

Gestión de un plan de mantenimiento preventivo en la empresa Ventanar, Sede Girón

Juan Sebastian Moreno Ramírez

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Mecánico

Director

Paula Andrea Cuervo Velásquez

Doctorado en Ingeniería Mecánica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Programa Académico

Bucaramanga

2026

Dedicatoria

Este proyecto de grado está dedicado, en primer lugar, a mí, por la constancia, el esfuerzo y la dedicación a lo largo de estos años de estudio.

A mis padres, por su apoyo incondicional, amor y confianza en cada etapa de este camino.

A mi hermano, por su compañía y ejemplo constante.

Y a mi pareja, por su apoyo, comprensión y amor durante todo este proceso.

A mi abuelo, pionero de la ingeniería mecánica en mi familia, cuyo ejemplo profesional y humano ha sido una fuente constante de inspiración y un referente de vida a seguir.

A mi abuela, quien ha sido como una segunda madre para mí, por su amor incondicional, apoyo constante y por ser un pilar fundamental a lo largo de este camino.

Este logro también es de ustedes.

Agradecimientos

A Dios, por brindarme la salud, fortaleza, sabiduría y perseverancia para culminar esta etapa de mi formación profesional.

A mi familia, por su apoyo incondicional y acompañamiento a lo largo de este proceso. De manera especial, agradezco a mis mascotas por las noches de desvelo y por aportar tranquilidad y motivación con su compañía.

A la Universidad Industrial de Santander y, en particular, a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por la formación académica y las herramientas brindadas durante mi carrera profesional.

A la doctora Paula Andrea Cuervo Velásquez, directora de este proyecto de grado, por su orientación, dedicación, acompañamiento y valiosos aportes para el desarrollo y la culminación de este trabajo.

A la empresa Ventanar S.A.S., por abrirme las puertas durante mi etapa de prácticas, brindándome la oportunidad de aplicar los conocimientos adquiridos, fortalecer mis habilidades profesionales y contribuir a mi crecimiento personal y laboral.

Tabla de contenido

Introducción	17
1. Objetivos	19
1.1 Objetivo General	19
1.2 Objetivos Específicos.....	19
2. Generalidades.....	20
2.1 Delimitaciones	20
2.1.1 Temporal	20
2.1.2 Espacial	20
2.1.3 Temática.....	20
2.2 Aspectos generales de la empresa.....	21
2.2.1 Reseña Histórica	21
2.2.2 Ubicación	21
2.2.3 Misión	21
2.2.4 Visión.....	22
2.3 Mapa de procesos.....	22
2.3.1 Normatividad	22
2.3.2 Procesamiento	22
2.4 Descripción de la planta.....	24
2.4.1 Almacén de aluminio y vidrio.....	24
2.4.2 Área de pintura.....	25
2.4.3 Área de corte	26
2.4.4 Área de troquelado.....	27

2.4.5 Área de vidrio	28
2.4.6 Área de ensamble	29
2.4.7 Despacho	30
2.5 Organigrama	31
3. Marco de Referencia	34
3.1 Estado del arte	35
3.1.1 Antecedente Regional	35
3.1.2 Antecedente Nacional	35
3.1.3 Antecedente Internacional	36
3.2 Marco teórico	36
3.2.1 Historia y Evolución del Mantenimiento Industrial	36
3.2.2 Mantenimiento	38
3.2.2.1 Mantenimiento Correctivo	39
3.2.2.2 Mantenimiento Preventivo	40
3.2.2.2.1 Mantenimiento preventivo basado en tiempo (TBM)	41
3.2.2.2.2 Mantenimiento preventivo basado en condición.	41
3.2.3 Análisis de Criticidad	41
3.2.4 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)	44
3.2.5 Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF)	46
3.2.5.1 Severidad	47
3.2.5.2 Ocurrencia	48
3.2.5.3 Detectabilidad.	49
3.2.5.4 Número de Prioridad de Riesgo (NPR).	50

3.2.6 Indicadores de Mantenimiento.....	51
3.2.6.1 Tasa de falla (λ).	52
3.2.6.2 Tiempo medio entre fallas (MTBF).....	52
3.2.6.3 Tiempo medio entre reparaciones (MTTR).	52
3.2.6.4 Disponibilidad (D).	53
3.2.7 Clasificación y taxonomía de equipos	53
3.2.8 Hojas de Vida de los Activos.....	54
3.2.9 Ordenes de Trabajo de Mantenimiento.....	54
3.2.10 Cronograma de Mantenimiento	55
3.2.11 Ficha de Inspección.....	55
3.2.12 Ficha técnica	56
4. Metodología	56
4.1 Tipo de Metodología.....	56
4.2 Reunión Actual Gestión de Mantenimiento.....	57
4.2 Caracterización del Activo Físico	57
4.3 Priorización de los activos críticos	58
4.4 Desarrollo e implementación de un CMMS	63
4.5 Indicadores de Mantenimiento.....	63
4.5.1 MTBF.....	63
4.5.2 MTTR	64
4.5.3 Tasa de fallo (λ)	64
4.5.4 Disponibilidad del equipo	64
4.6 Metodología de cálculo de indicadores.....	65

4.6.1 Metodología de cálculo MTBF	65
4.6.2 Metodología de cálculo MTTR.....	66
4.6.3 Metodología de cálculo de la tasa de fallo (λ).....	66
4.6.4 Metodología de cálculo de disponibilidad	66
5. Jerarquización de equipos críticos	67
5.1 Gestión de Mantenimiento Actual	67
5.2 Caracterización del Activo Físico	70
5.3 Priorización e identificación del activo crítico	75
5.3.1 Descripción del activo físico.....	82
5.3.2 Análisis de criticidad Satellite XT 10500	85
5.3.2.1 Análisis de criticidad por subsistemas.	85
5.3.2.2 Análisis de criticidad por ítem mantenible.	87
5.4 Plan de Mantenimiento Preventivo	88
5.4.1 Aplicación de la metodología RCM a partir del análisis AMEF	88
5.4.2 Análisis AMEF Satellite XT 10500	95
5.5 Plan y Actividades de Mantenimiento	102
5.5.1 Ficha de Inspecciones	102
5.5.2 Cronograma Anual de Mantenimiento.....	103
6. Sistema Computarizado de Gestión de Mantenimiento (CMMS).....	106
6.1 Formato Ficha técnica y Hoja de vida	107
6.2 Formato Orden de Trabajo.....	109
6.3 Formato Estudio de Criticidad.....	110
6.4 Formato Análisis Modos y Efectos de Fallo (AMEF)	112

6.5 Formato Fichas de Inspección	113
6.6 Formato Plan Cronograma Anual de Mantenimiento	114
7. Indicadores	116
7.2 Resultados obtenidos	116
7.2.1 Resultados generales de los indicadores	117
7.2.2 Evolución mensual de los indicadores	117
7.2.3 Comparación anual de los indicadores (2024 vs 2025)	121
7.3 Análisis y discusión de resultados	122
8. Conclusiones	123
Referencias Bibliográficas	127
Apéndices	130

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Criterios de Severidad</i>	60
Tabla 2 <i>Criterio de Ocurrencia</i>	61
Tabla 3 <i>Criterio de Detectabilidad</i>	61
Tabla 4 <i>Ponderación NPR</i>	62
Tabla 5 <i>Gestión Actual de Mantenimiento del área de producción de manufactura para producción de fachadas en empresa Ventanar S.A.S</i>	67
Tabla 6 <i>Resultados globales de indicadores de mantenimiento Satellite XT 10500</i>	117
Tabla 7 <i>Comparación anual indicadores de mantenimiento</i>	121

Pág.

Lista de Figuras

Figura 1	<i>Diagrama de flujo comercial y productivo de Ventanar S.A.S</i>	23
Figura 2	<i>Área de almacén de vidrio y aluminio Ventanar S.A.S</i>	24
Figura 3	<i>Área de pintura Ventanar S.A.S</i>	25
Figura 4	<i>Área de corte Ventanar S.A.S</i>	26
Figura 5	<i>Área de troquelado Ventanar S.A.S</i>	27
Figura 6.	<i>Área de vidrio Ventanar S.A.S</i>	28
Figura 7	<i>Área de ensamble Ventanar S.A.S</i>	29
Figura 8	<i>Área de Despacho Ventanar S.A.S</i>	30
Figura 9.	<i>Organigrama 1 Ventanar S.A.S</i>	31
Figura 10.	<i>Organigrama 2 Ventanar S.A.S</i>	32
Figura 11.	<i>Organigrama 3 Ventanar S.A.S</i>	33
Figura 12	<i>Generaciones del Mantenimiento Industrial</i>	37
Figura 13	<i>Ejemplo Criterios de Ponderación de Criticidad</i>	43
Figura 14	<i>Ejemplo Matriz de Criticidad</i>	43
Figura 15	<i>Ejemplo Escala de Referencia Criticidad</i>	44
Figura 16	<i>7 preguntas del RCM-Pasos para llevar a cabo su implementación</i>	45
Figura 17	<i>Ejemplo formato AMEF</i>	46
Figura 18	<i>Ejemplo Grados de Severidad</i>	47
Figura 19	<i>Ejemplo Grados de Ocurrencia</i>	48
Figura 20	<i>Ejemplo Grados de Detección</i>	49
Figura 21	<i>Ejemplo Categorización NPR</i>	50
Figura 22	<i>Tiempos Operativos de Mantenimiento</i>	51

Figura 23	<i>Estructura jerárquica de la taxonomía de equipos</i>	53
Figura 24	<i>Flujograma específico del proceso</i>	70
Figura 25	<i>Procesos y listado de activos</i>	71
Figura 26	<i>Distribución maquinaria por áreas Ventanar S.A.S</i>	72
Figura 27	<i>Proceso de codificación de activos</i>	74
Figura 28	<i>Criterios de criticidad y ponderaciones asignadas</i>	77
Figura 29	<i>Escala de Referencia Criticidad</i>	78
Figura 30	<i>Ponderación de Criticidad por Áreas de Producción</i>	79
Figura 31	<i>Matriz de criticidad por áreas del proceso</i>	81
Figura 32	<i>Matriz de criticidad por equipo</i>	82
Figura 33	<i>Centro de Mecanizado Satellite XT 10500</i>	83
Figura 34	<i>Diagrama de subsistemas Satellite XT 10500</i>	83
Figura 35	<i>Ejemplo taxonomía sistema de sujeción de mordazas (Subniveles 6-9) de Satellite XT 10500</i>	84
Figura 36	<i>Ponderación de subsistemas (Subnivel7) - Satellite XT 10500</i>	85
Figura 37	<i>Matriz de criticidad por subsistemas</i>	86
Figura 38	<i>Ponderación Ejemplo de ítem mantenible (Subnivel 8) - Satellite XT 10500</i>	87
Figura 39	<i>Formato Registro AMEF- Fallos potenciales y Estado Actual</i>	89
Figura 40	<i>Formato Registro AMEF-Resultados por acciones</i>	90
Figura 41	<i>Proceso de llenado del formato</i>	92
Figura 42	<i>AMEF Satellite XT 10500 [1]</i>	96
Figura 43	<i>Continuación Figura 43- AMEF Satellite XT 10500 [2]</i>	96
Figura 44	<i>Continuación Figura 43 - AMEF Satellite XT 10500 [3]</i>	97

Figura 45 <i>Continuación Figura 45- AMEF Satellite XT 10500 [4]</i>	97
Figura 46 <i>Continuación Figura 45- AMEF Satellite XT 10500 [5]</i>	98
Figura 47 <i>Continuación Figura 47- AMEF Satellite XT 10500 [6]</i>	98
Figura 48 <i>Pareto por Tipo de Consecuencia</i>	100
Figura 49 <i>Pareto por Tipo de Falla</i>	101
Figura 50 <i>Formato Ficha de Inspecciones</i>	102
Figura 51 <i>Continuación Figura 51- Formato Ficha de Inspecciones</i>	102
Figura 52 <i>Cronograma Anual de Mantenimiento Satellite XT 10500</i>	104
Figura 53 <i>Continuación Figura 53- Cronograma Anual de Mantenimiento Satellite XT 10500</i>	105
Figura 54 <i>Formato Ficha Técnica Satellite XT 10500</i>	108
Figura 55 <i>Formato Hoja de Vida Satellite XT 10500</i>	108
Figura 56 <i>Continuación Figura 56 - Formato Hoja de Vida Satellite XT 10500</i>	108
Figura 57 <i>Formato Orden de Trabajo</i>	110
Figura 58 <i>Formato Cuantitativo Análisis de Criticidad</i>	111
Figura 59 <i>Formato Matriz de Criticidad</i>	111
Figura 60 <i>Formato AMEF</i>	113
Figura 61 <i>Formato Ficha de Inspección</i>	114
Figura 62 <i>Formato Plan Cronograma Anual de Mantenimiento</i>	115
Figura 63 <i>Continuación Figura 63 - Plan Cronograma Anual de Mantenimiento</i>	115
Figura 64 <i>Evolución mensual y acumulada de la disponibilidad del equipo Satellite XT 10500</i>	117
Figura 65 <i>Evolución mensual TBF y horas sin fallas al día del equipo Satellite XT 10500</i>	118

Figura 66 <i>Evolución mensual del MTTR del equipo Satellite XT 10500.....</i>	119
Figura 67 <i>Evolución de la tasa de fallo acumulado del equipo Satellite XT 10500.....</i>	120

Lista de apéndices

Apéndice A. Taxonomía del equipo	130
Apéndice B. Análisis de Criticidad.....	138
Apéndice C. Análisis AMEF Satellite XT 10500.....	147
Apéndice D. Ficha de Inspección Satellite XT 10500.....	148
Apéndice E. Cronograma Anual de Mantenimiento Satellite XT 10500	149
Apéndice F. Formato Instructivo Ficha Técnica y Hoja de vida Satellite XT 10500.....	150
Apéndice G. Formato Instructivo Orden de Trabajo	152
Apéndice H. Formato Instructivo Análisis de Criticidad	154
Apéndice I. Formato Instructivo AMEF	156
Apéndice J. Formato Instructivo Ficha de Inspección.....	158
Apéndice K. Formato Instructivo Plan Cronograma Anual de Mantenimiento	160
Apéndice L. Dashboard de indicadores de mantenimiento del equipo Satellite XT 10500	162
Apéndice M. Intervención de mantenimiento preventivo y componentes Satellite XT 10500 ..	168
Apéndice N. Registro de seguimiento de la ficha de inspección operativa del equipo Satellite XT 10500.....	178

Resumen

Título: Gestión de un plan de mantenimiento preventivo en la empresa Ventanar, Sede Girón.*

Autor: Juan Sebastian Moreno Ramírez**

Palabras Clave: Mantenimiento, Preventivo, Disponibilidad, Gestión, Producción, Matriz de criticidad, AMEF, CMMS

El presente proyecto de grado tiene como objetivo desarrollar e implementar un plan de mantenimiento preventivo en la empresa Ventanar S.A.S., ubicado en la sede Girón, enfocado en los equipos críticos del área de producción de fachadas. Actualmente, la empresa mantiene una gestión limitada del mantenimiento, predominando acciones correctivas, escasez de personal técnico, ausencia de documentación completa y actualizada y sin clasificación por criticidad de sus activos, generando paradas no programadas, fallas recurrentes y un impacto negativo en la eficiencia operativa.

La metodología aplicada se estructura en cinco fases principales. En primer lugar, se realizó una reunión con el personal encargado del mantenimiento para diagnosticar el estado actual y recolectar información clave. Luego, se caracterizaron los activos físicos conforme a la norma ISO 14224, mediante la elaboración de fichas técnicas y hojas de vida. Posteriormente, se priorizaron los equipos mediante un análisis de criticidad tipo ABC (semáforo), evaluando criterios como costos, recurrencia, mantenibilidad, operación, medio ambiente y normativos y calidad. A continuación, se aplica la metodología AMEF para identificar modos y efectos de fallas potenciales y establecer acciones preventivas.

Finalmente, se desarrolló e implementó un sistema computarizado de gestión de mantenimiento (CMMS) usando Excel, permitiendo digitalizar órdenes de trabajo, cronogramas, fichas técnicas, fichas de inspección y hojas de vida.

El proyecto sienta las bases para una transformación sostenible positiva del mantenimiento en la empresa Ventanar, integrando herramientas técnicas modernas para asegurar la continuidad operativa y rentabilidad empresarial.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingeniería Fisicomecánica. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Paula Andrea Cuervo Velásquez. Doctorado en Ingeniería Mecánica.

Abstract

Title: Management of a Preventive Maintenance Plan at Ventanar S.A.S., Girón*

Author: Juan Sebastian Moreno Ramírez**

Key Words: Maintenance, Preventive, Availability, Management, Production, Criticality Matrix, FMEA, CMMS

This undergraduate thesis aims to develop and implement a preventive maintenance plan at Ventanar S.A.S., located at its Girón branch, focusing on the critical equipment in the façade production area. Currently, the company exhibits a limited maintenance management approach, with corrective actions prevailing, a shortage of technical personnel, lack of complete and updated documentation, and no criticality-based classification of assets. These issues result in unplanned downtime, recurring failures, and a negative impact on operational efficiency.

The applied methodology is structured into five main phases. First, a meeting was held with the maintenance personnel to diagnose the current state and gather key information. Then, physical assets were characterized in accordance with ISO 14224, by creating technical datasheets and equipment records. Subsequently, equipment was prioritized through an ABC-type (traffic light) criticality analysis, evaluating criteria such as cost, recurrence, maintainability, operation, environmental and regulatory impact, and quality. Following that, the FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) methodology was applied to identify potential failure modes and effects and to establish preventive actions.

Finally, a Computerized Maintenance Management System (CMMS) was developed and implemented using Excel, enabling the digitalization of work orders, schedules, technical datasheets, inspection forms, and equipment records.

The project lays the foundation for a positive and sustainable transformation of the maintenance strategy at Ventanar S.A.S., by integrating modern technical tools to ensure operational continuity and business profitability.

* Degree Work

**Physical-Mechanical Engineering Faculty. School of Mechanical Engineering. Director: Paula Andrea Cuervo Velásquez. PhD Mechanical Engineering.

Introducción

En la industria manufacturera e ingeniería de fachadas un aspecto relevante es el área de producción, en la que se requiere una constante operatividad con el fin de transformar la materia prima en bienes o servicios, motivo el cual es imprescindible que las empresas mantengan sus activos dentro de los parámetros de operación, productividad y eficiencia requeridos para realizar las operaciones y/o servicios; siendo estos los pilares esenciales para asegurar el éxito y competitividad de cualquier empresa.

En el ámbito empresarial, el mantenimiento preventivo de los equipos es fundamental para garantizar la disponibilidad, la eficiencia operativa y la durabilidad útil de los mismos; con el propósito de minimizar los tiempos de inactividad no planificados, mejorar la gestión de los equipos y reducir costos de producción debido a mantenimientos correctivos inesperados.

Según la norma (UNE-EN_13306, 2018) el mantenimiento es una “Combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión realizadas durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o a devolverlo a un estado en el que pueda desempeñar la función requerida” (p.6).

Además de esto, establece parámetros de gestión en términos de fiabilidad garantizando la disponibilidad de los activos siendo el área de mantenimiento un reflejo en la parte financiera y la estabilidad de la compañía.

La investigación de mantenimiento industrial reportada por un artículo bajo el nombre: "El mantenimiento industrial. Una experiencia Latinoamericana", desarrollado por Manuel L. Ruiz et.al. (Ruiz & Martínez, n.d.), afirman que la falta de estrategias e información adecuadas en las prácticas de mantenimiento han llevado a cabo una situación, en la que no es posible identificar la existencia de programas de mantenimiento dentro de las empresas. Dicho problema, resalta que la

falta de una adecuada estrategia para implementar el mantenimiento tiene un impacto significativo en resultados económicos, ya que afecta la eficiencia operacional, no hay un cumplimiento de disponibilidad de operación de los equipos, lo que conlleva a un aumento de costos operativos por paradas o fallos inesperados y reduce rentabilidad. Además, menciona que es necesario un cambio de mentalidad y capacitación a la hora de gestionar el mantenimiento para garantizar mayores expectativas de confiabilidad y productividad.

Actualmente, la compañía Ventanar S.A.S tiene un enfoque superficial en el departamento de mantenimiento, ya que cuenta solo con dos operarios a su disposición, siendo el ingeniero y el técnico de mantenimiento.

La empresa cuenta con un plan de mantenimiento preventivo, aunque se implementa más de manera correctiva, lo que hace casi imposible mantener los equipos de producción en buen estado debido a la falta de personal. Además, se requiere una actualización de los documentos técnicos de los equipos ya establecidos en la empresa y un sistema ofimático para la gestión del mantenimiento en Ventanar S.A.S.

Así también, no se ha establecido una clasificación de los equipos según su criticidad mediante una taxonomía adecuada como lo indica la norma ISO 14424, ni implementado alguna metodología para mitigar o disminuir fallos imprevistos. Por lo tanto, dificulta la identificación temprana de fallas y la planificación de acciones preventivas de mantenimiento, lo genera un estado de averías, pausas parciales en la producción, y fallas repetitivas (aumento de tasa de falla) afectando negativamente la estabilidad económica y la productividad de la compañía.

Ante esta situación, surge la pregunta: ¿Cómo implementar un plan de mantenimiento preventivo en la empresa Ventanar S.A.S., sede Girón, que permita optimizar la disponibilidad y el rendimiento de los equipos críticos del área de producción?

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Desarrollar un plan de mantenimiento preventivo para el área de producción de un equipo crítico de manufactura para producción de fachadas de la empresa Ventanar S.A.S, con el propósito de mejorar la disponibilidad y tiempos de mantenimiento del equipo de alto impacto en producción y costos.

1.2 Objetivos Específicos

Identificar y clasificar los equipos críticos mediante la implementación de la norma ISO 14224 para facilitar el seguimiento y gestión eficiente de los activos.

Seleccionar el equipo prioritario de la planta de producción mediante un estudio de matriz de criticidad, en base a tasa de fallos, disponibilidad, costos, producción y calidad para diseñar el plan de mantenimiento.

Identificar los modos de fallos potenciales mediante la aplicación del análisis de modo y efecto de fallas (AMEF), evaluando su impacto en la productividad, para enfocar acciones para el plan de mantenimiento preventivo y mejorar la fiabilidad de los equipos de mayor importancia.

Implementar un sistema computarizado de gestión de mantenimiento (CMMS) para mejorar la ejecución de mantenimiento preventivo y correctivo del equipo crítico, con el propósito de mejorar la disponibilidad y reducir tiempos de mantenimiento.

2. Generalidades

2.1 Delimitaciones

2.1.1 Temporal

Mediante el convenio establecido entre el autor y la empresa Ventanar S.A.S., se autorizó la realización de prácticas empresariales durante el segundo semestre del año 2025, comprendido entre finales de junio y diciembre. Se acordó un periodo de seis (6) meses calendario para el desarrollo del proyecto, tiempo considerado suficiente y viable para cumplir con metodología prevista.

Este periodo fue establecido de común acuerdo, garantizando la disponibilidad del personal técnico de la empresa y siendo establecido dentro del cronograma académico de la Universidad Industrial de Santander.

2.1.2 Espacial

Este proyecto se desarrolla en las instalaciones de la empresa Ventanar S.A.S., específicamente en la planta de producción de fachadas ubicada en el municipio de Girón, en zona industrial del departamento de Santander, Colombia.

2.1.3 Temática

Este proyecto abarca en el desarrollo e implementación de un plan de mantenimiento preventivo aplicado a los equipos críticos del área de producción de fachadas de la empresa Ventanar S.A.S., sede Girón. Dicha temática se restringe en el ámbito del mantenimiento industrial, en el uso de diferentes metodologías como la matriz de criticidad, Análisis de Modo y Efecto de Fallos, gestión computarizada del mantenimiento y en la ejecución de actividades que incidan en los tiempos operativos de los activos.

2.2 Aspectos generales de la empresa

2.2.1 Reseña Histórica

Ventanar S.A.S. fue fundada el 28 de marzo de 1980 en Bucaramanga, Santander, por el ingeniero Andrés Novoa Pineda, junto con dos colegas ingenieros industriales, bajo la razón social Ventanar Ltda., siendo en sus inicios un negocio familiar dedicado a la fabricación de ventanas y puertas en aluminio y vidrio, en un local de aproximadamente 300 m².

Con el paso del tiempo, la empresa incorporó tecnología de punta y materiales con certificación de calidad, lo que le ha permitido participar en proyectos arquitectónicos de alta complejidad.

Partiendo de un pequeño equipo de tres personas, Ventanar emplea hoy cerca de 500 colaboradores, entre ingenieros, diseñadores industriales, arquitectos, técnicos y personal administrativo. Actualmente, cuenta con una planta de más de 14.000 m² en Girón, Santander, además de centros de distribución en Bogotá, Cartagena, Medellín y Cali.

Con un enfoque en la mejora continua, innovación y adaptación a nuevos mercados, Ventanar S.A.S. se ha consolidado como un referente nacional en ingeniería de fachadas, y continúa avanzando hacia su expansión internacional.

2.2.2 Ubicación

Ventanar S.A.S cuenta con una planta de producción ubicada en el municipio de Girón, Santander, junto a oficinas principales en la ciudad de Bogotá y centros de distribución unicados en Bogotá, Cartagena, Medellín y Cali.

2.2.3 Misión

Su misión es ofrecer soluciones en puertas, ventanas y fachadas de alta calidad. Su propósito es satisfacer a sus clientes con productos modernos y funcionales, evolucionando

constantemente sus procesos y escuchando las necesidades del mercado. A través del trabajo en equipo e innovación, busca generar valor tanto para sus clientes como para todo el personal que hace parte de la empresa.

2.2.4 Visión

Ventanar S.A.S. busca ser reconocida como una empresa líder en Colombia y a nivel internacional en el diseño y fabricación de soluciones arquitectónicas en aluminio y vidrio. Su objetivo es crecer exponencialmente con innovación, responsabilidad y compromiso, adaptándose a los cambios de mercado y aportando al desarrollo del sector de la construcción.

2.3 Mapa de procesos

2.3.1 Normatividad

La empresa Ventanar S.A.S., se apoya en normativas técnicas y legales aplicables a la gestión del mantenimiento y la fabricación de sistemas de cerramiento arquitectónico. Se toma como base la ISO 14224:2016, en la que se enfoca en la recolección y análisis de datos de mantenimiento, y la NTC ISO 9001:2015, que respalda los procesos en el área de calidad implementados por Ventanar S.A.S.

En cuanto a la seguridad laboral, se considera el Decreto 1072 de 2015, relacionado al Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST). Además, se incluyen la NTC 6066, que normaliza los requisitos generales de puertas y ventanas para edificaciones, y por último la NTC 5906, estableciendo las condiciones técnicas para los perfiles de aluminio utilizados en esta industria.

