODO DE FALLA	EFECTO	CAUSA	S (1 -10)	O (1 -10)	D (1 -10)	NPR	ACCIÓN RECOMENDADA	RESPONSABLE	PLAZO /DÍAS
<b>P1-TE-DF01-MBL01</b>	Bomba de lodos	Envía lodos pesados al prensado	no envía caudal correctamente / el DAF no genera aire disuelto	Rebose de agua del DAF	impulsor saturado	4	5	7	<b>140</b>	limpieza/cambio de impulsor	MTTO	2
<b>P1-TE-DF01-MBR01</b>	Bomba de recirculación	Envía aguas residuales de reingreso al DAF	Sin caudal suficiente, baja la efectividad tratamiento de efluente	DAF saturado	sello mecánico averiado	4	6	8	<b>192</b>	Cambio de sello mecánico	MTTO	2
<b>P1-TE-DF01-MBA01</b>	Bomba de aguas residuales	Bomba de aguas residuales salida a lixiviados	Deficiencia al enviar agua clarificada al siguiente proceso	Caudal insuficiente o nulo	Saturación de filtros / obstrucción por sólidos finos	3	5	6	<b>90</b>	Limpieza de filtros / inspección línea	MTTO	3
<b>P1-TE-DF01-MDQ01</b>	Bomba Sistema de dosificación química	Dosificar coagulante/floculante	Dosifica poco o nada / existe fuga de químico	Efluente sin tratamiento químico adecuado	Obstrucción en líneas / cristalización química	4	5	7	<b>140</b>	Limpieza líneas químicas / revisión de válvulas	MTTO	3
<b>P1-TE-DF01-MMR01</b>	Motor reductor (Skimmer)	Arrastrar grasas y sólidos flotantes	No remueve lodos flotados / lodos espesos adheridos a las bandas de arrastre	Lodos acumulados saturación rebose superficial	Falta de lubricación / desgaste de engranajes	3	4	6	<b>72</b>	Engrase semanal / ajuste de tensión	MTTO	2
<b>P1-TE-DF01-MMR02</b>	Motor reductor (DAF)	Mezcla de químicos	Agitación insuficiente / no forma la mezcla homogénea	Coagulación deficiente	Vibración por desalineación / daño eléctrico	3	4	7	<b>84</b>	Alineamiento / revisión eléctrica / lubricación	MTTO	2

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

## **Diseño del plan de mantenimiento mediante RCM**

### **Enfoque operativo de la ISO 55001, aplicado al sistema DAF**

ISO 55001, aplicado al sistema de flotación por aire disuelto (DAF), se apoya en la gestión eficiente de los activos durante su fase de operación, garantizando que estos cumplan sus funciones de manera segura, confiable y conforme a los objetivos organizacionales. En correspondencia con los lineamientos de ejecución establecidos en la ISO 55001 (Capítulo 8), que implica la implementación controlada de procesos operativos y de mantenimiento.

### **Fundamentos del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)**

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) es una metodología importante en la gestión eficiente de los activos durante su fase de operación, ya que permite la definición de estrategias de mantenimiento basadas en la función de los equipos, su contexto operativo y las consecuencias asociadas a sus modos de falla.

ISO 55001, particularmente en su Capítulo 8, el RCM proporciona un marco sistemático para la toma de decisiones en mantenimiento, orientando las intervenciones hacia la mitigación de riesgos y la optimización del desempeño de los activos. De este modo, se garantiza que las actividades de mantenimiento se fundamenten en criterios técnicos y en la criticidad de los equipos.

### **Aplicación de los principios de la ISO 55001 en la gestión operativa del mantenimiento**

El diseño del plan de mantenimiento aplicando la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), define estrategias de mantenimiento óptimas en función de las consecuencias de falla, la criticidad del activo y su comportamiento operativo.

Además, RCM transforma los riesgos identificados mediante el AMEF y la definición de tareas operativas que permitan prevenir, mitigar o eliminar los modos de falla

identificados. Las actividades de mantenimiento propuestas no responden a rutinas genéricas, sino que se definen a partir del análisis de fallas, el nivel de riesgo y el impacto en la disponibilidad del sistema DAF.

La Cláusula 8 de la norma ISO 55001 establece los requisitos para la planificación y el control operacional que asegura la disponibilidad, confiabilidad y desempeño sostenido de los activos durante su ciclo de vida.

### **Definición de frecuencias de mantenimiento**

Si bien los indicadores MTBF y MTTR permiten estimar frecuencias de mantenimiento basadas en el comportamiento histórico de fallas, en escenarios donde la información histórica es limitada o se trata de equipos nuevos, es técnicamente válido establecer frecuencias de mantenimiento iniciales mediante herramientas de análisis de riesgo como AMEF, NPR y RCM (Larrea Moreano et al., 2020).

La frecuencia de las actividades se define en función de la criticidad y el nivel de riesgo de los modos de falla, y posteriormente es ajustada mediante la retroalimentación de indicadores reales de desempeño, en concordancia con el principio de mejora continua establecido en la norma ISO 55001.

**Tabla 24.** Matriz de priorización de riesgos (NPR)

NPR (Severidad × Ocurrencia × Detección)		
NPR	Nivel de riesgo	Implicación en frecuencia
Alto	Crítico	Frecuencia alta (mensual o menor)
Medio	Moderado	Frecuencia intermedia (trimestral / semestral)
Bajo	Bajo	Frecuencia baja (anual)

**Fuente:** (Larrea Moreano et al., 2020)

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

La aplicación del RCM permite estructurar un sistema de mantenimiento basado en riesgo, a partir de la identificación de modos de falla críticos y la definición de tareas específicas, se establecen indicadores clave de desempeño como MTTR, MTBF y disponibilidad, los cuales serán utilizados para evaluar el impacto técnico y económico de la propuesta (Pulido & Salazar, 2014).

**Tabla 25.** Programación de mantenimiento de los equipos críticos del sistema según RCM

Activo	Modo de falla controlado	Tarea de mantenimiento	Estrategia RCM	Frecuencia	Responsable	Recursos / Repuestos
Bomba de lodos	Saturación del impulsor por sólidos	Limpieza superficial del impulsor (sin desmontaje)	Preventivo (P)	Diario	Operador	Herramientas básicas
Bomba de recirculación	Falla del sello mecánico	Revisión de sello mecánico	Preventivo (P)	Semanal	Técnico mecánico	Kit de sellos
Bomba de aguas residuales	Obstrucción de filtros	Limpieza de filtros	Preventivo (P)	Mensual	Personal de mantenimiento	Filtro de repuesto
Bomba sistema de dosificación	Obstrucción de líneas / dosificación incorrecta	Limpieza de líneas	Preventivo (P)	Semanal	Técnico	Agua, válvulas
Motor reductor del skimmer	Desgaste por falta de lubricación	Lubricación según fabricante	Preventivo (P)	Semanal	Técnico mecánico	Grasa, aplicador
Motor reductor de agitadores	Desalineación / vibraciones excesivas	Medición de vibraciones	Predictivo (Pd)	Mensual	Técnico	Medidor de vibraciones

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

Es importante señalar que, en el presente estudio, un mismo equipo puede presentar diferentes frecuencias de mantenimiento sin que ello represente una inconsistencia metodológica, sino una diferenciación técnica entre niveles de intervención dentro del sistema de gestión del mantenimiento.

Las frecuencias de alta recurrencia, como las actividades diarias, están asociadas a tareas de mantenimiento operativo, tales como inspecciones rutinarias, limpieza, verificación visual y control de condiciones de funcionamiento. Estas actividades tienen como objetivo la detección temprana de fallas potenciales y la prevención de eventos que puedan afectar la continuidad del proceso.

Por otro lado, las frecuencias de menor recurrencia, como las actividades mensuales o trimestrales, corresponden a mantenimiento preventivo programado de mayor nivel, el cual implica intervenciones técnicas más complejas, tales como desmontaje de

componentes, inspecciones detalladas, evaluación de desgaste, ajustes mecánicos y verificación estructural de los equipos.

En este contexto, las diferentes frecuencias asignadas a un mismo activo responden a la naturaleza y alcance de cada tipo de intervención, estableciendo un esquema complementario de mantenimiento que integra actividades operativas y técnicas. Este enfoque permite garantizar tanto el control continuo de las condiciones de operación como la confiabilidad estructural de los equipos a mediano y largo plazo.

De manera específica, para el caso de la bomba de lodos, las frecuencias diarias establecidas en determinadas tablas corresponden a actividades operativas de limpieza y control superficial del impulsor, orientadas a evitar obstrucciones durante la operación continua. En contraste, la frecuencia trimestral definida en otra sección del documento corresponde a un mantenimiento preventivo mayor, que incluye la inspección detallada del impulsor mediante desmontaje del equipo, permitiendo evaluar su estado mecánico y estructural.

En consecuencia, no existe contradicción entre las frecuencias establecidas, sino una complementariedad entre distintos niveles de mantenimiento. Este criterio es consistente con los principios del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), donde las estrategias de intervención se definen en función del modo de falla, la criticidad del equipo y el tipo de actividad requerida, garantizando una planificación coherente, integral y técnicamente fundamentada.

### **Relación entre el AMEF y el RCM en el sistema DAF**

El análisis de la relación entre el AMEF y el RCM en el sistema de flotación por aire disuelto (DAF) se apoya en la integración de herramientas de confiabilidad orientadas a la gestión eficiente del mantenimiento. AMEF actúa como una herramienta de diagnóstico estructurado que permite identificar, evaluar y priorizar los modos de falla asociados a los activos críticos del sistema DAF, mediante la determinación del Número de Prioridad de Riesgo (NPR), el cual considera la severidad, ocurrencia y detectabilidad de cada falla.

**Tabla 26.** Vinculación AMEF y (RCM) en el sistema DAF

CÓDIGO	ACTIVO	FUNCIÓN PRINCIPAL	MODO DE FALLA (AMEF)	NPR	NIVEL DE RIESGO	TIPO DE TAREA RCM	TAREA DE MANTENIMIENTO DEFINIDA	FRECUENCIA	RESPONSABLE
P1-TE-DF01-MBL01	Bomba de lodos	Extraer lodos hacia el prensado	Impulsor saturado por sólidos	140	Alto	Preventivo	Limpieza superficial del impulsor (sin desmontaje)	Diario	Operador / MTTO
P1-TE-DF01-MBR01	Bomba de recirculación	Recircular agua saturada con aire al DAF	Sello mecánico averiado	192	Crítico	Preventivo + Predictivo	Inspección de sello mecánico, medición de vibraciones y amperaje	Semanal	Técnico mecánico
P1-TE-DF01-MBA01	Bomba de aguas residuales	Transferir efluente al DAF	Obstrucción de filtros / bajo caudal	90	Medio	Preventivo	Limpieza de filtros y revisión de caudal	Mensual	Técnico MTTO
P1-TE-DF01-MDQ01	Bomba Sistema de dosificación química	Dosificar coagulantes y floculantes	Obstrucción de líneas / cristalización	140	Alto	Preventivo + Detectivo	Limpieza de líneas, verificación de caudal y calibración	Semanal	MTTO / Operador
P1-TE-DF01-MMR01	Motor reductor Skimmer	Remover grasas y sólidos flotantes	Falta de lubricación / desgaste	72	Medio	Preventivo	Lubricación, revisión de cadena y ajuste	Semanal	Técnico mecánico
P1-TE-DF01-MMR02	Motor reductor agitadores DAF	Mezclar químicos en el proceso	Vibraciones / desalineación / daño eléctrico	84	Medio	Predictivo + Preventivo	Medición de vibraciones, inspección eléctrica y lubricación	Mensual / Semanal	MTTO eléctrico-mecánico

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

A partir de estos resultados, el RCM se implementa como una metodología de toma de decisiones que traduce los modos de falla priorizados en estrategias de mantenimiento técnicamente justificadas. Es decir, el AMEF proporciona la base analítica para que el RCM defina el tipo de intervención más adecuado (preventivo, predictivo, detectivo o correctivo), en función del nivel de riesgo y del impacto operacional de cada activo.

En el sistema DAF, esta relación se evidencia en la manera en que los modos de falla con NPR elevados (riesgo alto o crítico) son asociados a estrategias combinadas de mantenimiento (preventivo + predictivo), garantizando una mayor confiabilidad y disponibilidad del sistema. Por otro lado, los modos de falla con NPR medio o bajo son gestionados mediante tareas preventivas programadas, optimizando los recursos sin comprometer la operación.

De esta forma, la vinculación entre AMEF y RCM permite establecer un modelo de mantenimiento basado en riesgo, donde las decisiones no son empíricas sino sustentadas en análisis técnico, contribuyendo a la reducción de fallas, optimización de costos y mejora del desempeño operativo del sistema DAF.

Esta integración metodológica permite transitar de un mantenimiento reactivo a un enfoque proactivo basado en confiabilidad operacional, alineado con estándares internacionales de gestión de activos.

### **Clasificación de las estrategias de mantenimiento aplicadas**

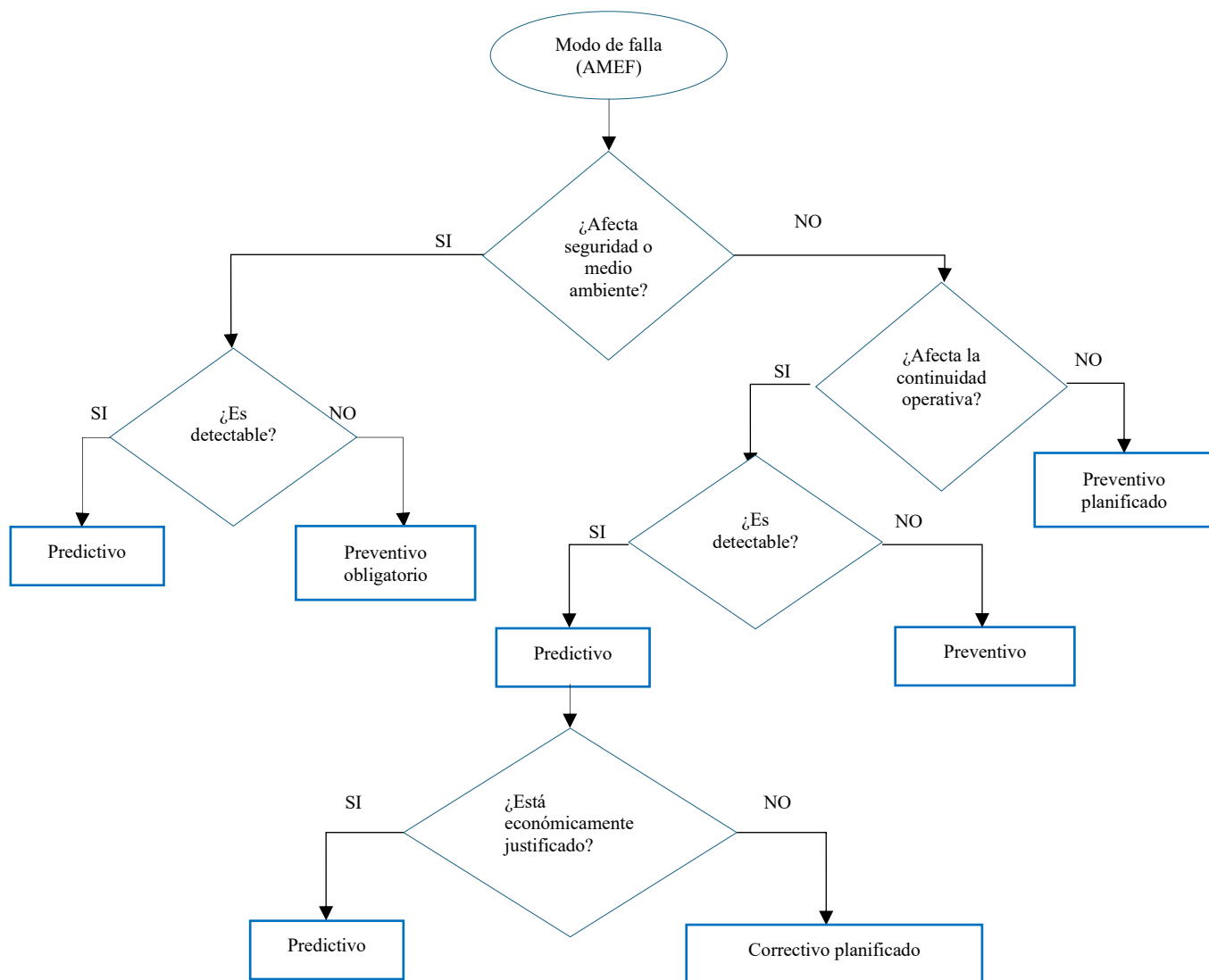
De acuerdo con la ISO 55001, la clasificación de las estrategias de mantenimiento no se establece de forma prescriptiva, sino que debe derivarse de un proceso de toma de decisiones basado en riesgo, desempeño y análisis del ciclo de vida de los activos.

En este sentido, herramientas como el AMEF permiten cuantificar el nivel de criticidad mediante el NPR, mientras que el RCM traduce estos resultados en estrategias de mantenimiento específicas (preventivas, predictivas o detectivas), asegurando que dichas estrategias estén alineadas con los objetivos organizacionales y orientadas a maximizar la confiabilidad y disponibilidad del sistema.

## Árbol lógico de decisiones RCM aplicado al sistema DAF

Árbol lógico de decisiones basado en el enfoque clásico del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) propuesto por Nowlan y Heap. (Haiany, 2016).

### Diagrama de árbol lógico RCM clásico (SAE JA1011)



**Gráfico 25.** Árbol lógico de decisiones RCM  
Elaborado por: Lasluisa, Guillermo (2026).

El árbol de decisión RCM fue adaptado a las condiciones operativas del sistema DAF, considerando su función ambiental, la criticidad de los equipos y los resultados del análisis AMEF. Este esquema integra los resultados del AMEF como herramienta de

identificación y priorización de riesgos con la metodología RCM para la toma de decisiones operativas (Uzoigwe, 2024).

El árbol lógico facilita la justificación de las estrategias de mantenimiento preventivo, predictivo o correctivo planificado, en función de las consecuencias, la detectabilidad de las fallas y su impacto sobre la seguridad, el ambiente y la continuidad operativa del sistema (da Silva et al., 2023). Un RCM aplicado en la propuesta considera implícitamente las siete preguntas fundamentales establecidas por la metodología, integrándolas dentro del árbol lógico de decisión para la definición de las estrategias de mantenimiento.

### **Diseño del plan de mantenimiento del sistema DAF según RCM**

El diseño del plan de mantenimiento del sistema DAF se apoya en los resultados del Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) y en la aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), lo que permite definir estrategias de intervención basadas en la criticidad de los equipos, sus funciones y las consecuencias de falla. Esto facilita la transición de un mantenimiento reactivo hacia un modelo preventivo y predictivo.

Desde esta perspectiva, el plan propuesto se estructura mediante la identificación de fallas críticas y la priorización de activos, estableciendo tareas específicas como inspecciones, monitoreo de condiciones, lubricación y limpieza técnica, con frecuencias definidas en función del comportamiento histórico de fallas y criterios de confiabilidad.

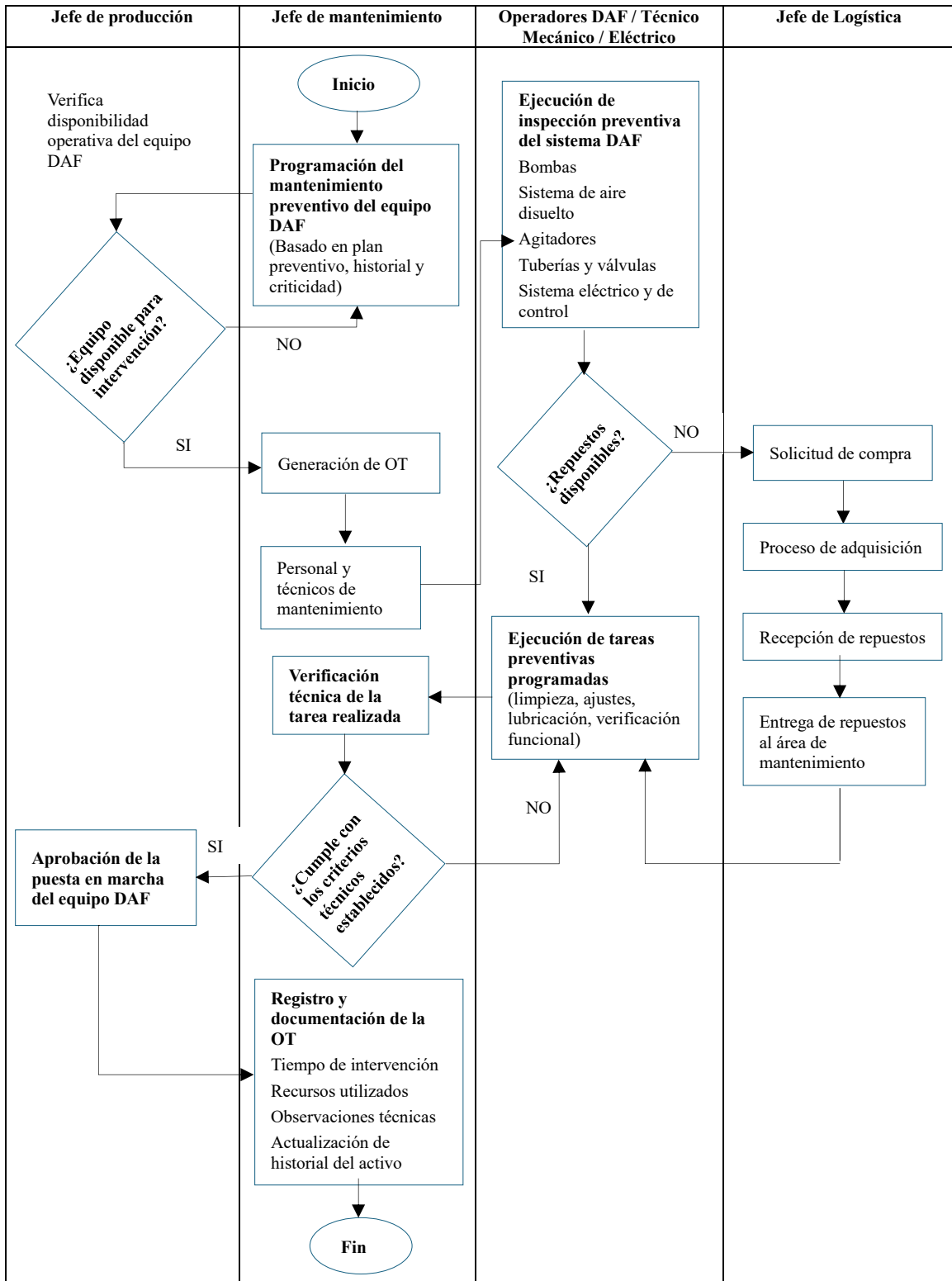
Asimismo, el plan se vincula con indicadores de desempeño del mantenimiento, tales como el MTBF, la frecuencia de fallas, la disponibilidad operativa y los costos asociados, permitiendo evaluar la efectividad de las estrategias implementadas. Esta integración, reflejada en la Tabla 27, contribuye a consolidar una propuesta de gestión de mantenimiento alineada con los principios de la norma ISO 55001.

**Tabla 27.** Plan de mantenimiento del sistema DAF basado en RCM y orientado a indicadores de desempeño

Equipo	Código	Función del equipo	Modo de falla controlado	Efecto de falla	Consecuencia	Actividad de mantenimiento	Frecuencia	Estrategia RCM	Procedimiento técnico (resumen)	Repuestos críticos	Responsable
<b>Bomba de recirculación</b>	P1-TE-DF01-MBR01	Recircular agua saturada con aire hacia el tanque DAF, generando microburbujas para la flotación y separación de sólidos suspendidos y grasas.	Desgaste de rodamientos y falla de sello mecánico	Disminución o pérdida de caudal de recirculación. Pérdida de presión en la línea de saturación. Fugas por sello mecánico. Incremento de vibraciones y temperatura del equipo.	Reducción en la generación de microburbujas. Baja eficiencia de remoción de SST y grasas. Incumplimiento de parámetros de vertimiento. Parada no programada del sistema DAF.	Monitoreo de vibraciones y sellos	Mensual	Predictivo	Medición de vibraciones, inspección de sello y alineación	Sello mecánico, rodamientos	Mantenimiento mecánico
<b>Compresor de aire</b>	P1-TE-DF01-MCA01	Suministrar aire comprimido al sistema de saturación para permitir la disolución de aire en el agua recirculada y la posterior formación de microburbujas.	Pérdida de presión, sobreconsumo eléctrico	Presión insuficiente en el sistema de saturación. Aireación ineficiente. Incremento del consumo energético. Activación de protecciones eléctricas.	Deficiente formación de microburbujas. Disminución de la eficiencia de flotación. Incremento de carga contaminante en efluente tratado. Posible detención del proceso por baja presión.	Control de presión y consumo eléctrico	Mensual	Predictivo	Verificación de presión de trabajo y amperaje	Filtros, válvulas	Mantenimiento eléctrico
<b>Panel eléctrico</b>	P1-TE-DF01-EPE01	Distribuir, proteger y controlar la energía eléctrica y señales de mando de los equipos del sistema DAF.	Conexiones flojas, sobrecalentamiento	Interrupción del suministro eléctrico. Fallo en señales de control (PLC). Disparo de protecciones. Sobrecalentamiento de componentes.	Parada total o parcial del sistema DAF. Riesgo de daño a motores y equipos eléctricos. Pérdida de control del proceso. Riesgo de incidente eléctrico.	Inspección eléctrica y termografía	Trimestral	Predictivo	Revisión de conexiones, temperatura y señales PLC	Contactores, fusibles	Mantenimiento eléctrico
<b>Bomba dosificadora</b>	P1-TE-DF01-MDQ01	Dosificar de manera controlada los productos químicos (coagulante/floculante) necesarios para optimizar la separación sólido-líquido en el proceso DAF.	Dosificación incorrecta, obstrucción de líneas	Sobredosificación o subdosificación de químico. Obstrucción en líneas de inyección. Dosificación intermitente o nula.	Formación deficiente de flóculos. Baja eficiencia de remoción de contaminantes. Incremento en costos químicos. Incumplimiento de parámetros de calidad del efluente.	Calibración y limpieza	Mensual	Preventivo	Limpieza de líneas y ajuste de dosificación	Diafragmas, mangueras	Operación / Mantenimiento

Elaborado por: Lasluisa, Guillermo (2026).

### Diagrama del plan de mantenimiento preventivo en equipos DAF



**Gráfico 26.** Flujo del plan de mantenimiento preventivo del sistema DAF basado en los lineamientos de la ISO 55001.

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

## Impacto operativo

Permite determinar el nivel de afectación que una falla puede generar sobre la continuidad del proceso, la eficiencia operativa y el cumplimiento de los requisitos ambientales, el impacto operativo se valora en función de criterios técnicos como el tiempo de parada, la pérdida de funcionalidad del sistema y la necesidad de intervención de mantenimiento, así como sus implicaciones sobre el desempeño productivo y el control ambiental. La Tabla 28 presenta una escala cualitativa que clasifica estos niveles de impacto en bajo, medio y alto, facilitando la priorización de equipos.

**Tabla 28.** Escala cualitativa del impacto operativo

Impacto	Criterios técnicos	Efecto sobre el DAF	Implicancia ambiental / productiva
<b>Bajo</b>	No detiene el proceso <b>Parada &lt; 1 h</b>	El DAF mantiene su función principal; solo ajustes menores	No afecta el cumplimiento ambiental ni la producción
	No afecta cumplimiento ambiental		
<b>Medio</b>	Reduce eficiencia del DAF <b>Parada entre 1–3 h</b>	Reducción de la eficiencia del DAF; requiere intervención de mantenimiento	Riesgo ambiental controlado; posible impacto operativo limitado
	Requiere intervención de mantenimiento		
<b>Alto</b>	Detiene el DAF total o parcialmente <b>Parada &gt; 3 h</b>	Pérdida total o crítica de la función del DAF	Riesgo ambiental y/o productivo; posible incumplimiento normativo
	Riesgo ambiental o productivo		

**Fuente:** Basada en los criterios de severidad de las consecuencias de falla de la norma ISO 14224:2016 y en el enfoque de gestión del riesgo operacional de la norma ISO 55001:2014.

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

## Fuente y validación de los datos de fallas de equipos con mayor criticidad del sistema DAF

INCUBANDINA S.A. es una empresa industrial perteneciente al sector alimenticio, por ende, los sistemas operativos y la información técnica asociada a sus procesos se encuentran protegidos por políticas de confidencialidad organizacional.

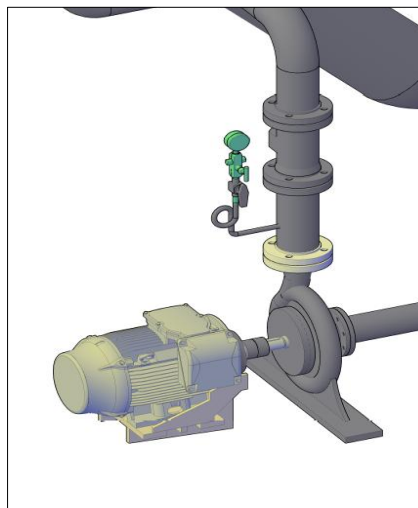
El acceso a la información del sistema informático de gestión de mantenimiento fue limitado y controlado, permitiendo únicamente la consulta de ciertos registros relacionados con los costos de mantenimiento y las intervenciones correctivas asociadas a los equipos del sistema de flotación por aire disuelto (DAF).

Con el fin de complementar la información disponible, se realizaron entrevistas técnicas semiestructuradas al personal del área de mantenimiento y operación de la planta, quienes poseen conocimiento directo sobre los eventos de falla, tiempos de parada y condiciones operativas de los equipos analizados.

La triangulación de información entre registros documentales disponibles, bibliografía técnica especializada y el conocimiento empírico del personal operativo permitió identificar los principales modos de falla, estimar los tiempos de intervención y establecer una base referencial para el análisis de confiabilidad de los equipos críticos del sistema DAF, información que sirve como sustento para la propuesta de implementación de un modelo de gestión de activos alineado con los principios de la norma ISO 55001.

### **Bomba de recirculación**

La Imagen 6 presenta la bomba de recirculación del sistema DAF, la cual cumple la función de recircular el agua tratada saturada con aire hacia el sistema, permitiendo la generación de microburbujas necesarias para el proceso de flotación.



**Imagen 6.** Bomba de recirculación DAF  
**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

Con base en el análisis del equipo mostrado en la Imagen 6, se presenta en la Tabla 29 la base referencial para el análisis de confiabilidad de la bomba de recirculación del sistema DAF, considerando los principales modos de falla, componentes afectados, tiempos de reparación y su impacto operativo.

**Tabla 29.** Base de datos para el análisis de confiabilidad de la bomba de recirculación del sistema DAF

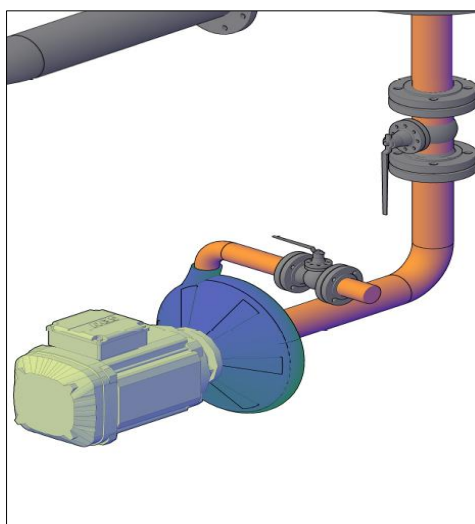
Bomba de recirculación del sistema DAF								
N.º	Modo de falla	Componente afectado	Tipo de falla	Número de eventos de falla	Tiempo de reparación MTTR (h)	Tiempo total de parada (h)	Impacto operativo	Tipo de mantenimiento
1	Vibraciones / desalineación	Eje /acoplamiento	Mecánico	2	2.5	5	Medio	Correctivo
2	Fuga en sello mecánico	Sello mecánico	Mecánico	1	4	4	Alto	Correctivo
3	Falla de chumacera	Rodamiento	Mecánico	1	2	2	Medio	Correctivo
4	Falla eléctrica menor	Motor eléctrico / borneras	Eléctrico	1	0.5	0.5	Bajo	Correctivo
5	Obstrucción parcial del impulsor	Impulsor	Operativo	2	1.5	3	Alto	Correctivo
<b>TOTAL</b>				<b>7</b>		<b>14.5</b>		

**Fuente:** Registros documentales de mantenimiento y costos operativos del sistema DAF de la empresa INCUBANDINA S.A. (2024–2025). Información complementada mediante entrevistas técnicas al personal de mantenimiento y operación de la planta

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026)

### Sistema de bomba de lodos

La Imagen 7 presenta la bomba de lodos del sistema DAF, encargada de extraer y transportar los lodos generados durante el proceso de flotación hacia las etapas de tratamiento posterior, garantizando la continuidad operativa del sistema.



**Imagen 7.** Bomba de lodos DAF

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

Con base en el análisis del equipo mostrado en la Imagen 7, se presenta en la Tabla 30 la base de datos para el análisis de confiabilidad de la bomba de lodos del sistema DAF.

**Tabla 30.** Base de datos para el análisis de confiabilidad de la bomba de lodos del sistema DAF

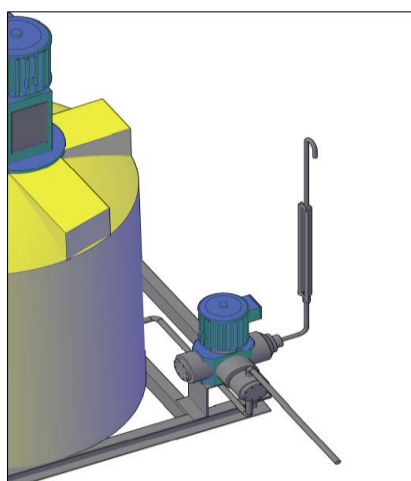
Bomba de Lodos del sistema DAF								
N.º	Modo de falla	Componente afectado	Tipo de falla	Número de eventos de falla	Tiempo de reparación MTTR (h)	Tiempo total de parada (h)	Impacto operativo	Tipo de mantenimiento
1	Pérdida de sellado	Falla de sello mecánico	Mecánico	2	4	8	Alto	Correctivo
2	Obstrucción del impulsor	Obstrucción del impulsor por sólidos	Operativo	1	3	3	Medio	Correctivo
3	Desgaste por fricción	Daño de rodamiento	Mecánico	1	6	6	Alto	Correctivo
4	Vibración excesiva	Chumacera y rodamiento	Mecánico	1	4	4	Alto	Correctivo
5	Dosificación irregular	Fuga por gasket de brida	Mecánico	1	2	2	Medio	Correctivo
<b>TOTAL</b>				<b>6</b>		<b>23</b>		

**Fuente:** Registros documentales de mantenimiento y costos operativos del sistema DAF de la empresa INCUBANDINA S.A. (2024–2025). Información complementada mediante entrevistas técnicas al personal de mantenimiento y operación de la planta.

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

### Sistema de dosificación química

La Imagen 8 muestra la bomba del sistema de dosificación química, la cual permite la inyección controlada de coagulantes y floculantes en el proceso de tratamiento, siendo fundamental para la eficiencia del sistema DAF.



**Imagen 8.** Bomba del sistema de dosificación química del sistema DAF

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

A partir del equipo presentado en la Imagen 8, la Tabla 31 muestra la base de datos para el análisis de confiabilidad del sistema de dosificación química.

**Tabla 31.** Base de datos para el análisis de confiabilidad de la bomba del sistema de dosificación química del sistema DAF

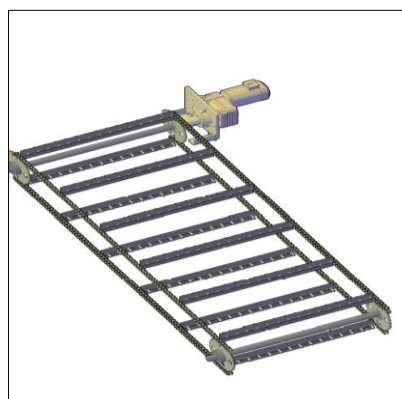
Bomba del sistema de Dosificación Química – DAF								
N.º	Modo de falla	Componente afectado	Tipo de falla	Número de eventos de falla	Tiempo de reparación MTTR (h)	Tiempo total de parada (h)	Impacto operativo	Tipo de mantenimiento
1	Cristalización química en línea	Filtro / línea de dosificación (sin limpieza de filtros)	Operativo	1	3	3	Medio	Correctivo
2	Fuga química	Fuga por junta (gasket) de brida	Mecánico	1	0.5	0.5	Bajo	Correctivo
3	Desgaste del elemento de bombeo	Diafragma con desgaste	Mecánico	1	5	5	Alto	Correctivo
4	Desconexión /falla menor	Sistema eléctrico	Eléctrico	1	3	3	Medio	Correctivo
5	Dosificación irregular	Sistema de bombeo / válvula	Operativo	1	3.5	3.5	Alto	Correctivo
<b>TOTAL</b>				<b>5</b>		<b>15</b>		

**Fuente:** Registros documentales de mantenimiento y costos operativos del sistema DAF de la empresa INCUBANDINA S.A. (2024–2025). Información complementada mediante entrevistas técnicas al personal de mantenimiento y operación de la planta.

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

### Sistema de arrastre de lodos Skimmer

La Imagen 9 presenta el motor reductor del sistema skimmer, encargado del arrastre de sólidos flotantes hacia la tolva de recolección dentro del sistema DAF.



**Imagen 9.** Motor reductor del sistema de arrastre de lodos (Skimmer) del sistema DAF

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

Con base en el equipo mostrado en la Imagen 9, la Tabla 32 presenta la base de datos para el análisis de confiabilidad del motor reductor del sistema skimmer.

**Tabla 32.** Base de datos para el análisis de confiabilidad del motor reductor del sistema skimmer del sistema DAF

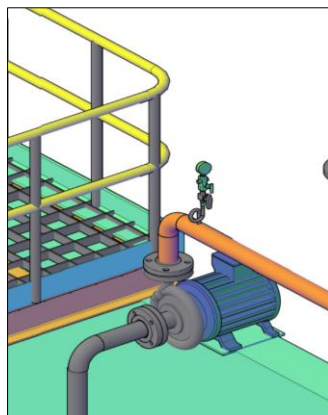
Motor reductor del Skimmer – Sistema DAF								
N.º	Modo de falla	Componente afectado	Tipo de falla	Número de eventos de falla	Tiempo de reparación MTTR (h)	Tiempo total de parada (h)	Impacto operativo	Tipo de mantenimiento
1	Desgaste del acople	Desgaste de acople Lovejoy	Mecánico	1	1	1	Medio	Correctivo
2	Fuga de lubricante	Fuga de lubricante sistema de sellado	Mecánico	1	1.5	1.5	Medio	Correctivo
3	Sobrecarga en transmisión	Sistema de engranajes/eje	Mecánico	2	2.5	5	Medio	Correctivo
4	Vibración excesiva	Conjunto rotativo	Mecánico	1	5	5	Alto	Correctivo
5	Fallo de soporte rotativo	Falla de chumacera / rodamiento	Mecánico	1	2	2	Medio	Correctivo
6	Pérdida de sellado	Retenedor	Mecánico	2	1	2	Medio	Correctivo
<b>TOTAL</b>				<b>8</b>		<b>16.5</b>		

**Fuente:** Registros documentales de mantenimiento y costos operativos del sistema DAF de la empresa INCUBANDINA S.A. (2024–2025). Información complementada mediante entrevistas técnicas al personal de mantenimiento y operación de la planta.

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

### Sistema de bomba de aguas residuales

La Imagen 10 muestra la bomba de aguas residuales, cuya función es transportar el efluente hacia el sistema DAF para su tratamiento.



**Imagen 10.** Bomba de aguas residuales del sistema DAF

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

En la Tabla 33 se presenta la base de datos para el análisis de confiabilidad de la bomba de aguas residuales, considerando el equipo mostrado en la Imagen 10.

**Tabla 33.** Base de datos para el análisis de confiabilidad de la bomba de aguas residuales del sistema DAF

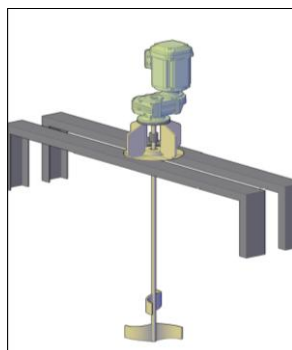
Bomba de Aguas Residuales del sistema DAF								
N.º	Modo de falla	Componente afectado	Tipo de falla	Número de eventos de falla	Tiempo de reparación MTTR (h)	Tiempo total de parada (h)	Impacto operativo	Tipo de mantenimiento
1	Pérdida de sellado	Falla de sello mecánico	Mecánico	2	3	6	Alto	Correctivo
2	Obstrucción por sólidos	Obstrucción en succión / impulsor por sólidos	Operativo	2	1.5	3	Medio	Correctivo
3	Daño por fricción	Daño en rodamientos por falta de engrasado	Mecánico	1	6	6	Alto	Correctivo
4	Fuga en conexión	Fuga en unión roscada	Mecánico	2	0.5	1	Bajo	Correctivo
5	Corto o desconexión	Falla sistema eléctrico por humedad	Eléctrico	1	2	2	Medio	Correctivo
6	Pérdida de estanqueidad	Fuga por gasket de brida	Mecánico	1	2	2	Medio	Correctivo
<b>TOTAL</b>				<b>9</b>		<b>20</b>		

**Fuente:** Registros documentales de mantenimiento y costos operativos del sistema DAF de la empresa INCUBANDINA S.A. (2024–2025). Información complementada mediante entrevistas técnicas al personal de mantenimiento y operación de la planta.

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

### Motor reductor del sistema de agitación DAF

La Imagen 11 presenta el motor reductor del sistema de agitación, el cual permite la mezcla homogénea de los reactivos químicos en el proceso de tratamiento.



**Imagen 11.** Motor reductor del sistema de agitación del sistema DAF

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

Con base en el equipo mostrado en la Imagen 11, la Tabla 34 presenta la base de datos para el análisis de confiabilidad del sistema de agitación del sistema DAF.

**Tabla 34.** Base de datos para el análisis de confiabilidad del sistema de agitación del sistema DAF

Agitador del sistema DAF								
N.º	Modo de falla	Componente afectado	Tipo de falla	Número de eventos de falla	Tiempo de reparación MTTR (h)	Tiempo total de parada (h)	Impacto operativo	Tipo de mantenimiento
1	Falla de soporte rotativo	Falla de chumacera	Mecánico	1	2	2	Medio	Correctivo
2	Pérdida de sellado	Cambio de retenedor	Mecánico	1	5	5	Alto	Correctivo
3	Fuga en conexión	Unión roscada	Mecánico	1	1	1	Medio	Correctivo
4	Desgaste de acople	Acople Lovejoy	Mecánico	1	1.5	1.5	Medio	Correctivo
5	Desconexión eléctrica	Falla eléctrica menor (desconexión en bornera)	Eléctrico	1	3	3	Alto	Correctivo
6	Lubricación inadecuada	Lubricación deficiente	Operativo	1	1.5	1.5	Medio	Correctivo
<b>TOTAL</b>				<b>6</b>		<b>14</b>		

**Fuente:** Registros documentales de mantenimiento y costos operativos del sistema DAF de la empresa INCUBANDINA S.A. (2024–2025). Información complementada mediante entrevistas técnicas al personal de mantenimiento y operación de la planta.

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

### Determinación del tiempo efectivo

La presente tabla tiene como objetivo determinar el tiempo efectivo de operación del sistema DAF, a partir del análisis de los días promedio laborados por mes, considerando las horas reales de funcionamiento y descontando los periodos destinados a actividades no productivas, tales como limpieza general y mantenimiento programado.

Esta estimación permite obtener un valor representativo de las horas efectivas de operación del sistema, nos ayudará para el cálculo de indicadores de desempeño del mantenimiento, tales como MTBF, MTTR y disponibilidad operativa.

**Tabla 35.** Determinación del tiempo efectivo destinado a la operación del sistema DAF

Mes	Días De trabajo y Producción promedio (días)	Días de limpieza y mantenimiento promedio (días)	Días efectivos de operación	Horas de operación por día (h)	Subtotal tiempo destinado a la operación DAF (h)
Enero	25	2	23	8	184
Febrero	24	2	22	8	176
Marzo	25	2	23	8	184
Abril	25	2	23	8	184
Mayo	24	2	22	8	176
Junio	25	2	23	8	184
Julio	25	2	23	8	184
Agosto	24	2	22	8	176
Septiembre	25	2	23	8	184
Octubre	25	2	23	8	184
Noviembre	24	2	22	8	176
Diciembre	23	2	21	8	168
<b>TOTAL</b>					<b>2 160 h/año</b>

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

### **Análisis e interpretación de los indicadores**

El análisis conjunto de los indicadores MTTR, MTBF y Disponibilidad permite evaluar el desempeño del mantenimiento del sistema DAF. Valores elevados de MTBF indican equipos confiables, mientras que valores bajos de MTTR evidencian eficiencia en los procesos de reparación. En caso de observar una disminución del MTBF o un incremento del MTTR, será necesario revisar las estrategias de mantenimiento establecidas mediante el RCM, aplicar acciones correctivas y reforzar la capacitación del personal (Alaka et al., 2025).

### **Indicadores de desempeño: MTTR, MTBF y Disponibilidad**

La evaluación operativa del desempeño se aborda metodológicamente, alineado con los requisitos de la norma ISO 55001 (Capítulo 9), en referencia a la medición y análisis del desempeño de los activos físicos, donde se aplicara de manera práctica en el sistema DAF mediante indicadores de mantenimiento (Ocampo Lara, 2025b).

### **Enfoque de la norma ISO 55001 sobre la evaluación del desempeño**

La norma ISO 55001 establece que la evaluación del desempeño es un componente esencial dentro del sistema de gestión de activos, está encaminado a verificar el cumplimiento de los objetivos organizacionales y la eficacia de las estrategias

implementadas. En este sentido, la norma promueve un enfoque basado en evidencia, donde el monitoreo, medición, análisis y evaluación de los activos se realizan mediante indicadores clave de desempeño (KPI).

Esto implica que las organizaciones deben definir métricas alineadas con criterios de confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y costo del ciclo de vida, permitiendo así identificar desviaciones, oportunidades de mejora y tomar decisiones fundamentadas. En el contexto del mantenimiento, estos indicadores facilitan la validación de las estrategias aplicadas, asegurando que contribuyan efectivamente a la optimización del desempeño de los activos(Hussien Gomaa, 2025).

### **Importancia de los indicadores de desempeño en la gestión del mantenimiento**

Permiten cuantificar el comportamiento de los equipos a lo largo del tiempo, identifica tendencias de fallas, evalúa tiempos de reparación y determina el nivel real de confiabilidad de los activos, aplicar correctamente los indicadores MTTR, MTBF y Disponibilidad posibilita:

- Evaluar la efectividad del mantenimiento preventivo y predictivo.
- Identificar equipos con comportamiento crítico.
- Optimizar la asignación de recursos técnicos.
- Sustentar técnicamente las acciones de mejora continua.

### **Definición de los indicadores MTTR, MTBF y Disponibilidad**

#### **a) MTTR – Mean Time To Repair (Tiempo Medio de Reparación)**

MTTR representa el tiempo promedio requerido para reparar un equipo y devolverlo a condiciones normales de operación después de una falla, el indicador MTTR mide fundamentalmente la eficiencia del proceso de mantenimiento correctivo.

$$MTTR = \frac{\sum T_r}{N_f}$$

Ecuación 1: MTTR (Tiempo Medio de Reparación)

Donde:

- $\sum T_r$  = suma de los tiempos de reparación
- $N_f$  = número total de fallas

### **b) MTBF – Mean Time Between Failures (Tiempo Medio Entre Fallas)**

MTBF representa el tiempo promedio de operación de un equipo entre una falla y la siguiente. Este indicador mide la confiabilidad del activo.

$$MTBF = \frac{T_{op}}{N_f}$$

Ecuación 2: MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas)

Donde:

- $T_{op}$  = tiempo total de operación
- $N_f$  = número total de fallas

### **c) Disponibilidad Operativa (A)**

La disponibilidad expresa la probabilidad de que un equipo se encuentre disponible para operar cuando se lo requiere, se relaciona directamente con el MTTR y el MTBF.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Ecuación 3: Disponibilidad

### **Frecuencia de evaluación de los indicadores**

Los indicadores MTTR, MTBF y Disponibilidad serán evaluados de manera anual, con el fin de identificar tendencias de comportamiento de los equipos del sistema DAF, esta periodicidad permite tomar acciones correctivas oportunas y verificar la efectividad de las estrategias de mantenimiento definidas mediante el RCM.

### **Cálculo de MTTR, MTBF y Disponibilidad aplicado a un equipo del sistema DAF**

#### **Cálculo del MTTR**

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{Número total de fallas}}$$

### Cálculo del MTBF

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de operación}}{\text{Número total de fallas}}$$

### Cálculo de la Disponibilidad

Para estudios de confiabilidad, RCM, AMEF:

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

$$\text{Disponibilidad (\%)} = [MTBF / (MTBF+MTTR)] \times 100$$

Ecuación 4: Disponibilidad (%)

**Tabla 36.** Indicadores de desempeño por equipo crítico del sistema DAF

Equipo crítico	Nº total de averías	Tiempo total de parada / reparación (h)	MTTR (h)	MTBF (h)	Disponibilidad (%)
Bomba de recirculación	7	14.5	2.071	308.571	99.333
Bomba de lodos	6	23	3.833	360.000	98.946
Sistema de dosificación química	5	15	3.000	432.000	99.310
Motorreductor del skimmer	8	16.5	2.063	270.000	99.242
Bomba de aguas residuales	9	20	2.222	240.000	99.083
Agitador del DAF	6	14	2.333	360.000	99.356

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

### Aplicación de los indicadores en los equipos del sistema DAF

#### Análisis técnico sobre los Indicadores de desempeño del sistema DAF

El análisis de los indicadores de desempeño de los equipos críticos del sistema DAF permite caracterizar el comportamiento operativo actual del sistema. Se observa que el MTTR promedio se sitúa entre 2,06 h y 3,83 h, siendo la bomba de lodos el equipo con el mayor tiempo medio de reparación (3,833 h), lo que representa aproximadamente un 85 % más que el MTTR de la bomba de recirculación (2,071 h). Este comportamiento

evidencia una mayor complejidad técnica y logística asociada a las intervenciones de dicho equipo, lo cual sugiere su priorización dentro de un esquema de gestión de mantenimiento.

De igual manera, se identifica que los equipos con mayor número de averías anuales, como la bomba de aguas residuales (9 eventos/año) y el motorreductor del skimmer (8 eventos/año), presentan valores de MTTR moderados. Este comportamiento indica que, si bien la duración individual de las fallas es relativamente baja, su alta frecuencia incrementa el tiempo total de indisponibilidad del sistema. En conjunto, estos equipos concentran aproximadamente el 36 % del total de eventos de falla, lo que permite clasificarlos como elementos críticos desde el punto de vista operativo.

En términos de confiabilidad, los valores de MTBF varían entre 240 h y 432 h, siendo la bomba de aguas residuales el equipo con el menor intervalo medio entre fallas. Esta condición representa una reducción aproximada del 44 % respecto al sistema de dosificación química, que presenta el mayor MTBF. Este comportamiento evidencia variabilidad en la confiabilidad de los equipos, lo cual sugiere la necesidad de fortalecer estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo, orientadas a incrementar el MTBF y reducir la recurrencia de fallas.