2.3.2 Procesamiento

La secuencia comercial-productiva en Ventanar S.A.S inicia con la recepción del requerimiento del cliente y verificación de inventario de aluminio y vidrio, lo que determina si se

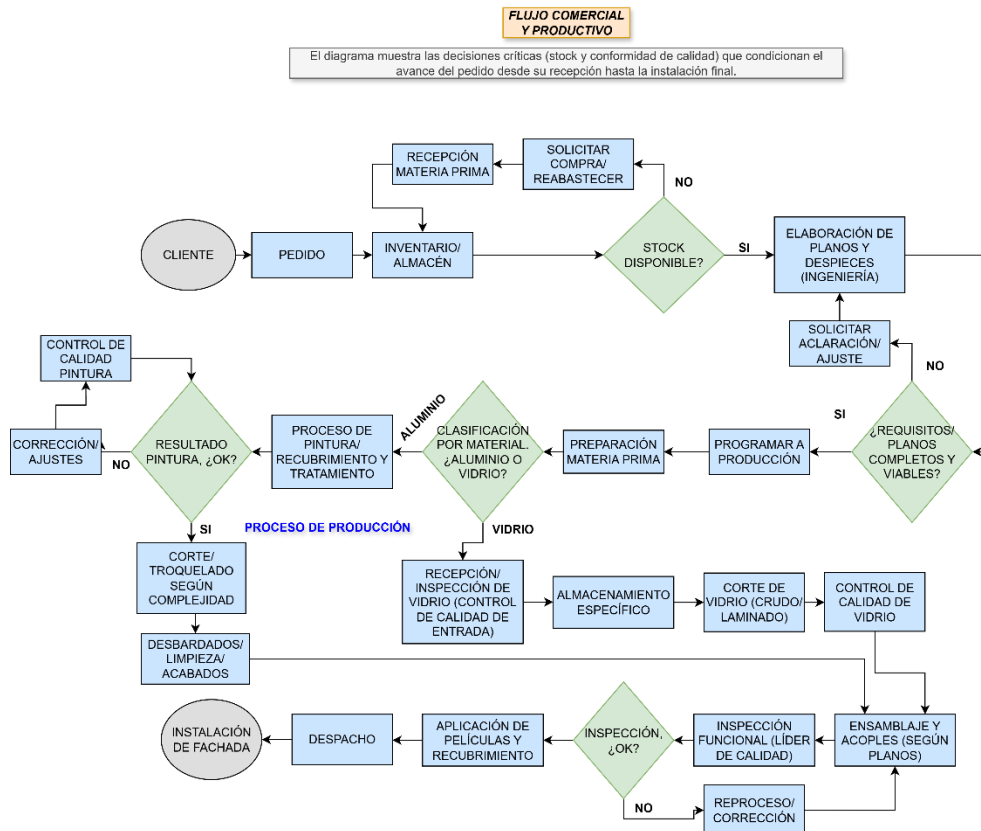
procede o se gestiona reabastecimiento. Con los insumos asegurados, posterior a esto, ingeniería elabora planos y despieces guiados a la producción, la cual comprende procesos de pintura, corte, troquelado y mecanizado; además del acondicionamiento del vidrio, que transforma y acondiciona paños de vidrio crudo y laminado, integrándolos al flujo productivo para su posterior ensamblaje o despacho.

Posteriormente las piezas son ensambladas, verificadas mediante controles de calidad y finalmente despachadas hacia obra garantizando trazabilidad y cumplimiento de especificaciones.

A continuación, en la Figura 1, se presenta el diagrama que sintetiza el flujo operativo en la Figura 1, donde se señalan las decisiones y puntos de control que condicionan la continuidad del proceso.

Figura 1

Diagrama de flujo comercial y productivo de Ventanar S.A.S



2.4 Descripción de la planta

Existen zonas estratégicas en las instalaciones, que cumplen el mapa de procesos mencionados a continuación.

La planta de producción se encuentra segmentada en áreas funcionales, definidas según la naturaleza de las operaciones que en ellas se ejecutan. Se identifican zonas destinadas al tratamiento superficial (pintura y recubrimientos), al procesamiento y transformación de vidrios, corte y troquelado de perfiles de aluminio, así como operaciones de ensamblaje y acabado.

Esta distribución permite ordenar el flujo de trabajo, optimizar la secuencia operativa y garantizar que cada etapa cuente con los recursos y calidad adecuada para cumplir con las especificaciones técnicas del producto final.

2.4.1 Almacén de aluminio y vidrio

El almacén de vidrio y aluminio de Ventanar S.A.S constituye la primera etapa logística del proceso productivo, donde se recibe, controla y dispone la materia prima en estanterías cantiléver y zonas de almacenamiento preparadas para facilitar su posterior alimentación a las líneas de corte y troquelado (ver Figura 2).

Figura 2

Área de almacén de vidrio y aluminio Ventanar S.A.S



La correcta ubicación y accesibilidad de los materiales, así como los controles de recepción y trazabilidad, son determinantes para asegurar la continuidad en la protección, optimizar tiempos de preparación y mantener la calidad dimensional y superficial exigida por las etapas de tratamiento superficial y ensamblaje.

2.4.2 Área de pintura

El área de pintura de Ventanar S.A.S integra una secuencia de procesos diseñados para garantizar protección anticorrosiva y el acabado estético de los perfiles y componentes metálicos. El flujo inicia con la manipulación de las piezas mediante polipasto eléctrico, seguido del pretratamiento en estaciones de enjuague y secado, impulsadas por sistemas auxiliares, como motobombas y acumuladores de aire.

Posteriormente las piezas avanzan hacia las cabinas de aplicación: cabina n°2, destinada a la intervención manual de los operarios en zonas de difícil acceso, y la cabina 1, donde un sistema automatizado realiza la aplicación uniforme de la pintura electrostática. Finalmente, las piezas ingresan al horno marca Sifap, que asegura el curado y la adherencia del recubrimiento mediante un control preciso de temperatura y tiempo de exposición (ver Figura 3).

Figura 3

Área de pintura Ventanar S.A.S



Este conjunto de operaciones convierte el área de pintura en una de las etapas críticas del proceso productivo, donde la disponibilidad y eficiencia de los activos resultan determinantes para la calidad y el cumplimiento de la producción.

2.4.3 Área de corte

El área de corte de la planta de Ventanar S.A.S. constituye el primer eslabón de transformación de la materia prima (perfiles y chapas de aluminio) hacia componentes con dimensiones y acabados requeridos en los planos de ingeniería. En esta zona operan equipos de corte de distintas configuraciones (sierras de cabezal único y doble cabezal), que permiten cortes rectos, biselados e ingletes con la precisión y repetibilidad exigidas por producción (ver Figura 4).

Figura 4

Área de corte Ventanar S.A.S



Debido a su impacto sobre la calidad dimensional, el rendimiento del área y la trazabilidad de las piezas, la disponibilidad y la correcta calibración de estas máquinas son determinantes, pues condicionan la operatividad de la línea y la eficiencia del flujo productivo.

2.4.4 Área de troquelado

El área de troquelado de Ventanar S.A.S. concentra operaciones de conformado, punzonado y mecanizado necesarias para transformar perfiles y chapas de aluminio en componentes con las geometrías y tolerancias especificadas en los planos de ingeniería.

Esta sección integra troqueladoras eléctricas y neumáticas, copiadores-fresadoras, sierras y equipos de acabado como refileadoras y retestadora, que permiten procesar tanto series repetitivas como piezas singulares (ver Figura 5).

Figura 5

Área de troquelado Ventanar S.A.S



La precisión dimensional, control de parámetros de corte y avance; asimismo, dichas operaciones de extracción de virutas y control de velocidades son críticas para evitar deformaciones y obtener repetibilidad.

2.4.5 Área de vidrio

El área de vidrio de Ventanar S.A.S. concentra las operaciones de corte, conformado y manipulación del vidrio plano necesarias para obtener unidades dimensionadas y preparadas para su posterior ensamblaje e instalación en fachada. Esta sección integra equipos especializados tales como mesa de corte para vidrio crudo y laminado, biseladora rectilínea, cantedora rectilínea, sistema de manipulación por vacío y un puente grúa; que permiten realizar cortes precisos, acabados de canto y biselado, manipulación segura de láminas de gran tamaño y peso (ver Figura 6).

Figura 6.

Área de vidrio Ventanar S.A.S



El control de parámetros operativos (posición de corte, velocidad de avance, sujeción por vacío) y la integridad del material son determinantes para garantizar calidad óptica y asegurar el correcto acople en marcos y fachadas.

Por su papel en la cadena productiva, el desempeño del área de vidrio condiciona directamente la calidad final del producto y eficiencia de las etapas de montaje e instalación.

2.4.6 Área de ensamble

El área de ensamble de Ventanar S.A.S agrupa las operaciones finales de ajuste, unión y acabado que permiten integrar los componentes fabricados en subunidades y módulos destinados a la instalación en fachadas.

Está constituida por estaciones de perforación, conformado, corte y ajuste y sierras manuales, así como equipos de acabado y desbaste. Estas máquinas posibilitan la ejecución de operaciones críticas como el curvado controlado de perfiles, perforado con tolerancias repetibles y eliminación de rebabas para garantizar encaje y funcionalidad de los ensambles (ver Figura 7).

Figura 7

Área de ensamble Ventanar S.A.S



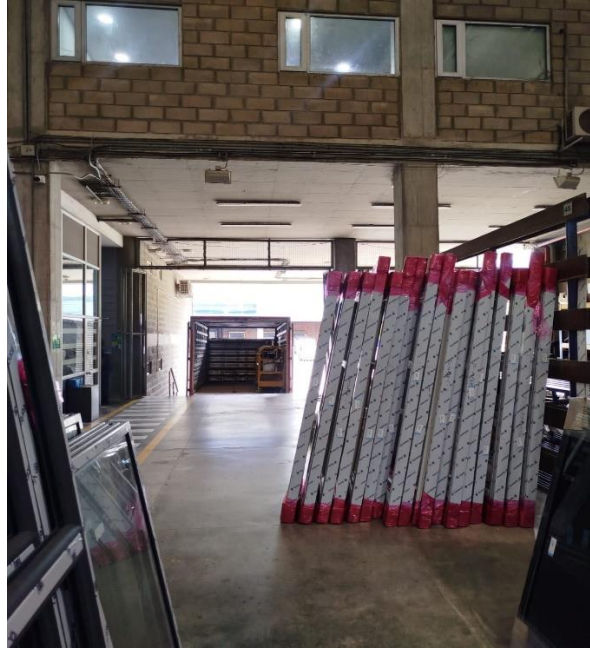
La disposición y coordinación de las estaciones de trabajo fomentan un flujo productivo eficiente, asegurar calidad dimensional y facilitar la preparación de los conjuntos para la etapa de instalación.

2.4.7 Despacho

El área de despacho de Ventanar S.A.S cumple la función de acondicionar las unidades terminadas mediante recubrimientos y protecciones específicas, enfocadas en zonas con mayor probabilidad de daño (bordes, cantos, zonas perforadas o puntos de apoyo), y en la preparación final para transporte e instalación. Estas intervenciones incluyen la aplicación de películas protectoras, sellantes de borde y retoques de recubrimiento en zonas críticas (ver Figura 8).

Figura 8

Área de Despacho Ventanar S.A.S



Dada la fragilidad del vidrio laminado y la manipulación de unidades de gran dimensión, la coordinación entre control de calidad, la aplicación de recubrimientos protectores y la logística resulta importante para preservar la trazabilidad hasta la instalación en fachada.

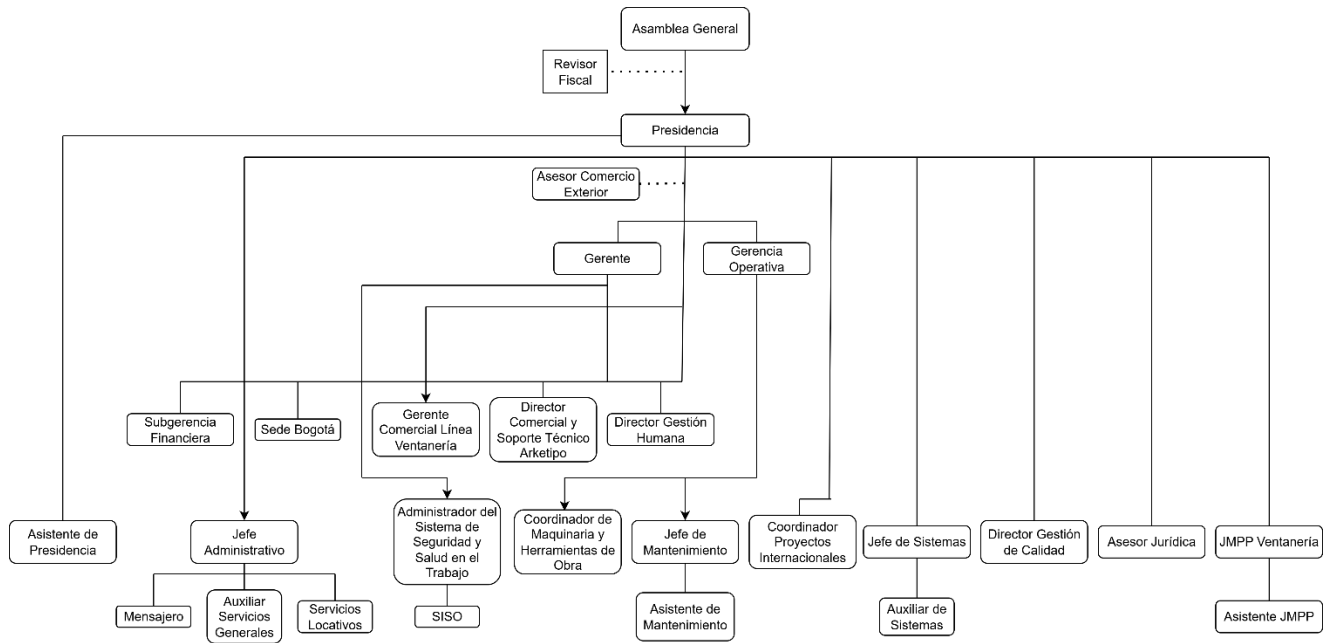
2.5 Organigrama

Los organigramas presentan de manera sistemática la estructura organizacional y relaciones funcionales entre las distintas unidades de la empresa.

Estos esquemas sirven para visualizar vías de coordinación, responsabilidad y para evidenciar los puntos de interconexión donde se sitúan las situaciones operativas que afectan la disponibilidad de activos y la continuidad productiva (ver Figura 9, Figura 10 y Figura 11).

Figura 9.

Organigrama 1 Ventanar S.A.S



El área de mantenimiento de Ventanar S.A.S., adscrita a la Gerencia Operativa y con reporte funcional al jefe de Producción, mantiene una interacción constante con los departamentos de Ingeniería, Producción y Calidad. Su función estratégica consiste en garantizar la continuidad operativa de las líneas productivas Ventanar y Arketipo (esta última concebida como una línea paralela) y en asegurar la disponibilidad de un parque aproximado de 155 activos. La estructura organizacional del área integra una jefatura técnica, una jefatura orientada a gestión y logística (principalmente asociada a andamios y adquisiciones), técnicos de mantenimiento y asistentes operativos, conformando un equipo con responsabilidades tanto como técnicas como administrativas orientadas al aseguramiento de la fiabilidad y disponibilidad de los equipos.

Figura 10.

Organigrama 2 Ventanar S.A.S

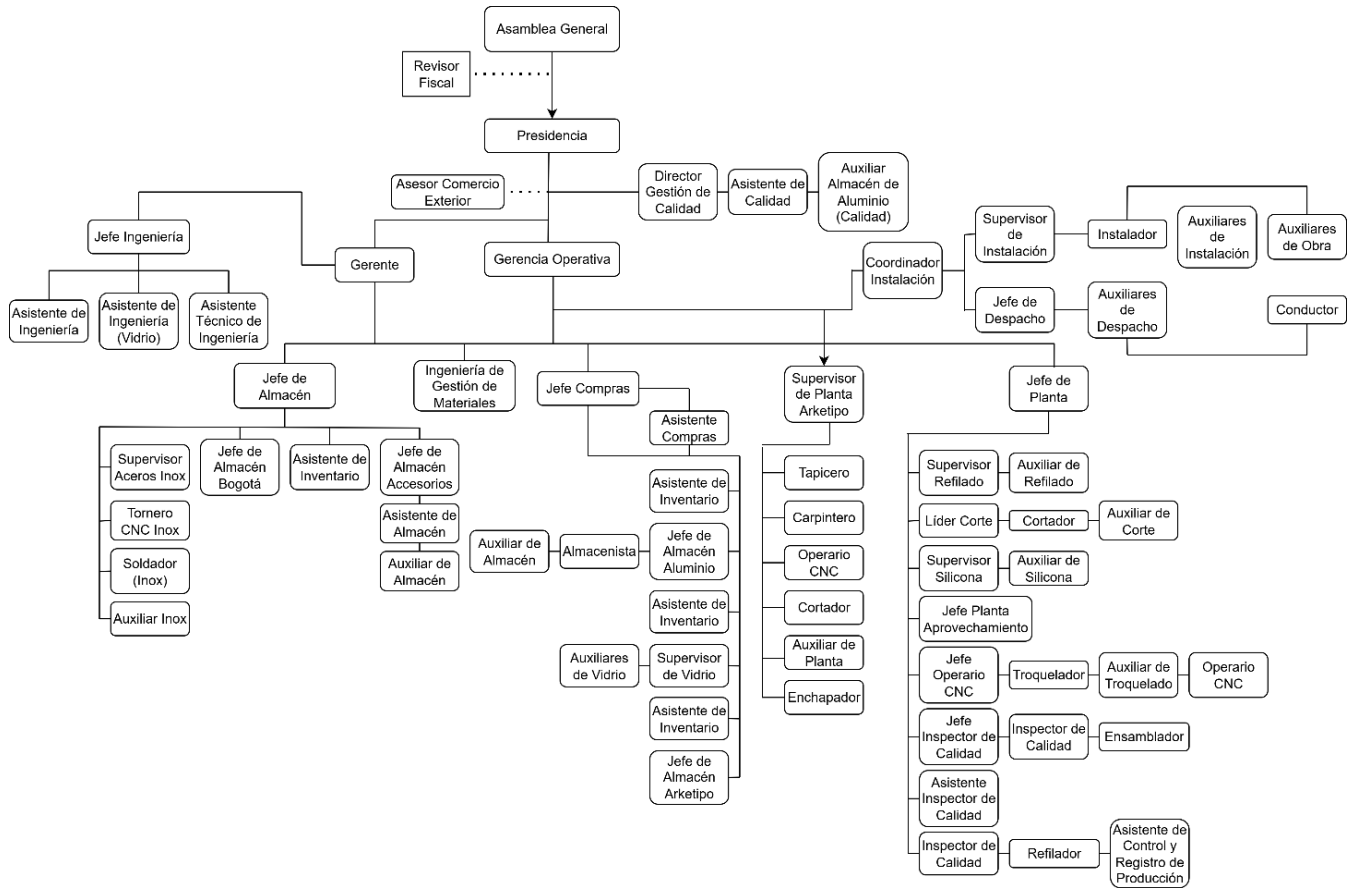


Figura 11.

Organigrama 3 Ventanar S.A.S

Así conecta la evidencia empírica con los fundamentos teóricos que soportan la propuesta de mantenimiento, facilitando la identificación de brechas de conocimiento aplicables a Ventanar S.A.S.

3.1 Estado del arte

3.1.1 Antecedente Regional

Un proyecto enfocado en gestionar un plan de mantenimiento en una empresa de industria agroindustrial en Bucaramanga, Santander, (Moreno, J. 2021), surgió debido a la ausencia de una gestión de los activos de la planta de producción. Al no existir cronogramas, ni rutinas de inspección generaba altos costos por paradas no programadas y el deterioro de la vida útil de la maquinaria. Su objetivo fue desarrollar una gestión de mantenimiento destinada al Mantenimiento Basado en Confiabilidad (RCM), junto a la metodología de Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF), aplicado a los equipos con mayor impacto en la producción y sumado a esto fichas de inspecciones, fichas técnicas y formatos dirigidos hacia la gerencia de la información. Como resultado se evidenció una mejora en la disponibilidad y efectividad total de los activos (OEE), reduciendo tiempos de inactividad y fallas imprevistas, lo que permitió una reducción en costos de mantenimiento correctivo no programado y una mejor planificación de los recursos.

3.1.2 Antecedente Nacional

Un proyecto que consistió en usar la metodología AMEF y el modelo de Confiabilidad, Mantenimiento y Disponibilidad (CMD), (Laguna, L. 2022), donde a través del diagrama de Pareto, se identificaron los equipos responsables del 80% de las fallas de la estación elevadora con el motivo de establecer estrategias de mantenimiento basada en datos. Mediante el AMEF, se detectó que las conexiones flojas eran las principales causas de sobrecalentamiento en terminales eléctricos, y mediante los indicadores CMD, se optimizó las frecuencias de mantenimiento, redujo

fallas inesperadas y tiempos de reparación. Este enfoque metodológico de la gestión de mantenimiento representó un avance positivo en la confiabilidad y eficiencia operativa de la estación elevadora "La Isla".

3.1.3 Antecedente Internacional

Este proyecto que aborda la mejora en la gestión de mantenimiento en el sector de construcción mediante la metodología AMEF en la obra Puente Chino, localizado en Pucallpa, Perú, (Barrientos, G. 2017), su problemática a solucionar fue la baja disponibilidad operativa de los equipos, debido a una planificación incorrecta del mantenimiento. Como solución a dicha problemática se aplicó el AMEF para identificar y minimizar esas fallas críticas, para proponer tareas preventivas en función de optimizar la gestión de los activos. En el transcurso del proyecto se midieron los indicadores clave como el Tiempo Medio entre Fallas (MTBF), KPI's de disponibilidad y ratio de costos de mantenimiento, reflejando mejoras en la eficiencia operativa del sector. Como conclusión, se aumentó la disponibilidad de los equipos, lo que demuestra que la implementación de las diferentes metodologías de mantenimiento basado en confiabilidad, son clave para optimizar la gestión de equipos en proyectos a nivel de infraestructura.

3.2 Marco teórico

3.2.1 Historia y Evolución del Mantenimiento Industrial

Durante la Revolución Industrial se produjo la transición del trabajo artesanal a la producción mecanizada, lo que creó la necesidad de mantener y reparar maquinaria a mayor escala. En las primeras etapas el mantenimiento fue mayoritariamente reactivo: las averías se corregían cuando ocurrían por personal de taller u operadores, sin planificación alguna. Con el crecimiento de la industria, la mayor inversión en activos y el aumento de la competitividad, las empresas

comenzaron a priorizar la reducción de paradas mediante inspecciones y rutinas de mantenimiento preventivo.

A lo largo del Siglo XX, debido a la alta demanda industrial como las guerras mundiales, la disciplina evolucionó hacia enfoques más organizados y basados en la función y el riesgo del equipo. Surgieron prácticas y modelos como el Mantenimiento Preventivo, el Mantenimiento Productivo Total (TPM) y más tarde el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), que impulsaron la profesionalización de los departamentos de mantenimiento e implementación de registros y procedimientos.

En las últimas décadas, la sensorización y digitalización (CMMS, análisis de condición, IIoT) han permitido transitar hacia estrategias predictivas con una gestión de activos más eficiente, llegando así hasta tener industrias ocupando la quinta generación del mantenimiento como se puede observar en la Figura 12.

Figura 12

Generaciones del Mantenimiento Industrial



3.2.2 *Mantenimiento*

En el ámbito industrial, la razón por la cual, el mantenimiento es un pilar estructurado se basa a partir de la mejora y cuidado de los componentes de maquinaria y equipos, contando desde el operario hasta el técnico encargado de realizar tareas complejas de mantenimiento.

Uno de los objetivos principales es extender la vida útil de cualquier ítem, parte, pieza o máquina evitando fallas inesperadas, paradas no programadas, garantizando disponibilidad de operación por medio de diferentes metodologías que lleva a realizar diferentes acciones, actividades o tareas permitiendo obtener un control de gestión de mantenimiento de los activos.

(González, M. 2004) resalta que: "En la actualidad el mantenimiento ha ido adquiriendo una importancia creciente; los adelantos tecnológicos han impuesto un mayor grado de mecanización y automatización de la producción, lo que exige un incremento constante de la calidad; por otro lado, la fuerte competencia comercial obliga a alcanzar un alto nivel de confiabilidad del sistema de producción o servicio, a fin de que éste pueda responder adecuadamente a los requerimientos del mercado (p.23)"

Para (Pineda, H. 2021) "Efectuar una implementación de mantenimiento correcta incide directamente en la reducción de costos, por concepto de reparaciones periódicas para la detección oportuna de cualquier desgaste o daño por medias reparaciones, limpiezas, inspecciones y monitoreos (p.21)".

(León, J. 2024) plantea que: "Los distintos enfoques o procedimientos que se utilizan en el proceso de mantenimiento de una empresa, una máquina, un equipo o un sistema se determinan en función de cuál de ellos es el más adecuado y produce los mejores resultados posibles. Dicho de otro modo, es esencial investigar cuál de estos enfoques aumentará la fiabilidad, la disponibilidad y reducirá los gastos (p.34)".

Actualmente el mantenimiento está siendo relevante, los avances tecnológicos han impuesto un grado de mecanización y automatización de la producción, lo que conlleva a su vez un incremento en la calidad; junto a eso, la competencia comercial se fortalece cada vez más, lo que obliga a estar en un alto nivel de confiabilidad de sistemas de producción o servicios.

Por lo que, el mantenimiento es el conjunto de acciones y tareas destinadas a la conservación de la maquinaria y equipos, con el fin de mantener los activos en buen estado, restaurar o recuperar su función requerida. Esto incluye estrategias para evitar, analizar o compensar la degradación generada por el tiempo y su uso, prolongando su vida útil.

Según (Duffua, 2000), afirma que: “El mantenimiento, como sistema, tiene una función clave en el logro de las metas y objetivos de la empresa. Contribuye a reducir los costos, minimizar el tiempo muerto de los equipos, mejorar la calidad, incrementar la productividad y contar con equipo confiable que sea seguro y esté bien configurado para lograr la entrega oportuna de las órdenes a los clientes (p.16)”.

Dado que el mantenimiento es clave para la operación eficiente de los equipos, el mantenimiento puede clasificarse en dos tipos principales: el correctivo y preventivo.

3.2.2.1 Mantenimiento Correctivo. Es la intervención reactiva que se realiza tras la aparición de una falla para restablecer el funcionamiento del equipo mediante diagnóstico, reparación o sustitución de componentes. Suele gestionarlo el departamento de mantenimiento, y aunque es la forma más básica del mantenimiento; resulta esencial para recuperar la disponibilidad del activo en el momento del fallo y, en caso de no ser planificado, conlleva habitualmente mayor urgencia, costo e impacto productivo que las acciones preventivas.

Según (García, M. 2015), menciona que como su nombre lo indica, “es un mantenimiento encaminado a corregir una falla que se presente en determinado momento. En otras palabras, es el

equipo quien determina las paradas. Su función primordial es poner en marcha el equipo lo más rápido y con el mínimo costo posible. Este mantenimiento es generalmente el único que se realiza en pequeñas empresas (p.38)”.

Y también la norma (UNE-EN-13306, 2018) aclara que: “Es el mantenimiento que se realiza después del reconocimiento de una avería y que está destinado a poner a un elemento en un estado en que pueda realizar una función requerida (p.17)”.

3.2.2.2 Mantenimiento Preventivo. Es el mantenimiento planificado que consiste en una serie de acciones cuyo objetivo es reducir los fallos y el tiempo de inactividad debido a un desperfecto, alargando la vida útil de los activos.

El éxito de un programa de mantenimiento preventivo, se basa en el análisis detallado de la totalidad de máquinas, y el cumplimiento estricto de las actividades preventivas, en el que se debe realizar una correcta gestión.

Según (García, M. 2015), el mantenimiento preventivo puede ser definido como "La conservación planeada de fábrica y equipo, producto de inspecciones periódicas que descubren condiciones defectuosas. Su finalidad es reducir al mínimo las interrupciones y una depreciación excesiva, resultantes de negligencias (p.28)”.

Mientras que (Monsalve & Tena, 2018), enfatiza que: "Se caracteriza por intervenciones a intervalos fijos, para sustituir y/o reparar componentes. La frecuencia de las intervenciones, en general se determina por recomendaciones del fabricante, y por los propios registros históricos, y se puede programar por tiempo calendario, tiempo de funcionamiento, horas de funcionamiento, kilómetros recorridos, unidades producidas (p.21)".

Partiendo de lo anterior, se describen los dos enfoques complementarios aplicables a este tipo de mantenimiento.

3.2.2.2.1 Mantenimiento preventivo basado en tiempo (TBM). Es un conjunto de intervenciones planificadas que se ejecutan en intervalos fijos de tiempo, con el fin de prevenir fallas y asegurar la disponibilidad de los activos.

Incluye tareas rutinarias como lubricación, limpieza, inspecciones y calibraciones, así como actividades renovativas programadas y mantenimientos predeterminados según intervalos establecidos.

3.2.2.2.2 Mantenimiento preventivo basado en condición. Es una estrategia preventiva que decide las intervenciones a partir del estado real del activo, obtenido mediante mediciones y diagnósticos (sensores, análisis y procesamiento de señales) mientras la máquina está en funcionamiento.

Su propósito es prever el deterioro y programar la acción en el momento óptimo para maximizar disponibilidad, fiabilidad y seguridad (minimizando costes e impacto ambiental), en especial en equipos críticos cuyo fallo es caro y peligroso. Algo a tener en consideración es, cuando la decisión de intervenir se fundamenta en estos datos y predicciones, el enfoque se aproxima más al mantenimiento predictivo.