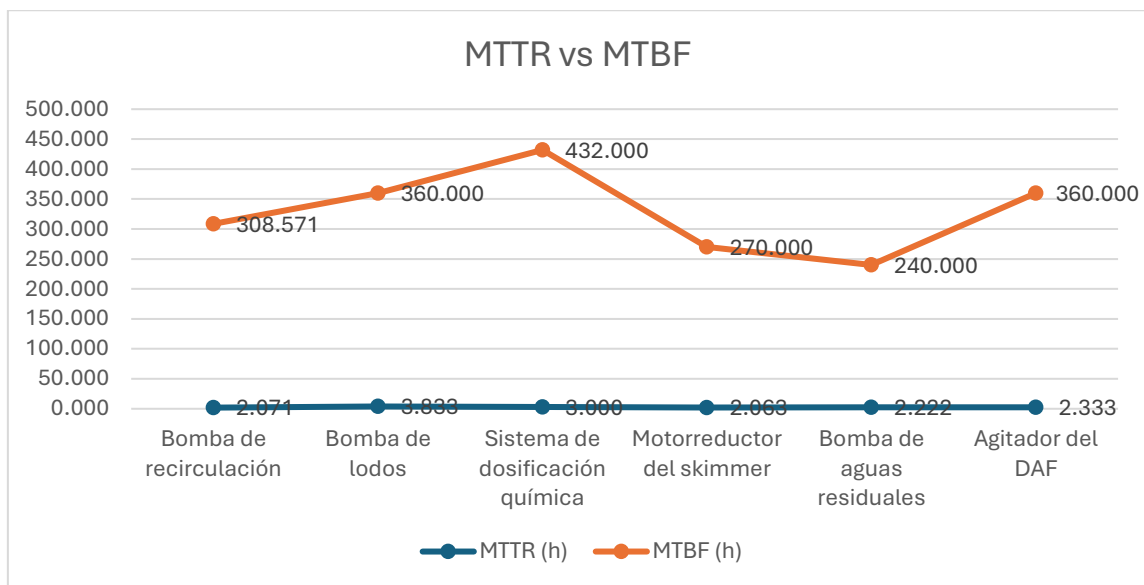
A pesar de que los niveles de disponibilidad global se mantienen elevados ( $\geq 98,9\%$ ), el análisis desagregado del MTTR por etapas - diagnóstico, espera logística, intervención técnica y puesta en marcha - permite identificar que más del 30 % del tiempo total de reparación se concentra en actividades de espera logística, tales como disponibilidad de repuestos, permisos y asignación de personal. Esta condición no se asocia directamente a limitaciones técnicas de los equipos, sino a aspectos relacionados con la gestión del mantenimiento.

En este contexto, los resultados obtenidos permiten sustentar la necesidad de implementar mejoras en la planificación y control del mantenimiento, tales como la gestión de repuestos críticos, la programación de recursos y la estandarización de procedimientos de intervención, en lugar de priorizar soluciones basadas en rediseños o sustitución de equipos.

Finalmente, los indicadores MTTR, MTBF y disponibilidad se emplean como herramientas de diagnóstico técnico, que permiten identificar oportunidades de mejora y orientar la toma de decisiones, sirviendo como base para la estructuración de la propuesta de gestión de mantenimiento del sistema DAF.

## Relación de los indicadores con la mejora continua

### MTTR vs MTBF



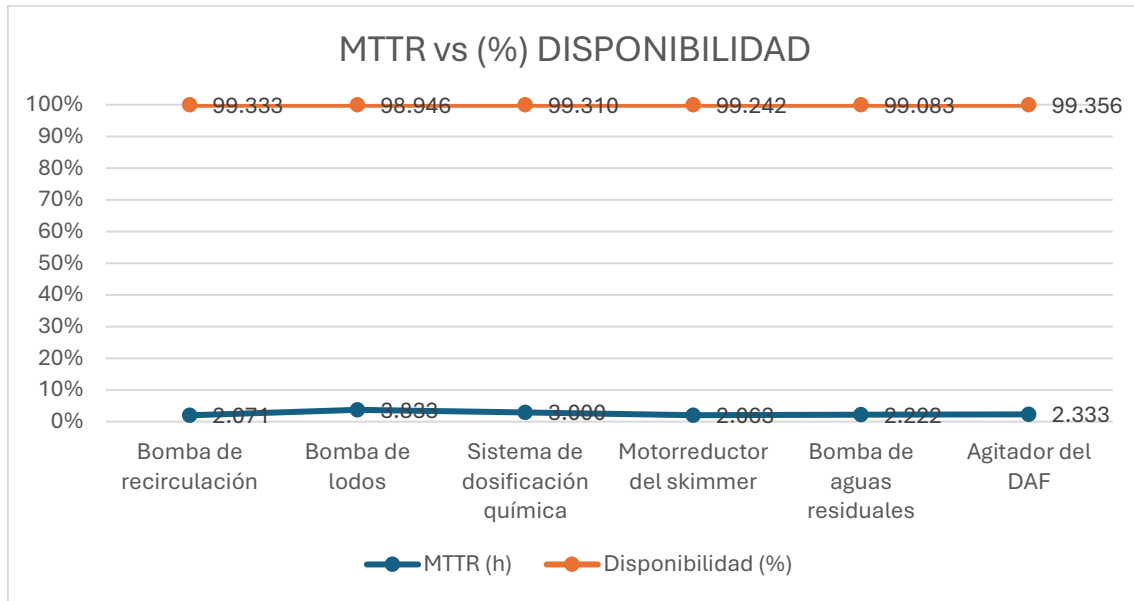
**Gráfico 27.** MTTR vs MTBF  
**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

El gráfico MTTR vs MTBF presenta la relación entre el tiempo medio de reparación y el tiempo medio entre fallas de los equipos analizados. Se observa que los valores de MTTR se mantienen en un rango bajo (entre aproximadamente 2 y 4 horas), mientras que los valores de MTBF presentan una variabilidad significativa (entre 240 y 432 horas).

Este comportamiento evidencia que, aunque la frecuencia de fallas es moderada, los tiempos de recuperación del sistema son relativamente reducidos. Sin embargo, la dispersión del MTBF sugiere la existencia de variabilidad en la confiabilidad de los equipos, lo cual podría estar asociado a la presencia de modos de falla recurrentes o causas raíz no controladas.

En este contexto, se identifica la necesidad de fortalecer estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo, orientadas a incrementar el MTBF y reducir la recurrencia de fallas, como parte de un enfoque de mejora continua.

### MTTR vs (%) DISPONIBILIDAD

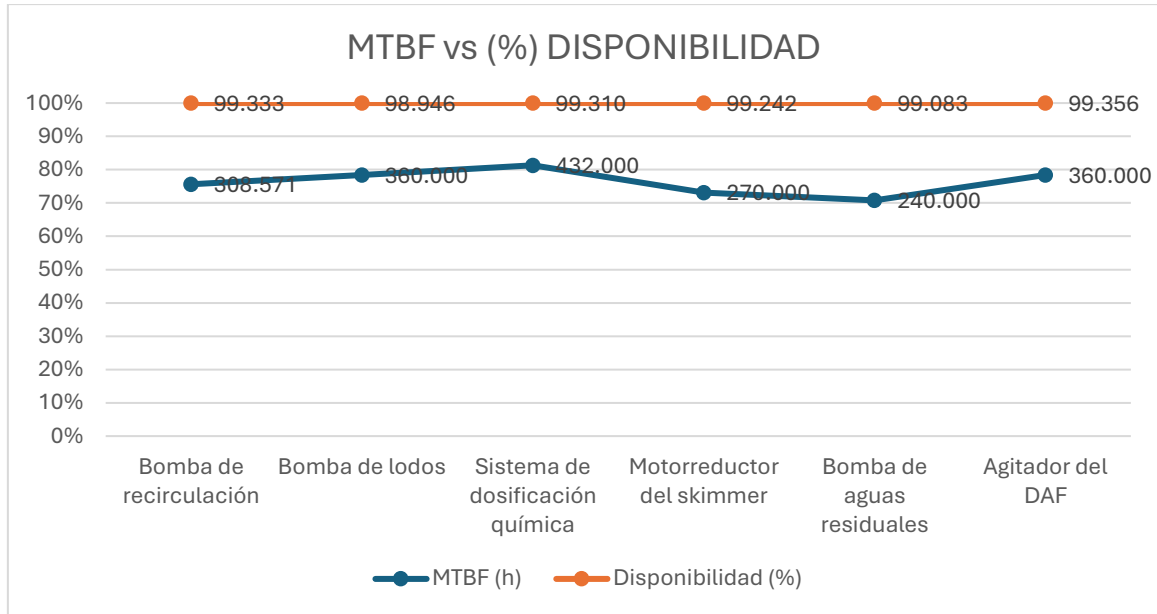


**Gráfico 28.** MTTR vs (%) Disponibilidad  
**Elaborado por:** Lasluisa Guillermo (2026).

El gráfico MTTR vs disponibilidad (%) muestra que, a pesar de las variaciones en el tiempo medio de reparación, la disponibilidad del sistema se mantiene en valores elevados, superiores al 98 %.

Esta relación indica que los tiempos de reparación relativamente bajos están asociados con altos niveles de disponibilidad operativa. No obstante, este comportamiento también sugiere que la disponibilidad observada podría estar influenciada en mayor medida por la eficiencia del mantenimiento correctivo que por una reducción efectiva en la ocurrencia de fallas. En este sentido, el sistema presenta características propias de un esquema de mantenimiento predominantemente reactivo, por lo que se plantea como oportunidad de mejora el fortalecimiento de estrategias orientadas a reducir la frecuencia de fallas, más allá de la optimización de los tiempos de reparación.

## MTBF vs (%) DISPONIBILIDAD



**Gráfico 29.** MTBF vs (%) Disponibilidad  
**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

El gráfico MTBF vs disponibilidad (%) muestra una relación directa entre el incremento del tiempo medio entre fallas y niveles elevados de disponibilidad. Los mayores valores de MTBF se asocian con disponibilidades más estables y cercanas al 99 %.

Este comportamiento permite identificar que la confiabilidad del equipo influye de manera significativa en la continuidad operativa del sistema. Sin embargo, el análisis conjunto de los indicadores evidencia que, incluso con valores moderados de MTBF, es posible mantener altas disponibilidades cuando el MTTR es reducido.

Por lo tanto, la disponibilidad no debe analizarse de forma aislada, ya que puede ocultar deficiencias en la confiabilidad. En este contexto, se identifica como línea de mejora el incremento progresivo del MTBF, de manera que la disponibilidad futura responda a una menor frecuencia de fallas y no únicamente a la eficiencia en la reparación.

## Matriz hoja de decisión RCM – Frecuencia de mantenimiento

La implementación de la Matriz Hoja de Decisión basada en la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), su objetivo es definir técnicamente la frecuencia de las actividades de mantenimiento aplicables a los equipos críticos del sistema DAF de la empresa INCUBANDINA S.A.

Con la ayuda de la tabla N°23, sobre la clasificación del Riesgo NPR, del Número de Prioridad de Riesgo (NPR), los resultados obtenidos del Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF), los indicadores de desempeño del mantenimiento MTTR, MTBF y disponibilidad, nos ayudan a evaluar el nivel de riesgo y confiabilidad de cada equipo, facilitando la toma de decisiones sobre la periodicidad de las intervenciones de mantenimiento.

**Tabla 37.** Matriz de Hoja de Decisión RCM – Frecuencia de Mantenimiento

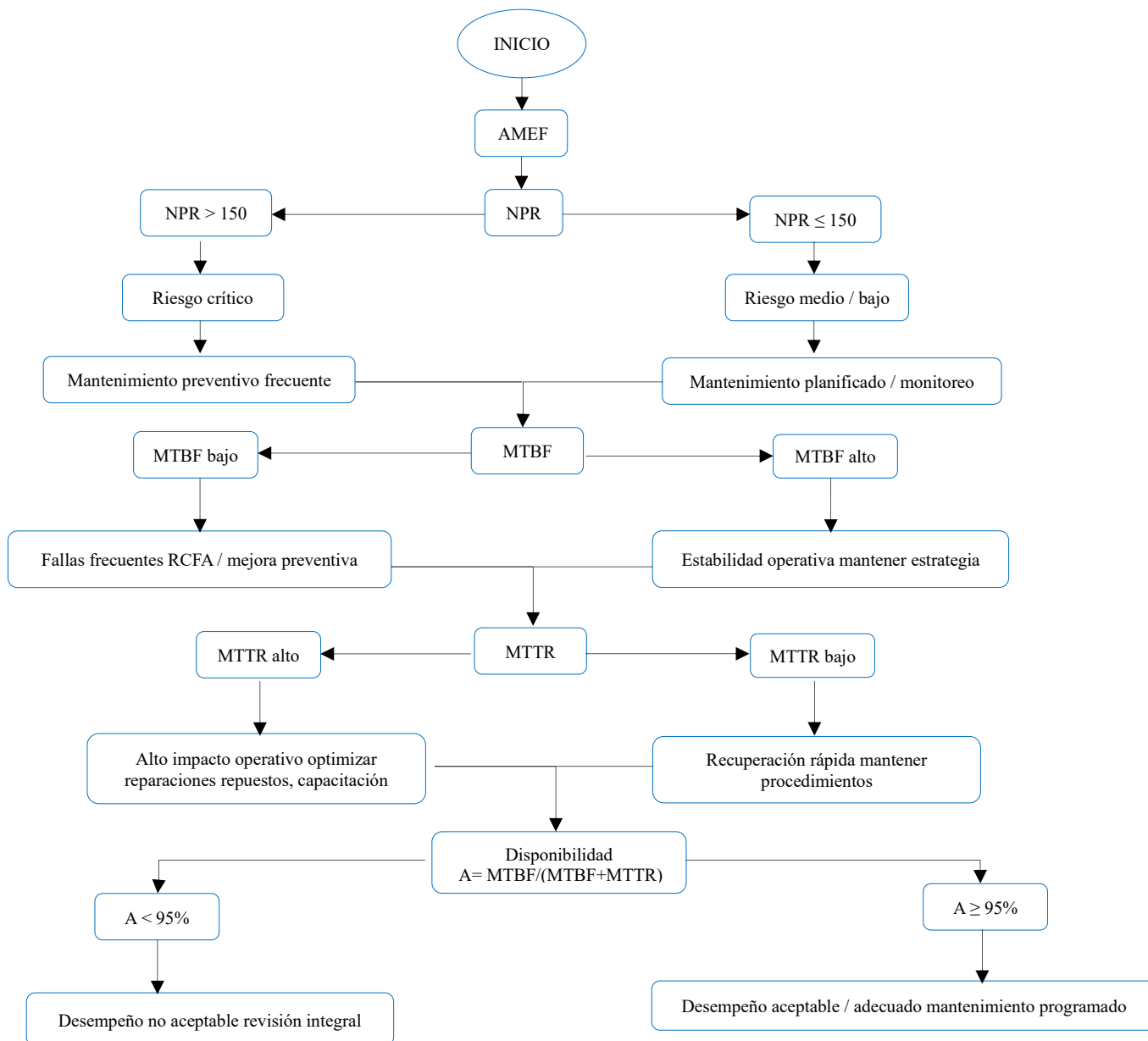
Frecuencia de Mantenimiento						
NPR	MTBF	MTTR	Disponibilidad	Consecuencia de la falla	Estrategia RCM	Frecuencia recomendada
>150	Bajo	Alto	<98 %	Alta (ambiental / operativa)	Predictivo + Preventivo	Mensual
121 – 150	Medio	Medio	98–99 %	Media-alta	Preventivo	Bimestral / Trimestral
71 – 120	Medio-alto	Bajo	≥99 %	Media	Preventivo / Detectivo	Trimestral
≤70	Alto	Bajo	≥99.5 %	Baja	Detectivo	Semestral

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

## Árbol de decisión

### Priorización de mantenimiento basado en AMEF y parámetros de confiabilidad (MTBF, MTTR y Disponibilidad)

El gráfico 30, permitirá evaluar inicialmente el nivel de criticidad del activo a partir del NPR, para posteriormente analizar la frecuencia de fallas, el impacto operativo de los tiempos de reparación y el desempeño global del equipo, orientando la selección de estrategias de mantenimiento preventivo, predictivo o el ajuste de frecuencias.



**Gráfico 30.** Árbol lógico de decisión para la priorización de estrategias de mantenimiento mediante el uso integrado de NPR (AMEF), MTBF, MTTR y disponibilidad operativa.  
**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

La aplicación de este diagrama proporciona una estructura lógica y sistemática que facilita la priorización de recursos y la alineación del mantenimiento con los principios de gestión de activos establecidos en la norma ISO 55001.

El árbol lógico de decisiones presentado permite establecer una relación clara entre el riesgo, la confiabilidad, la mantenibilidad y la disponibilidad de los equipos del sistema DAF, convirtiendo los indicadores técnicos en acciones concretas de mantenimiento. La

integración del NPR con el análisis del MTBF, MTTR y la disponibilidad reduce la subjetividad en la toma de decisiones y favorece la detección temprana de fallas recurrentes.

### **Enfoque del plan bajo la norma ISO 55001**

El plan de mantenimiento del sistema DAF se estructura bajo los principios de gestión de activos establecidos en la norma ISO 55001, incorpora criterios de confiabilidad, riesgo y desempeño en la toma de decisiones. Por lo tanto, se consideran las recomendaciones técnicas del fabricante como base para la definición de actividades preventivas, garantizando la preservación de la funcionalidad y la integridad de los equipos a lo largo de su ciclo de vida.

### **Propuesta del plan de gestión de activos**

El plan propuesto está orientado a reducir el riesgo operacional, mejorar la confiabilidad esperada y optimizar el desempeño de los equipos del sistema DAF. Para ello, se establecen actividades de mantenimiento preventivo, predictivo y de control operacional, articuladas bajo una estrategia que permite maximizar la disponibilidad y eficiencia del sistema a lo largo de su vida útil.

### **Diseño del plan de mantenimiento preventivo**

El diseño del plan de mantenimiento para el sistema DAF se fundamenta en el análisis de la criticidad de los equipos, la información histórica de fallas y las condiciones reales de operación. Este enfoque permite estructurar un conjunto de actividades orientadas a prevenir fallas, reducir tiempos de indisponibilidad y asegurar la continuidad del proceso productivo.

**Tabla 38.** Actividades preventivas recomendadas por el fabricante

<b>SISTEMA DAF – MODELO YP-GQF40</b>			
<b>1. Sistema General DAF</b>			
<b>Componente</b>	<b>Actividad Preventiva</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Criterio Técnico / Aceptación</b>
Estructura del DAF (tanque AISI 304)	Inspección visual de corrosión, fisuras y soldaduras	Semestral	Sin corrosión, deformaciones ni fugas
Bridas y conexiones	Revisión de apriete y fugas	Mensual	Uniones estancas
Drenajes y reboses	Limpieza y prueba de funcionamiento	Mensual	Flujo libre
Alineación del equipo	Verificar nivelación del tanque	Anual	Desviación < 2 mm
<b>2. Bomba de Agua con Aire Disuelto (7.5 kW – 15 m<sup>3</sup>/h)</b>			
<b>Componente</b>	<b>Actividad Preventiva</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Criterio Técnico</b>
Bomba presurizada	Verificar ruidos, vibración y temperatura	Diario	Operación estable
Sello mecánico	Inspección de fugas	Mensual	Sin goteo
Cojinetes	Verificar lubricación	Mensual	Temperatura normal
Impulsor	Inspección por desgaste/incrustaciones	Semestral	Sin erosión severa
Presión de descarga	Medición y registro	Diario	4 – 6 bar
Consumo eléctrico	Medición de amperaje	Trimestral	Dentro del 90–100 % nominal
<b>3. Sistema de Aire Comprimido (Compresor 4 kW)</b>			
<b>Componente</b>	<b>Actividad Preventiva</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Criterio Técnico</b>
Compresor	Verificar presión y sonido	Diario	Operación continua
Filtro de aire	Limpieza o reemplazo	Mensual	Flujo libre
Trampa de condensados	Drenar acumulación de agua	Semanal	Sin agua en líneas
Mangueras y conexiones	Inspección de fugas	Mensual	Sin pérdidas
Presión de trabajo	Registro	Diario	5 – 7 bar
<b>4. Sistema de Saturación y Microburbujas</b>			
<b>Componente</b>	<b>Actividad Preventiva</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Criterio Técnico</b>
Cámara de saturación	Limpieza interna	Trimestral	Sin incrustaciones
Válvulas de despresurización	Limpieza y verificación	Mensual	Flujo uniforme
Boquillas DAF	Inspección por taponamiento	Mensual	Microburbujas visibles
Caudal de recirculación	Verificación	Diario	~15 m <sup>3</sup> /h
<b>5. Sistema de Skimmer / Rascador (0.37 kW)</b>			
<b>Componente</b>	<b>Actividad Preventiva</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Criterio Técnico</b>
Motorreductor	Verificar ruido y temperatura	Diario	Operación suave
Cuchillas/rascadores	Limpieza y ajuste	Semanal	Remoción eficiente
Cadenas / guías	Lubricación	Mensual	Movimiento libre
Alineación del skimmer	Inspección	Trimestral	Sin desvíos
<b>6. Sistema Eléctrico y Control (440 V)</b>			
<b>Componente</b>	<b>Actividad Preventiva</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Criterio Técnico</b>
Tablero eléctrico	Limpieza interna	Trimestral	Libre de polvo
Bornes y conexiones	Reapriete	Semestral	Sin calentamiento
Protecciones eléctricas	Prueba de disparo	Anual	Funcionamiento correcto
Sensores (nivel/flujo)	Calibración	Semestral	Lecturas confiables

**SISTEMA DAF – MODELO YP-GQF40**

**7. Sistema Hidráulico de Entrada y Salida**

<b>Componente</b>	<b>Actividad Preventiva</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Criterio Técnico</b>
Tuberías de entrada	Inspección y limpieza	Mensual	Sin obstrucción
Línea de agua clarificada	Verificar flujo	Mensual	Caudal constante
Válvulas de control	Operación manual	Trimestral	Apertura suave

**8. Limpieza General del Sistema**

<b>Actividad</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Criterio</b>
Limpieza de superficie del DAF	Semanal	Sin acumulación de lodos
Limpieza interna del tanque	Semestral	Superficie libre
Retiro de lodos flotados	Diario	Nivel controlado

**9. Repuestos Recomendados por Fabricante**

<b>Repuesto</b>	<b>Cantidad sugerida</b>
Sellos mecánicos bomba DAF	1 juego
Rodamientos bomba	1 juego
Empaques y juntas	Kit completo
Boquillas de aire	10–20 % del total
Filtros de aire	2 unidades
Aceite lubricante	Stock mínimo 6 meses

**10. Registros y Documentación**

<b>Registro</b>	<b>Frecuencia</b>
Bitácora de operación	Diario
Registro de mantenimiento	Cada intervención
Tendencias de presión/caudal	Mensual
Historial de fallas	Permanente

**Fuente:** Especificaciones técnicas y recomendaciones de mantenimiento del fabricante IEPP para el equipo DAF modelo YP-GQF40 (IEPP, 2025).

**Actividades para reducción de fallas detectadas**

De acuerdo con la Norma ISO 55001 – Gestión de Activos, las actividades que reducen las fallas detectadas en el sistema DAF (Dissolved Air Flotation) modelo YP-GQF40 comprenden el conjunto de acciones técnicas, operativas y de gestión orientadas a mantener los componentes del equipo operando dentro de sus condiciones de diseño.

**Tabla 39.** Actividades para reducción de fallas detectadas bajo norma ISO 55001

<b>1. Actividades de Control Operacional</b>		
Reducción de fallas causadas por operación fuera de diseño.		
	<b>Actividad</b>	<b>Falla que Reduce</b>
<b>(ISO 55001 – Cláusulas 6.1, 8.1)</b>	Definir límites operativos (caudal, presión, carga)	Cavitación, sobrecarga, desgaste prematuro
	Monitoreo diario de presión y caudal	Fallas hidráulicas no detectadas
	Uso de checklists por turno	Omisiones operativas
	Procedimientos estandarizados (SOP)	Error humano
<b>2. Actividades de Mantenimiento Preventivo</b>		
Reducen la frecuencia de fallas repetitivas.		
	<b>Actividad</b>	<b>Falla Mitigada</b>
<b>(ISO 55001 – Cláusulas 8.1, 8.2)</b>	Inspección programada de bombas	Falla por desgaste no detectado
	Limpieza periódica de boquillas DAF	Pérdida de eficiencia de flotación
	Lubricación según fabricante	Falla de rodamientos
	Reapriete de conexiones eléctricas	Fallas eléctricas intermitentes
	Limpieza del sistema de saturación	Taponamientos
<b>3. Actividades de Mantenimiento Predictivo / Basado en Condición</b>		
Reducen fallas súbitas.		
	<b>Actividad</b>	<b>Falla Evitada</b>
<b>(ISO 55001 – Cláusulas 6.1.2, 9.1)</b>	Medición de vibraciones en bombas	Rotura de rodamientos
	Análisis de tendencia de amperaje	Sobrecarga eléctrica
	Monitoreo de presión diferencial	Obstrucciones progresivas
	Inspección térmica (termografía)	Falla por sobrecalentamiento
<b>4. Actividades de Gestión de Repuestos Críticos</b>		
Reducen tiempos de indisponibilidad.		
	<b>Actividad</b>	<b>Impacto</b>
<b>(ISO 55001 – Cláusula 7.1)</b>	Definir repuestos críticos	Reduce MTTR
	Stock mínimo de sellos y rodamientos	Evita paradas prolongadas
	Codificación de repuestos	Reduce errores de reposición
	Control de vida útil de repuestos	Evita fallas por almacenamiento
<b>5. Actividades de Gestión del Riesgo</b>		
Reducen fallas de alto impacto.		
	<b>Actividad</b>	<b>Riesgo Mitigado</b>
<b>(ISO 55001 – Cláusula 6.1)</b>	Análisis de modos de falla (FMEA)	Fallas críticas no priorizadas
	Clasificación de activos críticos	Mala asignación de recursos
	Planes de contingencia	Paradas no controladas
	Redundancia parcial	Fallo total del sistema
<b>6. Actividades de Capacitación y Competencia</b>		
Reducen fallas por factor humano.		
	<b>Actividad</b>	<b>Falla Reducida</b>
<b>(ISO 55001 – Cláusula 7.2)</b>	Capacitación operativa periódica	Operación incorrecta
	Certificación del personal	Intervenciones defectuosas
	Lecciones aprendidas	Repetición de fallas
	Manuales accesibles	Improvisación

<b>7. Actividades de Gestión de la Información</b>		
Reducen fallas por decisiones sin datos.		
	<b>Actividad</b>	<b>Beneficio</b>
<b>(ISO 55001 – Cláusulas 7.5, 9.1)</b>	Registro histórico de fallas	Identificación de patrones
	KPIs de mantenimiento (MTBF, MTTR)	Mejora continua
	Análisis de tendencias	Prevención anticipada
	Auditorías internas	Detección de brechas
<b>8. Actividades de Mejora Continua</b>		
Reducen reincidencia de fallas.		
	<b>Actividad</b>	<b>Resultado</b>
<b>(ISO 55001 – Cláusula 10)</b>	Análisis de causa raíz (RCA)	Eliminación de fallas repetitivas
	Ajuste de planes preventivos	Mejor alineación al riesgo
	Modificaciones de diseño	Reducción estructural de fallas
	Revisión post-falla	Aprendizaje organizacional
<b>9. Actividades Específicas para el DAF YP-GQF40</b>		
	<b>Falla Detectada</b>	<b>Actividad ISO 55001 que la Reduce</b>
	Baja eficiencia de flotación	Limpieza y control de boquillas
	Fallas recurrentes de bomba	Predictivo + RCA
	Obstrucción del sistema de aire	Drenaje de condensados
	Sobrecarga eléctrica	Monitoreo de amperaje
	Paradas no planificadas	Repuestos críticos + contingencia

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

Estas actividades permiten anticipar fallas mediante el monitoreo sistemático de variables operativas críticas, tales como caudal, presión, vibración y consumo eléctrico; mitigar el impacto de eventos no deseados a través de una adecuada gestión de repuestos críticos y la implementación de planes de contingencia; y eliminar las causas raíz de fallas recurrentes mediante análisis técnico estructurado y procesos de mejora continua. Asimismo, garantizan la competencia del personal, la correcta ejecución de los procedimientos de operación y mantenimiento, y la trazabilidad documental necesaria para la toma de decisiones.

### **Frecuencias de mantenimiento**

Las frecuencias de mantenimiento definidas en la Tabla N° 26. Vinculación AMEF y RCM en el sistema DAF no han sido establecidas de manera empírica ni arbitraria. Estas frecuencias derivan del análisis sistemático de los modos de falla, su nivel de riesgo (NPR), la criticidad funcional de los equipos y el tipo de tarea RCM asociada.

**Tabla 40.** Frecuencias razonables

Justificación de Frecuencias Razonables según AMEF-RCM								
N°	Activo Crítico	CÓDIGO	NPR	Nivel de Riesgo	Modo de Falla	Tipo de Tarea RCM	Frecuencia Definida	Justificación de Frecuencia Razonable
1°	Bomba de lodos	P1-TE-DF01-MBL01	140	Alto	Impulsor saturado por sólidos	Preventivo	Diario	Falla de ocurrencia frecuente, progresiva y altamente dependiente de la carga de sólidos; impacto directo en continuidad del proceso. Frecuencia diaria reduce taponamientos y paradas no programadas.
2	Bomba de recirculación DAF	P1-TE-DF01-MBR01	192	Crítico	Sello mecánico averiado	Preventivo + Predictivo	Semanal	Falla de alta severidad y NPR crítico; el monitoreo frecuente permite detectar desgaste antes de falla catastrófica. Frecuencia semanal equilibra riesgo y recursos.
3	Bomba de aguas residuales	P1-TE-DF01-MBA01	90	Medio	Obstrucción de filtros	Preventivo	Mensual	Falla de evolución lenta y fácilmente detectable; la frecuencia mensual es suficiente para controlar el riesgo sin sobre - mantener el activo.
4	Bomba de dosificación química	P1-TE-DF01-MDQ01	140	Alto	Obstrucción / cristalización	Preventivo + Detectivo	Semanal	La cristalización depende del régimen de operación y calidad química; frecuencia semanal previene desviaciones de dosificación y pérdida de eficiencia del DAF.
5	Motorreductor skimmer	P1-TE-DF01-MMR01	72	Medio	Falta de lubricación	Preventivo	Semanal	Falla típica por desgaste progresivo; la lubricación semanal mantiene confiabilidad sin incrementar costos innecesarios.
6	Motorreductores agitadores DAF	P1-TE-DF01-MMR02	84	Medio	Vibración / desalineación	Predictivo +Preventivo	Mensual / Semanal	La combinación de tareas responde a una falla detectable por condición; frecuencias diferenciadas permiten anticipar daño sin intervención excesiva.

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

Con esta información, dichas frecuencias han sido posteriormente validadas mediante una matriz de justificación de frecuencias razonables, que nos permitirá verificar su coherencia con el riesgo identificado, la detectabilidad de las fallas y las condiciones reales de operación del sistema DAF.

### Mantenimiento conforme a los indicadores de MTBF, MTTR y disponibilidad.

ISO 55001 en la aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), así como el análisis previo de criticidad AMEF y a la evaluación de los indicadores de desempeño (MTTR, MTBF y Disponibilidad), nos permite establecer intervenciones técnicas con el comportamiento real de los activos.

**Tabla 41.** Propuesta plan de mantenimiento Bomba de Recirculación DAF (Equipo Crítico)

Nº	Componente	Actividad de mantenimiento	Materiales	Herramientas	Periodo	Responsable	Tiempo ejecución (h)
1	Sello mecánico	Inspección de fugas y vibración	Kit sello mecánico	Llaves, calibrador, reloj comparador	Mensual	Técnico MTTO	1
2	Rodamientos	Verificación de temperatura y ruido	Grasa industrial	Pistola de engrase	Mensual	Técnico MTTO	0.5
3	Impulsor	Limpieza por sólidos adheridos	Juego de llaves hexagonales	Llaves, cepillos	Trimestral	Técnico MTTO	1.5
4	Acoplamiento	Revisión de alineación	Juego de llaves mixtas	Alineador, galgas	Semestral	Técnico MTTO	1

**RCM:** Preventivo + Predictivo

**Impacto:** Reduce MTTR y evita paradas por fugas y vibraciones.

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

**Tabla 42.** Propuesta plan de mantenimiento Bomba de Lodos

Nº	Componente	Actividad	Materiales	Herramientas	Periodo	Responsable	Tiempo (h)
1	Impulsor	Inspección por desgaste/obstrucción	Impulsor repuesto	Llaves, extractor	Trimestral	Técnico MTTO	2
2	Motor eléctrico	Medición de corriente y voltaje del motor / detectar sobrecarga, desbalance o consumo anómalo	juego de destornilladores	desarmadores, cinta aislante, multímetro, pinza amperimétrica	semestral	Técnico MTTO eléctrico	0.5
3	Sello mecánico	Inspección de fugas	Kit sello	Llaves	Mensual	Técnico MTTO	1
4	Rodamientos	Engrase y verificación	Grasa EP	Pistola de engrase	Mensual	Técnico MTTO	0.5

5	Carcasa	Limpieza interna	Thineer/guaipe	Hidro lavadora	Trimestral	Técnico MTTO	1.5
---	---------	------------------	----------------	----------------	------------	--------------	-----

**RCM:** Preventivo

**Impacto:** Evita reboses del DAF (riesgo ambiental).

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

**Tabla 43.** Propuesta plan de mantenimiento Sistema de Dosificación Química

N°	Componente	Actividad	Materiales	Herramientas	Periodo	Responsable	Tiempo (h)
1	Línea/Tubing	Limpieza por cristalización	Solvente químico/compresor	Llaves, aire	Mensual	Técnico MTTO	1
2	Diafragma	Inspección por desgaste	Diafragma repuesto	Llaves	Trimestral	Técnico MTTO	1.5
3	Válvulas	Revisión de cierre	Kit válvulas	Llaves	Trimestral	Técnico MTTO	1
4	Conexiones	Revisión de fugas	Gaskets	Llaves	Mensual	Técnico MTTO	0.5

**RCM:** Preventivo

**Impacto:** Mejora eficiencia química mejora desempeño global del DAF.

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

**Tabla 44.** Propuesta plan de mantenimiento Motor Reductor Skimmer

N°	Componente	Actividad	Materiales	Herramientas	Periodo	Responsable	Tiempo (h)
1	Engranajes	Verificación nivel lubricante	Aceite ISO VG	Llaves	Mensual	Técnico MTTO	0.5
2	Acoplamiento Lovejoy	Inspección desgaste	Inserto Lovejoy	Llaves	Trimestral	Técnico MTTO	0.5
3	Motor y borneras	Inspección de cables, prensaestopas y protecciones	cinta aislante industrial, terminales	juego destornilladores, alicate universal, alicate de corte	Trimestral	Técnico MTTO eléctrico	0.5
4	Rodamientos	Verificación ruido/vibración	Grasa	Pistola	Mensual	Técnico MTTO	0.5
5	Ejes	Alineación	—	Alineador	Semestral	Técnico MTTO	1

**RCM:** Preventivo

**Impacto:** Reduce fallas repetitivas y paradas del skimmer.

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

**Tabla 45.** Propuesta plan de mantenimiento Bomba de aguas residuales

N°	Componente	Actividad	Materiales	Herramientas	Periodo	Responsable	Tiempo (h)
1	Succión	Limpieza por sólidos	—	Llaves	Mensual	Técnico MTTO	1
2	Sello mecánico	Inspección de fugas	Kit sello	Llaves	Mensual	Técnico MTTO	1
3	Rodamientos	Engrase	Grasa EP	Pistola	Mensual	Técnico MTTO	0.5
4	Motor	Inspección humedad	—	Multímetro	Trimestral	Técnico MTTO	0.5

**RCM:** Preventivo

**Impacto:** Evita paradas no programadas y daños eléctricos.

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

**Tabla 46.** Propuesta plan de mantenimiento Motor Reductor Agitador DAF

N°	Componente	Actividad	Materiales	Herramientas	Periodo	Responsable	Tiempo (h)
1	Rodamientos	Inspección y engrasado	Grasa	Pistola	Mensual	Técnico MTTO	0.5
2	Motor y borneras	Inspección y ajuste de borneras eléctricas / Verificación de apriete, sulfatación, sobrecalentamiento y conexiones flojas	terminales eléctricos, cinta aislante	juego de destornilladores, alicates de corte punta larga	Trimestral	Técnico MTTO eléctrico	0.5
3	Acoplamiento	Revisión desgaste	Lovejoy	Llaves hexagonales	Trimestral	Técnico MTTO	0.5
4	Retenedores	Inspección fugas	Retenedor	Llaves mixtas	Trimestral	Técnico MTTO	1

**RCM:** Preventivo

**Impacto:** Mantiene estabilidad del proceso químico.

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

### **Determinación de las frecuencias de mantenimiento basadas en AMEF, RCM y confiabilidad**

Las frecuencias de mantenimiento preventivo establecidas en el presente estudio fueron determinadas mediante la integración metodológica del Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF), la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) y los indicadores de ingeniería de confiabilidad, particularmente el tiempo medio entre fallas (MTBF). Este enfoque permite definir intervalos de intervención técnicamente justificados, considerando tanto la criticidad del activo como su comportamiento real de falla (Alamri & Mo, 2022).

En primera instancia, el AMEF permitió identificar los modos de falla de los equipos críticos del sistema DAF, determinándose el Número de Prioridad de Riesgo (NPR) a partir de la evaluación de la severidad, ocurrencia y detectabilidad (Afdal & Linarti, 2023). Con base en estos resultados, los activos fueron clasificados según su nivel de riesgo, constituyendo el criterio inicial para la selección de estrategias de mantenimiento bajo el enfoque RCM.

Posteriormente, la metodología RCM permitió definir el tipo de tarea más adecuada para cada modo de falla (preventiva, predictiva o detectiva), considerando el impacto sobre la

continuidad operativa, la seguridad y el riesgo ambiental. Estas tareas constituyen la base del programa de mantenimiento propuesto.

### **Criterio de determinación de intervalos de mantenimiento**

Para la definición de los intervalos de mantenimiento preventivo, se adoptó un criterio de confiabilidad basado en el tiempo medio entre fallas (MTBF), ampliamente utilizado en ingeniería de mantenimiento (Alfionita & Alifin, 2023). En el presente estudio se adopta el siguiente criterio de confiabilidad:

$$T_{pm} = 0.5 \times \text{MTBF}$$

Ecuación 5: Intervalos de Mantenimiento

**Donde**  $T_{pm}$  corresponde al intervalo de mantenimiento preventivo

**MTBF** representa el tiempo medio entre fallas del equipo.

Este criterio implica que la intervención se realiza aproximadamente a la mitad del tiempo promedio en que ocurre una falla, permitiendo reducir la probabilidad de fallas no programadas y mejorar la disponibilidad del sistema.

### **Justificación técnica del criterio adoptado**

Si bien la literatura establece que para equipos altamente críticos puede emplearse un criterio más conservador de  $0.25 \times \text{MTBF}$ , en el presente estudio se ha optado por aplicar de manera uniforme el criterio  $0.5 \times \text{MTBF}$  para todos los equipos del sistema DAF, con base en las siguientes consideraciones técnicas:

- ✓ Los equipos presentan valores de MTTR bajos (2–4 horas), lo que evidencia una alta capacidad de recuperación ante fallas.
- ✓ La disponibilidad operativa es superior al 98 %, indicando un desempeño estable del sistema.

- ✓ La aplicación de un criterio más conservador incrementaría la frecuencia de intervenciones, generando sobre mantenimiento, mayores costos operativos y posibles interferencias en la operación.
- ✓ Se prioriza un equilibrio entre confiabilidad, mantenibilidad y costos.

En este sentido, el criterio adoptado se considera técnicamente adecuado para garantizar la continuidad operativa y optimizar los recursos de mantenimiento.

**Tabla 47.** Fracciones del MTBF dependiendo de la criticidad del equipo:

Criterio	Aplicación
$0.25 \times \text{MTBF}$	equipos críticos
$0.5 \times \text{MTBF}$	equipos importantes
$0.75 \times \text{MTBF}$	equipos menos críticos

**Fuente:**(Alfionita & Alifin, 2023)

### Conversión a frecuencias operativas

Los intervalos obtenidos mediante el cálculo de  $T_{pm}$  fueron ajustados a frecuencias operativas estándar, con el fin de facilitar su planificación dentro del sistema productivo (Moubray, 1997).

**Tabla 48.** Frecuencias operativas

Resultado $T_{pm}$	Frecuencia aplicada
7 días	semanal
15 días	quincenal
30 días	mensual
90 días	trimestral

**Fuente:** (Moubray, 1997)

### Aplicación del criterio a los equipos del sistema DAF

**Tabla 49.** Determinación de las frecuencias de mantenimiento a partir del MTBF y NPR (AMEF–RCM)

Equipo de estudio / criticidad	NPR (AMEF)	Nivel riesgo	de MTBF estimado (días)	$0.5 \times \text{MTBF}$ (Tpm)	Frecuencia aplicada
Bomba de lodos	140	Alto	2	1	Diario
Bomba de recirculación DAF	192	Crítico	14	7	Semanal
Bomba de aguas residuales	90	Medio	60	30	Mensual
Sistema de dosificación química	140	Alto	14	7	Semanal
Motorreductor skimmer	72	Medio	60	30	Mensual
Motorreductores agitadores DAF	84	Medio	60	30	Mensual

**Fuente:** Elaboración propia a partir del análisis AMEF–RCM Lasluisa, Guillermo (2026)

Los valores de MTBF han sido expresados en horas y posteriormente convertidos a días para su aplicación en la planificación del mantenimiento.

### **Vinculación cuantitativa entre MTBF y frecuencias de mantenimiento**

Con el fin de evidenciar la relación directa entre los indicadores de confiabilidad y las frecuencias de mantenimiento definidas, se presenta la correspondencia entre el MTBF calculado para los equipos críticos y el intervalo de mantenimiento preventivo obtenido mediante el criterio adoptado:

Para la bomba de recirculación:

$MTBF \approx 308 \text{ h} \rightarrow T_{pm} \approx 154 \text{ h} \approx 7 \text{ días} \rightarrow$  Frecuencia semanal.

Para la bomba de lodos:

$MTBF \approx 360 \text{ h} \rightarrow T_{pm} \approx 180 \text{ h} \approx 7-8 \text{ días} \rightarrow$  Ajustado a inspección operativa diaria y mantenimiento técnico periódico.

Para el sistema de dosificación química:

$MTBF \approx 432 \text{ h} \rightarrow T_{pm} \approx 216 \text{ h} \approx 9 \text{ días} \rightarrow$  Frecuencia semanal

Para la bomba de aguas residuales:

$MTBF \approx 240 \text{ h} \rightarrow T_{pm} \approx 120 \text{ h} \approx 5 \text{ días} \rightarrow$  Ajustado a frecuencia mensual según criticidad y comportamiento operativo.

Estos resultados demuestran que las frecuencias de mantenimiento no se establecen de forma arbitraria, sino que derivan directamente del análisis de confiabilidad, siendo posteriormente ajustadas a las condiciones reales de operación del sistema.

### **Criterio metodológico global**

Con el propósito de garantizar la coherencia metodológica del presente estudio, las frecuencias de mantenimiento establecidas a lo largo del documento han sido definidas a partir de un criterio unificado de confiabilidad basado en el MTBF.

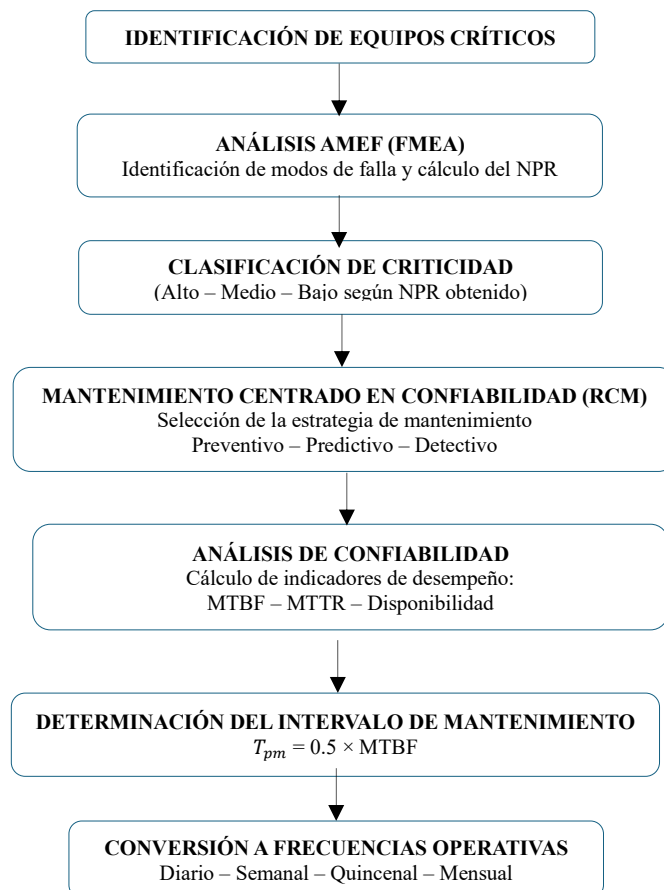
Este criterio ha sido aplicado de manera consistente en todas las tablas del plan de mantenimiento, independientemente del equipo analizado, asegurando uniformidad en la definición de los intervalos de intervención y evitando la asignación empírica de frecuencias. Asimismo, en aquellos casos donde coexisten diferentes frecuencias para un mismo equipo, estas corresponden a distintos niveles de intervención:

**Alta frecuencia (diaria/semanal):** inspecciones operativas y control de condición

**Frecuencia media (mensual/trimestral):** mantenimiento técnico programado

Esta diferenciación es consistente con el enfoque del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), garantizando una gestión integral del mantenimiento.

#### Diagrama metodológico: Integración AMEF – RCM – Confiabilidad



**Gráfico 31.** Intervalos y frecuencias de mantenimiento  
**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

## Procedimientos estándar

Con el fin de evitar redundancias y mantener la claridad del documento, se desarrollaron procedimientos estándar representativos para las tareas de mantenimiento preventivo más críticas del sistema DAF.

Las restantes tareas definidas en el plan de mantenimiento se ejecutan siguiendo la misma estructura metodológica de los procedimientos presentados, variando únicamente los materiales, herramientas o condiciones particulares de cada equipo.

Esta estrategia asegura la estandarización de la ejecución, el cumplimiento de la Norma ISO 55001 y la replicabilidad del mantenimiento sin necesidad de duplicar información.

**Tabla 50.** Procedimiento estándar para mantenimiento preventivo Bomba de recirculación del sistema DAF

Ítem	Descripción
Código del procedimiento	PE-MP-DAF-BR-01
Nombre del procedimiento	Inspección de sello mecánico en bomba de recirculación DAF
Equipo / Activo	Bomba de recirculación del sistema DAF
Objetivo	Detectar oportunamente fugas, vibraciones anómalas o desgaste del sello mecánico para prevenir pérdida de presión, ingreso de aire no controlado y fallas mayores del equipo
Frecuencia	Mensual
Responsable	Técnico de Mantenimiento Mecánico
Materiales requeridos	Kit de sello mecánico (si aplica)
Herramientas requeridas	Llaves manuales, calibrador, reloj comparador
Condiciones de seguridad	Aplicar procedimiento LOTO, asegurar parada del equipo, liberar presión del sistema, uso obligatorio de EPP
Descripción del procedimiento	1) Detener y aislar la bomba. 2) Verificar ausencia de presión. 3) Inspeccionar visualmente presencia de fugas en el área del sello. 4) Verificar vibraciones y posible desalineación con reloj comparador. 5) Evaluar condición del sello. 6) Registrar hallazgos. 7) Programar reemplazo si se detecta desgaste o fuga
Criterios de aceptación / rechazo	Aceptable: ausencia de fugas y vibraciones dentro de rango normal. No aceptable: fuga continua, vibración excesiva o daño visible del sello
Tiempo estimado de ejecución	1 hora
Registro	Orden de trabajo, checklist de mantenimiento preventivo, historial del equipo

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

**Tabla 51.** Procedimiento estándar para mantenimiento preventivo Bomba de lodos del sistema DAF

Ítem	Descripción
Código del procedimiento	PE-MP-DAF-BL-01
Nombre del procedimiento	Inspección y mantenimiento del impulsor con desmontaje
Equipo / Activo	Bomba de lodos del sistema DAF
Objetivo	Verificar el estado del impulsor para detectar desgaste, incrustaciones u obstrucciones por sólidos, a fin de prevenir pérdida de caudal, vibraciones y fallas mecánicas del equipo
Frecuencia	Trimestral
Responsable	Técnico de Mantenimiento Mecánico
Materiales requeridos	Impulsor de repuesto (si aplica), paños de limpieza
Herramientas requeridas	Llaves manuales, extractor mecánico
Condiciones de seguridad	Aplicar bloqueo y etiquetado (LOTO), verificar ausencia de energía eléctrica e hidráulica, uso obligatorio de EPP
Descripción del procedimiento	1) Detener y aislar la bomba. 2) Drenar la carcasa. 3) Desmontar la tapa o carcasa según diseño. 4) Retirar el impulsor utilizando extractor. 5) Inspeccionar desgaste, fisuras u obstrucciones. 6) Limpiar o reemplazar impulsor si corresponde. 7) Reinstalar componentes y ajustar. 8) Retirar bloqueo y poner en servicio
Criterios de aceptación / rechazo	Aceptable: impulsor limpio y sin desgaste excesivo. No aceptable: paletas erosionadas, fisuras u obstrucciones severas
Tiempo estimado de ejecución	2 horas
Registro	Checklist de mantenimiento preventivo / historial de la bomba de lodos

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

**Tabla 52.** Procedimiento estándar para mantenimiento preventivo sistema de dosificación química del sistema DAF

Ítem	Descripción
Código del procedimiento	PE-MP-DAF-DQ-01
Nombre del procedimiento	Limpieza de líneas y tubing del sistema de dosificación química
Equipo / Activo	Sistema de dosificación química del sistema DAF
Objetivo	Eliminar cristalización y depósitos químicos en las líneas de dosificación para asegurar un caudal adecuado, evitar obstrucciones y garantizar la correcta dosificación de reactivos
Frecuencia	Mensual
Responsable	Técnico de Mantenimiento
Materiales requeridos	Solvente químico compatible con el reactivo dosificado
Herramientas requeridas	Llaves manuales, compresor de aire
Condiciones de seguridad	Aplicar bloqueo y etiquetado (LOTO), uso obligatorio de EPP químico (guantes, lentes, protección facial), verificar ficha de seguridad (MSDS) del producto
Descripción del procedimiento	1) Detener y aislar el sistema de dosificación. 2) Drenar el reactivo residual de la línea. 3) Desmontar el tramo de tubing si aplica. 4) Aplicar solvente químico para disolver cristalización. 5) Sopletear con aire comprimido para limpieza interna. 6) Reinstalar líneas y conexiones. 7) Verificar estanqueidad. 8) Poner el sistema en servicio
Criterios de aceptación / rechazo	Aceptable: línea libre de obstrucciones y caudal normal. No aceptable: persistencia de obstrucción, fugas o dosificación irregular
Tiempo estimado de ejecución	1 hora
Registro	Checklist de mantenimiento preventivo / registro del sistema de dosificación

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

**Tabla 53.** Procedimiento estándar para mantenimiento preventivo Motor reductor del sistema DAF

<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>
Código del procedimiento	PE-MP-DAF-MRS-01
Nombre del procedimiento	Verificación del nivel de lubricante en engranajes del motor reductor skimmer
Equipo / Activo	Motor reductor del sistema skimmer del DAF
Objetivo	Verificar y asegurar el nivel adecuado de lubricante en los engranajes del motor reductor del skimmer, con el fin de prevenir desgaste prematuro, sobrecalentamiento y fallas mecánicas del sistema
Frecuencia	Mensual
Responsable	Técnico de Mantenimiento Mecánico
Materiales requeridos	Aceite lubricante ISO VG según especificación del fabricante
Herramientas requeridas	Llaves manuales
Condiciones de seguridad	Aplicar procedimiento de bloqueo y etiquetado (LOTO), verificar ausencia de energía eléctrica y mecánica, uso obligatorio de EPP
Descripción del procedimiento	1) Detener y bloquear el equipo. 2) Limpiar el área del visor o tapón de nivel. 3) Verificar visualmente el nivel de lubricante. 4) Completar aceite si el nivel está bajo el mínimo permitido. 5) Verificar ausencia de fugas. 6) Limpiar excedentes y cerrar tapones. 7) Retirar bloqueo y poner en servicio
Criterios de aceptación / rechazo	Aceptable: nivel de aceite dentro del rango recomendado y sin fugas. No aceptable: nivel bajo, contaminación del aceite o presencia de fugas
Tiempo estimado de ejecución	0,5 horas
Registro	Checklist de mantenimiento preventivo / historial del motor reductor skimmer

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

**Tabla 54.** Procedimiento estándar para mantenimiento preventivo Bomba de aguas residuales.

<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>
Código del procedimiento	PE-MP-DAF-BAR-01
Nombre del procedimiento	Limpieza de succión de bomba de aguas residuales
Equipo / Activo	Bomba de aguas residuales del sistema DAF
Objetivo	Eliminar sólidos acumulados en la zona de succión para evitar obstrucciones, pérdida de caudal y sobrecarga del equipo
Frecuencia	Mensual
Responsable	Técnico de Mantenimiento Mecánico
Materiales requeridos	No aplica
Herramientas requeridas	Llaves manuales
Condiciones de seguridad	Aplicar bloqueo y etiquetado (LOTO), verificar ausencia de energía eléctrica e hidráulica, uso obligatorio de EPP
Descripción del procedimiento	1) Detener y bloquear la bomba. 2) Drenar la línea si aplica. 3) Desmontar brida o tapa de succión. 4) Retirar sólidos acumulados. 5) Limpiar superficies de contacto. 6) Reinstalar componentes y ajustar. 7) Retirar bloqueo y poner en servicio
Criterios de aceptación / rechazo	Aceptable: succión libre de sólidos y caudal normal. No aceptable: presencia de obstrucciones, fugas o vibraciones
Tiempo estimado de ejecución	1 hora
Registro	Checklist de mantenimiento preventivo / historial del activo

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

**Tabla 55.** Procedimiento estándar para mantenimiento preventivo Motor reductor del agitador del sistema DAF

Ítem	Descripción
Código del procedimiento	PE-MP-DAF-AG-01
Nombre del procedimiento	Inspección y engrase de rodamientos del motor reductor agitador DAF
Equipo / Activo	Motor reductor del agitador del sistema DAF
Objetivo	Garantizar la correcta lubricación y condición operativa de los rodamientos para prevenir fallas mecánicas y pérdida de confiabilidad
Frecuencia	Mensual
Responsable	Técnico de Mantenimiento Mecánico
Materiales requeridos	Grasa lubricante industrial, paños de limpieza
Herramientas requeridas	Pistola de engrase, llaves manuales
Condiciones de seguridad	Aplicar LOTO, verificar ausencia de energía, uso de EPP
Descripción del procedimiento	1) Bloquear el equipo. 2) Limpiar punto de engrase. 3) Aplicar grasa. 4) Inspeccionar ruidos/vibraciones. 5) Limpiar excedentes
Criterios de aceptación / rechazo	Aceptable: sin ruidos ni vibraciones. No aceptable: ruido, vibración o fuga
Tiempo estimado de ejecución	0,5 horas
Registro	Checklist de mantenimiento preventivo / historial del activo

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

### Análisis del ciclo de vida del activo

El análisis del ciclo de vida del activo se utiliza como una herramienta de apoyo para la gestión del mantenimiento, permitiendo identificar la etapa operativa en la que se encuentran los equipos DAF y definir estrategias acordes a su nivel de desgaste y comportamiento de fallas.