3.2.3 Análisis de Criticidad

La implementación del análisis de criticidad amplía la visión organizacional y permite priorizar las acciones de mantenimiento según el riesgo y el estado real de los equipos. Además, orienta la asignación de recursos (humanos, logísticos y financieros) hacia las intervenciones que aportan mayor valor a las áreas estratégicas de la empresa.

Para (Coronado, P. 2007) "El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos. Dado que genera una lista

ponderada desde el elemento más crítico hasta el menos crítico del total de equipos evaluados, diferenciando tres zonas de clasificación: alta criticidad, mediana criticidad y baja criticidad. Una vez identificadas estas zonas, es mucho más fácil diseñar una estrategia, para realizar estudios o proyectos que mejoren la confiabilidad operacional, iniciando las aplicaciones en el conjunto de procesos o elementos que formen parte de la zona de alta criticidad".

La base de este enfoque de tipo cualitativo, es la realización de un sistema para asignar valor de criticidad y una matriz cuyo rango es frecuencia de falla y consecuencia (riesgos) estén expresados mediante una ponderación.

Con el fin de priorizar acciones y optimizar la asignación de recursos, la mayoría de los análisis de criticidad evalúa criterios tales como: la frecuencia de falla de los equipos, condiciones de operación, flexibilidad operativa ante variaciones de demanda, costos asociados, seguridad e impacto ambiental, entre otros.

Desde un enfoque matemático, la criticidad total puede definirse mediante la Ecuación (1):

$$\textit{Criticidad Total} = \textit{Frecuencia de falla} * \textit{Consecuencia} \quad (1)$$

Donde:

- **Frecuencia de falla** es el número de averías registradas en la hoja de vida del activo
- **Consecuencias** se calcula mediante la expresión:

$$\textit{Consecuencias} = [(\textit{Operación} * \textit{Flexibilidad Operativa}) + \sum \textit{criterios definidos por la empresa}] \quad (2)$$

Aplicando la Ecuación (2), se obtiene una matriz de criticidad, la cual categoriza y jerarquiza áreas, equipos, subsistemas e ítems mantenibles en función de criterios alineados con la misión y visión de la empresa, tomando como ejemplo la Figura 13; recibiendo un puntaje compuesto que permite su clasificación en niveles de criticidad (alto, medio o bajo). Esta

clasificación facilita la priorización de intervenciones operativas y estratégicas, tales como el diseño de planes de mitigación de riesgos o planificación de mantenimientos.

Figura 13

Ejemplo Criterios de Ponderación de Criticidad

TIPO DE EQUIPO	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	PRODUCCIÓN	CALIDAD	MANTENIMIENTO
A CRÍTICO	Puede originar accidente muy grave.	Su parada afecta al Plan de Producción.	Es clave para la calidad del producto.	Alto coste de reparación en caso de avería.
	Necesita revisiones periódicas frecuentes (mensuales).		Es el causante de un alto porcentaje de rechazos.	Averías muy frecuentes.
	Ha producido accidentes en el pasado.		Consumo de parte muy importante de los recursos de mantenimiento.	
B IMPORTANTE	Necesita revisiones periódicas frecuentes (anuales).	Afecta la producción, pero es recuperable (no llega a afectar a clientes o plan de producción)	Afecta la calidad, pero habitualmente no es problemático.	Coste medio en Mantenimiento.
	Puede ocasionar un accidente grave, pero las posibilidades son remotas.			
C PRESCINDIBLE	Poca influencia en seguridad.	Poca influencia en producción.	No afecta a la calidad.	Bajo coste en Mantenimiento.

Nota. Tomado de: https://www.linkedin.com/posts/gonzalosys_an%C3%A1lisis-criticidad-equipos-activity-7055240985848463361-wH-b/?originalSubdomain=es

Figura 14

Ejemplo Matriz de Criticidad

Matriz de Criticidad						
Consecuencias						
		1-3	4-6	7-9	10-12	13-15
Frecuencia	6	C	C	C	MC	MC
	4	PC	C	C	MC	MC
	2	PC	C	C	C	MC
	1	PC	PC	PC	C	C

Nota. Tomado de: Moreno, J (2021). Práctica Empresarial en el Desarrollo e Implementación de un plan de Mantenimiento Preventivo en la empresa Molino San Miguel, sede Bucaramanga

Para convertir el puntaje obtenido en el análisis de criticidad en categorías interpretables, se mantiene la herramienta de escala de referencia (ver Figura 15). Ya que, a partir de la puntuación total compuesta por la Ecuación (2), dicha escala estandariza elementos tales como áreas, equipos, subsistemas o ítem mantenibles, facilitando la gestión de activos y decisiones en mantenimiento.

Figura 15

Ejemplo Escala de Referencia Criticidad

RANGO	CLASIFICACION
100 -- > 200	ALTO RIESGO
50 -- 100	MEDIO RIESGO
1 -- 50	BAJO RIESGO
0	RIESGO NULO

Nota. Tomado de: Pineda, H (2021). MODELO DE PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE MODO FALLA Y EFECTO (FMEA) PARA EL SISTEMA HIDRÁULICO DE LA FLOTA DE GRÚAS DEL GRUPO EMPRESARIAL LA OCTAVA LTDA, GLOBAL GENESIS S.A.S

3.2.4 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)

Partiendo del hecho de que para cualquier organización resulta esencial aplicar este proceso como estrategia de mantenimiento, debido a las múltiples ventajas que contiene, entre ellas la reducción de tiempos de inactividad, disminución de costes asociados al mantenimiento, la identificación de componentes más críticos y más propensos a fallar, la mejora de la seguridad mediante la reducción de incidentes catastróficos y propagación del ciclo de vida de los activos, por lo que contribuye a anticipar posibles problemas o incidencias antes que se materialicen en fallas.

El RCM es un proceso mediante el cual se identifican las acciones necesarias para garantizar que cualquier activo físico en operación pueda cumplir de manera confiable las funciones requeridas. Para desarrollar metodología, se tuvo en cuenta la norma ISO 14224 y la norma JAE 1011.

Este proceso establece siete preguntas importantes, mostradas en la Figura 16, en las que se debe basar cualquier plan de mantenimiento centrado en confiabilidad. Estas preguntas abarcan desde la función de los activos, sus causas de falla y efectos, consecuencias y el estado actual de los mismos y finalmente las tareas proactivas necesarias.

Figura 16

7 preguntas del RCM-Pasos para llevar a cabo su implementación



Nota. Recuperado de: <https://predyc.com/cursos/curso-rcm>

Para (Mago & Rocha, 2021) el "RCM brinda una forma efectiva de organizar sus activos por medio de un procedimiento que permite conocer cada una de las fallas, y así tomar decisiones para mitigar el efecto. Durante este proceso se generan formatos que facilitan el manejo de los

equipos y la visualización de la información, de igual forma sucede con los documentos necesarios para el seguimiento y control de las actividades relacionadas de cada activo (p.3)”.

3.2.5 Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF)

Según nuestro enfoque de aplicación del AMEF, se clasifican en tres: AMEF de proceso, de producto o sistema. Este análisis será un AMEF de proceso, en el cual se examina cada etapa de un proceso para identificar los riesgos y fallos.

Es una metodología utilizada para evaluar procesos y sistemas con el objetivo de identificar posibles fallos y sus efectos, permitiendo mejorar la fiabilidad y la seguridad mediante la implementación de medidas preventivas para minimizar estos riesgos.

Este tipo de análisis constituye una técnica preventiva y analítica que examina de forma sistemática cada función y etapa del proceso para detectar modos de fallo potenciales, cuantificando su severidad, probabilidad de ocurrencia y capacidad de detección. Estos resultados permiten clasificar los riesgos mediante criterios objetivos y orientar la planificación de intervenciones priorizando recursos donde el impacto sobre la calidad, seguridad y continuidad productiva sea mayor.

Figura 17

Ejemplo formato AMEF

Impreso para elaboración del AMFE de Diseño

AMFE ANALISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS POTENCIALES (Diseño)																	
Nombre del sistema: Suspensión delantera				Nombre al proveedor exterior:				Nombre / Firma:									
Referencia subistema: Barra de suspensión				Otros sectores involucrados: Fabricación				Supervisor, Nombre / Firma:									
Modelo / año vehículo: 1990				Fecha de producción programada: Vehículo n° 1 1990				Fecha AMFE (original): 6 / 87 (Última revisión): 3 / 89									
Nombre Ref. de la pieza	Función de la pieza	Modo de fallo potencial	Efecto potencial del fallo	Causa potencial del fallo	Controles actuales	Condiciones existentes				Acción y estado recomendados	Área responsable de la acción correctiva	Acción emprendida	Resultados			N° Prioridad de Riesgo (NPR)	
						Ocurren	Gravedad	Detección	N° Prioridad de Riesgo (NPR)				Ocurren	Gravedad	Detección		
Eje trapezoideal de control	Barra unidad al eje	Fatiga	Huellas se separan del trazo	Adelgazamiento del material	Ninguno	2	10	10	200	Investigar causas	Ingeniero	Incrementar radios	1	10	10	100	
				Material no apropiado	Un ensayo de tracción por dispositivo	1	9	10	90	Comprobar adelgazamiento del material cada hora	Fabricante	Incorporar en el proceso de inspección comprobación	1	9	6	54	
				Espesor de material inadecuado	Espesor verificado 1 vez por hora	1	9	10	90	Inspección visual de una pieza	Fabricante	Comprobación incorporada al proceso de inspección	1	9	6	72	
				Defectos del acero	Ninguno	2	9	6	108	Inspección visual de una pieza	Fabricante	Incrementar material	2	10	2	40	
				Demasiado o combinado manejo no correcto	Piezas fabricadas fuera del diseño	Medidas críticas verificadas una vez por hora	5	9	10	450	Investigar causas	Fabricante	Comprobación incorporada al proceso de inspección	1	6	9	54
				Espesor inadecuado del material	Medidas críticas verificadas una vez por hora	3	8	9	162	100% inspección del espesor	Fabricante	Comprobación 100% automática	2	8	6	72	

15

Nota. Ejemplo AMEF con alta similitud al que se desea desarrollar. Tomado de:

<https://es.slideshare.net/slideshow/7-ejemplos-de-amfe/10752520>

El AMEF analiza todos los modos de fallo potenciales dentro del sistema, considerando causas y el impacto que pueden tener en el cliente. Para priorizar estos modos de fallo, se emplean tres criterios clave que son la severidad, ocurrencia y detección, con la finalidad de adoptar medidas de tipo preventivo o correctivo.

3.2.5.1 Severidad. Gravedad del impacto que produce un modo de fallo sobre la

seguridad, operación o el cliente.

Figura 18

Ejemplo Grados de Severidad

Severidad		
ASQ (American Society for Quality)		
Clasificación	Efecto	Criterio: Severidad de Efecto Definido (proceso)
10	Critico Peligroso: Sin Aviso	Puede poner en peligro al operador. Modo de fallas afectan la operación segura y/o involucra la no conformidad con regulaciones gubernamentales. La falla ocurrirá SIN AVISO.
9	Critico Peligroso: Con Aviso	Puede poner en peligro al operador. Modo de fallas afecta la operación segura y/o involucra la no conformidad con regulaciones gubernamentales. La falla ocurrirá CON AVISO.
8	Muy Alto	Interrupción mayor a la línea de producción. 100% del producto probablemente sea desechado. Ítem inoperable, pérdida de su función primaria. Cliente muy insatisfecho.
7	Alto	Interrupción menor a la línea de producción. Producto probablemente deba ser clasificada y una porción (menor al 100%) desechada. Ítem operable, pero a un nivel reducido de rendimiento. Cliente insatisfecho.
6	Moderado	Interrupción menor a la línea de producción. Una porción (menor al 100%) probablemente deba ser desechada (no clasificada). Ítem operable, pero algunos ítems de confort/ conveniencia inoperables. Clientes experimentan incomodidad.
5	Bajo	Interrupción menor a la línea de producción. 100% del producto probablemente sea retrabajado. Ítem operable, pero algunos ítems de confort/ conveniencia operables a un nivel reducido de rendimiento. Cliente experimenta alguna insatisfacción.
4	Muy Bajo	Interrupción menor a la línea de producción. El producto probablemente deba ser clasificado y una porción (menor al 100%) retrabajada. Defecto percibido por la mayoría de los clientes.
3	Pequeño	Interrupción menor a la línea de producción. Una porción (menor al 100%) del producto probablemente deba ser retrabajada en línea pero fuera de la estación de trabajo. Defecto es percibido por el cliente promedio.
2	Muy Pequeño	Interrupción menor a la línea de producción. Una porción (menor al 100%) del producto probablemente deba ser retrabajada en la línea y en la estación de trabajo. Defecto es percibido solo por clientes expertos.
1	Ninguno	Ningún efecto.

Nota. Adaptado de ASQ (American Society for Quality)

3.2.5.2 Ocurrencia. Probabilidad o frecuencia con la que un modo de fallo se manifiesta en un periodo determinado.

Figura 19

Ejemplo Grados de Ocurrencia

Ocurriencia (Probabilidad de que pase)				
ASQ (American Society for Quality)				
Clasificaci3n	Ocurriencia	Descripci3n	Frecuencia	Cpk (Indice de capacidad real)
10	Muy Alta	La falla del proceso es casi inevitable	1 en 2	0.33
9			1 en 3	0.51
8	Alta	Procesos similares han presentado fallas	1 en 8	0.67
7			1 en 20	
6	Moderada	Muy pocas fallas ocasionales asociadas a procesos similares	1 en 80	0.83
5			1 en 400	1.00
4			1 en 2,000	1.17
3	Baja	Pocas fallas asociadas con procesos similares	1 en 15,000	1.33
2			1 en 150,000	1.5
1	Remota	Falla es improbable. Fallas nunca asociadas con procesos casi id3nticos	< 1 en 1,500,000	> 1.67

Nota. Adaptado de ASQ (American Society for Quality)

3.2.5.3 Detectabilidad. Capacidad de identificar un modo de fallo antes de que su efecto alcance etapas posteriores o al cliente. A menor detectabilidad, mayor riesgo de consecuencias no detectadas.

Figura 20

Ejemplo Grados de Detecci3n

Detección			
ASQ (American Society for Quality)			
Clasificación	Probabilidad de detección	Oportunidad de detección	Criterio: Probabilidad de detección por control de procesos
10	Casi Imposible	Sin oportunidad de detección	no hay controles en el proceso capaz de detectar o prevenir la causa potencial de falla
9	Muy Remota	Es probable que no se detecte en ninguna etapa del proceso	Hay una probabilidad muy remota de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
8	Remota	Detección de problemas después del proceso	Hay una probabilidad remota de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
7	Muy Baja	Detección de problemas en la fuente	Hay una probabilidad muy Baja de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
6	Baja	Detección de problemas después del proceso	Hay una probabilidad Baja de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
5	Moderada	Detección de problemas en la fuente	Hay probabilidad moderada de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
4	Altamente Moderada	Detección de problemas después del proceso	Hay una probabilidad muy moderada de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
3	Moderada	Detección de problemas en la fuente	Hay una probabilidad moderada de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
2	Muy Alta	Detección de errores y/o prevención de problemas	Hay muy alta probabilidad de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
1	Casi Seguro	Proceso a prueba de errores	Es casi seguro que el control de proceso es capaz de detectar o de prevenir la causa potencial del modo de falla

Nota. Adaptado de ASQ (American Society for Quality)

3.2.5.4 Número de Prioridad de Riesgo (NPR). Es un valor que representa el impacto global y los riesgos asociados a una falla, calculado como el producto de la severidad, ocurrencia y detección, este nos indica la prioridad con la que se debe atacar cada modo de falla identificado. Se determina mediante la Ecuación (3).

$$NPR = Severidad * Ocurrencia * Detectabilidad \tag{3}$$

En la Figura 21, se presenta un ejemplo de escala de ponderación del Número de Prioridad de Riesgo (NPR), con sus rangos y clasificación asociada para la priorización de intervenciones de mantenimiento.

Figura 21

Ejemplo Categorización NPR

NPR = Ocurrencia * Severidad * Detección	
500 – 1000	Alto riesgo de falla
125 – 499	Riesgo de falla medio
1 – 124	Riesgo de falla bajo
0	No existe riesgo de falla

Nota. Adaptado de ASQ (American Society for Quality)

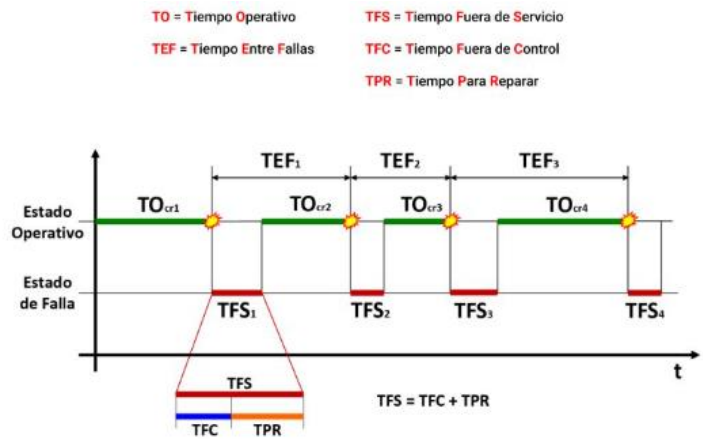
3.2.6 Indicadores de Mantenimiento

Los KPI's de mantenimiento (Key Performance Indicators) son métricas concretas que permiten evaluar el desempeño de acciones y procesos de mantenimiento. Un problema habitual en las áreas de mantenimiento es la dificultad para medir si el plan realmente mejora la disponibilidad, calidad y eficiencia; sin indicadores, no hay forma objetiva de controlar ni ajustar las intervenciones.

Para ello se emplean formatos y formularios que registran intervenciones, paradas de planta, inspecciones, correctivos y preventivos. Estos registros permiten cuantificar tiempos operativos clave como se ilustra en la Figura 22.

Figura 22

Tiempos Operativos de Mantenimiento



Nota. Tomado de: https://www.linkedin.com/posts/predictiva21_mides-correctamente-los-tiempos-en-tus-activity-7335318093235146752-JhHB/?originalSubdomain=es

Para evaluar la eficiencia e importancia de un buen plan de mantenimiento, se consideran los indicadores de mantenimiento para llevar registro a tiempos operativos, tiempos promedios de fallos por la planta y disponibilidad.

3.2.6.1 Tasa de falla (λ). Es una medida que indica la frecuencia con la que un sistema, componente o equipo falla durante un tiempo específico, es decir, mide que tan propenso es mientras está en operación.

Se determina mediante la Ecuación (4).

$$\text{Tasa de falla } (\lambda) = \frac{\text{Número de fallos}}{\text{Tiempo total de operación}} = \frac{1}{\text{MTBF}} \quad (4)$$

3.2.6.2 Tiempo medio entre fallas (MTBF). En la práctica, la fiabilidad se evalúa a través del tiempo medio entre fallas, el cual proporciona una medida cuantitativa de la frecuencia con la que ocurren averías o posibles fallas.

Mediante este indicador, se implementan acciones preventivas que mitiguen dichas fallas y mejoren el desempeño general. Se determina mediante la Ecuación (5).

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Tiempo total de operación}}{\text{Número de fallas ocurridas}} \quad (5)$$

3.2.6.3 Tiempo medio entre reparaciones (MTTR). Es la relación entre el tiempo total de intervención o mantenimiento de ítems con falla y el número total de reparaciones de esos ítems. Se determina mediante la Ecuación (6).

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Tiempo total de mantenimiento}}{\text{Número de reparaciones}} \quad (6)$$

3.2.6.4 Disponibilidad (D). Es la posibilidad de que un artículo esté en estado óptimo para realizar una función requerida bajo condiciones estándares en un estado de tiempo determinado. Se determina mediante la Ecuación (7).

$$\text{Disponibilidad (D)} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100\% \quad (7)$$

3.2.7 Clasificación y taxonomía de equipos

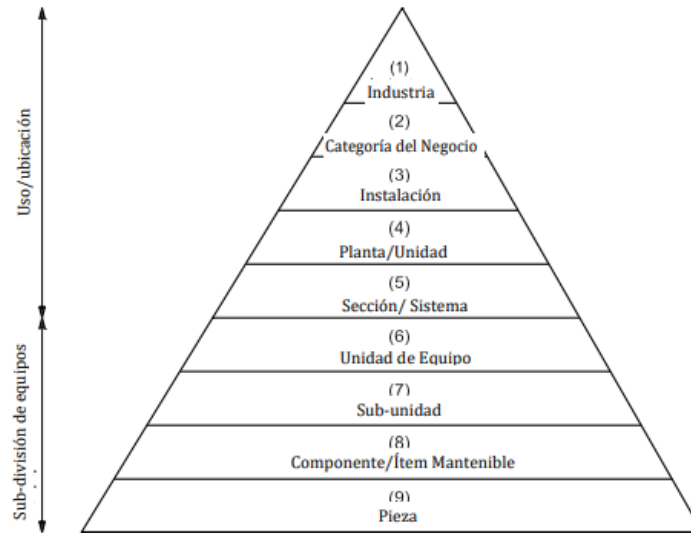
La taxonomía de equipos constituye un elemento fundamental en la gestión de activos físicos, ya que permite organizar, identificar y clasificar los equipos de manera estructurada y coherente.

Dicha taxonomía, se establece bajo los lineamientos propuestos por la norma ISO 14224, la cual define una estructura jerárquica para la recopilación y el análisis de datos de confiabilidad y mantenimiento. Dicha estructura permite descomponer los sistemas en niveles progresivos, desde el sistema principal hasta sus componentes más específicos, asegurando una identificación clara y uniforme.

Esta aplicación contribuye a estandarizar la información técnica, mejorar trazabilidad de los datos y facilitar la comparación entre equipos similares. La Figura 23 presenta de manera esquemática la estructura jerárquica de la taxonomía de equipos establecidos por la norma ISO 14224.

Figura 23

Estructura jerárquica de la taxonomía de equipos



Nota. Tomado de: Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural -recolección e intercambio de confiabilidad y mantenimiento de equipos (ISO 14224:2016).

3.2.8 Hojas de Vida de los Activos

Es el registro único y permanente que recopila toda la información relativa al ciclo de vida y las intervenciones de un activo; parte de su propósito es mantener la trazabilidad, facilitar la toma de decisiones y soportar la planificación del mantenimiento.

En ella se consignan datos generales, historial de mantenimientos, repuestos y mano de obra utilizados, mediciones relevantes, tipos y duración de paradas.

Además de conservar el registro histórico del activo, la hoja de vida funciona como herramienta operativa: permite analizar tendencias y KPI's y justificar inversiones en repuestos o mejoras.

3.2.9 Ordenes de Trabajo de Mantenimiento

Es el registro formal que instruye y controla una intervención de mantenimiento: especifica el equipo afectado, la naturaleza del trabajo, materiales y repuestos necesarios, mano de obra involucrada y tiempos empleados. Funciona como herramienta operativa y administrativa para planificar, contabilizar costos y dar trazabilidad a las acciones realizadas.

Algunos de los campos mínimos que se recomiendan son: fecha y número de orden, código y nombre del equipo junto a su ubicación, tipo de trabajo y descripción, materiales y repuestos requeridos, personal y tiempos asignados, costos asociados y firmas junto con verificación final, entre otras.

3.2.10 Cronograma de Mantenimiento

Es el documento de planificación que consolida los equipos de mayor impacto y las actividades preventivas programadas a lo largo del tiempo. Surge como producto del análisis de criticidad y AMEF y agrupa, para cada activo crítico, las tareas, frecuencias y responsables necesarios para mantener la continuidad productiva; en su versión moderna suele complementarse con las recomendaciones del manual del fabricante.

Estos formatos aportan beneficios operativos y de gestión:

- Facilita la asignación de recursos, reduciendo tiempos improductivos
- Mejora la coordinación entre mantenimiento y producción al definir claramente actividades y responsables
- Permite medir el cumplimiento del plan y detectar tendencias para ajustar frecuencias y prioridades.
- Aportan a la evidencia documental para auditar y justificar inversiones o paradas en equipos de alta criticidad.

3.2.11 Ficha de Inspección

Es un documento-guía y registro que lista los puntos críticos de un equipo y las tareas a verificar, con espacios para observaciones y firmas. Incluye actividades preventivas rutinarias y los procedimientos preoperacionales que suelen ejecutarse en los primeros 5-10 minutos de la jornada, junto con la frecuencia de cada chequeo.

El personal marca el cumplimiento, el área de mantenimiento realiza seguimiento diario y se consignan las anomalías detectadas para su análisis y acción correctiva.

3.2.12 Ficha técnica

Es un documento base que concentra información operativa y técnica esencial de un equipo: identificación, ubicación, especificaciones eléctricas y mecánicas, dimensiones de trabajo y taxonomía por niveles.

Dicho esto, forma parte de las etapas iniciales del plan de mantenimiento debido a que establece rangos de operación y parámetros confiables sobre cuales se diseñan inspecciones, rutinas y criterios por recambio.

4. Metodología

En esta etapa se pretende establecer un paso a paso para el desarrollo del proyecto. Por lo que, a continuación, se describirán los métodos y las etapas necesarias para alcanzar cada objetivo específico propuesto, con el fin de cumplir el objetivo general del mismo.

4.1 Tipo de Metodología

Se trata de una investigación aplicada orientada a desarrollar e implementar un plan de mantenimiento preventivo para Ventanar S.A.S (sector de ingeniería de fachadas y ventanería), con el alcance descriptivo de documentar y explicar los principios y resultados del mantenimiento sobre el equipo crítico estudiado.

Dicho propósito es reducir fallas inesperadas y paradas no programadas mediante inspecciones, rutinas, seguimiento de indicadores, entregando soluciones prácticas y verificables.

4.2 Reunión Actual Gestión de Mantenimiento

En esta primera etapa se analiza cómo se ha gestionado el mantenimiento desde la creación del departamento: se identifican las prácticas vigentes, los responsables de su ejecución y los indicadores productivos utilizados. El objetivo es diagnosticar la situación actual de la planta, reconocer brechas y establecer la base de información necesaria para diseñar el plan de mantenimiento.

Para ello se realiza una reunión con los responsables de mantenimiento y personal clave de la planta, en el cual se recopila información sobre: proceso productivo, organigrama y responsabilidades, historial de vida de activos, indicadores y procedimientos vigentes. Cabe resaltar que, por la experiencia del ingeniero de mantenimiento, ya se ha identificado el equipo crítico a intervenir con un alto índice de intervenciones; dicho activo servirá como caso de estudio para aplicar y validar las propuestas del proyecto.

4.2 Caracterización del Activo Físico

Esta fase se orienta en recolectar y organizar la información del equipo conforme a la norma ISO 14224:2016, para posteriormente codificar el activo dentro del sistema. Entre las actividades principales se incluyen:

- Recopilar la documentación técnica disponible en el sitio (manual del fabricante, placa de identificación) como fuente primaria de información
- Actualizar y estandarizar las fichas técnicas y hojas de vida del activo, consultando fuentes internas y externas, siguiendo las recomendaciones del fabricante
- Clasificar y asignar la taxonomía del activo mediante la pirámide de niveles definida en la norma, desde sistemas y subsistemas hasta ítems mantenibles y partes del activo, garantizando la coherencia y trazabilidad de la información.

4.3 Priorización de los activos críticos

A partir de la información recopilada en la etapa Actual Gestión de Mantenimiento, y del historial de fallas, se identifica el activo que será objeto del análisis de criticidad. Este análisis se complementa con el AMEF, ficha de inspección y cronograma de mantenimiento, de modo que los pasos a seguir son los siguientes:

- Elaborar un formato de evaluación por criticidad para subsistemas e ítem mantenibles, aplicando ponderaciones cuantitativas adaptadas a la realidad de Ventanar S.A.S.
- Ejecutar el análisis de criticidad de forma jerárquica: desde el nivel global hacia el nivel más detallado.
- Evaluar cada ítem según los parámetros de riesgo seleccionados mediante la visión y misión empresarial: frecuencia de falla (FF), mantenibilidad (MAN), costos (\$), seguridad y medio ambiente (SAH), calidad (Q), operación (O) y flexibilidad operativa (FO).
- Calcular la criticidad total mediante las ecuaciones establecidas (Ecuación 1 y Ecuación 2) y ubicar cada ítem en la matriz de criticidad para obtener la clasificación final (Figura 31).
- Clasificar los activos en tres niveles (A: Alta, B: Media, C: Baja) tal como propone el alcance estratégico de 2023, tomando de guía y referencia para su implementación práctica.
- Integrar los resultados con el AMEF y el cronograma de mantenimiento para priorizar acciones, asignar recursos y definir responsabilidades.