**Tabla 56.** Ciclo de Vida del Activo aplicado al Sistema DAF

Análisis del Ciclo de Vida del Activo aplicado al Sistema DAF			
Etapa del ciclo de vida	Características técnicas del activo	Indicadores predominantes	Interpretación
<b>Puesta en marcha</b>	Ajustes iniciales, fallas menores de instalación o calibración	MTTR alto, MTBF bajo	Fase transitoria; fallas tempranas corregibles
<b>Operación estable</b>	Funcionamiento continuo, fallas controladas	MTBF alto, MTTR bajo, alta disponibilidad	Etapa óptima; mantenimiento preventivo/predictivo efectivo
<b>Operación madura</b>	Desgaste progresivo de componentes mecánicos y eléctricos	MTBF moderado, MTTR estable	Requiere RCM y AMEF para priorizar fallas
<b>Envejecimiento</b>	Incremento de fallas repetitivas y tiempos de parada	MTBF bajo, MTTR alto, disponibilidad decreciente	Evaluación de reemplazo o rehabilitación
<b>Fin de vida útil</b>	Costos de mantenimiento elevados, riesgo operativo	Baja disponibilidad	Decisión técnica de retiro del activo

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

Mientras que valores de MTTR bajos reflejan una adecuada capacidad de respuesta del área de mantenimiento. La alta disponibilidad obtenida evidencia que, a pesar de la

presencia de fallas, el sistema mantiene un nivel de desempeño aceptable para la operación.

### **Mejora continua según la Norma ISO 55001**

Acorde al gráfico 32, acerca de la mejora continua, la norma ISO 55001 establece que las organizaciones deben implementar procesos sistemáticos para la mejora continua, dicha norma se articula mediante el ciclo PHVA (Planificar/Hacer/Verificar/Actuar), el cual permite estructurar de manera ordenada la planificación del mantenimiento, la ejecución de las actividades, la evaluación de los resultados y la implementación de acciones de mejora.

### **Objetivo del Plan de Mejora Continua del DAF**

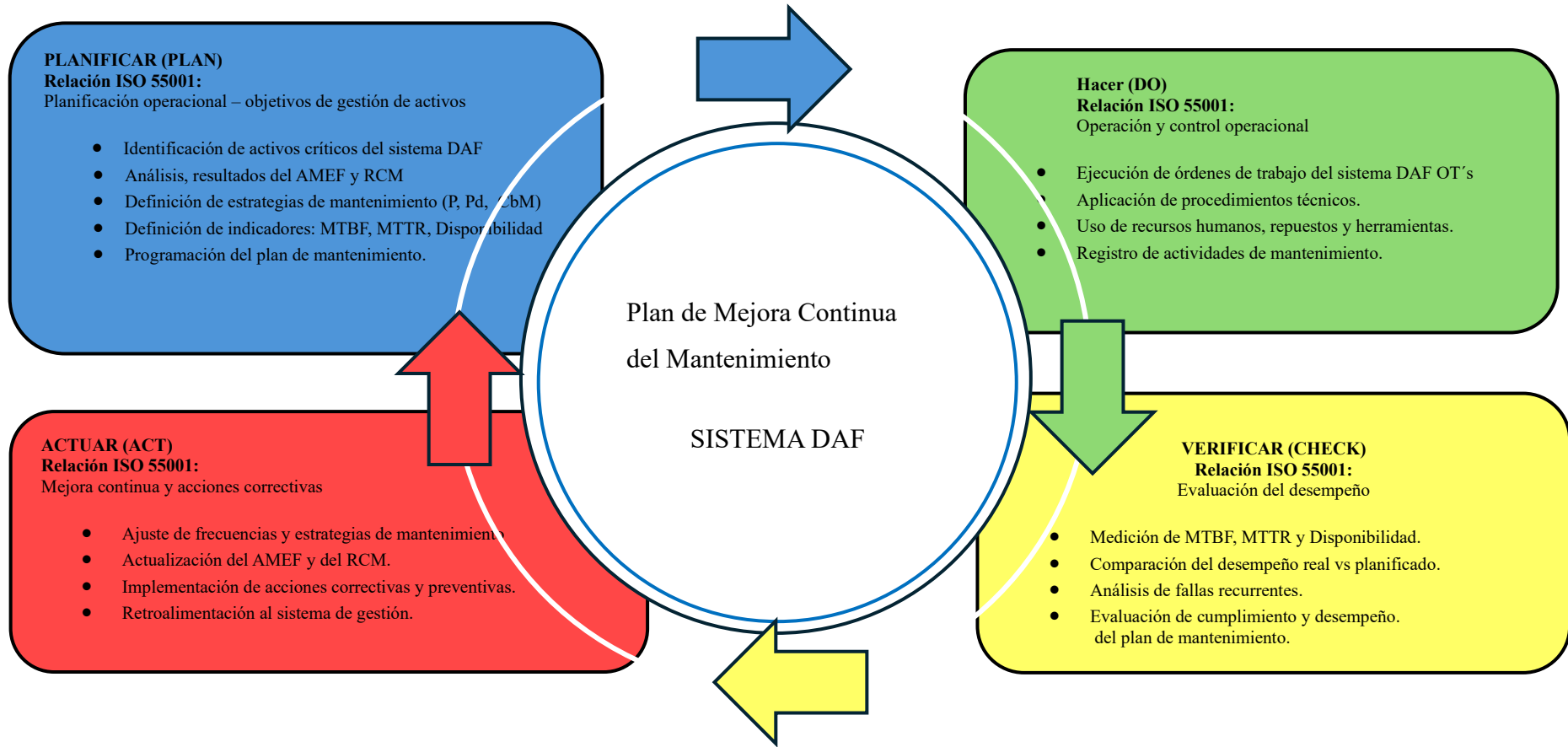
#### **Introducción**

El Plan de Mejora Continua del Sistema DAF se concibe como un mecanismo estructurado y sistemático orientado a asegurar la optimización sostenida del desempeño operativo y de mantenimiento de los equipos críticos. Este plan permite cerrar el ciclo de gestión del mantenimiento, integrando los resultados del análisis de indicadores, el enfoque del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) y la retroalimentación operacional, con el fin de garantizar la confiabilidad, disponibilidad y continuidad del proceso productivo.

### **Objetivo General del Plan de Mejora Continua**

Significa establecer un plan sistemático de mejora continua que permita optimizar el desempeño del sistema DAF de la empresa INCUBANDINA S.A., mediante el seguimiento permanente de indicadores de gestión del mantenimiento, la reducción progresiva de fallas críticas y el fortalecimiento del proceso de toma de decisiones.

## Plan de Mejora Continua del Sistema de Mantenimiento del Sistema DAF



**Gráfico 32.** Ciclo de mejora continua  
 Elaborado por: Lasluisa, Guillermo (2026).

## **Objetivos Específicos del Plan de Mejora Continua**

Los objetivos específicos del Plan de Mejora Continua del sistema DAF se establecen en función de los resultados obtenidos del AMEF, del plan RCM y del análisis de indicadores, y se orientan a:

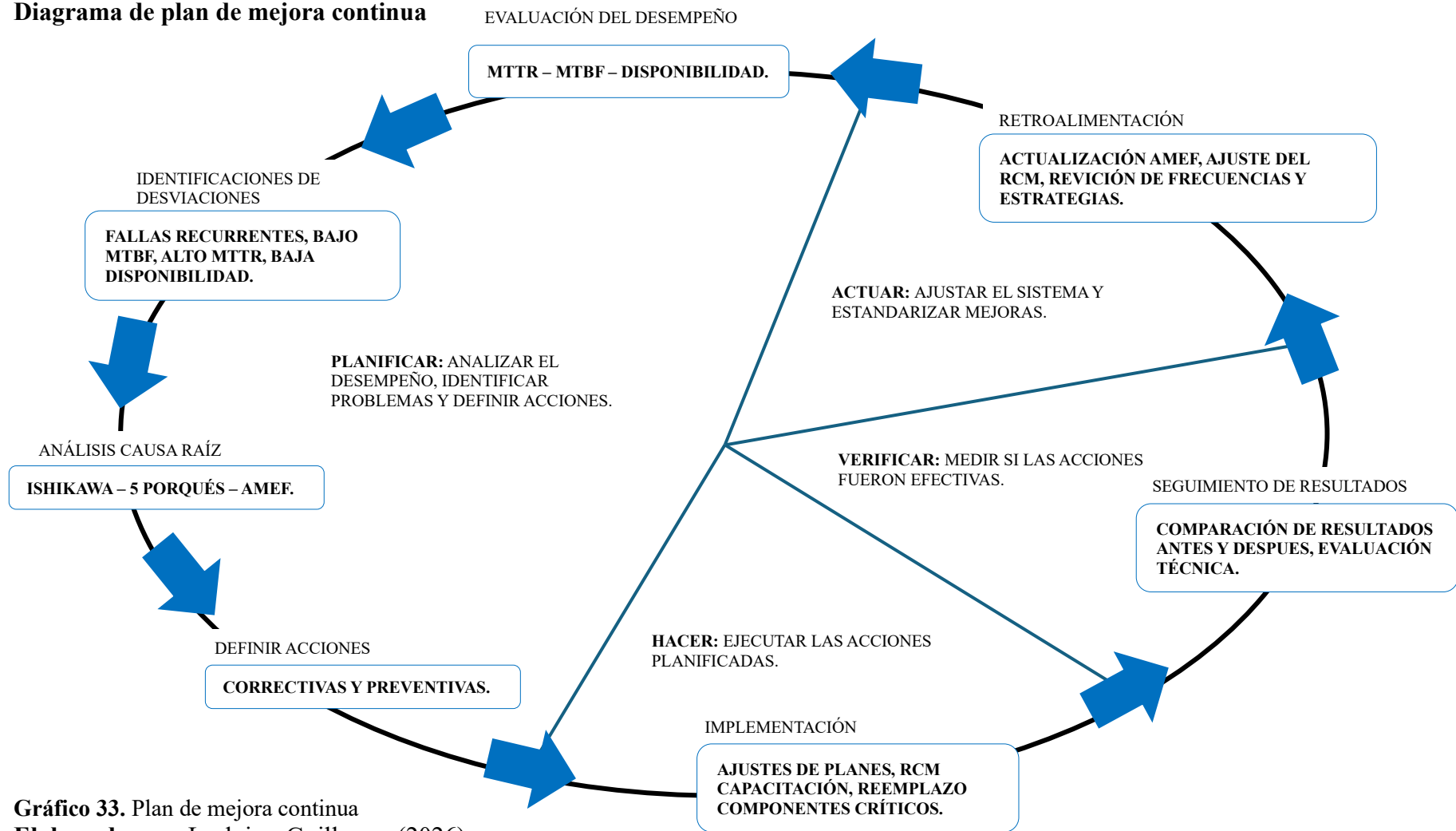
- Reducir el MTTR de los equipos críticos del sistema DAF, mediante la estandarización de procedimientos, la mejora en la planificación de intervenciones y la disponibilidad de repuestos críticos.
- Incrementar el MTBF del sistema DAF, a través de la aplicación efectiva de estrategias de mantenimiento preventivo, predictivo y basado en condición, orientadas a eliminar fallas repetitivas y modos de falla críticos.
- Aumentar la disponibilidad operativa del sistema DAF, asegurando la continuidad del proceso de flotación y evitando paradas no programadas que afecten la eficiencia del tratamiento de aguas residuales.

## **Elementos del Plan de Mejora Continua**

El Plan de Mejora Continua del sistema DAF se compone de los siguientes elementos fundamentales:

1. Evaluación permanente del desempeño (Indicadores MTTR, MTBF y Disponibilidad).
2. Identificación de desviaciones y fallas recurrentes.
3. Análisis de causas raíz.
4. Implementación de acciones correctivas y preventivas.
5. Seguimiento técnico de resultados.
6. Retroalimentación del sistema AMEF y del RCM.

### Diagrama de plan de mejora continua



**Gráfico 33.** Plan de mejora continua  
**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

## **Proceso de Gestión de No Conformidades y Acciones Correctivas**

El proceso de gestión de no conformidades y acciones correctivas permite la identificación, registro, análisis y tratamiento de desviaciones que afectan el desempeño, la confiabilidad y la disponibilidad de los equipos. Una no conformidad se entiende como el incumplimiento de un requisito establecido, ya sea técnico, operativo o normativo, el cual puede manifestarse en fallas recurrentes, desviaciones en parámetros de operación, incumplimiento de planes de mantenimiento o resultados inferiores a los esperados en los indicadores de desempeño.

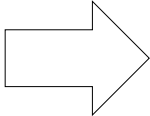
La gestión efectiva de estas no conformidades implica no solo su corrección inmediata, sino también el análisis de sus causas raíz mediante herramientas técnicas, con el fin de evitar su recurrencia. Esto permite transformar eventos correctivos en oportunidades de mejora, fortaleciendo la toma de decisiones y la optimización de las estrategias de mantenimiento.

Asimismo, este proceso se integra con los indicadores de gestión del mantenimiento, como el MTBF, la frecuencia de fallas y la disponibilidad, permitiendo evaluar el impacto de las acciones implementadas y su efectividad en el tiempo. De esta manera, la gestión de no conformidades no solo actúa como un mecanismo de control, sino como una herramienta estratégica dentro del sistema de gestión de mantenimiento.

### **Detección de la no conformidad ¿qué activa el proceso?**

La detección de la no conformidad se realiza a partir del monitoreo permanente del desempeño operativo del sistema DAF, mediante el análisis de indicadores de mantenimiento y la observación de eventos anómalos durante la operación. Se considera como no conformidad cualquier desviación que evidencie un deterioro del comportamiento esperado del sistema, tales como la recurrencia de fallas, el incremento del MTTR, la reducción del MTBF, la disminución de la eficiencia de separación o la ocurrencia de paradas no programadas. Estas condiciones indican una pérdida de control del proceso de mantenimiento y requieren una intervención técnica estructurada.

**Tabla 57.** Formato de registro de no conformidades activos del equipo DAF

Registro de No Conformidades y Acciones Correctivas del Sistema DAF									
Fecha		Tipo de No Conformidad		Tipo de Acción (C / P)					
Equipo / Código		Descripción de la No Conformidad							
Área									
Resultado de los indicadores	Indicador Afectado (MTR / MTBF / Disp.)	Valor del Indicador	Causa Presunta	Herramienta ACR Aplicada (Ishikawa / 5 Porqués / AMEF)	Causa Raíz Identificada	Acción Correctiva / Preventiva	Indicador Esperado	Resultado Posterior	¿Eficaz? (Sí / No)
									
Fecha de Implementación									
Responsable									
Observaciones									

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

El registro incluye información técnica relevante como la fecha de ocurrencia, el equipo afectado, el tipo de falla presentada, el tiempo de parada asociado y una causa presunta identificada durante la intervención inicial. Este registro constituye la base documental para el análisis de causa raíz y permite generar información histórica confiable para la toma de decisiones en la gestión del mantenimiento.

### **Análisis de Causa Raíz**

Tiene como objetivo identificar los factores técnicos, operativos y organizacionales que originan la no conformidad, evitando que las acciones se limiten a la corrección del síntoma (Norman David Yuseff et al., 2020). Para este análisis se emplean herramientas como el diagrama de Ishikawa, que permite clasificar las posibles causas por categorías; el análisis de los 5 Porqués.

### **Construcción del diagrama de Ishikawa**

Se ubica en el extremo derecho del diagrama e identifica claramente la falla o desviación del sistema DAF, por ejemplo: “Paradas no programadas del sistema DAF por falla en la bomba de recirculación”.

### **Identificación de categorías de causas:**

Las causas potenciales se agrupan en categorías estándar, adaptadas al contexto del mantenimiento industrial:

- a) **Métodos:** procedimientos de mantenimiento, frecuencia de inspecciones, planificación.
- b) **Máquinas:** estado mecánico de los equipos, desgaste de componentes, obsolescencia.
- c) **Mano de obra:** nivel de capacitación, experiencia técnica, asignación de roles.
- d) **Materiales:** calidad de repuestos, compatibilidad de componentes, lubricantes.
- e) **Medio ambiente:** condiciones de operación, carga orgánica del efluente, corrosión.
- f) **Medición:** ausencia de monitoreo, registros incompletos, falta de indicadores.

## **Integración del Plan de Mejora con los Indicadores MTTR, MTBF y**

### **Disponibilidad**

El seguimiento de la mejora continua se fundamenta en los indicadores definidos.

- La reducción del MTTR evidencia mejoras en la eficiencia del mantenimiento correctivo.
- El incremento del MTBF refleja un mayor nivel de confiabilidad del sistema.
- El aumento de la disponibilidad confirma la efectividad del sistema de gestión de mantenimiento.

Cada desviación significativa en estos indicadores activa automáticamente el ciclo de mejora.

### **Control Documental del Plan de Mejora Continua**

Toda acción de mejora será registrada en formatos técnicos de control, que incluyen:

- Registro de fallas del sistema DAF.
- Registro de acciones correctivas.
- Historial de mantenimiento.
- Reportes mensuales de indicadores técnicos.
- Plan anual de mejora del mantenimiento.

Este control documental garantiza la trazabilidad técnica del sistema de gestión, conforme la exigencia de la Norma ISO 55001.

### **Beneficios Técnicos de la Mejora Continua en el Sistema DAF**

La implementación del presente Plan de Mejora Continua permitirá:

- Reducción sostenida de fallas críticas.
- Mayor confiabilidad operativa del sistema DAF.
- Disminución de costos por mantenimiento no programado.
- Incremento de la eficiencia del proceso de flotación.
- Mayor cumplimiento normativo ambiental.
- Consolidación de un sistema de mantenimiento bajo estándares internacionales.

## Relación del Plan de Mejora Continua con la Norma ISO 55001

La Norma ISO 55001 establece un marco sistemático para la gestión eficiente de los activos físicos a lo largo de su ciclo de vida, orientado a maximizar el valor organizacional mediante la optimización del desempeño. Permite evaluar de manera permanente el cumplimiento de los objetivos estratégicos, identificar oportunidades de mejora y aplicar acciones correctivas y preventivas sustentadas en información técnica y económica.

**Tabla 58.** Plan de Mejora Continua vs Norma ISO 55001

Cláusula ISO 55001	Requisito de la norma	Vinculación con el Plan de Mejora Continua
4.4	Sistema de gestión de activos	Incorporación del Plan de Mejora Continua como parte integral del Sistema de Gestión de Activos (SGA)
6.2	Objetivos de gestión de activos	Revisión, actualización y alineación periódica de los objetivos técnicos y económicos
7.4	Comunicación	Comunicación sistemática de los resultados del desempeño de los activos y de las acciones de mejora
9.1	Seguimiento, medición, análisis y evaluación del desempeño	Monitoreo continuo del desempeño de los activos mediante indicadores clave de mantenimiento
9.2	Auditoría interna	Identificación de no conformidades, desviaciones y oportunidades de mejora del SGA
9.3	Revisión por la dirección	Evaluación del desempeño del SGA y toma de decisiones estratégicas basadas en los resultados del Plan de Mejora Continua
10.2	No conformidades y acciones correctivas	Definición e implementación de acciones correctivas y preventivas orientadas a la mejora del desempeño de los activos

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

### Porcentaje de mantenimiento preventivo vs. Correctivo

En concordancia con los lineamientos de la norma ISO 55001(cláusula 9), el cálculo del porcentaje de mantenimiento preventivo y correctivo se efectuó sobre un período anual, alineado al ciclo de planificación y control del sistema de gestión de activos. Esta definición permite evaluar de manera consistente el impacto de la estrategia de mantenimiento propuesta sobre la confiabilidad y disponibilidad de los equipos críticos del sistema DAF.

**Tabla 59.** Porcentaje de mantenimiento preventivo

<b>Cálculo de horas totales por actividad de equipos críticos</b>						
<b>Bomba de recirculación</b>						
<b>N°</b>	<b>Componente</b>	<b>Periodo de mantenimiento</b>	<b>Frecuencia anual</b>	<b>Tiempo por tarea (h)</b>	<b>N.º equipos</b>	<b>Horas anuales (h/año)</b>
1	Sello mecánico	Mensual	12	1	1	12
2	Rodamientos	Mensual	12	0.5	1	6
3	Impulsor	Trimestral	4	1.5	1	6
4	Acoplamiento	Semestral	2	1	1	2
<b>TOTAL</b>						<b>26</b>
<b>Bomba de lodos</b>						
<b>N°</b>	<b>Componente</b>	<b>Periodo de mantenimiento</b>	<b>Frecuencia anual</b>	<b>Tiempo por tarea (h)</b>	<b>N.º equipos</b>	<b>Horas anuales (h/año)</b>
1	Impulsor	Trimestral	4	2	1	8
2	Motor eléctrico	Semestral	2	0.5	1	1
3	Sello mecánico	Mensual	12	1	1	12
4	Rodamientos	Mensual	12	0.5	1	6
5	Carcasa	Trimestral	4	1.5	1	6
<b>TOTAL</b>						<b>33</b>
<b>Sistema de Dosificación Química</b>						
<b>N°</b>	<b>Componente</b>	<b>Periodo de mantenimiento</b>	<b>Frecuencia anual</b>	<b>Tiempo por tarea (h)</b>	<b>N.º equipos</b>	<b>Horas anuales (h/año)</b>
1	Línea / Tubing	Mensual	12	1	1	12
2	Diafragma	Trimestral	4	1.5	1	6
3	Válvulas	Trimestral	4	1	1	4
4	Conexiones	Mensual	12	0.5	1	6
<b>TOTAL</b>						<b>28</b>
<b>Motor Reductor Skimmer</b>						
<b>N°</b>	<b>Componente</b>	<b>Periodo de mantenimiento</b>	<b>Frecuencia anual</b>	<b>Tiempo por tarea (h)</b>	<b>N.º equipos</b>	<b>Horas anuales (h/año)</b>
1	Engranajes	Mensual	12	0.5	1	6
2	Acoplamiento Lovejoy	Trimestral	4	0.5	1	2
3	Motor y borneras	Trimestral	4	0.5	1	2
4	Rodamientos	Mensual	12	0.5	1	6
5	Ejes	Semestral	2	1	1	2
<b>TOTAL</b>						<b>18</b>
<b>Bomba de Aguas Residuales</b>						
<b>N°</b>	<b>Componente</b>	<b>Periodo de mantenimiento</b>	<b>Frecuencia anual</b>	<b>Tiempo por tarea (h)</b>	<b>N.º equipos</b>	<b>Horas anuales (h/año)</b>
1	Succión	Mensual	12	1	1	12
2	Sello mecánico	Mensual	12	1	1	12
3	Rodamientos	Mensual	12	0.5	1	6
4	Motor	Trimestral	4	0.5	1	2
<b>TOTAL</b>						<b>32</b>

<b>Motor Reductor Agitador DAF</b>						
<b>N°</b>	<b>Componente</b>	<b>Periodo de mantenimiento</b>	<b>Frecuencia anual</b>	<b>Tiempo por tarea (h)</b>	<b>N.º equipos</b>	<b>Horas anuales (h/año)</b>
1	Rodamientos	Mensual	12	0.5	1	6
2	Motor y borneras	Trimestral	4	0.5	1	2
3	Acoplamiento	Trimestral	4	0.5	1	2
4	Retenedores	Trimestral	4	1	1	4
					<b>TOTAL</b>	<b>14</b>
					<b>TOTAL</b>	<b>151</b>

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

La tabla permite cuantificar las horas anuales requeridas para la ejecución del mantenimiento preventivo de los equipos críticos del sistema DAF, para la planificación de recursos, asignación de personal y evaluación de costos del sistema propuesto.

Total, anual de horas de mantenimiento preventivo para equipos críticos del sistema DAF: 151 h/año.

### **Análisis comparativo entre el mantenimiento correctivo histórico y el mantenimiento preventivo propuesto**

Durante el período 2025 se registraron 103 horas de mantenimiento correctivo en equipos críticos en el sistema DAF, las cuales estuvieron asociadas a fallas no planificadas que requirieron intervenciones reactivas, consumo de repuestos críticos y utilización de mano de obra bajo condiciones de emergencia. Estas horas representan la línea base operativa del comportamiento histórico del sistema.

A partir de esta situación inicial, se aplicaron de manera estructurada las metodologías AMEF (Análisis de Modos y Efectos de Falla), NPR (Número de Prioridad de Riesgo) y RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad), con el objetivo de identificar los modos de falla de mayor criticidad, evaluar su impacto operativo y definir políticas de mantenimiento orientadas a la prevención de los equipos adquiridos. Como resultado de este análisis, se estableció un conjunto de tareas de mantenimiento preventivo planificado, cuya ejecución anual representa una carga estimada de 151 horas de mantenimiento preventivo.