Dicho procedimiento corresponde a un enfoque semicuantitativo, que combina criterios cualitativos (Q, SAH, O, FO) y cuantitativos (MAN, FF, Costos), y su propósito es generar una base objetiva para clasificar la importancia de los equipos en la producción orientando intervenciones con impacto operativo y económico medible. Estos resultados y reglas de corte para alta, media y baja criticidad se presentan en la Figura 30.

Mediante la Ecuación (2), el término **Operación** cuantifica el impacto en el proceso productivo; **Flexibilidad Operativa**, la capacidad de adaptación ante cambios de demanda; y la sumatoria Σ integra criterios adicionales, como, por ejemplo, costos, seguridad y medio ambiente, mantenibilidad o costos, según las prioridades de la organización.

Siendo los siguientes criterios definidos por la empresa, los cuales se establecen a partir de su importancia operativa, impacto en los procesos productivos y alineados con la misión y visión organizacional:

- Frecuencia de Falla (FF): Frecuencia de averías registrada en la hoja de vida; lo que indica probabilidad de ocurrencia y ayuda a priorizar equipos con alta recurrencia para acciones de mitigación y análisis de causa raíz.
- Operación (O): Impacto de la pérdida del equipo sobre el flujo productivo y la capacidad, mide criticidad operativa y necesidad de planes de contingencia.
- Flexibilidad Operativa (FO): Capacidad del sistema para mantener producción ante la falla; equipos con baja flexibilidad elevan la prioridad.
- Costos (\$): Evaluación del impacto económico directo e indirecto por falla; se cuantifica para priorizar activos con mayor coste esperado por fallo.
- Seguridad y Medio Ambiente (SAH): Severidad de las consecuencias sobre integridad del personal y el entorno en caso de falla.

- **Mantenibilidad (MAN):** Facilidad técnica y tiempo estimado de reparación (MTTR, disponibilidad de repuestos, necesidad de soporte especializado).
- **Calidad (Q):** Efecto de la falla sobre la conformidad del producto, en la que se debe priorizar equipo cuya falla degrade significativamente la calidad final.

Una vez identificados los componentes críticos de la planta de producción y del activo crítico seleccionado, se elabora su matriz de criticidad y se procede con el AMEF conforme a las siete preguntas guía (ver Figura 16). La ejecución se realiza sobre la plantilla de ejemplo (ver Figura 17) de forma ordenada: identificación de la función, fallas funcionales, determinación de modos de fallo potenciales, análisis de efectos y consecuencias, establecimiento de causa raíz y valoración del NPR.

Para el desarrollo del formato AMEF se definieron los criterios de severidad, ocurrencia y detección, establecidos de manera propia con el acompañamiento del jefe Técnico de Mantenimiento, asignando los niveles, valores y efectos de cada criterio de acuerdo con las condiciones operativas y lineamientos de la empresa.

Las siguientes tablas (Tabla 1-2-3), representan los criterios definidos para el análisis:

Tabla 1

Criterios de Severidad

SEVERIDAD		
Valor	Efecto	Descripción del criterio
4	Crítico	Riesgo de lesiones graves o fatales, daño ambiental severo o pérdida y parada total de producción.

		Pérdida significativa de capacidad productiva, pérdidas
3	Importante	económicas debido a intervenciones extensas o reparaciones costosas.
2	Leve	Reducción moderada de la productividad, pérdidas económicas mínimas, paradas e intervenciones cortas.
1	Ningún efecto	La falla no impacta la operación, ni genera pérdidas económicas relevantes en la planta.

Tabla 2

Criterio de Ocurrencia

OCURRENCIA		
Valor	Efecto	Descripción del criterio
3	Falla frecuente y repetitiva	Ocurre 4 o más veces por año (≥ 4 eventos correctivos/emergentes analizados)
2	Falla ocasional	Ocurre entre 2 y 3 veces por año eventos correctivos/emergentes
1	Falla rara o baja	Se presenta máximo 1 vez por año o no hay registro de falla en el último año

Tabla 3

Criterio de Detectabilidad

DETECTABILIDAD		
Valor	Efecto	Descripción del criterio

4	Escasa probabilidad	No existe aviso ni señal, la falla llega a ocurrir sin posibilidad de detección previa.
3	Baja probabilidad	Existen indicios débiles o poco frecuentes; con riesgo de no corregir a tiempo.
2	Moderada probabilidad	Mediana probabilidad de detectar la falla, mediante alarmas o inspecciones periódicas, pero no siempre a tiempo.
1	Fácilmente detectable	Se identifican y se corrigen durante operación normal o inspección rutinaria antes de fallar.

Con base en los criterios definidos, la valoración de la importancia de los modos de falla dentro del análisis AMEF se estableció mediante el Número de Prioridad de Riesgo (NPR), calculado a partir de la ponderación de los criterios de severidad, ocurrencia y detección, conforme a la escala presentada a continuación en la Tabla 4.

Tabla 4

Ponderación NPR

PONDERACIÓN NPR	
ESCALA NPR	PONDERACIÓN
NPR >= 27 (Rojo)	Riesgo crítico
13 <= NPR <= 26 (Amarillo)	Riesgo moderado
1 <= NPR <= 11 (Verde)	Riesgo bajo

Este resultado orienta a la priorización de acciones, las cuales se registran con responsable y acciones para su incorporación al cronograma de mantenimiento.

4.4 Desarrollo e implementación de un CMMS

Tras aplicar las metodologías del plan de mantenimiento preventivo sobre el equipo crítico, e implementará un sistema de gestión de mantenimiento (CMMS) desarrollado en la herramienta Excel.

Esta solución permitirá centralizar y actualizar las fichas técnicas, gestionar el ciclo de vida de las órdenes de trabajo, generar cronogramas automáticos, digitalizar formularios y aprovechar macros y formularios (Virtual Basic) para agilizar procesos (incluyendo la vinculación o registro de evidencias mediante ruta de archivos).

El objetivo es reducir tiempos administrativos, mejorar la trazabilidad de las intervenciones, optimizar el control de repuestos y soportar la toma de decisiones operativas que aumenten la disponibilidad y fiabilidad del activo.

4.5 Indicadores de Mantenimiento

Como etapa final de la metodología desarrollada, se realizó el cálculo y análisis de los indicadores de mantenimiento correspondientes al equipo crítico seleccionado, los cuales permiten evaluar su desempeño operativo. A partir de la información obtenida mediante la hoja de vida del equipo y la información complementaria suministrada por el personal técnico y el jefe Técnico de Mantenimiento, se calcularon los indicadores de disponibilidad, MTBF, MTTR y tasa de fallo.

En los apartados siguientes se presentan los indicadores analizados y la metodología empleada para su cálculo en el equipo crítico seleccionado.

4.5.1 MTBF

Un valor elevado de MTBF indica que el equipo opera durante periodos prolongados sin presentar fallas, lo cual se asocia a un mejor desempeño operativo y una mayor confiabilidad del sistema.

Dicho estudio, fue calculado a partir de los tiempos reales de operación (fechas) entre eventos correctivos, considerando únicamente las fallas efectivamente ocurridas. Este enfoque permite que el indicador refleje de manera precisa el comportamiento real del equipo y evita la distorsión de los resultados en periodos donde no se presentaron fallas.

4.5.2 MTTR

Este indicador está directamente relacionado con la eficiencia del área de mantenimiento y con la capacidad de respuesta ante eventos correctivos.

Para este estudio, se consideraron únicamente los tiempos aproximados dados por el jefe técnico, ya que su Orden de Trabajo anterior, no mencionan ni controlan tiempos asociados a fallas correctivas. De manera que, el indicador representa de forma adecuada la duración promedio de las intervenciones correctivas y permite evaluar el impacto de las acciones de mantenimiento implementadas.

4.5.3 Tasa de fallo (λ)

En el análisis realizado, la tasa de fallo principalmente fue evaluada de forma anual (2024-2025), para luego estudiarlo más detallado, de forma mensual y mensual acumulada, considerando el número total de fallas ocurridas y las horas efectivas de operación del equipo. Este enfoque permite identificar periodos de alta estabilidad operativa, así como intervalos en los que se presentó un aumento en la frecuencia de fallas.

4.5.4 Disponibilidad del equipo

Este indicador es uno de los más relevantes desde el punto de vista productivo, ya que refleja directamente la capacidad del equipo para cumplir con su función dentro del proceso.

Así como la tasa de fallo, la disponibilidad fue analizada de forma anual (2024-2025), como mensual y mensual acumulada, considerando tanto los tiempos entre fallas como los tiempos

de reparación. Adicionalmente, se incorporaron las horas de operación posteriores a la última falla de cada periodo, permitiendo que el indicador represente de manera más fiel el desempeño real del equipo a lo largo del tiempo.

4.6 Metodología de cálculo de indicadores

La metodología de cálculo de los indicadores, se basó en el análisis de datos históricos reales correspondientes a las intervenciones correctivas realizadas sobre el equipo Satellite XT 10500 durante el periodo de estudio. Dicha información fue organizada y procesada mediante hojas de cálculo, lo que permitió estructurar los datos, realizar los cálculos necesarios y analizar la evolución temporal de cada indicador.

Para el desarrollo de los indicadores se consideraron únicamente eventos correctivos, representando la ocurrencia de fallas del equipo. Siendo las actividades preventivas no consideradas como fallas, dado que corresponden a paradas planificadas y no afectan directamente la confiabilidad del equipo.

Asimismo, los cálculos se realizaron considerando horas efectivas de operación, definidas a partir del horario laboral del equipo; excluyéndose los días no laborales y festivos, de acuerdo con el calendario operativo del área.

4.6.1 Metodología de cálculo MTBF

Para el MTBF, se determinó el tiempo de operación efectivo entre la ocurrencia de una falla y la siguiente, expresado en horas laborales, siguiendo la fórmula presentada en la Ecuación 8.

Los periodos en los que no se presentaron fallas fueron tratados como intervalos continuos de operación. El MTBF fue evaluado tanto de forma mensual como global, permitiendo identificar

variaciones del equipo a lo largo del tiempo y evaluar el impacto de acciones de mantenimiento implementadas.

$$MTBF = \frac{\sum TBF \text{ (Tiempo efectivo entre fallas)}}{\text{Número de fallas ocurridas en periodo de estudio}} \quad (8)$$

4.6.2 Metodología de cálculo MTTR

Con el fin de evitar la distorsión del indicador, los periodos sin fallas no fueron incluidos en el cálculo del MTTR. De esta manera, el valor obtenido de la Ecuación 9, refleja de forma precisa la duración promedio de las intervenciones correctivas y la eficiencia del proceso de mantenimiento.

$$MTTR = \frac{\sum TTR \text{ (Tiempo de reparación)}}{\text{Número de fallas ocurridas en periodo de estudio}} \quad (9)$$

4.6.3 Metodología de cálculo de la tasa de fallo (λ)

En el presente trabajo, la tasa de fallo se presentó como en la Ecuación 10; y fue analizada de forma anual, mensual y acumulada en el 2025. En los meses en los que no se registraron fallas, la tasa de fallo mensual fue considerada igual a cero, mientras que la tasa de fallo acumulada se ajustó en función del aumento del tiempo de operación sin fallas.

$$\text{Tasa de fallo } (\lambda) = \frac{1}{MTBF} \quad (10)$$

Para la tasa de fallo acumulada, el tiempo de operación fue considerado únicamente hasta la ocurrencia de la última falla registrada, dado que este intervalo corresponde al cierre del tiempo entre fallas.

4.6.4 Metodología de cálculo de disponibilidad

Este indicador fue calculado siguiendo la Ecuación 7.

5. Jerarquización de equipos críticos

5.1 Gestión de Mantenimiento Actual

En esta primera etapa se llevó a cabo un diagnóstico del departamento de mantenimiento respecto a la planta de producción, con el propósito de proponer controles y mejoras en la gestión de intervenciones, el manejo de repuestos y documentación. Para ello, se sostuvo una reunión con el jefe técnico de mantenimiento, quien confirmó la existencia de un cronograma semanal de mantenimientos generales a los activos tanto como de Ventanar, como de la paralela Arketipo, y señaló que, en ocasiones, la programación se ve alterada por decisiones del jefe de producción, lo que puede derivar en correctivos, paradas prolongadas y no programadas.

Asimismo, el seguimiento de los indicadores se realiza de forma mensual junto con el área de calidad, revisando los resultados antes de las reuniones interdepartamentales; sin embargo, se detectó que fichas y cronogramas contienen registros de máquinas inactivas que no se actualizan por limitaciones administrativas del personal, junto con la insuficiente información técnica sobre algunos equipos presentes en la planta.

En la práctica, el mantenimiento no siempre es percibido como prioridad, sino como un costo, lo que dificulta alcanzar metas de reducción de fallas y paradas.

Con base en lo anterior, se obtuvo información la cual se documenta en la Tabla 5, que contiene la gestión actual por ítem con una valoración del estado objetivo que debe alcanzarse.

Tabla 5

Gestión Actual de Mantenimiento del área de producción de manufactura para producción de fachadas en empresa Ventanar S.A.S

Ítem	Situación actual	Valoración y propuesta
------	------------------	------------------------

Información técnica del equipo	<p>Información técnica disponible del equipo es limitada e incompleta. Existe un registro con datos básicos, con dificultad de localizar datos precisos.</p>	<p>La ausencia de datos técnicos aumenta el riesgo de operaciones fuera de rango y deterioro prematuro, por lo que se propone: recolectar, escanear manuales y datos de fabricante, elaborar ficha técnica completa y cargar información al CMMS.</p>
Codificación de activos (ISO 14224)	<p>No cuenta con un sistema de codificación estandarizado, ni con registros formales que permitan la identificación precisa de los activos dentro de la planta. Ante esta carencia, la única referencia operativa es el conocimiento empírico de los operarios antiguos.</p>	<p>Provoca falta de trazabilidad, coherencia en registros y pérdida espacial de activos dentro de la planta, afectando la fiabilidad de indicadores y reportes. Se implementa taxonomía según norma, códigos únicos de sistema, subsistema, ítem, parte y trasladar registros al CMMS.</p>
Jerarquización por criticidad	<p>La ausencia del formato impide priorizar recursos y dificulta la planificación eficaz del mantenimiento en activos críticos.</p>	<p>Diseñar e implementar formato de criticidad semicuantitativo aplicando evaluación a subsistemas e ítems del equipo, estableciendo umbrales de criticidad ABC.</p>
AMEF aplicado (modos, efectos, causas, consecuencias, NPR)	<p>La planta no cuenta con estudios, registros ni aplicación de un AMEF aplicado a los activos críticos de la línea de producción, impidiendo evaluar modos de fallo, causas, consecuencias y priorizar acciones para mitigarlos.</p>	<p>Esta ausencia impide identificar fallas funcionales, modos de falla, causa raíz, limitando confiabilidad operativa. Implementar AMEF en equipo crítico, con cálculo del NPR, para orientar acciones de mantenimiento.</p>

Cronograma de mantenimiento, fichas de inspección y planificación de paradas	Existe un cronograma base de mantenimiento preventivo basado en tiempo, a activos con frecuencias estimadas empíricamente, la planificación de paradas depende de la disponibilidad otorgada por el jefe de producción.	Frecuencias no estandarizadas aumentan riesgo de sobre mantenimiento o paradas no planificadas. Se realiza y estandariza frecuencias según manual de fabricante, formalizar un calendario anual de paradas acordado con producción, fichas de inspección preoperacionales y control y seguimiento en formato CMMS.
Órdenes de trabajo y registro de intervenciones	El seguimiento de las órdenes de trabajo se efectúa en las respectivas hojas de vida en Excel y en registros impresos en carpetas en oficina. La verificación final requiere firma del solicitante para el cierre de la OT.	Doble de manejo y tiempos, falta de automatización retrasan el cierre de OTs aumentando riesgo de pérdida de información. Automatizar el flujo de órdenes: formulario digital único, captura de evidencias y trazabilidad de tiempos.
Indicadores de mantenimiento	Solo se registra una proporción simple entre correctivos vs preventivos en una celda porcentual.	Ausencia de indicadores clave impide diagnosticar causas y medir eficacia del mantenimiento. Implementar conjunto mínimo de KPI (MTBF, MTTR, Disponibilidad, Tasa de fallo), vinculándolo al activo crítico en seguimiento.
Gestión de repuestos e inventario	Inventario físico y niveles de stock, pero sin existir control en tiempo real ni registro fiable del consumo.	Dificulta justificar compras o priorizar repuestos críticos. Poseer stock mínimo de repuestos para activos con tendencia a fallo sin perder tiempo en adquisición e instalación.

Esta primera etapa nos permite identificar fisuras y prácticas no consolidadas en la gestión de mantenimiento. Con base en estos hallazgos se plantean acciones concretas orientadas a mejorar la trazabilidad, planificación y disponibilidad de los equipos.

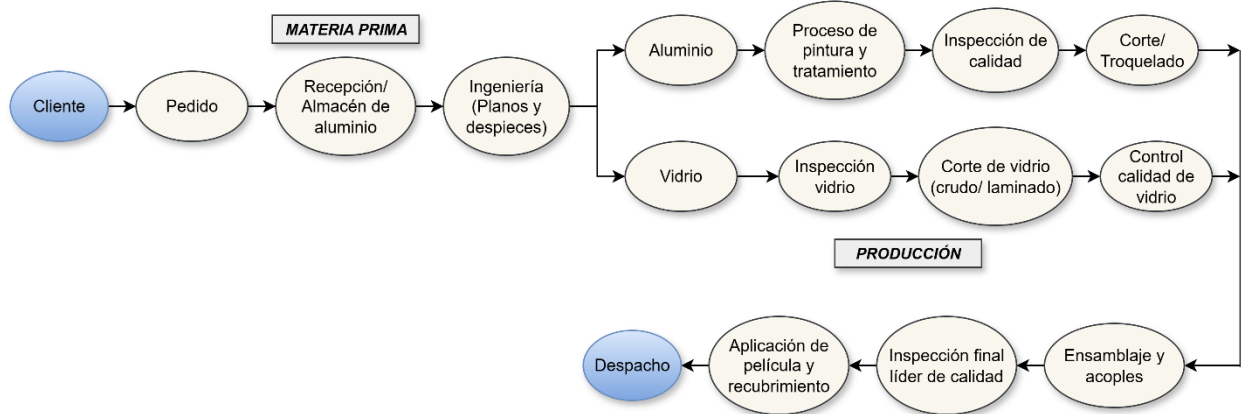
5.2 Caracterización del Activo Físico

De acuerdo con los lineamientos establecidos en la norma ISO 14224 y en coherencia con la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), se realizó la identificación y el mapeo detallado del flujograma del proceso productivo, el cual comprende desde la recepción de la materia prima hasta el despacho del producto final, tal como se presenta en la Figura 24. Este análisis permitió visualizar la secuencia operativa del proceso y reconocer la interrelación entre las diferentes etapas y equipos involucrados.

En concordancia con la ISO 14224, cada etapa del proceso y los activos asociados fueron documentados y codificados, con el fin de estandarizar la información técnica, facilitar el registro de fallas y apoyar el análisis de confiabilidad y mantenimiento. La estructura de codificación definida se muestra en la Figura 25 y constituye un elemento fundamental para la organización de los datos del sistema, sirviendo como base para el análisis de criticidad, la aplicación del AMEF y la gestión del mantenimiento preventivo bajo el enfoque RCM.

Figura 24

Flujograma específico del proceso



Al detallar el flujograma se identifican las etapas del proceso productivo, asignando a cada una su codificación correspondiente según su función, con el propósito de estandarizar la identificación de los procesos y facilitar el análisis, registro y trazabilidad de la información asociada al mantenimiento, observadas en la Figura 24; entre ellas se encuentran:

- Proceso de Pintura; “PNT”.
- Corte; “CRT”.
- Troquelado; “TRQ”.
- Vidrio; “VID”.
- Ensamble y despacho: “ENS”.

Figura 25

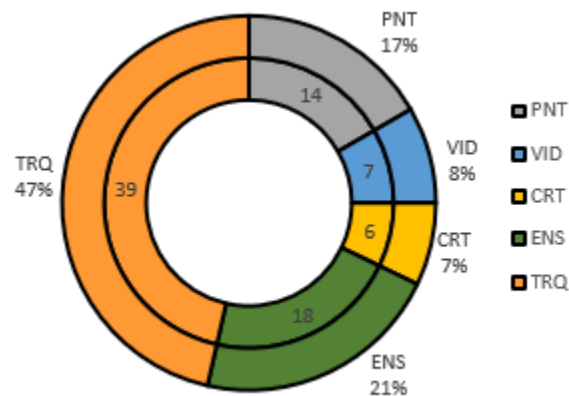
Procesos y listado de activos

Proceso	Lista de equipos	Cod	Total	Proceso	Lista de equipos	Cod	Total	Proceso	Lista de equipos	Cod	Total
Pintura	Horno Sifap	PNT-HSF	14	Corte	Sierra TK 133 113(S3)	CRT-STK	6	Troquelado	TK-447 (x2)	TRQ-TEK	39
	Cabina de Pintura (x2)	PNT-CDP			Sierra doble cabezal Emeggi Magic	CRT-SDE			Quadra L1	TRQ-QL1	
	Transportador eléctrico	PNT-TRS			Sierra doble cabezal Tekna 145/10 Gold	CRT-SDT			Satellite XT 10500	TRQ-SAT	
	Polipasto eléctrico	PNT-POL			Sierra doble cabezal Precision (x2)	CRT-SDP			Troquel eléctrico (x5)	TRQ-TRE	
	Tanque de secado	PNT-IDS			Sierra doble cabezal elumatec	CRT-SDE			Punzón (x3)	TRQ-PUN	
	Tanque de desengrase	PNT-TDD			Taladro de árbol (x5)	ENS-TDA			Troquel neumático (x8)	TRQ-TRN	
	Tanque de enjuague (x4)	PNT-TDE		Curvadora	ENS-CVD	Copiadora Fresadora Rinaldi	TRQ-CFR				
	Tanque de conversión	PNT-TDC		Curvadora CNC	ENS-CVN	Copiadora Fresadora Dymac (x2)	TRQ-CFD				
	Acumulador de aire	PNT-ACA		Acolilladora (x4)	ENS-ACL	Mini CNC Copiadora Emegi	TRQ-CFN				
	Secador de aire	PNT-SCA		Sierra Tronzadora	ENS-STR	Troquel Manual (x7)	TRQ-TRM				
Vidrio	Bavelloni mesa de corte vidrio crudo	VID-BAV	7	Ensamble	Sierra Manual 720	ENS-SML	18		Refiladora (x3)	TRQ-REF	
	Lisec mesa de corte laminado	VID-LIS			Sierra Manual Neo	ENS-SMN			Retestadora(x3)	TRQ-RET	
	Rectilínea biseladora Folga	VID-RBF			Sierra Manual Carina	ENS-SMC			Sierra Mesanini (x2)	TRQ-SMN	
	Rectilínea Canteadora	VID-RCT			Refiladora	ENS-REF					
	Ventosa Tecnocat 500kg	VID-VTC			Esmeril (x2)	ENS-ESM					
	Puente grúa Imocom 3.2 Ton	VID-PGI									
	Turomas mesa de corte vidrio laminado	VID-TUR									

De este modo, el proceso productivo en Ventanar S.A.S cuenta con 84 equipos distribuidos en las cinco áreas funcionales necesarias para el despacho de fachadas y ventanería. En la Figura 26; el anillo interior representa la cantidad de equipos por área y el anillo exterior muestra su proporción porcentual; las áreas se identifican mediante la codificación presentada anteriormente.

Figura 26

Distribución maquinaria por áreas Ventanar S.A.S



Como se observa en la Figura 26, el área de troquelado fue seleccionada como foco del estudio, dado que concentra el mayor porcentaje de equipos dentro del proceso productivo y presenta una alta recurrencia de intervenciones de mantenimiento en comparación con las demás áreas analizadas. Esta condición evidencia un mayor nivel de exposición al riesgo operativo y una demanda significativa de recursos de mantenimiento.

Adicionalmente, el área de troquelado alberga equipos con mayor complejidad técnica, caracterizados por la presencia de múltiples subsistemas, ejes CNC y componentes sensibles, lo que incrementa la probabilidad de fallas y la severidad de sus efectos sobre la operación.

Asimismo, su función dentro del proceso productivo resulta crítica, ya que interviene directamente en el tratamiento de la materia prima, condicionando la calidad y continuidad de las etapas posteriores.

En conjunto, estos factores justifican la selección del área de troquelado como objeto de análisis prioritario, permitiendo enfocar la aplicación de las herramientas de criticidad, AMEF y mantenimiento preventivo en el segmento del proceso con mayor impacto técnico y operativo.

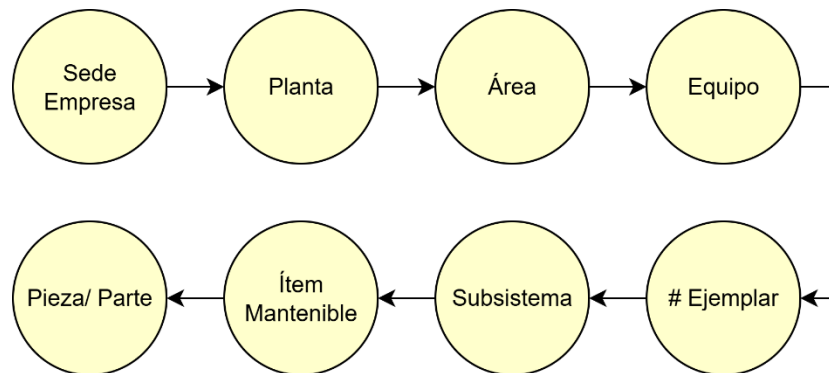
Las averías en esta área suelen implicar tiempos de inactividad prolongados y afectan tanto la calidad del producto como la continuidad de la producción (en ocasiones obligan a doblar turno).

Por su impacto acumulado en costos, disponibilidad y seguridad, se prioriza troquelado para maximizar el beneficio operativo en la planta.

Con base en los hallazgos obtenidos en el análisis previo, se procedió a la caracterización de cada activo siguiendo los lineamientos establecidos en la norma ISO 14224, la cual constituye un elemento fundamental para la aplicación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Esta norma establece una estructura jerárquica que organiza los activos desde el nivel más general hasta el más detallado, permitiendo una identificación clara y sistemática de sistemas, subsistemas y componentes.

La aplicación de esta taxonomía facilita la codificación estandarizada de los equipos, la construcción de su hoja de vida técnica y el registro estructurado de fallas e intervenciones de mantenimiento. Asimismo, mejora la comprensión y comunicación entre las áreas de operación y mantenimiento, al utilizar un lenguaje común y una estructura uniforme de identificación, lo cual resulta indispensable para realizar un análisis de confiabilidad más riguroso y consistente con los principios del RCM.

Con base en la norma ISO 14224, se adapta un esquema de codificación estandarizado para los activos y procesos de la planta con el fin de garantizar coherencia en la gestión y trazabilidad de la información. El sistema de codificación parte del nombre de la empresa y se desglosa hasta el nivel más elemental (partes o piezas).

Figura 27*Proceso de codificación de activos*

De la siguiente manera, se tiene que:

- Sede (Empresa): Indica la localización de la empresa; por ejemplo, Ventanar sede Girón, "VG".
- Planta: Tipo o nombre de la planta donde se ubican los activos; por ejemplo, Producción, "PR".
- Área: Proceso o línea de trabajo dentro de la planta; por ejemplo, Troquelado, "TRQ".
- Equipo: Código identificador del activo; por ejemplo, Quadra L1, "QL1".
- # Ejemplar: Número del equipo cuando existen varias unidades del mismo modelo; por ejemplo "01,02".
- Subsistema: Conjunto funcional del equipo (lo que le da la función principal); por ejemplo, Eléctrico, "ELC".
- Ítem Mantenible: Grupo o componente que suele mantenerse o reemplazarse; por ejemplo, Variador de Frecuencia, "VFD".
- Pieza/ Parte: Elemento individual del equipo, objeto de mantenimiento; por ejemplo, Sello Mecánico, "SMC".