Es importante señalar que las horas de mantenimiento preventivo no son directamente comparables con las horas de mantenimiento correctivo histórico, debido a que responden a naturalezas operativas distintas. Mientras el mantenimiento correctivo es de carácter reactivo y no planificado, el mantenimiento preventivo propuesto se basa en criterios técnicos de confiabilidad, criticidad y gestión del riesgo, permitiendo una planificación anticipada de recursos, tiempos y repuestos.

La ejecución sistemática de las tareas preventivas definidas mediante AMEF y RCM tiene como finalidad reducir la probabilidad de ocurrencia de fallas críticas, atacar las causas raíz identificadas y mejorar el desempeño operativo del sistema. En este sentido, el mantenimiento preventivo actúa como una estrategia de mitigación de fallas, cuyo efecto esperado es una disminución progresiva de las intervenciones correctivas no planificadas, así como de los costos asociados a estas.

Bajo un escenario conservador, se estima que la aplicación del plan de mantenimiento preventivo permitirá una reducción parcial del mantenimiento correctivo, especialmente en aquellos componentes clasificados con criticidad alta, según los resultados del análisis AMEF y NPR. Esta reducción no implica la eliminación total del mantenimiento correctivo, sino una redistribución de las horas de trabajo, priorizando actividades planificadas que incrementan la confiabilidad del sistema y reducen la recurrencia de fallas imprevistas.

En consecuencia, el análisis no se centra en una comparación directa de horas, sino en la evaluación del impacto técnico y económico de la gestión de mantenimiento propuesta. La transición desde un esquema predominantemente reactivo hacia uno preventivo basado en confiabilidad permite mejorar el control operativo, optimizar el uso de la mano de obra disponible y disminuir los costos derivados de fallas no planificadas, contribuyendo así a una gestión de mantenimiento más eficiente y sostenible.

Los indicadores MTTR y MTBF se emplean como métricas de confiabilidad, ya que permiten caracterizar el comportamiento de los equipos frente a las fallas, cuantificando tanto la frecuencia de ocurrencia como el tiempo promedio de recuperación. A partir de

estos indicadores se estiman las horas anuales de mantenimiento correctivo asociadas a fallas no planificadas.

Por otro lado, el porcentaje de mantenimiento preventivo respecto al correctivo representa un indicador de gestión, ya que evalúa la distribución de los recursos de mantenimiento entre actividades planificadas y no planificadas, reflejando el nivel de control operativo y la madurez de la estrategia de mantenimiento adoptada, conforme a los lineamientos de la norma ISO 55001.

**Total, de horas de mantenimiento:**

$$151 + 103 = 254 \text{ h/año}$$

**Porcentaje preventivo:**

$$\% \text{Preventivo} = \frac{151}{254} \times 100 = \mathbf{59.4\%}$$

**Porcentaje correctivo:**

$$\% \text{Correctivo} = \frac{103}{254} \times 100 = \mathbf{40.6\%}$$

En el período analizado, el total de horas de mantenimiento asciende a 254 h/año, de las cuales 151 h corresponden a mantenimiento preventivo (59,4 %) y 103 h a mantenimiento correctivo (40,6 %). Esta distribución evidencia una predominancia de actividades planificadas, lo que indica un avance hacia una gestión del mantenimiento más proactiva y orientada a la confiabilidad de los activos.

**Caracterización económica del mantenimiento correctivo no planificado**

La evaluación económica realizada corresponde a un análisis anual de costos directos de mantenimiento, considerando mano de obra, repuestos y tiempos de parada, con el objetivo de comparar la situación actual frente al plan de mantenimiento propuesto.

Datos obtenidos:

Número total de trabajadores de mantenimiento: 7

Costo total mensual de personal de mantenimiento: **USD 6.450**

Horas correctivas anuales: **103 h**

Jornada laboral: **8 h/día × 6 días/semana = 192 h/mes**

### **Cálculo de horas totales disponibles al mes**

$$7 \text{ trabajadores} \times 192 \text{ h/mes} = 1.344 \text{ h/mes}$$

### **Cálculo del costo hora promedio de mantenimiento**

$$\text{Costo hora} = \frac{6.450}{1.344}$$

$$\text{Costo hora} = 4,80 \text{ USD/h}$$

### **Cálculo del costo de mano de obra correctiva (M.O. actual)**

$$\text{Costo MO correctiva} = \text{Horas correctivas} \times \text{Costo hora}$$

$$\text{Costo MO correctiva} = 103 \times 4,80 = \text{USD } 494,40$$

**Costo anual de repuestos por fallas = USD 1.043**, este valor se encuentra directamente asociado a:

- ✓ Fallas no planificadas
- ✓ Sustitución de componentes críticos
- ✓ Intervenciones de emergencia

$$\text{Costo anual mantenimiento correctivo} = \text{MO correctiva} + \text{Repuestos}$$

$$\text{Costo anual del mantenimiento actual} = 494,40 + 1.043 = \text{USD } 1.537,40$$

Este análisis cuantifica los costos actuales asociados al mantenimiento correctivo no planificado, con el fin de establecer una línea base económica para evaluar el impacto de la propuesta de gestión del mantenimiento.

### **Costo por hora de indisponibilidad basado en mantenimiento**

$$\text{Costo/hora} = \frac{\text{Costo total anual de mantenimiento (preventivo + correctivo)}}{\text{Horas de paro correctivo}}$$

- Costo total anual de mantenimiento (personal):  $254 \text{ h} \times 4,80 \text{ USD/h} = 1.219,20 \text{ USD/año}$

- Horas de paro correctivo: 103 h/año

$$\text{Costo/hora} = \frac{1.219,20}{103} \approx 11,83 \text{ USD/h} \approx 12\text{USD/h}$$

Se consideraron únicamente las horas de paro por mantenimiento correctivo (103 h/año) como horas de indisponibilidad del sistema DAF, las cuales representan interrupciones no planificadas que afectan la operación. Las horas de mantenimiento preventivo (151 h/año) no se incluyen, ya que los paros planificados no generan indisponibilidad no deseada. El costo por hora de indisponibilidad se calculó a partir del costo total de mantenimiento anual del personal, obteniendo un valor de USD 11,83/h ≈ USD12/h.

El valor de 12 USD/h representa exclusivamente el costo directo de mantenimiento por hora de paro correctivo. Este criterio nos proporcionará evaluar mejoras en MTTR, MTBF y disponibilidad, sin introducir supuestos externos que excedan el alcance de la gestión de mantenimiento.

### Costo asociado en base al indicador MTTR

**Tabla 60.** Costo anual basado en MTTR actual

Equipo crítico	MTTR actual (h)	Fallas/año	Horas de paro/año (h)	Costo anual (USD/año)
Bomba de recirculación	2.071	7	14.5	173.96
Bomba de lodos	3.833	6	23	275.98
Sistema de dosificación química	3.000	5	15	180.00
Motorreductor del skimmer	2.063	8	16.5	198.05
Bomba de aguas residuales	2.222	9	20	239.98
Agitador del DAF	2.333	6	14	167.98
<b>TOTAL</b>			103.0 h/año	1235.95

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

La estimación del costo anual de mantenimiento correctivo del sistema DAF se fundamenta en el indicador **MTTR (Mean Time To Repair)**, debido a que este representa de forma directa el tiempo efectivo de indisponibilidad del equipo atribuible exclusivamente a actividades de mantenimiento. A partir del MTTR y de la frecuencia histórica de fallas, fue posible cuantificar las horas anuales de paro del sistema, las cuales constituyen la base para la valoración económica del mantenimiento correctivo. El valor total obtenido de **USD 1.235,95/año** corresponde al costo directo asociado al recurso

humano de mantenimiento durante los períodos de indisponibilidad, calculado mediante un costo horario promedio previamente determinado. Nota: ver anexo 14

**Tabla 61.** Costo anual basado en MTTR Proyectado

Equipo crítico	MTTR actual	MTTR Proyectado	Reducción Absoluta (h)	Nº Eventos al año	horas ahorradas / año	Costo Hora	Costo anual
Bomba de recirculación	2.071	1.533	0.539	7	3.77	12	45.24
Bomba de lodos	3.833	2.837	0.997	6	5.98	12	71.76
Sistema de dosificación química	3.000	2.220	0.780	5	3.9	12	46.8
Motorreductor del skimmer	2.063	1.526	0.536	8	4.29	12	51.48
Bomba de aguas residuales	2.222	1.644	0.578	9	5.2	12	62.4
Agitador del DAF	2.333	1.727	0.607	6	3.64	12	43.68
						<b>TOTAL</b>	\$321.36

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

### **MTTR, MTBF y Disponibilidad en el análisis económico del sistema DAF**

Se emplearon los indicadores MTTR (Mean Time To Repair), MTBF (Mean Time Between Failures) y Disponibilidad como herramientas de evaluación del desempeño del sistema DAF desde la perspectiva de la gestión del mantenimiento. Sin embargo, es fundamental precisar que dichos indicadores cumplen roles conceptualmente distintos, por lo que su tratamiento metodológico y su vinculación con el análisis económico no deben abordarse de manera homogénea.

El MTBF corresponde a un indicador de confiabilidad cuyo objetivo principal es medir la frecuencia con la que ocurren las fallas en un equipo o sistema, expresado como el tiempo promedio entre eventos de falla. Este indicador permite evaluar la estabilidad operativa y el comportamiento del activo en condiciones normales de operación; no obstante, no representa consumo de recursos, ni tiempo de indisponibilidad, ni implica de forma directa la ejecución de actividades de mantenimiento. Por esta razón, el MTBF no genera, por sí mismo, un costo económico directo, sino que actúa como un parámetro técnico que influye indirectamente en la planificación del mantenimiento y en la proyección del desempeño futuro del sistema.

De manera análoga, la Disponibilidad es un indicador de resultado que expresa el porcentaje de tiempo en que un activo se encuentra en condiciones operativas, y se obtiene a partir de la relación matemática entre MTBF y MTTR. Al ser un índice adimensional, la disponibilidad refleja el nivel global de desempeño del sistema, pero no cuantifica impactos económicos, ni permite identificar horas efectivas de intervención o consumo de recursos.

En consecuencia, asignar costos directos a la disponibilidad implicaría introducir variables externas al mantenimiento, tales como pérdidas de producción o costos de oportunidad, las cuales no forman parte del alcance de este estudio y podrían comprometer la consistencia metodológica del análisis (Ernesto & Rondon, n.d.2025).

En contraste, el MTTR representa el tiempo promedio requerido para restaurar un equipo a su condición operativa luego de una falla, e involucra directamente actividades de diagnóstico, intervención técnica, uso de mano de obra y aplicación de recursos de mantenimiento. Por tanto, el MTTR constituye el único indicador que refleja de manera objetiva y medible el tiempo de indisponibilidad atribuible al mantenimiento, lo que permite establecer una relación directa con los costos operativos asociados al paro del sistema (Liu et al., 2024).

El MTBF se refleja en una reducción del número de fallas anuales, lo que conlleva menor exposición a paradas imprevistas, menor riesgo operativo y mayor continuidad del servicio. Aunque el MTBF no constituye un indicador económico directo, su incremento impacta indirectamente en los costos de mantenimiento, al disminuir la frecuencia de intervenciones correctivas y facilitar una mejor planificación de recursos, repuestos y personal técnico.

Desde la perspectiva de la gestión de activos, conforme a los lineamientos de la norma ISO 55001, el incremento del MTBF demuestra una mejora en el desempeño, confiabilidad y valor del activo en operación. Ver anexo 14

## MTTR actual y DISPONIBILIDAD actual en el análisis económico del sistema

### DAF

**Tabla 62.** MTTR actual y DISPONIBILIDAD actual en Análisis económico por indisponibilidad operativa del sistema DAF

Equipo	MTTR actual (h)	MTBF (h) actual	Disponibilidad actual (%)	Horas indisponibilidad anual (h)	Costo anual (USD/año)
Bomba de recirculación	2.071	308.571	0.9933	14.40	172.80445
Bomba de lodos	3.833	360.000	0.9895	22.76	273.068578
Sistema dosificación química	3.000	432.000	0.9931	14.90	178.758621
Motorreductor skimmer	2.063	270.000	0.9924	16.38	196.546241
Bomba de aguas residuales	2.222	240.000	0.9908	19.81	237.774603
Agitador DAF	2.333	360.000	0.9936	13.91	166.894431
				<b>TOTAL</b>	<b>1225.84692</b>

Elaborado por: Lasluisa, Guillermo (2026).

## MTTR proyectado y DISPONIBILIDAD proyectado en el análisis económico del sistema DAF

**Tabla 63.** MTTR proyectado y DISPONIBILIDAD proyectado Análisis económico por indisponibilidad operativa del sistema DAF

Equipo	MTTR proyectado (h)	MTBF proyectado (h)	Disponibilidad proyectada	Horas indisponibles (h/año)	Costo anual (USD/año)
Bomba recirculación	1.533	354.857	0.99569853	9.29116979	111.494037
Bomba de lodos	2.837	414.000	0.99319398	14.7009982	176.411979
Sistema dosificación química	2.220	496.800	0.99555128	9.6092341	115.310809
Motorreductor skimmer	1.526	310.500	0.99510938	10.5637351	126.764821
Bomba aguas residuales	1.644	276.000	0.99407875	12.7899036	153.478843
Agitador DAF	1.727	414.000	0.99584583	8.97300392	107.676047
				<b>TOTAL</b>	<b>791.136537</b>

Elaborado por: Lasluisa, Guillermo (2026).

Los indicadores definidos en la matriz de operacionalización (Tabla 8), tales como MTBF, frecuencia de fallas, disponibilidad operativa y costos de mantenimiento, fueron utilizados como base para el análisis comparativo entre la situación actual y la situación proyectada, permitiendo evidenciar mejoras en el desempeño del sistema.

El análisis económico realizado permite evaluar el impacto financiero de la propuesta de mantenimiento mediante la comparación entre la situación actual y la situación proyectada, considerando indicadores clave como el MTTR y la disponibilidad operacional de los equipos. En la situación actual, el costo anual asociado al MTTR

alcanza un valor de USD 1.235,95, mientras que al incorporar el efecto conjunto del MTTR y la disponibilidad, el costo se sitúa en USD 1.225,85, evidenciando un elevado impacto económico derivado de los tiempos muertos no productivos.

Con la implementación de la propuesta de mejora, los resultados proyectados muestran una reducción significativa de los costos. El costo anual asociado al MTTR disminuye a USD 321,36, y el costo considerando MTTR más disponibilidad se reduce a USD 791,14, lo que refleja una mejora sustancial en la gestión de los tiempos de reparación y en la continuidad operativa de los equipos. Esta reducción está directamente relacionada con la optimización de los procesos de mantenimiento, la disminución de fallas recurrentes y el aumento de la disponibilidad técnica.

Desde el punto de vista del impacto económico directo, la propuesta genera un ahorro anual estimado de USD 914,58 al considerar exclusivamente el MTTR, y un ahorro de USD 434,71 cuando se analiza el efecto combinado del MTTR y la disponibilidad. Asimismo, se evidencia una reducción aproximada del 74 % en el impacto económico asociado al MTTR, lo cual confirma que la propuesta de mantenimiento no solo es técnicamente viable, sino también económicamente rentable, contribuyendo de manera significativa a la reducción de pérdidas operativas y al fortalecimiento de la sostenibilidad financiera de la organización.

La reducción proyectada del MTTR considerada en este estudio (26 %) se apoya en evidencia reportada en investigaciones relacionadas con la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). Diversos estudios han documentado mejoras significativas en los indicadores de mantenibilidad tras la adopción de esta metodología. Por ejemplo, investigaciones aplicadas a sistemas industriales reportan reducciones importantes en los tiempos medios de reparación que oscilan entre el 20% y el 40% atribuibles a la identificación sistemática de modos de falla, la estandarización de procedimientos de mantenimiento y la planificación de actividades preventivas propias del enfoque RCM. En este contexto, (Morales Arrieta, 2025) reportan una disminución significativa del MTTR en equipos industriales tras la implementación de estrategias de mantenimiento basadas en confiabilidad. De manera similar, estudios aplicados al mantenimiento de equipos críticos en entornos operativos evidencian reducciones

sustanciales en los tiempos de reparación y mejoras en la disponibilidad del sistema (Santiago Rodolfo Perez Salazar, 2024). En consecuencia, la reducción proyectada del 26 % considerada en la presente investigación se plantea como un escenario conservador dentro de los rangos de mejora reportados en la literatura técnica sobre mantenimiento basado en confiabilidad.

### Costos de recursos necesarios

Las remuneraciones consideradas para el cálculo de los costos operativos corresponden a valores referenciales de mercado, obtenidos a partir de fuentes públicas especializadas en empleo en Ecuador. Estos valores representan el salario promedio estimado para trabajadores del sector industrial, en función de su nivel de formación, años de experiencia y capacitaciones adquiridas, y no corresponden a remuneraciones reales individuales del personal de la empresa objeto de estudio.

**Tabla 64.** Costo por remuneración estimada promedio (USD/mes) del personal de mantenimiento

ÁREA	TRABAJADORES	PERFIL	SALARIO	TOTAL
<b>Mantenimiento Mecánico / Eléctrico</b>	4	Técnico Mecánico /técnico Eléctrico	\$750	\$ 3000
<b>Mantenimiento operacional</b>	1	Técnico de operación de equipos	\$ 750	\$ 750
<b>Líder de proyectos de Mantenimiento</b>	1	Ing. Mecánico	\$ 1200	\$ 1200
<b>Líder de mantenimiento mecánico</b>	1	Ing. Mecánico	\$ 1500	\$ 1500
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 6450</b>

**Fuente:** Elaboración propia con base en salarios promedio publicados en Computrabajo Ecuador.

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

### Costos de repuestos para mantenimiento stock mínimo

Con el fin de estimar los costos asociados al mantenimiento del sistema de flotación por aire disuelto (DAF), se elaboró una tabla de costos unitarios de repuestos, insumos y materiales comúnmente utilizados en este tipo de equipos industriales. La información presentada se obtuvo a partir de una metodología de recopilación basada en la observación

técnica del equipo en operación, la revisión de documentación parcial del fabricante. Los valores económicos presentados son estimativos y han sido obtenidos a partir de observaciones de mercado, consultas a proveedores nacionales y referencias técnicas de equipos DAF de características similares.

**Tabla 65.** Tabla de costos en repuestos

<b>Equipo: Bomba de Recirculación DAF (Equipo Crítico)</b>				
<b>Materiales</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Subtotal</b>
Kit sello mecánico	Simple / 25mm - 40mm	120	1	120
Grasa industrial	Grasa a base de jabón de litio (Lithium Base) de -20°C a +120°C.	25	1	25
Juego de llaves hexagonales	Kit(1.5 – 19) mm , kit ( 1/16” – 3/4”)inch.	35	1	35
Juego de llaves mixtas	kit (6 -32) mm , kit ( ¼” - 1 1/4”) inch.	45	1	45
Rodamientos	Tipo bolas / 25mm 6205 - 62010	30	2	60
<b>Equipo: Bomba de Lodos</b>				
<b>Materiales</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Subtotal</b>
Juego de destornilladores	kit	20	1	20
Kit sello mecánico	Simple / 25mm - 40mm	120	1	120
Grasa EP	Grasa a base de jabón de litio (Lithium Base) de -20°C a +120°C.	30	1	30
Thineer/guaipe	Galón	15	1	15
Rodamientos	Tipo bolas / 25mm 6205 - 62010	30	2	60
<b>Equipo: Sistema de Dosificación Química</b>				
<b>Materiales</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Subtotal</b>
Lubricante	Aceite mineral ligero (ISO VG 32 o 46)	20	1	20
válvulas	1/2” estándar industrial	15	2	30
check valve	1/2” estándar industrial	12	1	12
Gaskets	kit de empaques	10	1	10
Tubing	m (PVC)	2	5	10
<b>Equipo: Motor Reductor Skimmer</b>				
<b>Materiales</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Subtotal</b>
Aceite lubricante	SAE SAE 90 o 140 / API GL-4	25	1	25
Lovejoy	1 ½"-2" acoplamiento	40	1	40
cinta aislante industrial, terminales	Scotch® Super 33+™	10	1	10
Grasa	Grasa a base de jabón de litio (Lithium Base) de -20°C a +120°C.	25	1	25
borneras	6 bornes 220	8	1	8
Retenedor	Oil Shaft Seals Double Lip TC NBR 1-1/2" ID x 2" OD x 1/4"Height	15	1	15
<b>Equipo: Bomba de Aguas Residuales</b>				

<b>Materiales</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Subtotal</b>
Kit sello mecánico	Simple / 25mm - 40mm	120	1	120
Grasa EP	Grasa a base de jabón de litio (Lithium Base) de -20°C a +120°C.	30	1	30
Rodamientos	Tipo bolas / 25mm 6205 - 62010	30	2	60
<b>Equipo: Agitador del DAF</b>				
<b>Materiales</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Subtotal</b>
Grasa	Grasa a base de jabón de litio (Lithium Base) de -20°C a +120°C.	25	1	25
terminales eléctricos, cinta aislante	Scotch® Super 33+™	10	1	10
Lovejoy	1 1/2" - 2"	40	1	40
Borneras	6 bornes 220	8	1	8
Retenedor	Oil Shaft Seals Double Lip TC NBR 1-1/2" ID x 2" OD x 1/4"Height	15	1	15
<b>TOTAL USD</b>				<b>1043</b>

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

### **Costos de inversión inicial**

Los costos de inversión inicial corresponden a los recursos necesarios para la implementación del sistema de gestión de mantenimiento propuesto, los cuales se ejecutan al inicio del proyecto.

### **Tasa de descuento**

La evaluación económica y financiera de proyectos permite actualizar los flujos de caja futuros a valor presente y determinar la viabilidad de una inversión (Aguilar et al., 2024). Esta tasa representa el costo de oportunidad del capital, reflejando el rendimiento mínimo exigido por los inversionistas en función del tiempo y del riesgo asociado al proyecto. En proyectos industriales, su determinación considera factores como la tasa libre de riesgo, el costo del financiamiento, la estructura de capital y las condiciones propias del sector productivo en el que se desarrolla la inversión.

En el sector ecuatoriano, la tasa de descuento suele construirse a partir de referencias internacionales para la tasa libre de riesgo, ajustadas mediante primas que incorporan el riesgo país y el riesgo sectorial (Castillo & Zhangallimbay, 2021).

La tasa de descuento del proyecto industrial en Ecuador se definió mediante el (Costo Promedio Ponderado de Capital) WACC, considerando el costo de la deuda y del capital

propio calculado con el modelo (Modelo de Valoración de Activos de Capital) CAPM ajustado por riesgo país y sectorial. Se estableció un valor representativo del 12%, adecuado para proyectos en economías emergentes, al equilibrar riesgo y costo de capital.

### Equipos que conforman el sistema DAF

Los criterios para seleccionar los equipos que generan costos de inversión son los siguientes:

- a) Son indispensables para el control del proceso
- b) Representan un costo de inversión significativo
- c) Influyen directamente en la eficiencia, confiabilidad o mantenimiento
- d) Generan información para la gestión operativa de mantenimiento.

**Tabla 66.** Costo del sistema DAF

Instrumentación y equipos críticos del sistema DAF (Inversión inicial)			
Ítem	Categoría	Equipo / Instrumento	Costo referencial (USD)
1	Instrumentación de proceso	Medidor de caudal de entrada	1.800
2	Instrumentación de proceso	Sensor de pH en línea	1.200
3	Instrumentación de proceso	Transmisor de presión del sistema de aire disuelto	950
4	Instrumentación de proceso	Sensor de nivel del tanque DAF	1.100
5	Instrumentación de proceso	Medición de sólidos / turbidez	2.200
6	Automatización y control	PLC (controlador lógico programable)	3.500
7	Automatización y control	HMI / panel operador	1.800
8	Automatización y control	Sistema de alarmas	700
9	Automatización y control	Registro de datos (data logging)	1.000
10	Equipos electromecánicos	Bombas de recirculación	9.500
11	Equipos electromecánicos	Bomba de lodos tratados	4.800
12	Equipos electromecánicos	Motor reductor de skimmer	2.200
13	Equipos electromecánicos	Motor reductor agitador	2.400
14	Equipos electromecánicos	Bomba de aguas residuales	6.500
15	Equipos electromecánicos	Bombas dosificadoras de químicos	3.200
16	Tablero eléctrico	Tablero de potencia y control	4.500
17	Tablero eléctrico	Variadores de velocidad (VFD)	2.800
18	Tablero eléctrico	Protecciones eléctricas	1.500
19	Sistema integrado	Sistema DAF completo (tanque AISI 304, skid estructural, válvulas, tuberías internas, accesorios mecánicos, cableado interno, integración, ensamblaje, pruebas, costos de importación, ingeniería e instalación básica)	18.350
<b>TOTAL</b>			<b>70.000</b>

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2025).

## Costos evitados (beneficios económicos)

La implementación de un sistema de Flotación por Aire Disuelto (DAF) no solo genera mejoras técnicas y ambientales en el tratamiento de aguas residuales industriales, además genera beneficios económicos indirectos, comúnmente denominados costos evitados. Estos costos representan gastos que la empresa dejaría de asumir como consecuencia del cumplimiento normativo, la mejora de la eficiencia operativa y la reducción de riesgos ambientales y productivos.

**Tabla 67.** Estimación del costo económico anual por riesgo ambiental operativo

Rubro de incumplimiento ambiental	Consecuencia económica	Multa / Costo estimado (USD)	Valor promedio (USD)	CAE (frecuencia) / año	% reducción por proyecto	Costo evitado anual (USD)
Descargas no conformes sin tratamiento obligatorio	Multas administrativas por infracción de normas de vertido	8.500 – 42.500 (20–100 SBU)	25.500	1	90%	<b>22.950</b>
Exceso de DBO, DQO, SST, grasas y aceites	Penalización por superar LMP de efluentes	1.275 – 2.550 (3–6 SBU)	1.913	1	90%	<b>1.722</b>
Descarga contaminante grave a cuerpos de agua	Multas mayores y obligación de remediación	21.750 – 63.750 (51–150 SBU)	42.750	1	90%	<b>38.475</b>
Incumplimiento reiterado de obligaciones ambientales	Suspensión de permisos de operación	5.000 – 20.000 por evento	12.500	1	80%	<b>10.000</b>
Paradas de planta por sanciones o fallas de tratamiento	Pérdida de producción y ventas	3.000 – 15.000 por evento	9.000	1	80%	<b>7.200</b>
Manejo inadecuado de lodos	Costos elevados de disposición externa	80 – 150 USD/tonelada*	115	1	70%	<b>81</b>
Excesiva generación de lodos no valorizados	Costos logísticos y de tratamiento	2.000 – 6.000 anuales	4.000	1	70%	<b>2.800</b>
Consumo ineficiente de agua (sin reuso)	Sobrecosto por mayor compra y manejo de agua	1.500 – 4.000 anuales	2.750	1	70%	<b>1.925</b>
<b>TOTAL, COSTOS ANUALES EVITADOS USD</b>						<b>85.152</b>

**Fuente:** Elaboración con base en la normativa ambiental vigente y estimaciones referenciales de costos por incumplimiento ambiental.