Cabe señalar que, hasta la fecha, la planta contaba con un par de equipos codificados en el software OndTrack sin historial de vida actualizado y poco uso, realizando una suma de pago considerable, sin generar valor dentro de la empresa. Por ello, el trabajo de codificación se desarrolló desde cero siguiendo la norma ISO 14224, que no se había aplicado previamente a la taxonomía de los activos.

5.3 Priorización e identificación del activo crítico

Con base en lo anterior, y alineados con la misión y visión de Ventanar S.A.S., se establecen los siguientes criterios para la realización del análisis de criticidad: Frecuencia de Falla (FF), Operación (O), Flexibilidad Operativa (FO), Costos (\$), Seguridad y Medio Ambiente (SAH), Mantenibilidad (MAN) y Calida (Q).

- Frecuencia de Falla (FF): Frecuencia de averías registrada en la hoja de vida; lo que indica probabilidad de ocurrencia y ayuda a priorizar equipos con alta recurrencia para acciones de mitigación y análisis de causa raíz.
- Operación (O): Impacto de la pérdida del equipo sobre el flujo productivo y la capacidad, mide criticidad operativa y necesidad de planes de contingencia.
- Flexibilidad Operativa (FO): Capacidad del sistema para mantener producción ante la falla; equipos con baja flexibilidad elevan la prioridad.
- Costos (\$): Evaluación del impacto económico directo e indirecto por falla; se cuantifica para priorizar activos con mayor coste esperado por fallo.
- Seguridad y Medio Ambiente (SAH): Severidad de las consecuencias sobre integridad del personal y el entorno en caso de falla.
- Mantenibilidad (MAN): Facilidad técnica y tiempo estimado de reparación (MTTR, disponibilidad de repuestos, necesidad de soporte especializado).

- Calidad (Q): Efecto de la falla sobre la conformidad del producto, en la que se debe priorizar equipo cuya falla degrade significativamente la calidad final.

En coherencia con los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la Ecuación (2), los criterios y ponderaciones empleados en el análisis de criticidad fueron determinados con base en el conocimiento detallado del proceso productivo, las condiciones reales de operación y la experiencia del personal de producción y mantenimiento. Este enfoque permitió ajustar la evaluación a la realidad del sistema, evitando el uso de criterios genéricos y garantizando que la clasificación reflejara de manera objetiva el riesgo operativo de los equipos.

A partir de esta definición, se consolidó la matriz de criterios de criticidad presentada en la Figura 28, la cual permitió cuantificar el impacto de cada criterio en función de su incidencia real sobre el proceso. Los resultados evidencian que los criterios asociados a Frecuencia de Falla, Operación y Flexibilidad Operativa tuvieron influencia determinante en la clasificación de los equipos, al estar directamente relacionados con la recurrencia de averías y la continuidad de la producción.

De igual manera, la incorporación de criterios complementarios como Costos, Seguridad y Medio Ambiente, Mantenibilidad y Calidad, permitió ampliar el análisis, integrando aspectos económicos, de seguridad, tiempos de recuperación y conformidad del producto final. Esta integración proporcionó una visión más completa del comportamiento de los activos dentro del sistema productivo y fortaleció la priorización de los equipos críticos.

En conjunto, la aplicación de criterios definidos a partir del conocimiento del proceso permitió obtener una evaluación de criticidad alineada con la realidad operativa de la empresa, sirviendo como base objetiva para la selección de los activos críticos y la posterior aplicación del AMEF y del plan de mantenimiento preventivo.

Figura 28

Criterios de criticidad y ponderaciones asignadas

CRITICIDAD			
ITEM	CRITERIO	PONDERACION	DESCRIPCION
FF	FRECUENCIA DE FALLA	3	Averías registradas hoja de vida anualizada≥4
		2	2≤Averías registradas hoja de vida anualizadas≤3
		1	0≤Averías registradas hoja de vida anualizadas≤1
O	OPERACIÓN	8	La falla del equipo genera una interrupción total del proceso de producción
		4	El fallo del equipo disminuye su operatividad sin respaldo disponible, limitando la producción por debajo de su capacidad nominal
		1	El fallo afecta exclusivamente al equipo involucrado, pero la operación continúa gracias a la disponibilidad de equipos de respaldo
FO	FLEXIBILIDAD OPERATIVA	4	No existe disponibilidad de equipos similares para reemplazo o respaldo
		2	El sistema mantiene su operatividad a pesar de la falla
		1	Existe disponibilidad de equipos similares para reemplazo o respaldo
\$	COSTOS	10	Una falla en el equipo causa un costo de reparación > \$25 Millones COP
		6	Una falla en el equipo causa un costo de reparación entre \$10 Millones y \$25 Millones COP
		2	Una falla en el equipo causa un costo de reparación < \$10 Millones COP
SAH	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	10	La falla del equipo puede generar riesgo de explosión, incendio o accidentes fatales, con un impacto ambiental severo que se extiende más allá de la planta.
		7	La falla no genera explosión, pero puede causar lesiones graves al personal. El impacto ambiental es significativo, pero confinado dentro de los límites de la planta.
		2	La falla no representa riesgo para personas ni activos. El impacto ambiental es menor y contenido dentro del área de contención
MAN	MANTENIBILIDAD	8	El tiempo de recuperación del equipo supera las 4 horas (MMTR>4 horas)
		5	Tiempo de parada moderado asociado a la falla (MTTR entre 2 y 4 horas)
		2	Tiempo de recuperación del equipo en corto tiempo (MTTR<2 horas) con mínimo impacto operativo
Q	CALIDAD	9	La falla del equipo genera graves desviaciones en la calidad del producto, difícilmente detectables
		4	La falla provoca desviaciones en la calidad del producto, pero son fáciles de detectar y corregir a tiempo
		1	La falla del equipo no afecta la calidad del producto

Con el fin de interpretar los resultados obtenidos del análisis de criticidad, se estableció una escala de referencia que permite clasificar los equipos de acuerdo con su nivel de impacto sobre el proceso productivo, tal como se muestra en la Figura 29. Esta escala se definió a partir de la combinación de los criterios evaluados y sus respectivas ponderaciones, reflejando el riesgo operativo asociado a cada activo.

Los equipos clasificados con criticidad alta (A), correspondientes a valores entre 120 y 207, representan un riesgo significativo para la continuidad del proceso productivo. Este nivel de criticidad se caracteriza por la concurrencia de factores como una alta frecuencia de fallas, impacto directo sobre la operación, baja flexibilidad operativa y consecuencias relevantes en términos de costos, seguridad o calidad. La indisponibilidad de estos equipos puede generar paradas totales del proceso, pérdidas económicas importantes y riesgos elevados para la organización, por lo que

requieren intervención prioritaria, estrategias de mantenimiento preventivo estrictas y seguimiento permanente.

Por su parte, los equipos clasificados con criticidad media (B), con valores entre 50 y 119, presentan un impacto moderado sobre la operación. Aunque sus fallas no generan una detención total del proceso, sí afectan el rendimiento, incrementan los tiempos de intervención y pueden derivar en mayores costos operativos si no se gestionan adecuadamente. Estos equipos requieren un control sistemático, mantenimiento preventivo planificado y monitoreo periódico, con el fin de evitar que su condición evolucione hacia niveles de mayor criticidad.

Finalmente, los equipos clasificados con criticidad baja (C), con valores entre 1 y 49, corresponden a activos cuya falla tiene un impacto limitado sobre el proceso productivo. En estos casos, la operación puede continuar sin afectaciones significativas, ya sea por la disponibilidad de equipos de respaldo, la baja frecuencia de fallas o la facilidad de intervención. Estos equipos pueden gestionarse mediante rutinas básicas de mantenimiento y seguimiento operativo, sin requerir acciones prioritarias.

En conjunto, la aplicación de esta escala de referencia permitió interpretar de manera clara los resultados del análisis de criticidad, facilitando la priorización de los activos, la asignación eficiente de recursos de mantenimiento y la selección de los equipos críticos que serían objeto de análisis detallado mediante AMEF y fortalecimiento del plan de mantenimiento.

Figura 29

Escala de Referencia Criticidad


ESCALA DE REFERENCIA	
CRITICIDAD ALTA (A)	[120-207]
CRITICIDAD MEDIA (B)	[50-119]
CRITICIDAD BAJA (C)	[1-49]

Siguiendo las directrices metodológicas previas, se construyó una matriz semicuantitativa de criticidad basada en los criterios teniendo en cuenta el historial de fallas registrado, el grado de complejidad técnica de los subsistemas que conforman cada máquina y cantidad de elementos críticos que intervienen en su funcionamiento observados en la Figura 27. Dicha matriz permite ubicar cada área del proceso en zonas de riesgo (verde: bajo, amarillo: medio, rojo: alto) y facilita la priorización de intervenciones según el riesgo operativo y económico que representan los activos a generación de las figuras realizadas mediante la herramienta digital desarrollada en Excel, la cual fue diseñada y ajustada progresivamente a medida que se avanzó en el desarrollo del plan de mantenimiento preventivo.

En conjunto, la aplicación de esta escala de referencia permitió interpretar de manera clara los resultados del análisis de criticidad y apoyar la priorización de los activos dentro del proceso productivo. Es importante señalar que el diseño, la estructura y el funcionamiento de la herramienta digital desarrollada en Excel, así como su integración con el plan de mantenimiento preventivo y el sistema de alarmas, se describen con mayor nivel de detalle en un capítulo posterior, donde se presenta de forma específica su arquitectura, funcionamiento y alcance como soporte para la gestión del mantenimiento.

Figura 30

Ponderación de Criticidad por Áreas de Producción

 VENTANAR S.A.S		CRITICIDAD TOTAL = FRECUENCIA DE FALLA*CONSECUENCIA <small>CONSECUENCIA= [(OPERACION*FLEXIBILIDAD OPERATIVA)+COSTOS+SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE+MANTENIBILIDAD+CALIDAD]</small>											
CLASIFICACIÓN CRITICIDAD ACTIVOS POR ÁREA											ESCALA DE REFERENCIA		
CÓDIGO EQUIPO	VG-PR	VERSIÓN	#1	FECHA EDICIÓN	6/11/2025						CRITICIDAD ALTA (A)	[120-207]	<
REALIZADO POR	Juan Sebastian Moreno	CÓDIGO	F-INF-036	ÁREA	PRODUCCIÓN						CRITICIDAD MEDIA (B)	[50-119]	
CÓDIGO ÁREA	ÁREA	PROCESO	FRECUENCIA DE FALLA	OPERACIÓN	FLEXIBILIDAD OPERATIVA	COSTOS	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	MANTENIBILIDAD	CALIDAD	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL	CLASIFICACIÓN FINAL	
			FF	O	FO	\$	SAH	MAN	Q				
PNT	VENTANAR S.A.S	PINTURA	2	8	4	6	10	5	9	62	124	ALTA	
VID		VIDRIO	3	8	4	6	7	5	9	59	177	ALTA	
CRT		CORTE	2	4	2	6	7	5	9	35	70	MEDIA	
ENS		ENSAMBLE	1	1	1	2	7	2	4	16	16	BAJA	
TRQ		TROQUELADO	3	8	4	10	7	8	9	66	198	ALTA	

Como muestra la Figura 30, hay tres áreas del flujo del proceso críticas en producción. El área de troquelado presenta la mayor criticidad (Puntaje de 198), por lo que se prioriza para un análisis más detallado y la definición de medidas correctivas. A continuación, se desarrolla un estudio focalizado en el troquelado para proponer acciones en pro de reducir la probabilidad de fallo y el impacto operacional y económico, esto con base en la matriz de criticidad dada en la Figura 31.

En relación con el Objetivo 2, es importante precisar que los indicadores de disponibilidad y tasa de fallo no fueron empleados como criterios directos dentro de la matriz de criticidad para la selección inicial del equipo prioritario. En su lugar, estos indicadores fueron utilizados como indicadores de desempeño (KPI) operativo en una etapa posterior del estudio.

Durante la fase de jerarquización de activos, la priorización de los equipos se llevó a cabo con base en criterios de impacto operativo y riesgo, tales como frecuencia de falla, nivel de operación, flexibilidad operativa, costos asociados, seguridad, mantenibilidad y calidad. Estos criterios permiten realizar una clasificación temprana de los equipos críticos, incluso en escenarios donde la información histórica disponible es limitada.

Posteriormente, una vez implementadas las acciones de mantenimiento preventivo sobre el equipo seleccionado, se procedió al cálculo y análisis de los indicadores de disponibilidad, MTBF, MTTR y tasa de fallo, con el fin de evaluar el comportamiento real del activo y validar el impacto del plan de mantenimiento propuesto. Este enfoque es coherente con los lineamientos de la norma ISO 14224 y la metodología RCM, en las cuales dichos indicadores se emplean como herramientas de seguimiento, control y mejora continua, más que como criterios iniciales de selección.

Figura 31

Matriz de criticidad por áreas del proceso

		MATRIZ DE CRITICIDAD SUBSISTEMAS DEL EQUIPO						
FRECUENCIA DE FALLA	3						VID	TRQ
	2				CRT			PNT
	1		ENS					
	CONSECUENCIA		10	20	30	40	50	60

Siguiendo la matriz de criticidad de la Figura 31, las áreas de mayor criticidad son Troquelado (TRQ), Vidrio (VID) y Pintura (PNT); por lo que, el área mayormente afectada siendo troquelado, alcanza la zona de mayor riesgo por la combinación de elevada recurrencia de intervenciones, altos costos de reparación y efectos severos sobre calidad y disponibilidad productiva.

Tras el análisis por áreas se hizo un examen más detallado de cada equipo siguiendo los criterios establecidos en la Figura 28, para identificar cuál tiene mayor impacto en la planta. El activo Satellite XT 10500 (TRQ) resulta ser el más crítico; dicha máquina muy compleja que combina control por varios ejes (5) con muchos componentes mecánicos, eléctricos y neumáticos;

lo cual, cuando se avería suele necesitar piezas especiales y personal técnico calificado Emmegi, lo que prolonga el tiempo de parada y afecta tanto la calidad como la disponibilidad de la línea.

En la Figura 32 se muestra la localización del Satellite, en la casilla de máxima criticidad de la matriz, lo que evidencia su prioridad para intervenciones y monitoreo. Junto a este equipo, la matriz destaca también el Horno Sifap y la Cabina de Pintura, y la Quadra L1 como activos con elevada criticidad operativa y económica.

Figura 32

Matriz de criticidad por equipo

		MATRIZ DE CRITICIDAD SUBSISTEMAS DEL EQUIPO						
FRECUENCIA DE FALLA	3			TRQ-REF		VID-LIS;TRQ-QL1		TRQ-SAT
	2			VID-RCT;ENS-ACL;TRQ-RET	VID-RBF;CRT-SDE;TRQ-TEK		VID-BAV	PNT-HSF,PNT-COP
	1		ENS-TDA;ENS-CVD;ENS-SML;ENS-SMN;ENS-SMC;ENS-ESM;TRQ-SMN	PNT-PDL;PNT-TDE;PNT-ACA;PNT-SCA;VID-TUR;CRT-SDP;ENS-STR;ENS-REF;TRQ-TRE;TRQ-PUN;TRQ-TRN;TRQ-CFD;TRQ-TRM	PNT-TDS;PNT-TDD;PNT-TDC;VID-VTC;CRT-STK;CRT-SDT;CRT-SDE;ENS-CVN;TRQ-CFR	PNT-TRS;VID-PGL;TRQ-CFN		
	CONSECUENCIA	10	20	30	40	50	60	70

Nota. Equipos codificados por área.

Con el fin de facilitar la comprensión del análisis, la ponderación asignada a cada activo en la planta de producción, se presenta de manera detallada (véase Apéndice B).

5.3.1 Descripción del activo físico

El Satellite XT 10500 (Emmegi, 2018) es un centro de mecanizado CNC de 5 ejes diseñado para el procesamiento de perfiles de aluminio de gran longitud. Esta arquitectura permite operaciones de corte, fresado, taladrado, ranurado y roscado, con un área de trabajo de hasta 10,5 m de longitud y una capacidad estructural que soporta la manipulación de piezas de gran porte.

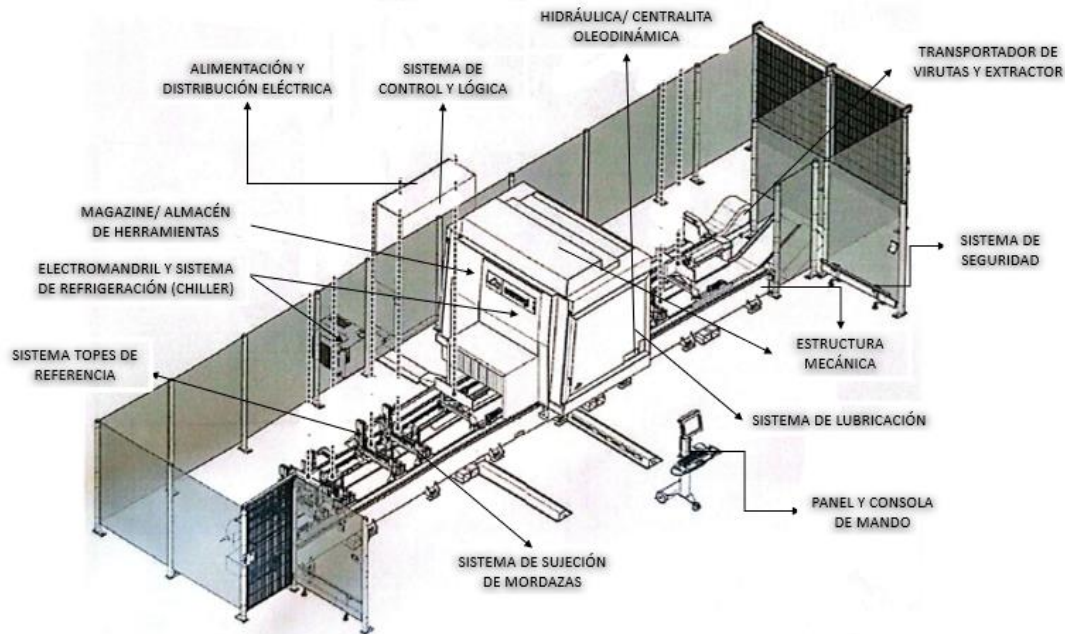
Este equipo está ubicado en el área de Troquelado, categorizado con criticidad alta por su gran impacto directo en la continuidad productiva y la calidad del proceso, siendo motivo del análisis de subsistemas e ítems mantenibles para la definición de estrategias de mantenimiento.

Figura 33*Centro de Mecanizado Satellite XT 10500*

A continuación, y tomando como base la Figura 34, se elaboró un mapeo espacial de subsistemas generales, que facilita la ubicación física de los conjuntos y componentes sobre la máquina Satellite XT 10500.

Dicha caracterización se realizó con base en el manual del fabricante, complementada con aportes del operario y técnico de mantenimiento para su comprensión operacional.

Figura 34*Diagrama de subsistemas Satellite XT 10500*



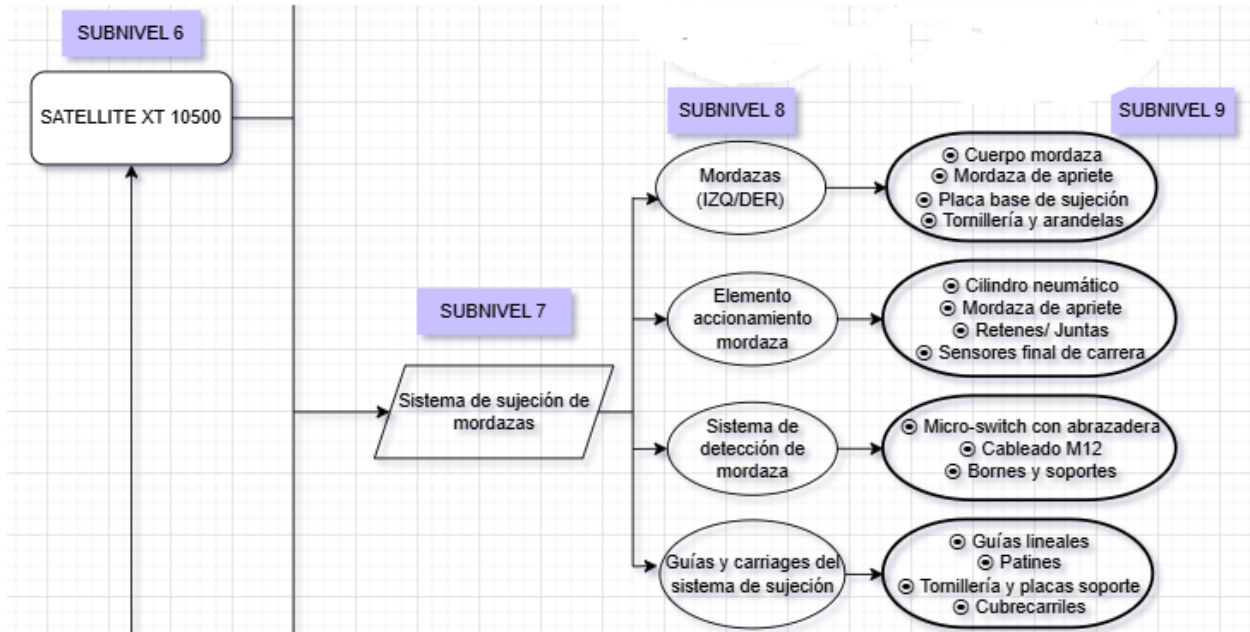
Es importante señalar que, para el desarrollo completo del estudio del equipo, se realizó un análisis detallado del manual del fabricante y se recopiló información mediante entrevistas con el técnico y el operario responsable. Esto permitió una mayor comprensión del funcionamiento y desglose del activo, facilitando la elaboración de la taxonomía completa conforme a los lineamientos de la ISO 14224.

Prosiguiendo con la caracterización del activo, en la Figura 35, se presenta un ejemplo de la taxonomía aplicada al Satellite XT 10500. Este desglose del activo, organizada desde el nivel de equipo hasta el subnivel 9 (parte), lo que permite sustentar el análisis de criticidad a nivel de equipo, subsistema, ítem y pieza, sirviendo como base para definir niveles de stock y repuestos críticos.

Cabe resaltar que, la taxonomía completa del equipo se encuentra incluida (Véase Apéndice A).

Figura 35

Ejemplo taxonomía sistema de sujeción de mordazas (Subniveles 6-9) de Satellite XT 10500



5.3.2 Análisis de criticidad Satellite XT 10500

5.3.2.1 Análisis de criticidad por subsistemas. A continuación, se muestra la ponderación de los subsistemas identificados para Satellite XT 10500 en la Figura 36, mostrando la clasificación cuantitativa de cada subsistema.

Para la ponderación de criterios de criticidad, se evaluó la frecuencia de falla (FF) a partir de los registros de hoja de vida disponibles desde 2022. Se contabilizaron los eventos por ítem/subsistema y se calculó una tasa anualizada (fallas/año), que luego se transformó a la escala de FF en el estudio mediante valores predefinidos. Los demás criterios se puntuaron con base en evidencia documental o mediante juicio técnico del personal operativo de mantenimiento cuando fue necesario. Dicho proceso se repite para todos los estudios realizados (área, equipos, subsistema del equipo e ítem mantenible del equipo).

Figura 36

Ponderación de subsistemas (Subnivel7) - Satellite XT 10500

ITEM	UNIDAD DE EQUIPO	SUB-UNIDAD	CRITERIOS DE CRITICIDAD	FRECUENCIA DE FALLA	OPERACIÓN	FLEXIBILIDAD OPERATIVA	COSTOS	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	MANTENIBILIDAD	CALIDAD	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL	CLICK ACTUALIZAR NIVEL CRITICIDAD
				FF	O	FO	↑	SAH	MAN	Q	CLASIFICACION FINAL		
SAT-AE	SATELITE XT 10000	ALIMENTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA		1	8	4	6	7	5	4	54	54	MEDIA
SAT-DR		ACCIONAMIENTOS Y EJES DRIVE (Y ANALOGO PARA Y,Z,B,C,U,V,W,P)		1	8	4	2	7	5	9	55	55	MEDIA
SAT-EM		ELECTROMANDRIL Y SISTEMA DE REFRIGERACIÓN		1	8	4	10	7	8	9	66	66	MEDIA
SAT-SC		SISTEMA DE CONTROL Y LÓGICA		2	8	4	10	7	8	9	66	132	ALTA
SAT-MD		SISTEMA DE SUJECIÓN DE MORDAZAS		2	8	2	2	7	2	9	36	72	MEDIA
SAT-MG		MAGAZINE/ ALMACÉN DE HERRAMIENTAS		1	4	2	2	2	5	4	21	21	BAJA
SAT-CH		SISTEMA DE CAMBIO DE HERRAMIENTA		1	8	4	2	7	5	9	55	55	MEDIA
SAT-TV		TRANSPORTADOR DE VIRUTAS Y EXTRACTOR		1	4	2	2	2	2	1	15	15	BAJA
SAT-LB		SISTEMA DE LUBRICACIÓN		1	4	2	2	7	2	9	28	28	BAJA
SAT-NE		SISTEMA NEUMÁTICO		1	8	4	2	7	5	4	50	50	MEDIA
SAT-PC		PÁNELES Y CONSOLA DE MANDO		1	8	4	6	7	5	4	54	54	MEDIA
SAT-AX		SISTEMAS AUXILIARES		1	1	1	2	2	2	1	8	8	BAJA
SAT-ES		ESTRUCTURA MECÁNICA		1	4	2	10	7	8	9	42	42	BAJA
SAT-SR		SISTEMA SENSORICO Y RETROALIMENTACIÓN		1	8	2	2	7	5	9	39	39	BAJA
SAT-SF		SEGURIDAD FUNCIONAL		1	8	4	6	7	8	1	54	54	MEDIA
SAT-HD		HIDRAULICA/CENTRALITA OLEODINAMICA		1	8	2	6	7	5	9	43	43	BAJA

La figura 36, basada en la taxonomía (Véase Apéndice A) y siguiendo la norma para su respectiva codificación, presenta la ponderación obtenida por cada uno de los subsistemas establecidos de la máquina, calculada a partir de los criterios de evaluación (frecuencia de falla, operación, flexibilidad operativa, costos, seguridad y medio ambiente, mantenibilidad y calidad).

Teniendo como referencia esta información se realizó una macro en el formato de criticidad, en el que se ubica por codificación cada uno de los subsistemas en su matriz de criticidad, presentado a continuación.

Figura 37

Matriz de criticidad por subsistemas

		MATRIZ DE CRITICIDAD SUBSISTEMAS DEL EQUIPO						
FRECUENCIA DE FALLA	3							
	2				SAT-MD			SAT-SC
	1	SAT-AX	SAT-TV	SAT-MG; SAT-LB	SAT-SR	SAT-NE; SAT-ES; SAT-HD	SAT-AE; SAT-DR; SAT-CH; SAT-PC; SAT-SF	SAT-EM
	CONSECUENCIA	10	20	30	40	50	60	70

En la Figura 37, la matriz de criticidad establece que, el Sistema de Control y Lógica (SAT-SC), el Sistema de Sujeción de Mordazas (SAT-MD) y el Electromandrill y Sistema de Refrigeración (SAT-EM), cada uno clasificado en la escala de criticidad como alto o medio según

la puntuación total obtenida, lo que refleja tanto la magnitud de impacto potencial como la necesidad de priorizar su seguimiento y gestión de repuestos.

5.3.2.2 Análisis de criticidad por ítem mantenible. Siguiendo la metodología a nivel detallado por subsistemas (Figura 36), se aplica el mismo procedimiento de evaluación a nivel de ítems mantenibles (subnivel 8) de los subsistemas priorizados mostrado en la siguiente Figura.

Figura 38

Ponderación Ejemplo de ítem mantenible (Subnivel 8) - Satellite XT 10500

ÍTEM	SUBUNIDAD	ÍTEM MANTENIBLE/ ACCESORIO	CRITERIOS DE CRITICIDAD	FRECUENCIA DE FALLA	OPERACIÓN	FLEXIBILIDAD OPERATIVA	COSTOS	SEGURIDAD MEDIO AMBIENTE	MANTENIBILIDAD	CALIDAD	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL	
				FF	O	FO	✱	SAH	MAN	Q			
3	ELECTROMANDRIL Y SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	MOTOR ELECTROMANDRIL	EM-MEL	1	8	4	10	7	8	9	66	66	MEDIA
		INVERSOR DEL ELECTROMANDRIL	EM-INV	1	8	4	6	7	5	9	59	59	MEDIA
		ACCESORIOS MECÁNICOS ELECTROMANDRIL	EM-AME	1	4	1	2	2	2	4	14	14	BAJA
		INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL	EM-INS	1	8	2	2	7	2	4	31	31	BAJA
		CHILLER (REFRIGERACIÓN)	EM-CHL	1	8	4	6	7	5	4	54	54	MEDIA
4	SISTEMA DE CONTROL Y LÓGICA	CNC/ CPU PRINCIPAL	SC-CNC	2	8	4	10	7	8	9	66	132	ALTA
		MÓDULOS I/O (24V) Y FUENTES	SC-MIO	1	8	2	2	7	2	4	31	31	BAJA
		REDES DE CAMPO	SC-RED	1	8	2	2	7	2	4	31	31	BAJA
		TARJETAS ESPECÍFICAS	SC-TAR	1	8	4	6	7	5	9	59	59	MEDIA
		PANELES DE COMUNICACIÓN/PUNTES	SC-PAN	1	8	2	2	2	2	1	23	23	BAJA
5	SISTEMA DE SUJECCIÓN DE MORDAZAS	MORDAZAS (ZIGZAG)	MD-MDZ	2	8	2	2	7	2	9	36	72	MEDIA
		ELEMENTO ACCIONAMIENTO MORDAZA	MD-AMD	1	8	2	2	7	2	9	36	36	BAJA
		SISTEMAS DE DETECCIÓN DE MORDAZA	MD-SDM	1	8	1	2	7	2	9	28	28	BAJA
		GUÍAS Y CARRIAGES DEL SISTEMA DE SUJECCIÓN	MD-GCR	1	4	2	6	7	5	9	35	35	BAJA

Con el fin de facilitar la interpretación, la Figura 38 presenta solo los ítems mantenibles más significativos extraídos de la matriz de criticidad de subsistemas, mostrada en la Figura 37. Esta recopilación facilita la visualización del método y permite identificar con rapidez componentes que requieren mayor seguimiento y atención. La tabla completa con todos los ítems y su puntaje se encuentra a final del documento (Véase Apéndice B).

MATRIZ DE CRITICIDAD ÍTEM MANTENIBLES DEL EQUIPO

FRECUENCIA DE FALLA	CONSECUENCIA	PUNTAJE						
		10	20	30	40	50	60	70
3								
2					MD-MDZ			SC-CNC
1	TV-CNT, AX-AR, AX-VNT, AX-IDC, ES-CDV, ES-CPB	AE-MED, EM-AME, MG-IDX, MG-REM, MG-SEC, TV-TRV, TV-MTR, TV-EXT, LB-DOS, LB-FIL, LB-RDD, NE-RAC, PC-PDL, PC-IPC, ES-TPS, SR-SPT	SC-PAN, MD-SDM, LB-TAN, LB-BNL, NE-FRL, SR-SRP, HD-CCA	AE-INM, DR-ENC, DR-CBL, DR-PRE, EM-INS, SC-MIO, SC-RED, MD-AMD, MD-GCR, MG-MGZ, CH-PTH, CH-SUJ, NE-EVV, NE-CIL, SR-MAC	PC-PBE, ES-BAS, ES-MNT, SF-EST	AE-PVR, AE-TRA, AE-BUS, AE-ARM, DR-VDR, DR-SVM, EM-INV, EM-CHL, SC-TAR, CH-MCM, NE-MFD, PC-HML, SF-MSF, SF-IBC, HD-UHD	EM-MEL, SR-ENC	

En la imagen anterior, se presenta la matriz de criticidad correspondiente a todos los ítems mantenibles analizados del equipo, en la cual, la calificación cuantitativa de cada uno se podrá observar más detalladamente (Véase Apéndice B). Se aprecia a cerca de los ítems mantenibles del activo, dicho análisis de criticidad evidencia que el componente de mayor impacto es el CNC/CPU Principal, seguido de los componentes con criticidad media, entre los cuales se encuentran las Mordazas (Izquierda/Derecha), el Motor Electromandril y los Encoders del equipo.

Esta representación permite visualizar de manera global el comportamiento de criticidad de cada componente y determinar aquellos de mayor atención dentro del plan de mantenimiento del activo.

5.4 Plan de Mantenimiento Preventivo

5.4.1 Aplicación de la metodología RCM a partir del análisis AMEF

En cumplimiento del objetivo de identificar los modos de falla potenciales y orientar las acciones del plan de mantenimiento preventivo, se aplicó la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) de manera focalizada al equipo previamente identificado como crítico. Esta aplicación se realizó a partir de los resultados obtenidos en el Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF), el cual permitió reconocer los modos de falla con mayor impacto sobre la productividad y la confiabilidad del proceso.

La metodología RCM se utilizó como una herramienta de apoyo para analizar las funciones del equipo, los modos de falla relevantes y las consecuencias asociadas a su ocurrencia, con el fin de definir acciones de mantenimiento preventivo orientadas a mitigar o evitar dichas fallas. Este enfoque permitió priorizar intervenciones sobre los componentes más críticos, enfocando los recursos de mantenimiento en aquellos elementos cuya falla genera mayores afectaciones operativas, económicas o de calidad.

De esta manera, la aplicación del RCM no se abordó como un ejercicio teórico, sino como un proceso práctico de toma de decisiones, estrechamente vinculado a los resultados del AMEF y al análisis de criticidad. Los resultados obtenidos sirvieron como base para la estructuración del plan de mantenimiento preventivo, contribuyendo a la mejora de la confiabilidad de los equipos de mayor criticidad y a la reducción de fallas inesperadas dentro del proceso productivo.

La aplicación del AMEF, mediante la valoración de criterios cuantitativos y cualitativos como la severidad, la ocurrencia y la detectabilidad, permitió estructurar la información técnica necesaria para priorizar los modos de falla con mayor impacto sobre el proceso productivo. Esta información sirvió como insumo directo para el proceso RCM, orientando la definición de acciones de mantenimiento preventivo enfocadas en la mitigación de las fallas más críticas.

Como se presenta en la Figura 39, el formato de registro del AMEF consolida de manera ordenada los fallos potenciales, sus efectos, causas y controles actuales, así como la evaluación del estado del equipo. Este registro facilitó el análisis sistemático de los modos de falla y permitió vincular los resultados del AMEF con la toma de decisiones dentro del plan de mantenimiento preventivo.

Figura 39

Formato Registro AMEF- Fallos potenciales y Estado Actual

VENTANAR S.A.S														
ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS (AMEF)														
TIPO DE AMEF	CÓDIGO EQUIPO	VERSIÓN	FECHA DE ELABORACIÓN	CÓDIGO	PLANTA	ÁREA	DEPARTAMENTO ENCARGADO	FECHA REVISIÓN	REALIZADO POR	Juan Sebastian Moreno, Practicant				
DE PROCESO	YG-PR-TRIQ-SAT	#1	27/06/2025		PRODUCCIÓN	TROQUELADO	DPTO.MANTENIMIENTO	21/11/2025	REVISADO POR	Paula Cuervo, PhD				
									APROBADO POR	Duvan Mantique, Jefe Mantenimient				
FALLOS POTENCIALES										ESTADO ACTUAL				
FUNCIÓN	FALLO N°	FALLA FUNCIONAL	TIPO DE FALLO	MODOS DE FALLO	COMPONENTE ASOCIADO	EFECTOS DE FALLA	SEVERIDAD	CAUSAS DE FALLO	OCURRENCIA	CONSECUENCIAS		DETECCIÓN	CONTROLES ACTUALES DE DETECCIÓN/PREVENCIÓN	Click CALCULAR/ACTUALIZAR NPR
										TIPO	DESCRIPCIÓN			

Como resultado del análisis AMEF aplicado en el marco de la metodología RCM, se definieron las acciones de mantenimiento orientadas a prevenir o mitigar los modos de falla identificados como críticos. Estas acciones se estructuraron y consolidaron en el formato de

Resultados por acciones, presentado en la Figura 40, el cual permite vincular directamente los modos de falla con las tareas de mantenimiento correspondientes.

El formato organiza las acciones en mantenimiento preventivo por inspección y limpieza y mantenimiento preventivo planificado por recambio, especificando para cada actividad su descripción y frecuencia de ejecución. Esta clasificación facilita la selección de la estrategia de mantenimiento más adecuada según la naturaleza del modo de falla, el comportamiento del componente y el impacto sobre la operación.

Figura 40

Formato Registro AMEF-Resultados por acciones

RESULTADOS POR ACCIONES					
PREVENTIVO POR INSPECCION/LIMPIEZA		PREVENTIVO PLANIFICADO/RECAMBIO		ACCIONES PROPUESTAS A FALTA DE	ENCARGADO
DESCRIPCIÓN	FRECUENCIA	DESCRIPCIÓN	FRECUENCIA		

Dicho formato se divide en tres subregiones, cada una destinada a apoyar la identificación de riesgos y definición de acciones de mantenimiento centradas en confiabilidad.

La primera subregión recoge la información funcional y descriptiva del activo, garantizando que el análisis parte de una comprensión completa del elemento y su rol en el proceso. La segunda agrupa las tareas proactivas, en las que se evalúan las intervenciones ya existentes y cuáles deben reforzarse. Y, por último, las acciones propuestas a falta de, junto con el encargado y el plazo para cada acción.

A continuación, se explican con detalle cada una de estas subregiones, de modo que el procedimiento permita priorizar recursos y definir planes de mantenimiento.

- **Análisis funcional:** Consiste en identificar y describir las funciones que un equipo o sistema debe cumplir, los parámetros operativos asociados y posibles eventos funcionales que pueden dar lugar a una falla.

- Función: Describe el propósito operativo del activo.
- Falla funcional: Pérdida total o parcial de la capacidad del equipo para cumplir su función especificada, en la que se manifiesta cuando un componente o sistema deja de entregar el resultado requerido o lo hace fuera de tolerancias aceptables.
- Análisis de fallas: Es una metodología sistemática para identificar, evaluar y mitigar los modos y efectos de fallo en un producto, proceso o sistema.
 - Tipo de falla: Clasificación general de la naturaleza del fallo.
 - Modo de falla: Son las distintas maneras en que un componente o sistema puede dejar de cumplir su función prevista (por desgaste, fractura, cortocircuito, calibración, contaminación, etc). Además, pueden estar correlacionados en niveles (un modo puede originar o desencadenar otros modos).
 - Causa de fallo (Causa Raíz): Remite al origen o condición que propicia el modo de fallo observado, el objetivo es superar la observación superficial y encontrar la causa raíz que provocó el fallo.
 - Efectos de falla: Describen lo que ocurre cuando un modo de fallo se materializa, indicando el impacto inmediato sobre la operación, calidad, seguridad y el cliente.
 - Consecuencias: Representan el por qué importa ese efecto; son impactos adversos (económicos, operativos, de seguridad o ambientales) que permiten cuantificar la severidad y justificar la priorización de acciones.
 - Acciones proactivas: Conjunto de medidas orientadas a prevenir la ocurrencia o reducir la severidad de fallos.
 - Acciones propuestas a “falta de”: Cuando los controles existentes son insuficientes para mitigar un modo de fallo, se plantean acciones propuestas que buscan corregir

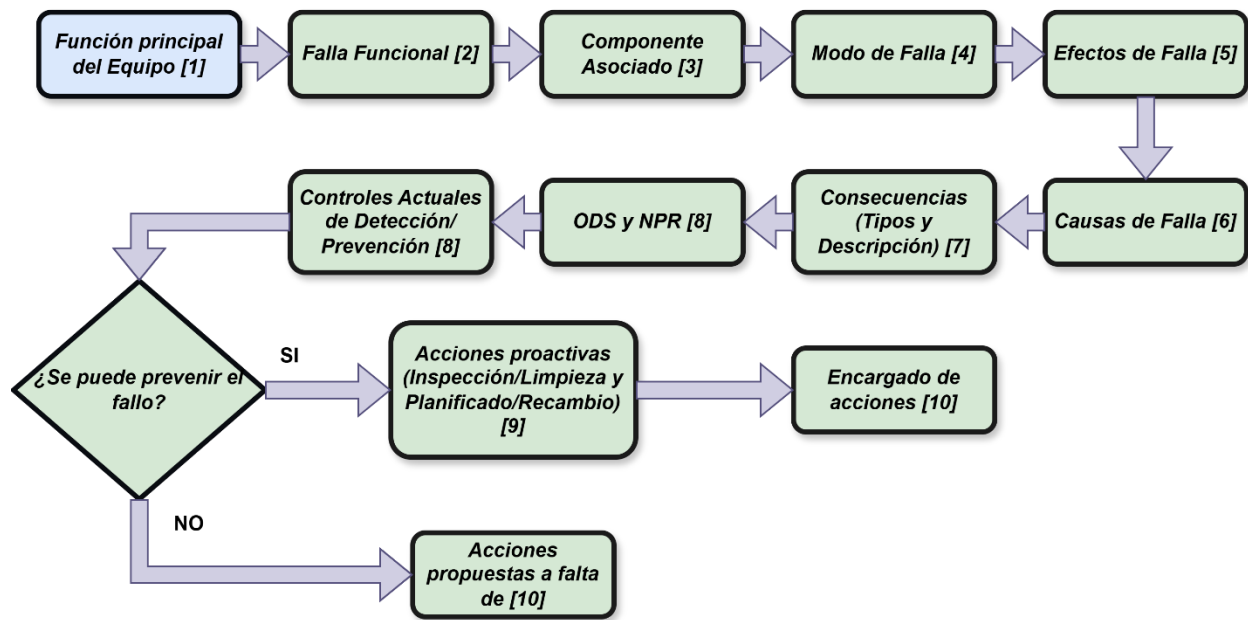
la debilidad detectada y elevar el nivel de protección del activo, mediante un responsable y plazos definidos.

Para el desarrollo del AMEF y priorización de modos de fallo, se emplean los criterios de Severidad, Ocurrencia y Detectabilidad (ODS) (ver Tabla 1, 2 y 3). Mediante el producto de estos factores permite calcular el Número Prioritario de Riesgo (NPR), a partir del cual se determinan acciones preventivas o correctivas más adecuadas para el activo en estudio.

Con base en las siete preguntas del RCM y en el formato previamente presentado, el proceso de elaboración del AMEF debe desarrollarse siguiendo las indicaciones mostradas en la Figura 41.

Figura 41

Proceso de llenado del formato



Una vez definidas la función del activo, la falla funcional y los modos y efectos de falla, estos efectos se jerarquizan según el impacto operacional, la detectabilidad de las averías y frecuencia de ocurrencias de dichas averías.

Los parámetros utilizados para evaluar tipos de falla y consecuencias fueron adaptados para los objetivos de este proyecto; a continuación, se describen algunos factores adicionales, no contemplados en el marco teórico general, que son esenciales para comprender el formato empleado.

- Fallo N°: Este parámetro identifica y enumera los modos de falla asociados a cada falla funcional del equipo, asignándoles una numeración secuencial (por ejemplo: 1.1, 1.2, etc).
- Tipo de fallo: A continuación, se presentan sus abreviaturas junto a una breve descripción.
 - Falla mecánica (MEC): Considerado cuando componentes estructurales o de transmisión pierden capacidad de cumplir su respectiva función por desgaste, fractura, desalineación o pérdida de tolerancias produciendo pérdida de efectividad, riesgo de daño o parada del equipo.
 - Falla eléctrica (ELEC): Se manifiesta cuando circuitos, alimentaciones o motores dejan de operar correctamente por cortocircuitos, ruptura de aislamiento, sobrecargas, fallos en fuente de alimentación o conexiones en mal estado.
 - Ejecución de mantenimiento (EJEC): Se produce por intervenciones incorrectas; procedimientos mal aplicados, repuestos inadecuados, aprietes erróneos o ajustes fuera de especificación, aumentando la probabilidad de averías prematuras.
 - Falla neumática (NEUM): Abarca pérdidas de presión, fugas, fallos de válvulas u obstrucciones en líneas que impiden mantener el caudal y la presión necesaria.
 - Falla de refrigeración (REFR): Se refiere a la pérdida de capacidad de disipación térmica por obstrucción, fugas de refrigerante, fallo de bombas/ ventiladores o

degradación de intercambiadores con riesgo de fallos térmicos en sistemas eléctricos y mecánicos.

- Falla sensorial (SENS): Incluye errores o pérdidas de señal en sensores (posicionamiento, temperatura, presión, etc), por descalibración, cambio gradual no intencionado, cableado defectuoso, contaminación o fallos electrónicos.
- Falla por lubricación (LUB): Producido por falta de lubricante, lubricante contaminado o especificación inadecuada, derivando en desgaste acelerado, rozamiento excesivo y calentamiento de piezas en movimiento.
- Uso y edad (EDAD): Corresponde al deterioro progresivo típico por horas de operación, fatiga de materiales, corrosión o envejecimiento de componentes eléctricos y mecánicos.
- Consecuencias: A continuación, se presentan sus abreviaturas junto a una breve descripción.
- Operacionales (OP): Fallas que producen parada de la planta, reducción de producción y pérdida de calidad del producto.
- No Operacionales (NOP): Fallo que genera costes de reparación y no implican necesariamente una parada inmediata del proceso, pero sí en la gestión financiera y logística del mantenimiento.
- Ocultas (OC): Fallas latentes sin impacto inmediato en la operación y que suelen detectarse únicamente mediante inspección, ensayos pudiendo evolucionar hasta fallos súbitos si no se detectan a tiempo.
- Seguridad y Ambientales (SA): Fallas que ponen en riesgo la salud de trabajadores, integridad de instalaciones o cumplimiento ambiental.

Para concluir, las acciones proactivas se analizan según la clasificación presentada a continuación, estructurada en dos subcategorías que permiten definir de manera precisa las intervenciones requeridas.

- Mantenimiento preventivo por inspección/limpieza: Actividades periódicas de revisión y limpieza para detectar desgaste, suciedad o desajustes para su anticipada corrección antes de presentar fallos.
- Mantenimiento preventivo planificado/recambio: Sustitución programada de componentes o piezas según vida útil prevista, para evitar fallos por desgaste y asegurar continuidad operativa.

Como observación complementaria, no solo deben considerarse los modos con alto NPR, sino también aquellos con alta tasa de ocurrencia, ya que dicha recurrencia incrementa la frecuencia de averías, reduciendo la disponibilidad operativa y disminuye el tiempo medio entre fallas (MTBF).

5.4.2 Análisis AMEF Satellite XT 10500

Las Figuras 42 a 47 presentan la aplicación práctica de las acciones de mantenimiento definidas a partir del análisis AMEF y la metodología RCM para el activo crítico. En estas figuras se evidencia la ejecución de actividades de inspección, limpieza, ajuste y recambio de componentes, las cuales fueron programadas de acuerdo con las frecuencias establecidas en el plan de mantenimiento preventivo.

El análisis conjunto de estas evidencias muestra que las acciones implementadas se encuentran alineadas con los modos de falla previamente identificados, permitiendo intervenir de manera directa sobre las causas más recurrentes y críticas. Asimismo, se observa una

estandarización en la ejecución de las tareas, lo que contribuye a mejorar el control operativo y la confiabilidad de los equipos.

En general, las actividades documentadas en las Figuras 42 a 47 reflejan la correcta implementación del plan de mantenimiento preventivo y su contribución a la reducción del riesgo operativo, sirviendo como soporte visual de los resultados obtenidos en el fortalecimiento de la gestión del mantenimiento.

Cabe señalar que, debido a la larga extensión del formato, el AMEF completo se encuentra a final del documento (Véase Apéndice C).

Figura 42

AMEF Satellite XT 10500 [1]

FUNCIÓN	FALLO N°	FALLOS POTENCIALES										
		FALLA FUNCIONAL	TIPO DE FALLO	MODOS DE FALLO	COMPONENTE ASOCIADO	EFECTOS DE FALLA	SEVERIDAD	CAUSAS DE FALLO	OCURRENCIA	CONSECUENCIAS		DETECCIÓN
										TIPO	DESCRIPCIÓN	
	1.1		MEC	Desgaste de superficie de agarre de mordaza	Mordazas de bloque(SX/DX)/ Portamordazas	Cara de mordaza pierde rigidez o geometría Pieza ya no se asienta firmemente y coeficiente de fricción disminuye Aparecen deslizamientos parciales, vibración localizada y marcas en la pieza	3	Desgaste por contacto y abrasión con piezas o partículas Uso de materiales abrasivos	3	OP SA	Pérdida de calidad dimensional y superficial Piezas rechazadas Necesidad de reemplazar mordazas, riesgo de daño a herramienta por vibración o choque	2
			EDAD									
	1.2		EJEC	Apriete insuficiente/par incorrecto	Mordazas de bloque(SX/DX)/ Sistema de cierre/apriete de mordazas	Par aplicado no alcanza la fuerza necesaria o desigual entre mordazas Pieza queda suelta o con asimetría de sujeción Pueden producirse microdesplazamientos al inicio del corte	3	Procedimiento de apriete incorrecto, uso de herramienta inadecuada	2	OP NOP	Rechazos por medidas fuera de tolerancia, vibración y ruido Mayor desgaste de herramientas Posibles daños por explosión de pieza (riesgo de seguridad)	1
			MEC					Sistema hidráulico/neumático con pérdida de presión: tornillos flojos o roscas dañadas				
	1.3		MEC	Deslizamiento de la pieza durante el mecanizado	Mordazas de bloque y arrastre	Movimiento relativo pieza-herramienta que altera trayectoria Provoca rebabas y pérdida de referencia Casos severos generará colisiones	4	Geometría de sujeción inadecuada Vibración generada por condiciones de corte	2	OP NOP	Daños en herramienta Necesidad de paro y reajuste Tiempo muerto de operación	4
			EJEC					Incorrecta colocación o falta de elementos de sujeción secundaria				
	1.4		LUB	Erosión de la zona de contacto	Mordazas de bloque (SX/DX)/ Superficie de agarre de mordaza	Material de la superficie se degrada, reduciéndose la geometría y eficacia de agarre	2	Acción corrosiva o abrasiva de líquidos refrigerantes contaminados	2	OP OC	Reposición de piezas de sujeción Degradación de calidad de sujeción a mediano plazo Aumento de actividades correctivas	3
			EJEC					No limpiar residuos que actúan como abrasivos				
			MEC					Abrasión por partículas/virutas				
	1.5		EJEC	Holguras por configuración inadecuada según planos	Mordazas de bloque(SX/DX)/ Ajuste	Configuración fuera de tolerancia genera desplazamientos, mala referencia y holguras en puntos críticos de sujeción	2	Interpretación errónea de planos, ajustes manuales incorrectos	2	OP	Piezas no conformes, retrabajos y necesidad de formación o revisión de procedimientos	1

Figura 43

Continuación Figura 43- AMEF Satellite XT 10500 [2]

ESTADO ACTUAL		RESULTADOS POR ACCIONES					
CONTROLES ACTUALES DETECCION/PREVENCIÓN		PREVENTIVO POR INSPECCION/LIMPIEZA		PREVENTIVO PLANIFICADO/RECAMBIO		ACCIONES PROPUESTAS A FALTA DE	ENCARGADO
		DESCRIPCIÓN	FRECUENCIA	DESCRIPCIÓN	FRECUENCIA		
Lubricación a los ejes y cadena de mordazas, rectificación de guías	18	Comprobar desgaste y limpieza de viruta	MENSUAL	Rectificado o reemplazo de mordazas gastadas	SEGÚN SU CONDICION	Establecer stock mínimo de elementos críticos	TÉCNICO DE MANTENIMIENTO
Se ajusta cuña de mordaza y cambio de topes	6	Inspección visual y apriete	SEMANAL	Calibración herramienta de apriete	SEMESTRAL	Capacitación a operarios sobre procedimiento de apriete y tolerancias	TÉCNICO DE MANTENIMIENTO
Ajuste de la cadena de cuarto de herramienta, ajuste de tensor de movimiento	32	Inspección y prueba funcional de sujeción antes de ciclo	PREOPERACIONAL	Reemplazo de mordazas de agarre según desgaste	ANUAL	Prueba de sujeción antes de ciclo inicial diario	TÉCNICO DE MANTENIMIENTO
Se lubrica bandeja de viruta, se comprueban topes	12	Inspección visual de zonas de contacto y comprobación de lubricación	MENSUAL	Reparación/rectificado de superficie	ANUAL		TÉCNICO DE MANTENIMIENTO
Se edita block de notas para desplazar mordazas	4	Verificación dimensional tras cambio de pieza	SEMANAL				TÉCNICO DE MANTENIMIENTO

Figura 44

Continuación Figura 43 - AMEF Satellite XT 10500 [3]

Ejecutar operaciones automatizadas de mecanizado (corte, taladrado, fresado y ranurado) sobre perfiles de aluminio/PVC o aleaciones ligeras.	1.6	EJEC	MEC	Deformación plástica del soporte por sobrecarga	Base de bancada/ Soporte de mordaza	El soporte sufre deformación permanente Geometría cambia y la mordaza pierde la alineación	4	Procedimientos que no previenen impactos o cargas puntuales	1	OP NOP	Reparaciones estructurales costosas, reprocesos, posible sustitución de bancada o realineado de alto costo	4	
								Sobrecargas por incorrecta manipulación de piezas grandes o golpes. Uso de herramientas inadecuadas.					
	1.7	Sujeción o fijación de pieza insuficiente	NEUM	EDAD	Fuga o pérdida de presión en cilindro de mordaza	Cilindro neumático de mordaza, racoreña, juntas y válvulas de alimentación de mordaza	Provoca pérdida de fuerza en la mordaza. Reducción del tiempo de actuación con probable incapacidad de mantener contracción requerida sobre la pieza. Sistema neumático con ciclos más largos. Puede disminuir la presión en el depósito general.	3	Juntas (internas/externas) deterioradas, orificios o racores dañados, sellos cortados por suciedad, válvula de admisión o escape con fugas.	2	OP NOP SA	Sujeción insuficiente, piezas mal sujetas, riesgo de deslizamiento. Rechazo de pieza. Parada de ciclo de producción para corrección. Incremento de intervenciones y potencial daño en operarios o máquina si la pieza se suelta en mecanizado.	2
									Envejecimiento de juntas y cilindros, endurecimiento de sellos por tiempo/temperatura.				
									Golpes o desalineaciones que han dañado el vistago o camisa, desgaste de guías.				
									Montaje incorrecto o apriete insuficiente de racores previos.				
	1.8	Avería/ataasco de actuador de apertura/cierre	MEC	EJEC	Actuador de apertura/cierre de mordaza (guías, rieles, tornillería, sistema de bloqueo)	Actuador bloqueado o se mueve de forma errática. Provoca que la mordaza no llegue a la posición correcta, se atasca en tránsito o no libera la pieza al terminar el ciclo. Interrupciones de ciclo, golpes medanos.	3	Desalineamiento de guías, desgaste o rotura de dientes/ranfletas, cuerpos de deslizamiento con viruta adherida, rotura de pernos o chavetas.	2	OP NOP	Paradas frecuentes, necesidad de intervención correctiva para liberar el actuador y riesgo de daños mayores en mordazas o piezas. Si el actuador se rompe durante operación puede originar daños costosos y parada prolongada.	2	
								Falta de mantenimiento (limpieza/ lubricación), montaje defectuoso tras intervención, ajuste de tolerancias incorrecto.					
								Falta de componentes móviles que produce fractura o pérdida de tolerancias.					