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

Para la cuantificación de los costos evitados asociados al incumplimiento ambiental, se adoptó una frecuencia conservadora de ocurrencia anual de un evento por año (CAE = 1), (costo anual esperado) considerando que los procesos industriales analizados están expuestos a riesgos operativos y a controles regulatorios periódicos que, en ausencia de medidas adecuadas de gestión ambiental, pueden derivar en sanciones administrativas (Cuyo-Caisaguano et al., 2024). Este criterio es consistente con los lineamientos del análisis costo–beneficio ambiental, los cuales permiten la utilización de frecuencias esperadas y supuestos conservadores cuando no se dispone de series históricas completas,

con el fin de comparar de manera homogénea los escenarios con y sin proyecto (O'Mahony, 2021).

$$CAE=P(\text{evento})\times C(\text{consecuencia})$$

En relación con la reducción del riesgo, se asumió una disminución estimada del 90 % bajo un escenario de implementación integral del proyecto, el cual contempla sistemas de tratamiento, control de descargas, optimización operativa y fortalecimiento del cumplimiento normativo. Este porcentaje no representa una eliminación absoluta del riesgo, sino una reducción sustancial basada en evidencia académica que demuestra que las inversiones en tecnologías limpias y sistemas de control ambiental reducen significativamente la probabilidad de incumplimientos regulatorios (Mohammadi et al., 2024). Estudios empíricos basados en análisis cuantitativos recientes evidencian además que las penalizaciones regulatorias influyen en el comportamiento empresarial, incentivando mejoras sostenidas en el desempeño ambiental y disminuyendo la exposición a sanciones (Hu & Xu, 2025)., lo que respalda la inclusión de los costos evitados dentro del análisis económico del proyecto.

Desde un punto de vista técnico-evaluativo:

90 % = escenario alto u optimista.

80 % = escenario base razonable.

70 % = escenario conservador.

Al incluir este proyecto sistemas de tratamiento complejos, control operativo, procedimientos normativos formales y supervisión técnica, optar por el 90 % es defendible, pero debe considerarse como escenario óptimo de implementación efectiva, es decir mantener el 90% como escenario alto dentro de este análisis.

**Tabla 68.** Análisis de sensibilidad

Escenario	Reducción del riesgo (R)	Probabilidad residual	Impacto en costos evitados
Conservador	70 %	30 %	Beneficio reducido
Base	80 %	20 %	Beneficio intermedio
Óptimo	90 %	10 %	Beneficio máximo

**Fuente:**(Mohammadi et al., 2024).

Fórmula general:

$$\text{Costos evitados} = \text{CAE} \times \text{Costo multa} \times \% \text{ reducción del riesgo}$$

Ecuación 6: Costos Evitados

La literatura en análisis costo – beneficio ambiental reconoce explícitamente que, dada la incertidumbre técnica asociada con variables críticas, es metodológicamente apropiado construir escenarios alternativos y realizar análisis de sensibilidad para medir el impacto de variaciones en supuestos clave (p. ej., reducción de riesgo) sobre los resultados esperados de un proyecto(O’Mahony, 2021).

La aplicación del análisis costo–beneficio al medio ambiente exige explorar alternativas comparativas en función de variaciones en supuestos clave, lo cual se refleja en la literatura clásica sobre CBA (análisis costo beneficio ambiental).

### Costo asociado a capacitaciones

**Tabla 69.** Costo asociado a capacitaciones

Curso de capacitación	Personal por capacitar	Horas	Modalidad	Costo unitario (USD)	Nº personas	Costo total (USD)	Frecuencia	Tipo de costo
Operación segura del sistema DAF	Técnicos de operación	16	Presencial	250	4	1000	Única	Operativo
Mantenimiento mecánico de equipos DAF	Técnicos de mantenimiento	16	Presencial	300	2	600	Anual	Operativo
Mantenimiento eléctrico e instrumentación	Técnicos eléctricos	12	Presencial	300	4	1200	Anual	Operativo
Seguridad industrial y manejo de químicos	Todo el personal técnico	8	Presencial	150	4	600	Anual	Operativo
Planificación y registros de mantenimiento	Jefe de mantenimiento	12	Virtual	300	1	300	Anual	Operativo
Normativa ambiental y gestión de efluentes	Supervisor de planta	8	Virtual	180	1	180	Anual	Operativo
<b>TOTAL</b>						<b>3.880</b>		

**Fuente:** Elaboración propia, con base en precios de mercado de capacitaciones técnicas industriales y ambientales (2024)

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2025).

Los costos asociados a los programas de capacitación se estimaron con base en precios de mercado vigentes ofrecidos por entidades especializadas en formación técnica, industrial y ambiental. Para su cálculo se consideró el costo unitario por participante, el número de personas a capacitar, la duración de cada curso y la frecuencia de ejecución, clasificándose dichos costos como operativos debido a su carácter recurrente y necesario para garantizar la correcta operación, mantenimiento, seguridad y cumplimiento normativo del sistema. En la tabla de costos se incluyeron únicamente las variables que inciden directamente en el cálculo económico, por lo que no se detallan el contenido específico de los cursos, las entidades capacitadoras ni los sitios web correspondientes, ya que dicha información es de carácter descriptivo y referencial, y no modifica el valor económico del análisis. Estos elementos se consideran complementarios y pueden ser presentados en anexos o referencias, sin afectar la validez metodológica del estudio.

## **VAN /TIR / COSTO BENEFICIO / CURVA “S”**

### **FLUJO DE CAJA A 10 AÑOS**

#### **Horizonte del proyecto**

Vida útil: 10 años

Año 0: inversión inicial

Años 1–10: operación del proyecto

#### **Identificación correcta de flujos**

##### **A) Inversión inicial (Año 0)**

Sistema DAF: -70.000 USD

##### **B) Beneficios anuales del proyecto**

Ahorro por reducción del MTTR: + 914.58 USD

Costos ambientales evitados: + 85.152 USD

##### **C) Costos operativos del proyecto**

Costos de capacitación: -3.880 USD/año

Flujo Neto Anual =  $(914,58 + 85.152) - 3.880 = 82.187$  USD

### **VAN – Valor Actual Neto**

Ecuación 7: Valor Anual Neto

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^{10} \frac{F_t}{(1 + 0,12)^t}$$

$$FACTOR = \frac{1 - (1 + 0.12)^{-10}}{0.12} = 5,650$$

$$VAN = -70.000 + (82.186,58 \times 5,650)$$

$$VAN = -70.000 + 464.350,19$$

$$\boxed{VAN = +394.350,19 \text{ USD}}$$

### **TIR – Tasa Interna de Retorno**

La TIR satisface:

Ecuación 8: Tasa Interna de Retorno

$$\mathbf{TIR:} \quad 70.000 = 82.186,58 \times \frac{1 - (1 + TIR)^{-10}}{TIR} \approx 117\%$$

Weighted Average Cost of Capital, (Costo Promedio Ponderado de Capital)

Es la tasa de descuento que refleja el costo real del dinero invertido en el proyecto.

TIR  $\gg$  12 % (WACC) Proyecto altamente rentable

### **Valor presente de beneficios:**

$$VP(B) = (914,58 + 85.152) \times 5,650 = 486.336$$

### **Valor presente de costos:**

$$VP(C) = 70.000 + (3.880 \times 5,650)$$
$$VP(C) = 70.000 + 21.922 = 91.922$$

### Índice B/C:

$$B/C = \frac{486.336}{91.922}$$
$$\boxed{B/C = 5,29}$$

Por cada USD 1 invertido, el proyecto genera USD 5,29 de beneficio.

### Costo Acumulado Lineal

$C_0$  = costo inicial (año 0)

$i$  = incremento anual constante

$n$  = número de años

El costo acumulado  $C_n$  se calcula como:  $\boxed{C_n = C_0 + i \cdot n}$

Ecuación 9: Costo Acumulado Lineal

los beneficios monetarios provienen de:

Ahorro por reducción del MTTR ya calculado: USD 914,58/año.

Costos ambientales evitados: USD 85.152/año

Costos operativos que se descuentan del beneficio.

Solo los operativos que reducen flujo de caja neto.

Capacitación anual: USD 3.880/año

NOTA: Los otros costos operativos (mantenimiento preventivo, energía eléctrica) no se incluyen, porque no afectan directamente los flujos de caja de los beneficios.

### Beneficios acumulados

Ahorro MTTR: 914,58 USD

Costos ambientales evitados: 85.152 USD

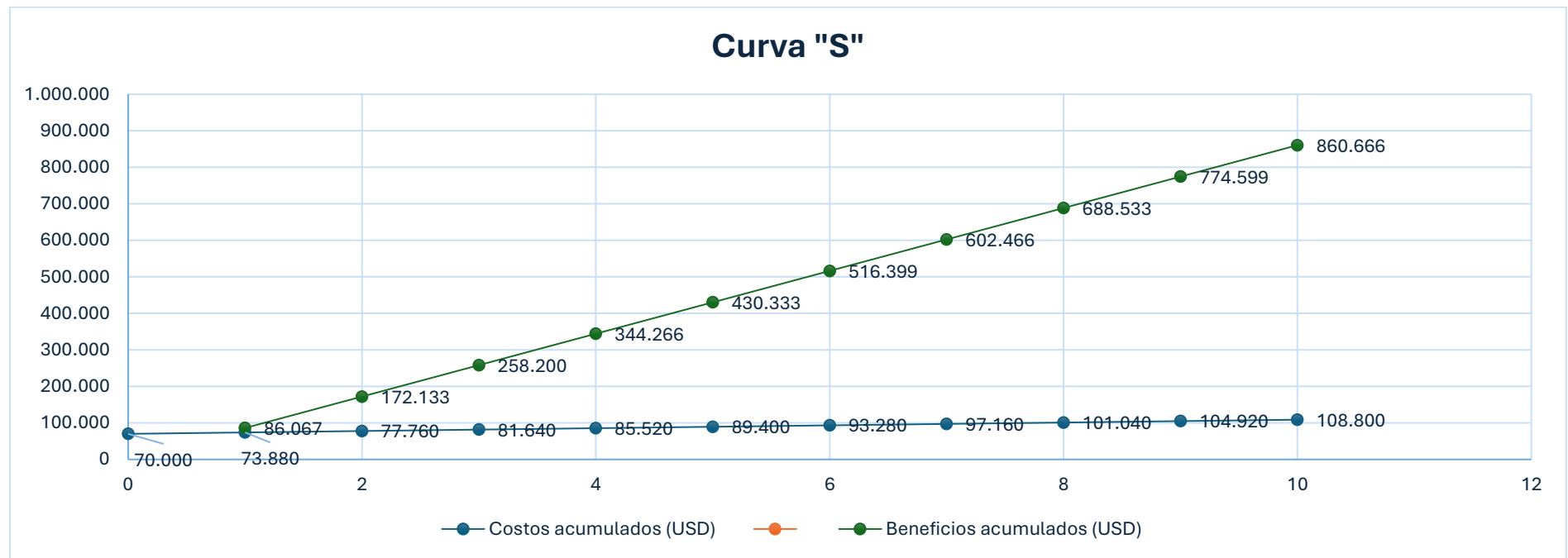
Sumatoria:  $914,58 + 85.152 = 86.066,58$  USD

Beneficio acumulado año 1: 86.066,58 USD

**Tabla 70.** Costos acumulados vs Beneficios acumulados

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Costos acumulados (USD)</b>	70.000	73.880	77.760	81.640	85.520	89.400	93.280	97.160	101.040	104.920	108.800
<b>Beneficios acumulados (USD)</b>		86.067	172.133	258.200	344.266	430.333	516.399	602.466	688.533	774.599	860.666

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026)



**Gráfico 34.** Costos acumulados vs Beneficios acumulados

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026)

La curva acumulativa evidencia una recuperación rápida de la inversión, ya que desde el primer año de operación los beneficios acumulados (USD 86.067) superan los costos acumulados (USD 73.880). Esto implica que el proyecto alcanza su punto de equilibrio en un periodo inferior a un año (Payback < 1), reduciendo significativamente el riesgo financiero asociado a la inversión inicial.

A medida que avanza el horizonte de evaluación, se observa una separación creciente entre la línea de beneficios y la línea de costos, lo que indica que el proyecto no solo recupera la inversión inicial, sino que genera un margen económico progresivamente mayor para la empresa. Esta diferencia acumulada representa valor neto creado, producto de la reducción del MTTR y de la mitigación de costos ambientales.

Además, el comportamiento lineal y sostenido de los beneficios acumulados refleja un crecimiento constante del valor económico generado, evidenciando estabilidad financiera y previsibilidad en los retornos del proyecto. Al finalizar el año 10, la brecha entre beneficios y costos es considerable, consolidando el impacto económico positivo de la propuesta de gestión.

Los resultados presentados corresponden a una proyección técnica basada en los indicadores de confiabilidad calculados, considerando la aplicación del modelo propuesto.

En este sentido, el capítulo no solo presenta el diseño de la propuesta, sino también su ejecución técnica a nivel metodológico y la estimación de los resultados que se obtendrían bajo su implementación.

### Cronograma de actividades

**Tabla 71.** Cronograma de actividades para Implementar la propuesta de gestión de mantenimiento en equipos DAF

N°	Actividad	MES 1																				MES 2																			
		Semana 1					Semana 2					Semana 3					Semana 4					Semana 1					Semana 2					Semana 3					Semana 4				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	Socialización y aprobación institucional del modelo de gestión de activos basado en ISO 55001	■	■	■	■	■																																			
2	Levantamiento técnico inicial y auditoría diagnóstica del sistema de mantenimiento del DAF						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																									
3	Aplicación formal del análisis de criticidad de activos del sistema DAF											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																				
4	Implementación del análisis estructurado de fallas (AMEF + Ishikawa) en equipos críticos																■	■	■	■	■																				
5	Definición y formalización de la política y estrategia de mantenimiento alineada a ISO 55001																■	■	■	■	■																				
6	Diseño e implementación del plan de mantenimiento preventivo y predictivo (tareas, frecuencias, responsables)																					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■										
7	Implementación del sistema de seguimiento de indicadores (MTTR, MTBF, disponibilidad, costos)																										■	■	■	■	■										
8	Auditoría interna de cumplimiento bajo lineamientos ISO 55001 y ajuste del sistema																															■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
9	Evaluación del desempeño post - implementación y mejora continua del sistema																																				■	■	■	■	■

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026)

## **CAPITULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **Conclusiones:**

##### **Conclusión General**

En relación con el objetivo general, orientado a diseñar una propuesta de gestión de mantenimiento basada en los lineamientos de la norma ISO 55001 para el sistema DAF de la empresa INCUBANDINA S.A., se concluye que la integración de herramientas de ingeniería de confiabilidad, tales como el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF), la priorización mediante el Número de Prioridad de Riesgo (NPR) y la aplicación del enfoque de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), permitió estructurar un modelo técnico de mantenimiento orientado a la gestión de activos, basado en riesgo, confiabilidad y desempeño operativo.

La propuesta desarrollada constituye un esquema metodológico viable y aplicable, que permite mejorar la toma de decisiones, optimizar la planificación del mantenimiento y fortalecer la gestión integral de los activos del sistema DAF, en concordancia con los principios establecidos en la norma ISO 55001.

##### **Conclusión Específica 1**

(Diagnóstico de la situación actual)

En cumplimiento del objetivo específico relacionado con el diagnóstico del estado actual del sistema de mantenimiento, se concluye que la gestión existente presenta un enfoque predominantemente correctivo, caracterizado por la ausencia de una priorización técnica de los activos y la falta de estructuración en la planificación del mantenimiento.

El análisis de criticidad, apoyado en la metodología AMEF, permitió identificar los equipos con mayor impacto operacional y económico, evidenciando que la frecuencia de fallas y la recurrencia de eventos no gestionados sistemáticamente afectan la continuidad

operativa del sistema DAF. Este diagnóstico constituyó la base técnica para el desarrollo de la propuesta de mejora.

### **Conclusión Específica 2**

(Análisis de confiabilidad – MTTR, MTBF, Disponibilidad)

En relación con el objetivo específico enfocado en el análisis de confiabilidad mediante indicadores de mantenimiento, se concluye que los valores obtenidos de MTTR, MTBF y disponibilidad permiten caracterizar el comportamiento operativo de los equipos críticos del sistema.

Se determinó que los tiempos medios de reparación (MTTR) se mantienen en rangos relativamente bajos (entre 2 y 4 horas), lo que evidencia una adecuada capacidad de respuesta del mantenimiento correctivo. Sin embargo, la variabilidad en los valores de MTBF (240 a 432 horas) refleja la existencia de fallas recurrentes que no han sido completamente mitigadas desde el enfoque preventivo.

Asimismo, la disponibilidad operativa superior al 98 % indica un buen desempeño global del sistema; no obstante, este resultado está influenciado principalmente por la rapidez en la reparación de fallas y no necesariamente por una alta confiabilidad intrínseca de los equipos.

Desde el punto de vista económico, se estima que la implementación de la propuesta permitiría reducir el costo anual asociado al mantenimiento correctivo (MTTR) de USD 1.235,94 a USD 321,36, lo que representa un ahorro potencial del 74 %, evidenciando el impacto técnico–económico de la gestión basada en confiabilidad.

### **Conclusión Específica 3**

(Diseño del plan de mantenimiento – RCM + ISO 55001)

En cumplimiento del objetivo específico relacionado con el diseño del plan de mantenimiento, se concluye que la aplicación del enfoque RCM, en conjunto con los lineamientos de la norma ISO 55001, permitió definir estrategias de mantenimiento

preventivo, predictivo y detectivo, orientadas a la reducción de fallas críticas y a la optimización del desempeño de los equipos.

La determinación de frecuencias de mantenimiento se fundamentó en un criterio de confiabilidad basado en el tiempo medio entre fallas (MTBF), adoptando la relación  $T_{pm} = 0.5 \times MTBF$ , lo que permitió establecer intervalos de intervención técnicamente justificados y coherentes con el comportamiento real de los activos.

Este enfoque garantiza la coherencia metodológica del plan de mantenimiento, evitando la definición empírica de frecuencias y asegurando un equilibrio entre confiabilidad, disponibilidad y costos operativos.

#### **Conclusión Específica 4**

(Impacto de la propuesta / mejora del sistema)

En relación con el objetivo específico orientado a evaluar el impacto de la propuesta, se concluye que la implementación del modelo de gestión de mantenimiento propuesto podría generar mejoras significativas en la confiabilidad, disponibilidad y eficiencia operativa del sistema DAF.

El incremento proyectado del MTBF, junto con la reducción de la frecuencia de fallas y del tiempo de indisponibilidad, evidencia una mejora en la estabilidad operativa del sistema. De igual manera, la optimización de las actividades de mantenimiento contribuye a una mejor utilización de los recursos técnicos y económicos, fortaleciendo la sostenibilidad operativa de la empresa.

Para verificar esta hipótesis se utilizaron indicadores de desempeño del mantenimiento definidos en la matriz de variables, tales como la frecuencia de fallas, el tiempo medio entre fallas (MTBF), la disponibilidad operativa y los costos de mantenimiento. Estos indicadores permitieron comparar la situación actual del sistema de mantenimiento con la situación proyectada tras la implementación de la propuesta de gestión basada en confiabilidad.

Los resultados obtenidos evidencian que la aplicación de herramientas de análisis como el AMEF para la identificación de modos de falla, el enfoque de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para la definición de estrategias de intervención y el cálculo de indicadores de confiabilidad permitieron establecer frecuencias óptimas de mantenimiento preventivo orientadas a disminuir la ocurrencia de fallas críticas en los equipos DAF.

En términos de confiabilidad, el incremento del indicador MTBF refleja una mayor estabilidad operativa de los equipos, lo que implica que el tiempo promedio entre fallas se incrementa como resultado de la planificación de actividades preventivas basadas en criticidad. De manera complementaria, la disponibilidad operativa muestra una mejora significativa al reducirse el tiempo de parada asociado a fallas correctivas, lo que impacta directamente en la continuidad del proceso productivo.

Asimismo, la reducción de la frecuencia de fallas y la optimización de las actividades de mantenimiento contribuyen a disminuir los costos asociados a intervenciones correctivas, repuestos de emergencia y tiempos improductivos del sistema. Esto evidencia que la implementación de un sistema de gestión de mantenimiento estructurado permite mejorar la eficiencia del proceso de mantenimiento y optimizar el uso de los recursos técnicos y económicos de la organización.

Con base en el análisis comparativo de los indicadores evaluados, se concluye que la evidencia obtenida respalda la hipótesis planteada en la investigación. En consecuencia, se establece que la implementación de una propuesta de gestión de mantenimiento basada en los principios de confiabilidad y en los lineamientos de la norma ISO 55001 contribuye a mejorar el desempeño operativo de los equipos DAF, reduciendo fallas, paradas no programadas y costos de mantenimiento en la empresa.

**Tabla 72.** Verificación de la hipótesis de investigación

<b>Indicador evaluado</b>	<b>Situación actual</b>	<b>Situación con la propuesta</b>	<b>Resultado</b>
Frecuencia de fallas	Alta recurrencia de fallas	Reducción de fallas mediante mantenimiento preventivo	Mejora
MTBF	Menor tiempo entre fallas	Incremento del MTBF	Mejora de confiabilidad
Disponibilidad	Menor disponibilidad operativa	Mayor disponibilidad del sistema	Mejora operativa
Costos de mantenimiento	Altos costos correctivos	Optimización de costos de mantenimiento	Ahorro

**Elaborado por:** Lasluisa, Guillermo (2026).

En consecuencia, y con base en la evidencia obtenida a partir del análisis de los indicadores de desempeño del mantenimiento, se acepta la hipótesis de investigación, confirmando que la implementación de una propuesta de gestión de mantenimiento estructurada, basada en los lineamientos de la ISO 55001 y en principios de mantenimiento centrado en confiabilidad, contribuye a reducir la frecuencia de fallas, mejorar la disponibilidad operativa y optimizar los costos de mantenimiento de los equipos DAF de la empresa INCUBANDINA S.A.

### **Recomendaciones:**

Implementar la propuesta de manera gradual, iniciando con los equipos críticos del sistema DAF como fase piloto. Una vez consolidados los resultados en indicadores de confiabilidad y reducción de costos, extender el modelo a otros activos estratégicos de la empresa para asegurar una transición organizada y sostenible.

Adoptar formalmente los lineamientos de la ISO 55001 como marco de gestión integral de activos, incorporando políticas, indicadores y análisis de criticidad dentro de la planificación estratégica empresarial. Esto permitirá consolidar una gestión basada en desempeño y ciclo de vida del activo.

Fortalecer la capacitación técnica del personal en análisis de fallas e interpretación de indicadores como MTTR, MTBF y disponibilidad. Asimismo, establecer un sistema permanente de seguimiento y mejora continua que garantice la sostenibilidad del modelo y su replicabilidad en toda la organización.

### **BIBLIOGRAFÍA:**

Afdal, Z. A., & Linarti, U. (2023). Preventive Maintenance Analysis Using Monte Carlo Simulation and Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). *Jurnal Ilmiah Teknik Industri (JITI)*, 22(2).

Aguilar, V., Naula, F., & Cabrera, F. (2024). Cost of Capital in the Energy Sector, in Emerging Markets, the Case of a Dollarized Economy. *Energies*, 17(19). <https://doi.org/10.3390/en17194782>

- Alaka, H. T. O., Mpofo, K., Ramatsetse, B. I., Adegbola, T. A., & Adeoti, M. O. (2025). Developing reliability centered maintenance in automotive robotic welding machines for a tier 1 supplier. *Frontiers in Robotics and AI*, 12. <https://doi.org/10.3389/frobt.2025.1620370>
- Alamri, T. O., & Mo, J. P. T. (2022). Failure Mode Structured Preventive Maintenance Scheduling With Changing Failure Rates in Industry 4.0 Environment. *Frontiers in Manufacturing Technology*, 2. <https://doi.org/10.3389/fmtec.2022.828986>
- Alfionita, S., & Alifin, F. I. (2023). Preventive Maintenance Analysis Based on Mean Time Between Failure (MTBF) and Mean Time to Repair (MTTR). *Angkasa: Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi*, 15(2). <https://doi.org/10.28989/angkasa.v15i2.1833>
- Alvarado-Betancourt, E. J., & Sabando-Piguabe, L. F. (2021). Sistema de gestión de mantenimiento basado en confiabilidad. Caso de estudio: Planta de tratamiento de agua empresa DIALILIFE. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 4(8), 46–77. <https://doi.org/10.46296/ig.v4i8.0023>
- Andrade-Solórzano, C. L., & Herrera-Suárez, M. (2021). Análisis de la situación actual del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 4(8). <https://doi.org/10.46296/ig.v4i8.0021>
- Bannister, K. E. (2024). Practical Lubrication for Industrial Facilities, Fourth Edition. In *Practical Lubrication for Industrial Facilities, Fourth Edition*.
- Cámara, Leslye., Hernández, Mario., & Luiselena, Paz. (2021). MANUAL DE DISEÑO PARA PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ALIMENTICIAS. *Academia*.

- Castillo, J. G., & Zhangallimbay, D. (2021). La tasa social de descuento en la evaluación de proyectos de inversión: Una aplicación para el Ecuador. *Cepal Review*, (134). <https://doi.org/10.18356/16820908-2021-134-4>
- Cuyo-Caisaguano, S. O., Jiménez-Chango, J. A., Chulco-Lema, B. J., & Alfonso-González, I. (2024). Efectividad de las sanciones por delitos ambientales en el Código Orgánico Integral Penal [Effectiveness of sanctions for environmental crimes in the Organic Comprehensive Criminal Code]. *Verdad y Derecho. Revista Arbitrada de Ciencias Jurídicas y Sociales*, 3(especial\_Ambato). <https://doi.org/10.62574/yx9kvb68>
- da Silva, R. F., Melani, A. H. de A., Michalski, M. A. de C., & de Souza, G. F. M. (2023). Reliability and Risk Centered Maintenance: A Novel Method for Supporting Maintenance Management. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(19). <https://doi.org/10.3390/app131910605>
- da Silva, R. F., Melani, A. H. de A., Michalski, M. A. de C., Souza, G. F. M. de, & Nabeta, S. I. (2024). Risk Management of Physical Assets Supported by Maintenance Performance Indicators. *Sustainability (Switzerland)*, 16(14). <https://doi.org/10.3390/su16146132>
- Doria, & Antonella. (2024). *PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE UNA INDUSTRIA DE GALLETAS*.
- Ernesto, R., & Rondon, S. (n.d.). *Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial Mejora de la disponibilidad y confiabilidad de equipos para la planta procesadora de alimentos de la empresa Newrest Perú mediante la implementación de la RCM*.
- González-Prida, V., Parra, C., Crespo, A., Pérès, F., & Martín, C. (2022). Practical implementation of an asset management system according to ISO 55001: A future direction in the cloud and IoT paradigm. In *Cloud IoT: Concepts, Paradigms, and Applications*. <https://doi.org/10.1201/9781003155577-3>

Haiany, H. Al. (2016). Reliability Centered Maintenance Different Implementation Approaches. *Engineering Maintenance*.