Figura 45

Continuación Figura 45- AMEF Satellite XT 10500 [4]

No hay registro	16			Inspección estructural y reparación	SEGÚN SU CONDICION		TÉCNICO DE MANTENIMIENTO
Revisión y lubricación de elementos neumáticos y limpieza general en múltiples intervenciones	12	Comprobación visual de mangueras, racores y uniones	MENSUAL	Reemplazo programado de amangueras y racores críticos y cambio de juntas/sellos si muestran envejecimiento	ANUAL	Kit de repuestos rápidos (juntas, racores) con stock mínimo	TÉCNICO DE MANTENIMIENTO
Lubricación, limpieza, ajustes de piezas móviles	12	Lubricar guías y puntos de fricción	MENSUAL	Revisión y cambio de componentes del actuador (sellos, pasadores)	ANUAL		TÉCNICO DE MANTENIMIENTO

Figura 46

Continuación Figura 45- AMEF Satellite XT 10500 [5]

1.9	EDAD	Sellos o juntas dañadas en cilindros (pérdida de fuerza)	Retenes, juntas y sellos del cilindro neumático/hidráulico de mordaza	Sellos dañados permiten paso de aire/fluido interno Reduce presión efectiva y fuerza transmitida Caída de fuerza de apriete, respuesta lenta al comando y aumento de ciclos para conseguir misma acción	2	Endurecimiento, agrietamiento o pérdida de elasticidad por envejecimiento, exposición a temperatura/contaminantes	2	OP NOP OC	Reducción progresiva de fiabilidad de sujeción Incremento de rechazos por sujeción inadecuada y necesidad de reemplazo periódico de cilindros/juntas Mayor tiempo de parada si se esperó demasiado para la sustitución	3
	MEC					Desgaste por abrasión de partículas, montaje incorrecto que peliza o corta el sello, superficie de vástagos dañada que agreda el sello				
	LUB					Contaminación o incompatibilidad química del fluido que deteriora materiales del sello				
1.10	SENS	Sensor de posición de mordaza defectuoso (indica cerrado pero no aplica fuerza)	Sensor de posición de mordaza, cableado y entrada PLC	Sensor reporta cierre o posición errónea cuando en realidad la mordaza no ha alcanzado fuerza o posición Sistema no controla en base a información falsa y continúa el ciclo Provoca mecanizado sobre piezas mal sujetas o daños mecánicos	3	Descalibración, contaminación (viruta, aceite) en la cara del sensor, desplazamiento del soporte, fallo interno del sensor	3	OP NOP SA	Riesgo inmediato de piezas sueltas durante mecanizado Daños en la pieza, herramienta o máquina y riesgo para seguridad Puede originar fallos ocultos con baja detectabilidad	1
	ELEC					Cableado con contacto interferente, pérdida de referencia de 24V, ruido electromagnético, entradas/salidas del PLC dañadas				
	EJEC					Ajuste incorrecto de la posición del sensor tras mantenimiento				

Figura 47

Continuación Figura 47- AMEF Satellite XT 10500 [6]

Reemplazo de mangueras y revisión de líneas neumáticas	12	Inspección de fugas en cilindros y alrededor de sellos	MENSUAL	Reemplazo kit de sellos programados en cilindros	ANUAL	Compra y control de calidad de repuestos	TÉCNICO DE MANTENIMIENTO
Revisión y calibración de sensores	9	Limpieza física del sensor y verificación de posición con prueba de ciclo	MENSUAL	Calibración o reemplazo de sensores críticos	ANUAL	Control de stock de sensores y número de repuesto en bodega	TÉCNICO DE MANTENIMIENTO

Mediante este ejemplo se permite observar la trazabilidad entre modos de fallo, causas raíz y acciones; mediante criterios establecidos mediante el NPR y priorización de intervenciones. Para mayor comprensión total del análisis AMEF (Véase Apéndice C).

Al desarrollar esta etapa del proyecto, el AMEF evidencia la complejidad del equipo y la dependencia entre subsistemas, factores que favorecen la ocurrencia de paros intermitentes complicando el diagnóstico de causa raíz.

Se identifican como áreas de mayor recurrencia las mordazas, sistemas de posicionamiento (encoders), el panel de control y el cableado, así como pérdidas neumáticas, provocando pérdida de calidad y paradas operativas. La ausencia de registros de tiempo en las órdenes de trabajo y la práctica previa de frecuencias supuestas por planta, limitaban la capacidad de planificar y priorizar.

Para mitigarlo, el proyecto implementó un cronograma mejorado, con el objetivo de formalizar indicadores clave de desempeño (KPI) y establecer un stock crítico que reduzca el MTTR.

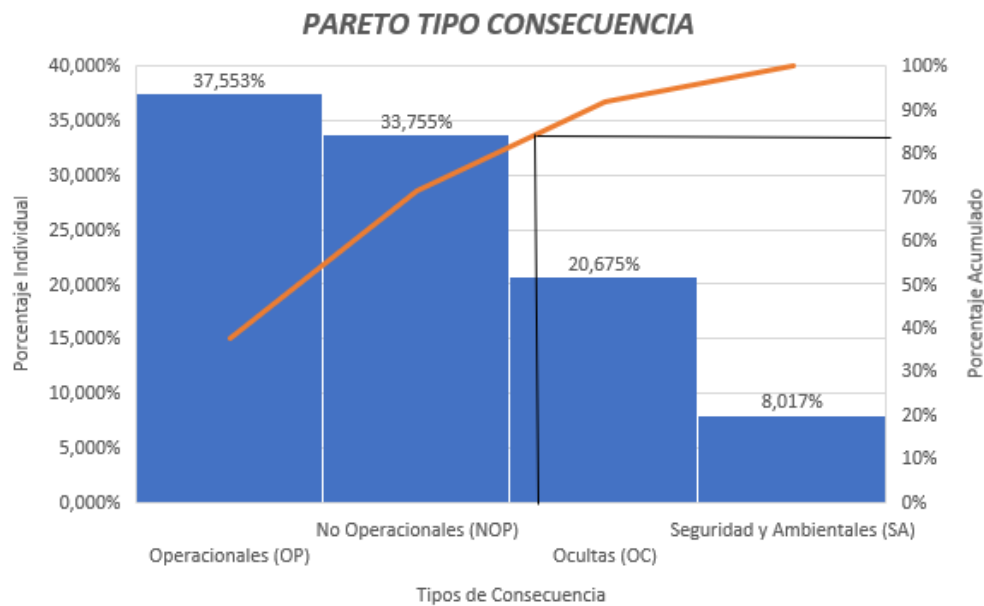
Mediante esta metodología se extrajo información que fundamenta la toma de decisiones respecto al equipo, empleando un análisis de Pareto para cuantificar las consecuencias registradas en el AMEF, identificando aquellas de mayor impacto y relevancia operacional.

Como primera instancia, este análisis se tiene en cuenta para las fallas con mayor NPR, teniendo en cuenta los tipos de fallo con mayor impacto y criticidad.

Esta Figura 48, muestra que las categorías Operacionales (37,553%) y No Operacionales (33,755%) concentran el 71,308% de los eventos y, además, los Ocultos (20,675%) no son perceptibles hasta que se inspeccione o genere un inconveniente en producción. Esto nos indica que la mayor parte de los efectos identificados, tienen un impacto sobre la continuidad productiva y operativa, o generan costes y carga administrativa asociado a reparaciones y logística. Por lo tanto, este estudio se orienta a reducir paros breves optimizando registro de tiempos que proporcionen un beneficio positivo en la disponibilidad y costos operativos.

Figura 48

Pareto por Tipo de Consecuencia



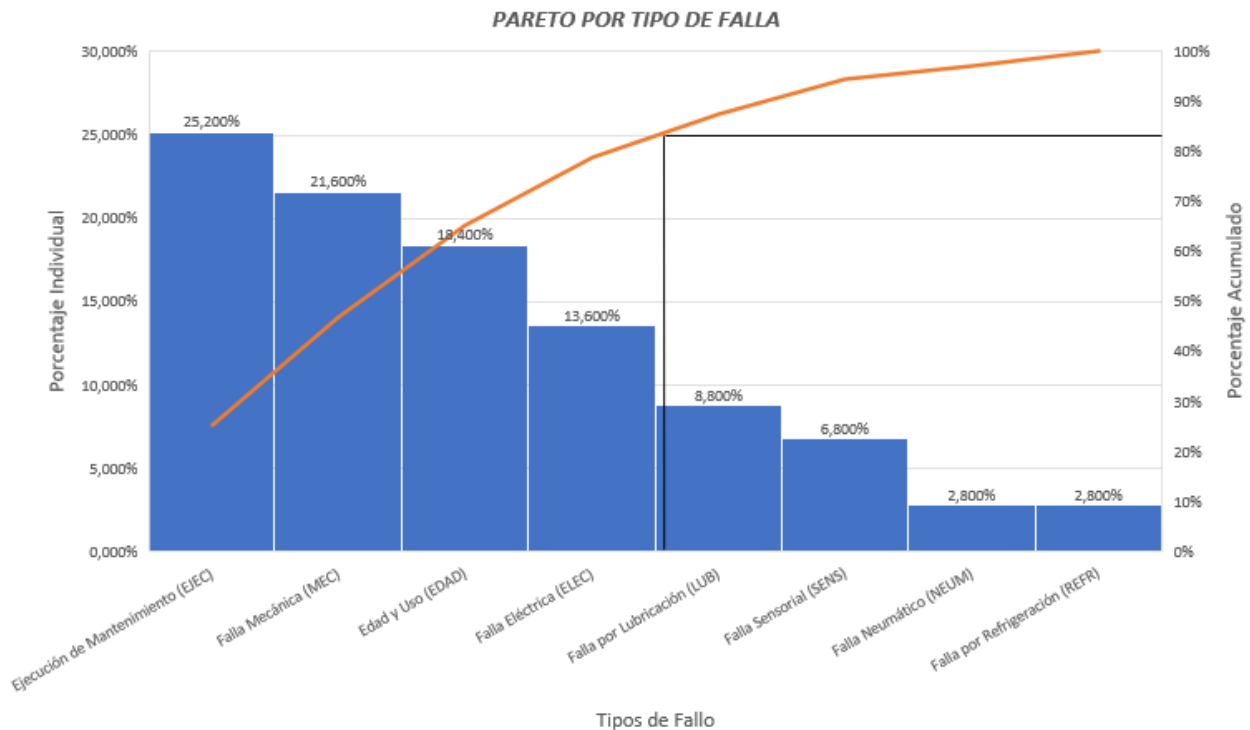
De igual manera, se realiza un análisis de Pareto para los tipos de falla, tomando como base, los modos de falla definidos en el AMEF en la Figura 49.

El análisis de Pareto por tipos de falla, revela que las categorías Ejecución de Mantenimiento y Falla Mecánica, junto con Uso y Edad y Falla Eléctrica, concentran un aproximado del 78,8% de los modos de falla adjuntados (véase Apéndice C).

Aplicando el principio 80/20, esto sugiere focalizar acciones en estas cuatro áreas, ya que aportará la mayor reducción de fallas y mayor beneficio sobre la disponibilidad del equipo. Como dato adicional, si se incluye la Falla por Lubricación, se alcanza un 87,6% acumulado, lo que refuerza la idea de priorizar intervenciones sobre las prácticas de mantenimiento, condición mecánica, control eléctrico y programas de lubricación, siendo pilares para evitar las fallas recurrentes en el activo crítico.

Figura 49

Pareto por Tipo de Falla



5.5 Plan y Actividades de Mantenimiento

5.5.1 Ficha de Inspecciones

Con el fin de mejorar la gestión de mantenimiento y detectar fallas de manera oportuna, se diseñó una ficha de inspección mensual para el equipo Satellite XT 10500. Este instrumento recoge actividades sencillas y repetibles, tales como inspección visual, verificación de niveles de ruido, lectura de sensores, comprobación de conexiones y tareas de limpieza; que son ejecutadas por el operario de la máquina (Ver Figura 50 y Figura 51).

Dicha ficha se implementó durante el último mes de la práctica como prueba piloto, aprobada por el jefe de planta, con el objetivo de evaluar su efecto sobre la disponibilidad y la tasa de fallos (véase Apéndice D).

Figura 50

Formato Ficha de Inspecciones


		VENTANAR S.A.S												FICHA DE INSPECCION														
		CÓDIGO EQUIPO	VG-PR-TRQ-SAT	VERSIÓN	#1	FECHA DE EDICIÓN				CÓDIGO	PROGRAMADO	"P"																
EQUIPO		SATELLITE XT 10500		ÁREA	TROQUELADO	RESPONSABLE		LEYENDA				"OK"	✓	"NO"	X	CÓDIGO	PROGRAMADO	"P"										
REALIZADO POR		Juan Sebastian Moreno																										
EQUIPO		SATELLITE XT 10500		ÁREA	TROQUELADO	RESPONSABLE		LEYENDA				"OK"	✓	"NO"	X	CÓDIGO	PROGRAMADO	"P"										
N°	TAREA	FRECUENCIA	P/E	Semana 1					Semana 2					Semana 3					Semana 4					FUENTE				
			L M M J V S L M M J V S L M M J V S L M M J V S L M M J V S																									
1	Verificación funcional y limpieza de sensores de proximidad, temperatura(chiller) y posición (encoder)	PREOPERACIONAL	P	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	FICHA TÉCNICA
2	Limpieza del electromandril, portaherramientas y unidad angular (13.7.1.4)	POSOPERACIONAL	P	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	MANUAL FABRICANTE
3	Limpieza y vaciado de los cajones de evacuación de virutas del puente (13.7.1.6)	SEMANAL	P					X						X						X						X		MANUAL FABRICANTE
4	Limpieza general de la máquina (partes externas e internas) (13.7.1.1)	SEMANAL	P					X						X						X						X		MANUAL FABRICANTE
5	Limpieza de las placas e indicadores luminosos (indicadores de mando, testigos, placas e indicadores de seguridad) (13.7.1.2)	SEMANAL	P	X				X						X						X						X		MANUAL FABRICANTE
6	Control y/o restauración de niveles de lubricación [lubricante de herramientas(13.7.2.4) y lubricación en el depósito de engrase centralizado(13.7.2.5)] y red neumática(manómetros)	SEMANAL	P					X						X						X						X		MANUAL FABRICANTE
7	Limpieza del almacén herramientas y almacén disco (13.7.1.5)	SEMANAL	P					X						X						X						X		MANUAL FABRICANTE
8	Inspección de estado conexiones eléctricas y mangueras neumáticas (aviso en caso de anomalía)	SEMANAL	P			X						X						X						X				FICHA TÉCNICA
9	Descarga de condensación	QUINCENAL	P					X						X						X						X		MANUAL FABRICANTE
10	Control y/o reposición del relleno de nivel del líquido refrigerante electromandril (13.7.2.6) [Revisión de fugas del circuito de refrigeración]	MENSUAL	P					X						X						X						X		MANUAL FABRICANTE
11	Control de los dispositivos de seguridad (13.7.4.2) [funcionamiento de pulsador de emergencia, presétato de línea, fotocélulas de control de zona, microinterruptor portillos cabina, puerta acceso al área de trabajo y área de recogida de viruta]	MENSUAL	P											X						X						X		MANUAL FABRICANTE

Figura 51

Continuación Figura 51- Formato Ficha de Inspecciones

OBSERVACIONES SEMANALES				FIRMA QUINCENAL	
SEMANA 1				PRIMER QUINCENA	
SEMANA 2				ENCARGADO/OPERARIO	
SEMANA 3					
SEMANA 4				REVISADO/JEFE DE MTTTO	
OBSERVACIÓN FINAL DE MES/ESTADO DEL ACTIVO					
REVISADO POR:				FIRMA	
FECHA:	JEFE DE MANTENIMIENTO				
REALIZADO POR:				FIRMA	
FECHA:	ENCARGADO MÁQUINA				

Como se muestra en la Figura 50 y Figura 51, la ficha de inspección está compuesta por once tareas sencillas dirigidas al operario, cada una con su frecuencia definida y fundamentada en el manual del fabricante y en la ficha técnica del equipo. El operario completa la ficha durante las verificaciones rutinarias; adicionalmente, el técnico de mantenimiento realiza una revisión quincenal que complementa las observaciones semanales y el resumen mensual.

Este procedimiento facilita el seguimiento continuo de las condiciones del equipo, contribuyendo a la identificación temprana de averías o anomalías, para una mayor comprensión debido a la extensión de la ficha (véase Apéndice D).

5.5.2 Cronograma Anual de Mantenimiento

El cronograma anual de mantenimiento del equipo Satellite XT 10500 constituye el producto final de todo el análisis técnico desarrollado durante el proyecto (ver Figura 52). Esta herramienta integra de manera sistemática la información proveniente de la ficha técnica, hoja de vida del activo, análisis de criticidad, resultados del AMEF, las especificaciones del manual del fabricante y la norma ISO 14224. A partir de esta consolidación se establecen las tareas preventivas priorizadas, sus frecuencias operativas y los tipos de intervención requeridos, con el propósito de garantizar una planificación bien estructurada y alineada con las necesidades del proceso productivo.

Dicho cronograma, se diligencia considerando los siguientes campos:

- Equipo: Activo de análisis, incluyendo su denominación y codificación.
- Tarea: Actividad de mantenimiento planificada, acompañada de su respectivo soporte en el manual del fabricante.
- Encargado: Dependencia o área responsable de la ejecución de la intervención.
- Tipo de mantenimiento:
- Preventivo: Intervenciones programadas orientadas a evitar la ocurrencia de fallas.
- Basado en condición: Acciones determinadas por el comportamiento real del componente y sus parámetros de operación:
- Basado en tiempo: Actividades programadas a intervalos fijos de operación.
- Mixto: Combinación de criterios por condición y por tiempo.
- Recambio/ Correctivo programado: Sustitución de elementos cuya vida útil ha sido superada o cuya condición lo amerita.
- Frecuencia: Periodicidad asignada a cada intervención (Quincenal-15D, Mensual-1M, Bimestral-2M, Trimestral-3M, Semestral-6M, Anual-1A, Bianual-2A, Sexenal-6A).

Figura 52

Cronograma Anual de Mantenimiento Satellite XT 10500

de las actividades ejecutadas. También se aprecia el cálculo de semana próxima de intervención y el número de semanas restantes para la siguiente actividad programada dentro del año, en el cual, para entrar a mayor detalle, véase el Apéndice E, donde se encuentra el formato en Excel correspondiente.

La incorporación de indicadores automáticos y cálculos de proyección facilita la interpretación del estado del plan, complementando el sistema de gestión implementado para el Satellite XT 10500, al brindar una visión ordenada y accesible del comportamiento del mantenimiento a lo largo del año.

6. Sistema Computarizado de Gestión de Mantenimiento (CMMS)


Mediante este apartado se presenta el principal aporte técnico del proyecto, consistente en la integración en una carpeta digital de todos los formatos, herramientas y procesos necesarios para la planificación, ejecución y control del mantenimiento del equipo Satellite XT 1500. Este sistema surge de la necesidad de consolidar la información del mantenimiento de forma estandarizada, unificada y automatizada, facilitando así la toma de decisiones y mejorando la trazabilidad operativa del área.

Para su desarrollo se llevó a cabo la actualización, rediseño y automatización de diversos formatos institucionales, entre los cuales se encuentran la ficha técnica, el formato de orden de trabajo, el análisis de criticidad, el AMEF, la ficha de inspección y el cronograma anual de mantenimiento. Cada uno de estos componentes fue estructurado con base en la información

técnica del fabricante, los estudios realizados durante el proyecto y las necesidades reales del proceso productivo. En conjunto, estos elementos conforman un sistema coherente que permite registrar datos, generar indicadores automáticos, programar actividades y proyectar intervenciones, constituyéndose en una herramienta integral para la gestión del mantenimiento en Ventanar S.A.S.

6.1 Formato Ficha técnica y Hoja de vida

La ficha técnica del equipo es un componente fundamental del CMMS, pues reúne información general, técnica y operativa del Satellite XT 10500 y demás maquinaria crítica. Su formato fue actualizado para integrar en un solo documento los datos del fabricante, especificaciones del equipo, elementos de seguridad, taxonomía según ISO 14224 y documentación soporte, de acuerdo con el instructivo interno de Ventanar S.A.S.

En la parte inferior del formato se encuentra la hoja de vida del equipo, donde se registran todas las intervenciones realizadas. Este registro fue automatizado mediante una macro asociada al botón " NUEVO MANTENIMIENTO • CLIC AQUÍ PARA GUARDAR", que permite ingresar el número de Orden de Trabajo, tipo de intervención, subsistema afectado, causa raíz, estado y acción ejecutada.

Al guardar la información, la macro extrae automáticamente los datos complementarios desde la OT correspondiente y los incorpora al historial del equipo, asignando una numeración consecutiva y validando el correcto registro. Gracias a estas funciones, la ficha técnica y su hoja de vida automatizada permiten consultar información relevante y llevar un control confiable de los mantenimientos realizados.

Para una comprensión detallada del funcionamiento interno del formato, así como del proceso de registro automatizado mediante macros, véase el Apéndice F, donde se presenta el

instructivo completo correspondiente al uso de la Ficha Técnica y Hoja de vida del equipo (ver Figura 54, Figura 55 y Figura 56).

Figura 54

Formato Ficha Técnica Satellite XT 10500


		VENTANAR S.A.S						
		FICHA TÉCNICA Y DOCUMENTACIÓN OPERATIVA						
		CÓDIGO EQUIPO	VERSIÓN	#1	FECHA EDICIÓN	27/11/2025		
REALIZADO POR		Juan Sebastian Moreno		CÓDIGO				
INFORMACIÓN GENERAL DEL EQUIPO				IMAGEN ILUSTRATIVA				
EQUIPO								
NÚMERO DE SERIE								
MARCA								
ORIGEN								
MODELO								
UBICACIÓN								
ÁREA								
ESTADO DEL ACTIVO								
CRITICIDAD DEL EQUIPO				DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO				
DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL EQUIPO								
DIMENSIONES DEL EQUIPO			SUMINISTRO ELÉCTRICO		DIMENSIONES DE TRABAJO			
DOCUMENTACIÓN SOPORTE DEL EQUIPO								
N°	NOMBRE DEL DOCUMENTO	AUTOR	IDIOMA	DIGITAL	FÍSICO	LOCALIZACIÓN		
TAXONOMIA DEL EQUIPO								
Industria	Categoría	Instalación	Unidad/Planta	Sección/ Sistema	Unidad de Equipo	Sub-Unidad	Ítem Mantenible	Parte/Pieza
ELEMENTOS DE PROTECCION PERSONAL								
RIESGOS								
FACTOR DE RIESGO			CONTROLES					
CONSECUENCIAS								


Figura 55

Formato Hoja de Vida Satellite XT 10500

FRECUENCIA DEL MANTENIMIENTO GENERAL									
Necesario		Diario		Semanal		Quincenal		Mensual	
Bimestral		Trimestral		Cuatrimestral		Semestral		Anual	
HOJA DE VIDA DEL EQUIPO									
Responsable									
Cargo									
JEFE DE MANTENIMIENTO									
N°	Fecha Realizado	No. Orden de Trabajo	Tipo de Mantenimiento	Programado (SI/No)	Subtipo de Mantenimiento	Tipo de Intervención	Otro, ¿Cuál tipo de intervención?	Prioridad	Empresa/ Proveedor

Figura 56

Continuación Figura 56 - Formato Hoja de Vida Satellite XT 10500

 NUEVO MANTENIMIENTO • CLIC AQUÍ PARA GUARDAR									
Proveedor, ¿Cuál?	Subsistema/ Ítem Mantenible Implicado	Caura Raiz/ Modo de fallo	Partes Repuestas	Ejecución de Mantenimiento (Hrs)	Horas-Hombre	Costo Orden de Trabajo	Encargado	Estado Final	Descripción Acciones Tomadas/ Correctivas Realizadas

Para consultar el instructivo completo del formato, incluyendo el procedimiento de uso, las validaciones incorporadas y el funcionamiento de las macros para automatizar el proceso, véase el Apéndice F.

6.2 Formato Orden de Trabajo

Este formato permite documentar de manera estandarizada cada solicitud, ejecución y cierre de mantenimiento realizado en los equipos de la planta de producción. Para este proyecto, el formato institucional fue rediseñado y ampliado con el fin de incorporar campos adicionales, mejorar la precisión del registro y asegurar un seguimiento completo de tiempos, materiales utilizados y costos asociados.


El formato actualizado se estructura en varios bloques: datos del equipo, tipo de trabajo y prioridad, información del solicitante, descripción del trabajo requerido, programación de ejecución, actividades realizadas, materiales y repuestos utilizados, y cierre con firmas de aprobación (ver Figura 57). Así mismo, se incorporó una funcionalidad que permite anexar evidencia fotográfica para incorporarla en el historial, en tal caso que sea necesario.

Todo el proceso de registro es soportado por macros asignando un consecutivo de OT, calculan el tiempo fuera de servicio, horas-hombre totales y los costos de materiales, almacenando la información en una hoja dedicada al historial.

El instructivo completo del formato, junto con el paso a paso y su ejecución de macros, se encuentra disponible en el Apéndice G.

Figura 57

Formato Orden de Trabajo

		VENTANAR S.A.S			
		ORDEN DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO			
		VERSIÓN	CÓDIGO	FECHA DE EMISIÓN	No. de OT
		#1		27/11/2025	
DATOS DEL EQUIPO					
Código del Equipo			Nombre del Equipo		
Ubicación/Área			Fabricante		
TIPO DE TRABAJO Y PRIORIDAD					
Prioridad					
Tipo de Mantenimiento					
Estrategia de Mantenimiento					
Tipo de Intervención		¿Cuál?			
DATOS DEL SOLICITANTE					
Área/Cargo		Fecha de Solicitud			
Nombre		Firma			
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO SOLICITADO					
Describe aquí la falla, síntoma u objetivo de intervención:					
EJECUCIÓN DE MANTENIMIENTO					
Empresa/Proveedor		¿Cuál?			
Técnico(s) a cargo				Firma	
				Firma	
Fecha Inicial Ejecución		Fecha Final Ejecución		Hora Inicio	Hora Fin
Tiempo Fuera de Servicio (Horas)	00:00		Número de Personal Involucrado	Horas-Hombre Totales	0:00
ACTIVIDADES A REALIZAR					
N°	Descripción		Tiempo Estimado	Tiempo Real	Estado OK/NO OK
1				0:00	
MATERIALES Y RESPUESTOS					
Descripción	Cantidad Planeada	Cantidad Utilizada	Costo Unidad	Costo Total Unitario	Costo Total
				\$ 0	\$ 0
				\$ 0	
				\$ 0	
				\$ 0	
				\$ 0	
CIERRE Y APROBACIONES					
RESULTADO:					
RECIBIDO	VoBo	Costos OT	\$ 0		

6.3 Formato Estudio de Criticidad

El módulo de análisis de criticidad constituye un componente fundamental del CMMS desarrollado, ya que permite evaluar de forma cuantitativa los equipos, subsistemas e ítems mantenibles del Satellite XT 10500, siguiendo los criterios establecidos por la misión y visión de Ventanar S.A.S y la estructura de codificación basada en la ISO 14224. Cabe resaltar que, este formato fue diseñado para centralizar la valoración de riesgo operativo mediante una plantilla automatizada en Excel que integra cálculos, filtros y representación gráfica en matriz, tal como se indica en su instructivo oficial mostrada en el Apéndice H.

El formato incorpora botones para filtrar por nivel de criticidad y facilitar la priorización, además de macros que permiten ubicar automáticamente subunidades e ítems mantenibles dentro de la matriz (ver Figura 58 y Figura 59).

De esta forma, el análisis de criticidad automatizado permite una valoración rápida y consistente del equipo, sirviendo como base para la identificación de subsistemas o elementos críticos para stock junto a la elaboración de los AMEF dentro del CMMS implementado en la empresa.