Heinz Eric, A. F. (2021). DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE FIDEOS DE LA EMPRESA PERUPAST S.R.L. In *UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO* (Vol. 75, Number 17).

Hu, B., & Xu, Q. (2025). Environmental regulation penalties and corporate environmental information disclosure. *International Review of Economics and Finance*, 102. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2025.104344>

Hussien Gomaa, A. (2025). Asset Management Excellence: A Roadmap for Integrating Lean Six Sigma and ISO 55001 to Achieve Operational Excellence. *Intelligent and Sustainable Manufacturing*, 2(2). <https://doi.org/10.70322/ism.2025.10020>

Karchiyappan, T., Ettiyagounder, P., Selvaraj, P. S., Veeraswamy, D., Ponnusamy, J., & Ramanujam, K. (2025). A review on sustainable poultry slaughterhouse wastewater management based on electrochemical technology. In *Desalination and Water Treatment* (Vol. 322). <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2025.101212>

Khasanah, R., Sodikin, I., Penirewod, A. P., Rachmad, B., & Pratama, N. A. (2021). The Reliability-Centered Maintenance (RCM) effect on plant availability and downtime loss in the process industry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1072(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1072/1/012054>

Koivunen, J., & Heinonen-Tanski, H. (2008). Dissolved air flotation (DAF) for primary and tertiary treatment of municipal wastewaters. *Environmental Technology*, 29(1). <https://doi.org/10.1080/09593330802009410>

- Larrea Moreano, A. D., Redrobán Dilon, C. D., & Castillo Medina, A. G. (2020). Priorización del mantenimiento mediante la determinación del número prioritario de riesgo, y el análisis de modos y efectos de fallos de una máquina de inyección de poliuretano de alta presión. *Ciencia Digital*, 4(3).  
<https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v4i3.1353>
- Liu, Y., Tang, Y., Wang, P., Song, X., & Wen, M. (2024). Reliability-Centered Preventive Maintenance Optimization for a Single-Component Mechanical Equipment. *Symmetry*, 16(1). <https://doi.org/10.3390/sym16010016>
- Matias-Pillasagua, V., Muyulema-Allaica, J., González-Bazán, A., & Pucha-Medina, P. (2023). Alternativas Nacionales e Internacionales Propuestas para el Tratamiento de Aguas Residuales por el Método Biológico. Una Revisión de la Literatura. *593 Digital Publisher CEIT*, 8(5).  
<https://doi.org/10.33386/593dp.2023.5.2065>
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica | Mendeley*. (n.d.). Retrieved October 15, 2025, from  
<https://www.mendeley.com/search/?page=4&query=Ministerio%20del%20Ambiente%2C%20Agua%20y%20Transici%C3%B3n%20Ecol%C3%B3gica&sortBy=relevance>
- Mohammadi, M., Sebastian Heese, H., & Kraft, T. (2024). Environmental Regulation Design: Motivating Firms' Clean Technology Investments With Penalties and Subsidies. *Production and Operations Management*, 33(1).  
<https://doi.org/10.1177/10591478231224911>
- Mohammed, T., & Albarazanje, M. (2019). Study the Performance of Dissolved Air Flotation as Industrial Wastewater Treatment Method. *Engineering and Technology Journal*, 37(3C). <https://doi.org/10.30684/etj.37.3c.5>
- Morales Arrieta, A. E. (2025). Implementación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de la flota de

perforadoras de una empresa contratista minera, 2024. *Universidad Continental*.

Moubray, J. (1997). Reliability-Centered Maintenance (RCM II). Butterworth-Heinemann. In *Nuclear Plant Journal* (Vol. 9, Number 3).

Muñoz-Alegría, J. A., Muñoz-España, E., & Flórez-Marulanda, J. F. (2021). Dissolved Air Flotation: A Review from the Perspective of System Parameters and Uses in Wastewater Treatment. *TecnoLógicas*, 24(52).  
<https://doi.org/10.22430/22565337.2111>

Norman David Yuseff, Juan Carlos Garzón, Juan José Cardona, Eduardo José Alvarado, Andrés López Astudillo, & Hernando Augusto García. (2020). *Ingeniería Salud & Gestión de inventarios Gestión del conocimiento Gestión de mantenimiento*.

Ocampo Lara, F. O. (2025a). *Propuesta de implementación de planes de mantenimiento de maquinaria pesada en la gerencia de transporte de EP Petroecuador Guajaló mediante el software Maximo* [Thesis]. Universidad Tecnológica Indoamérica.

Ocampo Lara, F. O. (2025b). *Propuesta de implementación de planes de mantenimiento de maquinaria pesada en la gerencia de transporte de EP Petroecuador guajaló mediante el software maximo*. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA.

Oliveira, S. C., & Von Sperling, M. (2008). Reliability analysis of wastewater treatment plants. *Water Research*, 42(4–5).  
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.09.001>

O'Mahony, T. (2021). Cost-Benefit Analysis and the environment: The time horizon is of the essence. *Environmental Impact Assessment Review*, 89.  
<https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106587>

- Parra, C., Morán, C., Pizarro, F., Duque, P., Aránguiz, A., González-Prida, V., & Parra, J. (2024). Implementation of the Asset Management, Operational Reliability and Maintenance Survey in Recycled Beverage Container Manufacturing Lines. *Information (Switzerland)*, 15(12).  
<https://doi.org/10.3390/info15120784>
- Pulido, H. G., & Salazar, R. D. L. V. (2014). Control estadístico de calidad y seis SIGMA, 2da Edition. In *McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.* (Vol. 59).
- Santiago Rodolfo Perez Salazar. (2024). *MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS MÉDICOS EN UNA CLÍNICA DE LA CIUDAD DE LIMA, 2024*. Universidad Privada del norte.
- Segura-Monge, M. Á., Gómez-Ramírez, G. A., Barahona-Guzmán, G., & Montero-Jiménez, J. J. (2024). Hacia el mejoramiento de la gestión de activos de equipos críticos en Pymes: propuesta de metodología e implementación. *Revista Tecnología En Marcha*. <https://doi.org/10.18845/tm.v37i2.6699>
- Sielaff, L. (2022). Maintenance Strategy Selection Based on FMEA/FMECA Approach Using Time Dependent Failure Probability †. *Engineering Proceedings*, 24(1). <https://doi.org/10.3390/IECMA2022-12893>
- Tetteh, E. K., & Rathilal, S. (2018). INVESTIGATING DISSOLVED AIR FLOTATION FACTORS FOR OIL REFINERY WASTEWATER TREATMENT. *CBU International Conference Proceedings*, 6.  
<https://doi.org/10.12955/cbup.v6.1311>
- Uzoigwe, D. O. (2024). Evaluating the Effectiveness of Reliability-Centered Maintenance Programs in Food and Beverage Manufacturing Facilities; A Review. *International Journal of Research and Innovation in Applied Science*, IX(II). <https://doi.org/10.51584/ijrias.2024.90218>

## ANEXOS

### Anexo 1. Certificado Interno

Te ofrecemos un futuro mejor

Lasso, 30 de marzo del 2026.

A quien corresponda,

Presente. –

  
Incubandina s.a.

Por medio de la presente y en mi calidad de Gerente de Producción, expreso mi conformidad con el proyecto de titulación titulado: **“PROPUESTA DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO EN EQUIPOS DAF DE LA EMPRESA INCUBANDINA S.A.”**, desarrollado como Trabajo de Integración Curricular.

Dejo constancia de que la información utilizada para la elaboración del presente proyecto fue recopilada en coordinación con los Coordinadores de las diferentes áreas de la empresa, garantizando que los datos proporcionados reflejan de manera objetiva y precisa la realidad operativa de cada proceso y administrativa de Incubandina S.A. La propuesta metodológica fue revisada y aprobada el 30 de marzo del 2026.

Agradeciendo la atención brindada al presente documento y reiterando mi respaldo institucional al desarrollo del proyecto, suscribo la presente.

Atentamente,

  
Lic. Marcelo Villarroel  
Gerente de Producción  
Incubandina S.A



 [www.incubandina.com](http://www.incubandina.com)  2408267 / 2408287  [contactos@incubandina.com](mailto:contactos@incubandina.com)  
 Av. Bolivariana frente al Estadio Alterno Neptali Barona

**Anexo 2.** Agitador de químicos (motor reductor)



**Anexo 3.** Barredor skimmer de lodos flotantes



**Anexo 4.** Bomba de proceso



**Anexo 5.** Bomba de recirculación



**Anexo 6.** Cámara de separación de sólidos y flotantes -



**Anexo 7.** Manómetros



**Anexo 8.** Serpentín



**Anexo 9.** Sistema de dispersores



**Anexo 10.** Sistema de dosificación de químicos



### Anexo 11. Tablero eléctrico



### Anexo 12. Tanque de saturación



### Anexo 13. Válvula de control



**Anexo 14.** Desarrollo de los cálculos de los indicadores de confiabilidad y mantenibilidad del sistema DAF

**% típico**

El % típico representa qué proporción del MTTR total corresponde a cada etapa del proceso de mantenimiento, basado en literatura de mantenimiento y práctica industrial (RCM / TPM).

Ejemplo: bomba de recirculación deficiente:

Etapa	% típico
Diagnóstico	20%
Espera logística	30%
Reparación	40%
Pruebas	10%
Total	100%

**Tiempo (h)**

Se calcula para cada etapa:

$$\text{Tiempo por etapa} = \text{MTTR actual} \times \% \text{ típico}$$

Diagnóstico

$$2.071 \times 0.20 = 0.4142857 \text{ h}$$

Espera logística

$$2.071 \times 0.30 = 0.6214286 \text{ h}$$

Reparación

$$2.071 \times 0.40 = 0.8285714 \text{ h}$$

Pruebas

$$2.071 \times 0.10 = 0.2071429 \text{ h}$$

La suma da nuevamente el MTTR actual:

$$0.4143 + 0.6214 + 0.8286 + 0.2071 = 2.0714 \text{ h}$$

**Reducción esperada (%)**

Se define qué tanto es posible mejorar cada etapa gracias a:

- ISO 55001
- RCM
- Mejor planificación
- Predictivo + RCA
- Estandarización

Etapa	Reducción esperada
-------	--------------------

Diagnóstico	30%
Espera logística	40%
Reparación	20%
Pruebas	0%

### Nuevo tiempo por etapa (h)

La fórmula es:

$$\text{Nuevo tiempo} = \text{Tiempo actual de la etapa} \times (1 - \% \text{ reducción})$$

Diagnóstico

$$0.4142857 \times (1 - 0.30) = 0.29 \text{ h}$$

Espera logística

$$0.6214286 \times (1 - 0.40) = 0.3728571 \text{ h}$$

Reparación

$$0.8285714 \times (1 - 0.20) = 0.6628571 \text{ h}$$

Pruebas

$$0.2071429 \times (1 - 0.00) = 0.2071429 \text{ h}$$

### Cálculo del MTTR proyectado

suma de los nuevos tiempos por etapa:

$$\text{MTTR proyectado} = 0.29 + 0.3728571 + 0.6628571 + 0.2071429$$

$$\text{MTTR proyectado} = 1.5328571 \text{ h}$$

### Reducción absoluta del MTTR

$$\text{Reducción absoluta} = 2.071 - 1.5328571 = 0.539 \text{ h}$$

### % ponderado

Esta columna se obtiene de:

$$\% \text{ ponderado} = \% \text{ típico} \times \% \text{ reducción}$$

Diagnóstico:

$$20\% \times 30\% = 6\%$$

Espera logística:

$$30\% \times 40\% = 12\%$$

Reparación:

$$40\% \times 20\% = 8\%$$

Pruebas:

$$10\% \times 0\% = 0\%$$

Mejora total:

$$6\% + 12\% + 8\% + 0\% = 26\%$$

### Anexo 15. Indicadores de desempeño por equipo crítico del sistema DAF

Equipo crítico	Nº total de averías	Tiempo total de parada / reparación (h)	MTTR actual (h)	MTBF (h)	Disponibilidad (%)	Horas totales/año
Bomba de recirculación	7	14.5	2.071	308.571	99.333	2160
Bomba de lodos	6	23	3.833	360.000	98.946	
Sistema de dosificación química	5	15	3.000	432.000	99.310	
Motorreductor del skimmer	8	16.5	2.063	270.000	99.242	
Bomba de aguas residuales	9	20	2.222	240.000	99.083	
Agitador del DAF	6	14	2.333	360.000	99.356	

Bomba de recirculación	Etapa del MTTR	% típico	Tiempo (h)	Reducción esperada	Nuevo tiempo por etapa (h) (1-% reducción esperada)	MTTR actual	MTTR Proyectado	Reducción Absoluta (h)	% Ponderado	Nº Eventos al año	ahorro horas /año
	Diagnóstico de la falla	20%	0.41428571	30%	0.29	2.071	1.53285714	0.539	6.00%	7	3.77
	Espera logística (repuestos, permisos, personal)	30%	0.62142857	40%	0.372857143				12.00%		
	Reparación / intervención técnica	40%	0.82857143	20%	0.662857143				8.00%		
	Pruebas y puesta en marcha	10%	0.20714286	0%	0.207142857				0.00%		
		<b>TOTAL</b>	2.07142857		1.532857143			Mejora Porcentual	26.00%		

Bomba de lodos	Etapa del MTTR	% típico	Tiempo (h)	Reducción esperada	Nuevo tiempo por etapa (h) (1-% reducción esperada)	MTTR actual	MTTR Proyectado	Reducción Absoluta (h)	% Ponderado	Nº Eventos al año	ahorro horas /año
	Diagnóstico de la falla	20%	0.76666667	30%	0.536666667	3.833	2.83666667	0.997	6.00%	6	5.98
	Espera logística (repuestos, permisos, personal)	30%	1.15	40%	0.69				12.00%		
	Reparación / intervención técnica	40%	1.53333333	20%	1.226666667				8.00%		
	Pruebas y puesta en marcha	10%	0.38333333	0%	0.38333333				0.00%		
		<b>TOTAL</b>	3.83333333		2.836666667			Mejora Porcentual	26.00%		

Sistema de dosificación química	Etapa del MTTR	% típico	Tiempo (h)	Reducción esperada	Nuevo tiempo por etapa (h) (1-% reducción esperada)	MTTR actual	MTTR Proyectado	Reducción Absoluta (h)	% Ponderado	N° Eventos al año	ahorro horas/año
	Diagnóstico de la falla	20%	0.6	30%	0.42	3.000	2.22	0.780	6.00%	5	3.9
	Espera logística (repuestos, permisos, personal)	30%	0.9	40%	0.54				12.00%		
	Reparación / intervención técnica	40%	1.2	20%	0.96				8.00%		
	Pruebas y puesta en marcha	10%	0.3	0%	0.3				0.00%		
		<b>TOTAL</b>	3		2.22			Mejora Porcentual	26.00%		

Motorreductor del skimmer	Etapa del MTTR	% típico	Tiempo (h)	Reducción esperada	Nuevo tiempo por etapa (h) (1-% reducción esperada)	MTTR actual	MTTR Proyectado	Reducción Absoluta (h)	% Ponderado	N° Eventos al año	ahorro horas/año
	Diagnóstico de la falla	20%	0.4125	30%	0.28875	2.063	1.52625	0.536	6.00%	8	4.29
	Espera logística (repuestos, permisos, personal)	30%	0.61875	40%	0.37125				12.00%		
	Reparación / intervención técnica	40%	0.825	20%	0.66				8.00%		
	Pruebas y puesta en marcha	10%	0.20625	0%	0.20625				0.00%		
		<b>TOTAL</b>	2.0625		1.52625			Mejora Porcentual	26.00%		

Bomba de aguas residuales	Etapa del MTTR	% típico	Tiempo (h)	Reducción esperada	Nuevo tiempo por etapa (h) (1-% reducción esperada)	MTTR actual	MTTR Proyectado	Reducción Absoluta (h)	% Ponderado	Nº Eventos al año	ahorro horas /año
	Diagnóstico de la falla	20%	0.44444444	30%	0.31111111	2.222	1.64444444	0.578	6.00%	9	5.2
	Espera logística (repuestos, permisos, personal)	30%	0.66666667	40%	0.4				12.00%		
	Reparación / intervención técnica	40%	0.88888889	20%	0.71111111				8.00%		
	Pruebas y puesta en marcha	10%	0.22222222	0%	0.22222222				0.00%		
	<b>TOTAL</b>		2.22222222		1.64444444			Mejora Porcentual	26.00%		

Agitador del DAF	Etapa del MTTR	% típico	Tiempo (h)	Reducción esperada	Nuevo tiempo por etapa (h) (1-% reducción esperada)	MTTR actual	MTTR Proyectado	Reducción Absoluta (h)	% Ponderado	Nº Eventos al año	ahorro horas /año
	Diagnóstico de la falla	20%	0.46666667	30%	0.32666667	2.333	1.72666667	0.607	6.00%	6	3.64
	Espera logística (repuestos, permisos, personal)	30%	0.7	40%	0.42				12.00%		
	Reparación / intervención técnica	40%	0.93333333	20%	0.74666667				8.00%		
	Pruebas y puesta en marcha	10%	0.23333333	0%	0.23333333				0.00%		
	<b>TOTAL</b>		2.33333333		1.72666667			Mejora Porcentual	26.00%		

Equipo crítico	MTTR actual	MTTR Proyectado	Reducción Absoluta (h)	Nº Eventos al año	horas ahorradas / año	Costo Hora	Costo anual
Bomba de recirculación	2.071	1.533	0.539	7	3.77	12	45.24
Bomba de lodos	3.833	2.837	0.997	6	5.98	12	71.76
Sistema de dosificación química	3.000	2.220	0.780	5	3.9	12	46.8
Motorreductor del skimmer	2.063	1.526	0.536	8	4.29	12	51.48
Bomba de aguas residuales	2.222	1.644	0.578	9	5.2	12	62.4
Agitador del DAF	2.333	1.727	0.607	6	3.64	12	43.68
						<b>TOTAL</b>	\$ 321.36

### Anexo 16. Costo anual del sistema DAF debido a indisponibilidad

Equipo crítico	Nº total de averías	Tiempo total de parada / reparación (h)	MTTR (h) actual	MTBF (h) actual	Operación de la planta (h/año)
Bomba de recirculación	7	14.5	2.071	308.5714	2160
Bomba de lodos	6	23	3.833	360.000	2160
Sistema de dosificación química	5	15	3.000	432.000	2160
Motorreductor del skimmer	8	16.5	2.063	270.000	2160
Bomba de aguas residuales	9	20	2.222	240.000	2160
Agitador del DAF	6	14	2.333	360.000	2160

Equipo crítico	MTBF (h) Proyectada	% Disponibilidad Proyectada
Bomba de recirculación	354.857	0.994
Bomba de lodos	414.000	0.991
Sistema de dosificación química	496.800	0.994
Motorreductor del skimmer	310.500	0.993
Bomba de aguas residuales	276.000	0.992
Agitador del DAF	414.000	0.994

**Anexo 17. Calculo MTBF actual vs MTBF Proyectado**

<b>Equipo crítico</b>	<b>Nº total de averías</b>	<b>Tiempo total de parada / reparación (h)</b>	<b>MTTR (h) actual</b>	<b>MTBF (h) actual</b>	<b>Incremento MTBF (h)</b>	<b>Operación de la planta (h/año)</b>	<b>INCREMENTO REALISTA del MTBF</b> (Escenario conservador: +10 a +20 % Escenario medio: +20 a +30 % Escenario agresivo: >30 % (NO recomendado))	<b>MTBF proyectado=</b> MTBF actual×(1+incremento) (h)/falla	<b>Fallas proyectadas /año</b>	<b>Fallas evitadas/año</b>	<b>Reducción relativa de fallas</b>
Bomba de recirculación	7	14.5	2.071	308.571	46.286	2160	15%	354.857	6.09	0.91	13%
Bomba de lodos	6	23	3.833	360.000	54.000	2160	15%	414.000	5.22	0.78	13%
Sistema de dosificación química	5	15	3.000	432.000	64.800	2160	15%	496.800	4.35	0.65	13%
Motorreductor del skimmer	8	16.5	2.063	270.000	40.500	2160	15%	310.500	6.96	1.04	13%
Bomba de aguas residuales	9	20	2.222	240.000	36.000	2160	15%	276.000	7.83	1.17	13%
Agitador del DAF	6	14	2.333	360.000	54.000	2160	15%	414.000	5.22	0.78	13%

Elaborado Por: Lasluisa Guillermo (2026)

## Anexo 18. Formato de encuesta

	N	Pregunta	SI	NO
<b>Conocimiento general del equipo DAF</b>	1	¿Conoce el principio de funcionamiento del equipo DAF?		
	2	¿Está familiarizado con los componentes principales del equipo DAF? (tanque de flotación, sistema de saturación, bombas, raspadores, válvulas, tableros, sensores)?		
	3	¿Puede identificar componentes críticos que afectan el rendimiento del DAF?		
<b>Experiencia en operación y mantenimiento</b>	4	¿Ha participado en actividades de mantenimiento mecánico del equipo DAF?		
	5	¿Ha realizado inspecciones rutinarias del equipo DAF?		
	6	¿Tiene experiencia para diagnosticar fallas mecánicas básicas del DAF?		
<b>Documentación, registros y control</b>	7	¿La empresa cuenta con registro o bitácora formal del mantenimiento del DAF?		
	8	¿Usted registra las actividades de mantenimiento realizadas?		
	9	¿Tiene acceso a manuales técnicos o documentación del fabricante del DAF?		
<b>Mantenimiento preventivo y gestión</b>	10	¿Existe un plan de mantenimiento preventivo específico para el DAF?		
	11	¿Conoce las actividades del mantenimiento preventivo según normativa o fabricante?		
	12	¿El mantenimiento se ejecuta bajo algún modelo de gestión (Ejemplo: RCM, TPM, ISO, ¿OTRAS)?		
	13	¿El mantenimiento del equipo DAF tiene periodicidad definida? (diaria, semanal, mensual, anual)?		
	14	“¿Posee conocimientos básicos sobre el mantenimiento eléctrico de los componentes del equipo DAF (motores, paneles eléctricos, protecciones)?”		
<b>Capacitación y competencias</b>	15	¿Ha recibido capacitación específica sobre funcionamiento del DAF?		
	16	¿Ha recibido capacitación sobre mantenimiento mecánico del DAF?		
	17	¿Ha recibido capacitación sobre riesgos asociados al mantenimiento y operación del equipo DAF?		
<b>Seguridad, riesgos y contingencia</b>	18	¿Existe un plan de contingencia documentado en caso de falla de un componente crítico del sistema DAF?		
	19	¿Ha sido instruido o Conoce los pasos ante una falla mecánica grave del DAF?		
<b>Evaluación interna</b>	20	¿Cuenta con recursos necesarios (herramientas, repuestos, EPP) para emergencias relacionadas con el DAF?		
	21	¿El equipo DAF opera actualmente en condiciones mecánicas adecuadas?		
	22	¿Es necesario actualizar o mejorar el plan de mantenimiento?		
	23	¿Debería implementarse un modelo más avanzado de mantenimiento?		

**Anexo 19.** Formato de entrevista

**Formato de Entrevista – Equipos DAF – INCUBANDINA S.A.**

**Datos Generales**

Entrevistado: \_\_\_\_\_

Cargo: \_\_\_\_\_

Área: \_\_\_\_\_

Antigüedad en la empresa: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Entrevistador: \_\_\_\_\_

- El objetivo de esta entrevista es conocer su experiencia respecto a los equipos “DAF”
- La entrevista tomará aproximadamente 20 minutos.
- la información proporcionada de esta entrevista es únicamente para fines académicos
- La entrevista es anónima.

**A. Conocimiento técnico del personal sobre los equipos DAF**

1. ¿Podría describir brevemente cómo funciona el equipo DAF dentro del proceso productivo?

-----  
-----

2. ¿Cuáles considera que son los componentes más críticos del equipo DAF? ¿Por qué?

-----  
-----

3. ¿Qué fallas mecánicas o eléctricas son las más comunes en estos equipos?

-----  
-----

4. ¿Cuenta con capacitación formal para operar y mantener los equipos DAF?  
(Interna, externa, fecha)

-----  
-----

**B. Procedimientos y documentación del mantenimiento**

5. ¿La empresa cuenta con un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para los equipos DAF?

-----  
-----

6. ¿Qué tipo de registros o bitácoras de mantenimiento existen actualmente?

-----  
-----

7. ¿Considera que los instructivos actuales son suficientes para realizar el mantenimiento de forma segura?

-----  
-----

**C. Mantenimiento mecánico y eléctrico.**

8. ¿Qué actividades mecánicas realiza con mayor frecuencia en los equipos DAF?

-----  
-----

9. ¿Participa en el mantenimiento eléctrico? (Motores, paneles, sensores, variadores)

-----  
-----

10. ¿Ha identificado riesgos eléctricos o mecánicos en estos equipos? ¿Cuáles?

-----  
-----

**D. Gestión, recursos y tiempos de respuesta**

11. ¿Los recursos actuales (herramientas, repuestos, insumos) son suficientes?

-----  
-----  
12. ¿Qué tanto afecta la disponibilidad de repuestos al tiempo de respuesta?  
-----  
-----

13. ¿Existe un plan de contingencia ante fallas críticas en el DAF?  
-----  
-----

**E. Evaluación del sistema y mejora continua**

14. ¿Qué aspectos deberían mejorar en la gestión del mantenimiento de los equipos DAF?  
-----  
-----

15. ¿Qué sugerencias aportaría para optimizar el funcionamiento o reducir tiempos de parada?  
-----  
-----

16. ¿Qué tan útil considera implementar un modelo de gestión de mantenimiento (550001)?  
-----  
-----

Comentarios adicionales del entrevistado:

-----  
-----

Observaciones del entrevistador:

-----  
-----