Figura 58

Formato Cuantitativo Análisis de Criticidad


		VENTANAR S.A.S			CRITICIDAD TOTAL = FRECUENCIA DE FALLA*CONSECUENCIA CONSECUENCIA= ((OPERACIÓN*FLEXIBILIDAD OPERATIVA)+COSTOS+SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE+MANTENIBILIDAD+CALIDAD)									
CLASIFICACIÓN CRITICIDAD POR SISTEMAS DEL ACTIVO										ESCALA DE REFERENCIA				
CÓDIGO EQUIPO REALIZADO POR	VERSIÓN	FECHA EDICIÓN								CRITICIDAD ALTA (A)	[120-207]			
REALIZADO POR	CÓDIGO	ÁREA								CRITICIDAD MEDIA (B)	[50-119]			
										CRITICIDAD BAJA (C)	[1-49]			
ITEM	UNIDAD DE EQUIPO	SUB-UNIDAD	CRITERIOS DE CRITICIDAD	FRECUENCIA DE FALLA	OPERACIÓN	FLEXIBILIDAD OPERATIVA	COSTOS	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	MANTENIBILIDAD	CALIDAD	CRITICIDAD TOTAL	CLASIFICACIÓN FINAL	CLICK ACTUALIZAR/NIVEL CRITICIDAD	
				FF	O	FO	\$	SAH	MAN	Q				
1														
2														
3														
ITEM	SUBSISTEMA	CODIGO	CRITERIOS DE CRITICIDAD	FRECUENCIA DE FALLA	OPERACIÓN	FLEXIBILIDAD OPERATIVA	COSTOS	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	MANTENIBILIDAD	CALIDAD	CRITICIDAD TOTAL	CLASIFICACION FINAL		
				FF	O	FO	\$	SAH	MAN	Q				
1														
2														
3														

Figura 59

Formato Matriz de Criticidad

		MATRIZ DE CRITICIDAD SUBSISTEMAS DEL EQUIPO						
FRECUENCIA DE FALLA	3	Verde	Amarillo	Amarillo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo
	2	Verde	Verde	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Rojo	Rojo
	1	Verde	Verde	Verde	Verde	Amarillo	Amarillo	Amarillo
	CONSECUENCIA	10	20	30	40	50	60	70

		MATRIZ DE CRITICIDAD SUBSISTEMAS DEL EQUIPO						
FRECUENCIA DE FALLA	3	Verde	Amarillo	Amarillo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo
	2	Verde	Verde	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Rojo	Rojo
	1	Verde	Verde	Verde	Verde	Amarillo	Amarillo	Amarillo
	CONSECUENCIA	10	20	30	40	50	60	70

6.4 Formato Análisis Modos y Efectos de Fallo (AMEF)

El formato CMMS del AMEF, permite identificar, evaluar y priorizar los riesgos asociados a las fallas funcionales del Satellite XT 10500. El formato fue estructurado para registrar la función principal del equipo, las fallas funcionales y sus respectivos modos de falla, incluyendo la información asociada al tipo de fallo, componente involucrado, efectos, causas y consecuencias, siguiendo los lineamientos el instructivo institucional.

Una vez completados los datos técnicos, el usuario asigna los valores de Severidad (S), Ocurrencia (O) y Detectabilidad (D), conforme a la escala definida en la hoja de criterios del formato. Esta clasificación visual mediante la coloración (rojo, amarillo o verde), facilita la priorización de los modos de falla, junto a las fallas funcionales más frecuentes y orienta la toma de decisiones dentro del plan de mantenimiento (ver Figura 60).


El formato permite además documentar los controles actuales de detección y prevención, así como registrar las acciones preventivas o correctivas propuestas, su frecuencia, y el responsable de ejecución

De esta manera, el AMEF se integra como una herramienta analítica clave dentro del CMMS, apoyando la identificación de riesgos, seguimiento de acciones y la planificación del

mantenimiento preventivo del equipo. Para revisar el procedimiento completo de diligenciamiento del formato AMEF y el funcionamiento de sus respectivas macros que soporta el cálculo y priorización de fallas, consúltese el Apéndice I, en el cual se incluye el instructivo oficial del formato.

Figura 60

Formato AMEF

		VENTANAR S.A.S																		
		ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS (AMEF)																		
TIPO DE AMEF	CÓDIGO EQUIPO	VERSIÓN	FECHA DE EDICIÓN	CÓDIGO	PLANTA	ÁREA	DEPARTAMENTO ENCARGADO	FECHA REVISIÓN	REALIZADO POR	Juan Sebastian Moreno, Practicante										
DE PROCESO		#1	24/06/2025		PRODUCCIÓN		MANTENIMIENTO		REVISADO POR	Paula Cuervo, PhD										
									APROBADO POR	Duvan Manrique, Jefe Mantenimiento										
FALLOS POTENCIALES										ESTADO ACTUAL		RESULTADOS POR ACCIONES								
FUNCION	FALLO N°	FALLA FUNCIONAL	TIPO DE FALLO	MODOS DE FALLO	COMPONENTE ASOCIADO	EFECTOS DEL FALLO	SEVERIDAD	CAUSAS DE FALLO	OCURRENCIA	CONSECUENCIAS		DETECCIÓN	CONTROLES ACTUALES DE DETECCIÓN/ PREVENCIÓN	NPR	PREVENTIVO POR INSPECCIÓN/LIMPIEZA		PREVENTIVO PLANIFICADO/RECAMBIO		ACCIONES PROPUESTAS A FALTA DE	ENCARGADO
										TIPO	DESCRIPCIÓN				DESCRIPCIÓN	FRECUENCIA	DESCRIPCIÓN	FRECUENCIA		

6.5 Formato Fichas de Inspección

La ficha de inspección desarrollada permite organizar y controlar las tareas rutinarias de verificación que deben ejecutarse durante la operación del equipo. El formato integra la selección del área, la identificación del equipo y la programación de actividades preventivas en función de su frecuencia recomendada, lo que facilita la planificación periódica de inspecciones por parte del personal operativo.

Una vez definida la programación, el formato permite registrar de manera estructurada la ejecución de cada actividad, así como las observaciones o anomalías detectadas durante la revisión del equipo por semanas. Este control continuo e información operativa permite mantener un registro sistemático del comportamiento del activo a lo largo del tiempo (ver Figura 61).

Gracias a su estructura y a las automatizaciones integradas, la ficha de inspección se convierte en una herramienta de apoyo para garantizar la trazabilidad, consistencia y cumplimiento de las rutinas de inspección establecidas para la Satellite XT 10500 implementadas en el CMMS en Ventanar S.A.S. Para mayor detalle del proceso de diligenciamiento, véase el Apéndice J.

7. Indicadores

En el presente capítulo se definen y analizan los indicadores de desempeño del mantenimiento utilizados para evaluar el comportamiento operacional del equipo Satellite XT 10500 durante el periodo comprendido entre los años 2024 y 2025.

Estos indicadores permiten cuantificar de manera objetiva la mantenibilidad y disponibilidad del equipo, facilitando la toma de decisiones técnicas y la evaluación del impacto de las estrategias de mantenimiento implementadas.

La selección de los indicadores se realizó considerando el objetivo del área de mantenimiento, su aplicabilidad en el entorno industrial, su aceptación a nivel académico y relevancia para el análisis de equipos críticos. Para el desarrollo de este estudio de indicadores, fueron calculados a partir de datos reales de intervenciones correctivas y tiempos de operación, asegurando la trazabilidad y consistencia de los resultados obtenidos.

Los indicadores fueron consolidados y analizados, permitiendo evaluar su evolución anual, mensual y mensual acumulada en el año 2025; así como su representación gráfica orientada a la gestión de mantenimiento para próximas auditorías.

7.2 Resultados obtenidos

Mediante estos resultados permite identificar tendencias, periodos de estabilidad operativa y eventos críticos que impactaron el desempeño del equipo.

Asimismo, se realizó una comparación entre los resultados del año 2024 y el comportamiento observado durante el año 2025, con el fin de evidenciar posibles mejoras o variaciones de disponibilidad del equipo.

7.2.1 Resultados generales de los indicadores

En la Tabla 6 se presentan los valores globales de los indicadores de desempeño del mantenimiento calculados para el equipo, considerando el periodo comprendido entre los años 2024 y 2025.

Tabla 6

Resultados globales de indicadores de mantenimiento Satellite XT 10500

Indicador	Unidad	Valor Obtenido
MTBF Global	H	493,444
MTTR Global	H	4,3
Tasa de fallo acumulada	Fallas/ periodo de tiempo	0,002026571
Disponibilidad acumulada	%	99,071

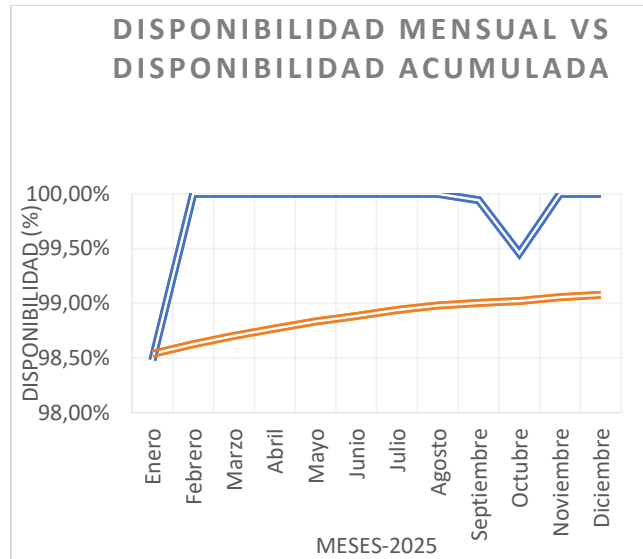
Nota. Los valores fueron calculados a partir de datos reales con ayuda del registro de hoja de vida del activo.

7.2.2 Evolución mensual de los indicadores

Con el fin de analizar el comportamiento del equipo a lo largo del tiempo, los indicadores de desempeño del mantenimiento fueron evaluados de manera mensual.

Figura 64

Evolución mensual y acumulada de la disponibilidad del equipo Satellite XT 10500

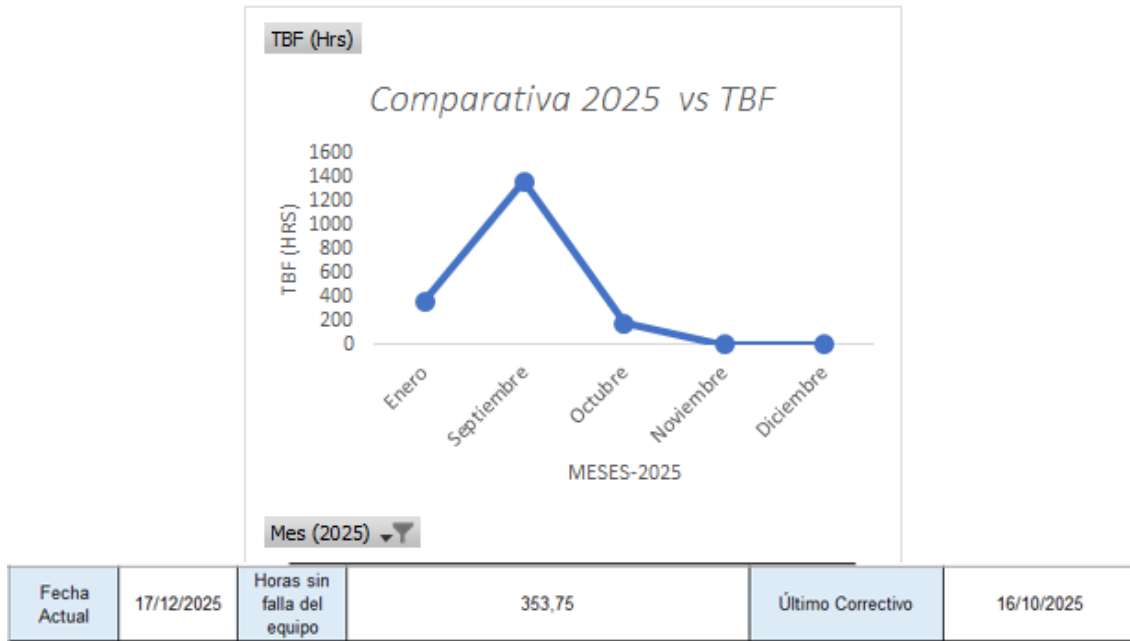


En la Figura 64 se presenta la evolución de la disponibilidad mensual y acumulada del equipo. Se observa que al finalizar el año la disponibilidad se mantuvo relativamente estable en 98,711%, mientras que, en el año 2025, se evidencia una tendencia general al alza, asociada a periodos prolongados sin fallas correctivas. Destaca especialmente el intervalo comprendido entre los meses de febrero y agosto de 2025, lo que contribuyó al incremento sostenido de la disponibilidad acumulada.

Se observa en la figura, existe una tendencia lineal con pendiente positiva, reflejando lo mencionado anteriormente, una tendencia positiva en la disponibilidad del equipo crítico.

Figura 65

Evolución mensual TBF y horas sin fallas al día del equipo Satellite XT 10500



En la Figura 65 muestra la evolución mensual del MTBF. En los meses donde se presentaron fallas correctivas, el MTBF refleja intervalos de operación variables, mientras que en los meses sin fallas se evidencia un aumento significativo del tiempo de operación entre fallas, indicando una mejora en la confiabilidad del equipo durante dichos periodos.

Como se observa en la Figura, el tiempo entre fallas del último correctivo en noviembre y diciembre será nulo, ya que no existieron fallas en el respectivo rango de tiempo, y como comparación, se calcula las horas sin fallas del equipo hasta la fecha del convenio con Ventanar, teniendo un aspecto positivo con tendencia a aumentar sin fallas el equipo.

Figura 66

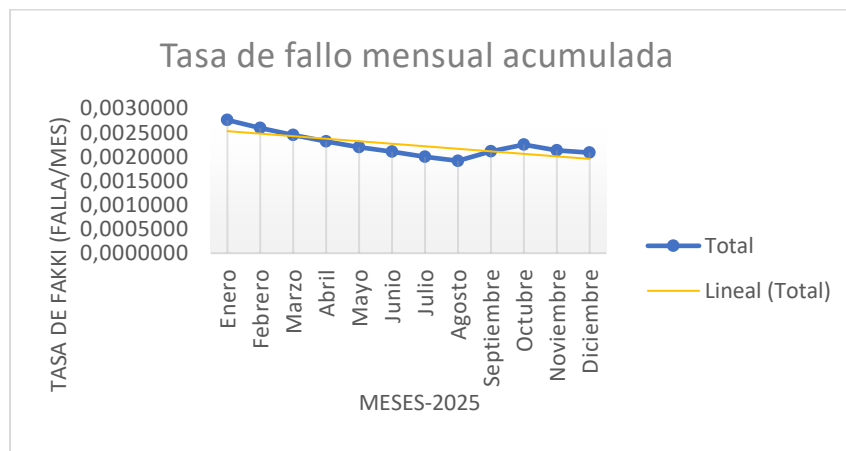
Evolución mensual del MTTR del equipo Satellite XT 10500



En la Figura 66 se presenta la evolución mensual del MTTR. Los valores obtenidos muestran que los tiempos de reparación tuvo una tendencia positiva en el área de mantenimiento; al no haber intervenciones correctivas, disminuyó considerablemente debido a la disminución de actividades correctivas del activo. En los meses sin fallas, el MTTR no presenta valores, dado que no se realizaron intervenciones correctivas.

Figura 67

Evolución de la tasa de fallo acumulado del equipo Satellite XT 10500



Finalmente, en la Figura 67 se observa la evolución de la tasa de fallo acumulada. Este indicador muestra una disminución progresiva durante los periodos sin fallas, reflejando una mejora en la confiabilidad del equipo, mientras que los eventos de falla registrados en los meses de septiembre y octubre del presente año generan incrementos puntuales en la tasa de fallo acumulada.

7.2.3 Comparación anual de los indicadores (2024 vs 2025)

Con el propósito de evaluar la evolución del desempeño del equipo Satellite, se realizó una comparación entre los indicadores correspondientes al año 2024 y los resultados obtenidos durante el año 2025.

En la Tabla 7 se presentan los valores comparativos de los principales indicadores de mantenimiento para ambos años.

Tabla 7

Comparación anual indicadores de mantenimiento

Indicador	Unidad	Año 2024	Año 2025
Disponibilidad	%	98,711	99,175
MTBF	Hrs	363,75	530,5
MTTR	Hrs	4,75	4,4125
Tasa de fallo	Fallas/año	0,0027491	0,0018850

Nota. Los valores del año 2025 corresponden al periodo analizado hasta la fecha de corte del 17 de diciembre del presente año.

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 7, durante el año 2025 se observa un incremento en la disponibilidad del equipo, pasando de 98,711% en 2024 a 99,175%, así como un aumento del MTBF, el cual pasó de 363,75h a 530,5h. Por su parte, el MTTR presentó una leve

reducción, de 4,75h en 2024 a 4,4125h en 2025. Finalmente, la tasa de fallo disminuyó de 0,0027491 a 0,0018850 fallas/año, reflejando una menor frecuencia de fallas durante el periodo analizado.

Estos resultados permiten establecer una base comparativa para el análisis del comportamiento del equipo entre ambos periodos.

7.3 Análisis y discusión de resultados

El incremento del MTBF durante el año 2025 está asociado a periodos prolongados de operación sin fallas correctivas, particularmente entre los meses de febrero y agosto. Estos intervalos de operación continua influyeron de manera directa en la reducción de la frecuencia de fallas, lo cual se ve reflejado también en la disminución de la tasa de fallo. Este comportamiento sugiere una mayor estabilidad del equipo durante dicho periodo.

En cuanto al MTTR, los valores obtenidos se mantuvieron relativamente constantes entre ambos años, con una ligera disminución en 2025. Esto indica que, si bien la frecuencia de fallas varió entre periodos, la capacidad del equipo de mantenimiento para atender las intervenciones correctivas, se mantuvo estable, sin incrementos significativos en los tiempos de reparación.

La disponibilidad del equipo mostró una mejora, debido a coherencias positivas en los resultados durante el año 2024; aparte que, en el año 2025, resultado obtenido mayor del 99% de la combinación de mayores tiempos de operación entre fallas y tiempos de reparación controlados. Adicionalmente, la inclusión de las horas de operación posteriores a la última falla de cada periodo permitió reflejar de manera más representativa el desempeño real del equipo, especialmente en los meses sin eventos correctivos.

Para una mayor comprensión y visibilidad de los indicadores y representaciones gráficas presentadas en este capítulo, véase el Apéndice L, donde se incluye el tablero de control completo.

8. Conclusiones

Mediante el desarrollo en el cuerpo del trabajo, se concluye mencionando puntos concisos definidos cumpliendo con los objetivos específicos previos en el que fue un éxito.

- La aplicación de la norma ISO 14224 a los activos físicos, con base en la información suministrada por el área de mantenimiento, permitió su codificación y estandarización jerárquica. Esto garantizó un nombramiento uniforme de equipos, sistemas y componentes, facilitando el registro de hojas de vida, la gestión de repuestos y la planificación de intervenciones y análisis de mantenimiento.
- El análisis de criticidad permitió identificar las áreas de Pintura, Vidrio y Troquelado como las más críticas del proceso productivo. A partir de un análisis detallado en el área de Troquelado, se seleccionó como equipo crítico el Satellite XT 10500, al presentar el mayor nivel de riesgo con un valor de consecuencia y frecuencia de falla de 189.
- El análisis de criticidad detallado del equipo Satellite XT 10500, realizado a partir de su taxonomía por subsistemas e ítems mantenibles, permitió identificar seis subsistemas críticos que requieren mayor atención en las intervenciones de mantenimiento. Entre estos se destacan los sistemas de Alimentación y Distribución Eléctrica, Accionamientos y Ejes Drive X, Electromandril y Sistema de Refrigeración, Sistema de Control y Lógica, Sistema de Sujeción de Mordazas y Sistema Sensórico y de Retroalimentación.

Asimismo, con base en la información de la hoja de vida del equipo y los manuales del fabricante, se determinó que los ítems mantenibles de mayor prioridad corresponden a componentes eléctricos, electrónicos, mecánicos y neumáticos, tales como

transformadores y fuentes auxiliares, motor servoeje X, encoder de eje, CPU principal, módulos I/O y fuentes, mordazas, sistemas de detección de mordaza, guías y carriages, actuadores neumáticos y sensores de proximidad.

- El AMEF del equipo Satellite XT 10500 permitió identificar los modos de falla más críticos asociados a precisión, sujeción, sincronización CNC–Drive y sistemas eléctricos y sensóricos, con impacto directo en la disponibilidad y calidad del producto. Los análisis de Pareto evidenciaron que más del 70% de las consecuencias son de tipo operacional y que cerca del 88% de los modos de falla se concentran en fallas de mantenimiento, mecánicas, eléctricas, envejecimiento y lubricación. A partir de estos resultados se definió un plan de acción práctico, alineado con los modos de falla críticos, orientado a mejorar la confiabilidad, disponibilidad y costos operativos del equipo.
- La implementación de un CMMS interno permitió estructurar y automatizar la gestión del mantenimiento preventivo del equipo crítico, incorporando formatos computarizados desarrollados en Excel con macros y Visual Basic, para la planificación, ejecución y control. La inclusión de fichas de inspección operativa fortaleció el mantenimiento autónomo y la comunicación entre áreas, mientras que la ejecución del cronograma anual evidenció una adecuada planificación, con un 32% de cumplimiento y una efectividad del 100% en las actividades ejecutadas. Esta herramienta, aplicada por primera vez en la empresa, contribuyó a mejorar el control de la información y la eficiencia del proceso de mantenimiento, consolidando una gestión de mantenimiento más estructurada y controlada del equipo crítico.

- Durante el periodo de estudio comprendido entre 2024 y 2025 se realizó el seguimiento de los principales indicadores de desempeño del equipo crítico, con especial énfasis en los meses posteriores a la implementación del CMMS y del plan de mantenimiento preventivo. El análisis comparativo evidenció una mejora en el desempeño del equipo en 2025 frente a 2024, reflejada en un incremento de la disponibilidad anual de 98,711% a 99,175% y del MTBF de 363,75 a 530,5 horas, lo que indica una mayor continuidad operativa.

De igual manera, el MTTR presentó una reducción de 4,75 a 4,41 horas y la tasa de fallo anual disminuyó de 0,002749 a 0,001885 fallas/año, evidenciando una mejora en los tiempos de respuesta y una menor frecuencia de eventos correctivos. El análisis mensual mostró que, una vez superados los eventos correctivos iniciales y estabilizada la ejecución del mantenimiento preventivo, el equipo alcanzó valores de disponibilidad mensual del 100%, manteniendo una disponibilidad acumulada superior al 99% hasta el final del periodo de estudio.

Si bien el periodo de observación es limitado, los resultados obtenidos permiten identificar una tendencia positiva en los indicadores de desempeño del equipo, atribuible a la correcta ejecución de las actividades de mantenimiento preventivo planificadas, validando la efectividad de la estrategia implementada.

- Aunque el Capítulo 7, correspondiente al análisis de indicadores de mantenimiento, no se encuentra formulado de manera explícita como un objetivo específico del proyecto, su inclusión resulta indispensable para la correcta evaluación del plan de mantenimiento preventivo implementado. Los indicadores de desempeño, tales como disponibilidad, tasa de fallo, MTBF y MTTR, permitieron medir de forma objetiva el

comportamiento real de los equipos críticos y validar el impacto de las acciones de mantenimiento definidas a partir del análisis de criticidad, AMEF y RCM.

En este sentido, el análisis de indicadores no constituye un objetivo independiente, sino un componente transversal de verificación y seguimiento, coherente con los principios de la gestión del mantenimiento y alineado con los lineamientos de la norma ISO 14224. Su aplicación permitió evidenciar la mejora en la confiabilidad y estabilidad operativa de los equipos intervenidos, aportando soporte cuantitativo a los resultados del proyecto y fortaleciendo la toma de decisiones orientadas a la mejora continua del sistema de mantenimiento preventivo.

Referencias Bibliográficas

- Barrientos, G. (2017). MEJORA DE LA GESTION DE MANTENIMIENTO DE MAQUINARIA PESADA CON LA METODOLOGIA AMEF.
- Betancourt, D. F. (2020). Cómo hacer un Análisis del Modo y Efecto de Fallas AMEF. Recuperado el 13 de marzo de 2025, de Ingenio Empresa: www.ingenioempresa.com/analisis-modo-efecto-fallas-amef.
- Cahuaya, Angel. (2023). PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN EL AMEF PARA MEJORAR LOS INDICADORES DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO EN VOLQUETES – CNSAC ANDAYCHAGUA.
- Calle, Ronny., & Porras, Lady. (2024). PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN PARA EL CORTADO DE VIDRIOS EN LA EMPRESA DE VIDRIO Y ALUMINIO DEKORVID.
- Duffua, D. (2000). *Sistemas de Mantenimiento, Planeación y Control*.
- Galarza, Kenyo. (2024). IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO DE LAS MAQUINARIAS PESADAS, APLICANDO LA METODOLOGÍA AMEF PARA MEDIR LA DISPONIBILIDAD EN LA EMPRESA INTEQMIN.
- García, M. (2015). *PROPUESTA PARA LA CREACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN EL ANÁLISIS MODAL DE FALLA Y EFECTO (AMEF- AMFE), APLICABLE A EMPRESAS DE IMPRESIÓN Y ARTES GRÁFICAS*.
- González, M. (2004). *Diseño e implementación de un programa de mantenimiento preventivo*.
- Laguna, Luis. (2022). DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CON METODOLOGÍA AMEF Y CMD PARA LOS EQUIPOS ELECTROMECAÑICOS CRÍTICOS DE LA

ESTACIÓN ELEVADORA “LA ISLA” DE LA EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADOS DE BOGOTÁ – EAAB ESP.

León, José. (2024). DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE MÁQUINAS DE CORTE CNC LÁSER DE LA EMPRESA METALMECÁNICA R&G MAQUINARIAS Y SERVICIOS.

Mago-Ramos, M., & Rocha-Pachón, S. (2021). Diseño e implementación del plan de mantenimiento preventivo de los equipos de la empresa Granitos y Mármoles Acabados SAS. *Ciencia y Poder Aéreo*, 16(2), 98-111. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.703>

Mora Gutiérrez, L. Alberto. (2009). *Mantenimiento : planeación, ejecución y control*. Alfaomega Grupo Editor.

Moreno, J. (2021) *Práctica Empresarial en el Desarrollo e Implementación de un plan de Mantenimiento Preventivo en la empresa Molino San Miguel, sede Bucaramanga*

Mosquera, Pedro. (2022). Plan de mantenimiento mediante el análisis AMEF para incrementar la disponibilidad mecánica del scoop R1600H en la unidad minera Andaychagua.

Ortega, D. (2017). DETERMINACIÓN DE FALLAS FUNCIONALES DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS DEL TRANSPORTE DE MINERAL GRUESO EN MINERA LAS BAMBAS S.A.

Pineda, H. (2021). MODELO DE PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE MODO FALLA Y EFECTO (FMEA) PARA EL SISTEMA HIDRÁULICO DE LA FLOTA DE GRÚAS DEL GRUPO EMPRESARIAL LA OCTAVA LTDA, GLOBAL GENESIS S.A.S.

Ruiz, M., & Martínez, F. (n.d.). *El mantenimiento industrial. Una experiencia Latinoamericana*.

Silva, I., Rodríguez, M., Acosta, R., & Gómez, P. (2019). Diseño de plan de mantenimiento preventivo para los talleres del centro CIES Sena Regional Norte de Santander utilizando metodología AMEF.

UNE-EN_13306. (2018). Mantenimiento y terminología.

Ventanar S.A.S. (2025). Información general de Ventanar [Documentación interna]

Apéndices

Apéndice A. Taxonomía del equipo

La taxonomía completa del equipo, elaborada siguiendo la ISO 14224 hasta el último subnivel, se presenta en nueve páginas consecutivas a continuación.

TAXONOMIA DEL EQUIPO								
Industria	Categoría	Instalación	Unidad/Planta	Sección/Sistema	Unidad de Equipo	Sub-Unidad	Item Mantenible	Parte/Pieza
						ALIMENTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA	ENTRADA DE ALIMENTACIÓN/INTERRUPTOR GENERAL	INTERRUPTOR PRINCIPAL
								FUSIBLES DE LÍNEA
								PORTA-FUSIBLES
								PRENSAESTOPAS Y PRENSA-CABLES
								BORNES DE ENTRADA Y BARRA PE
								PLACA IDENTIFICADORA
						ALIMENTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA	TRANSFORMADOR Y FUENTES AUXILIARES	TRANSFORMADOR (PRIMARIO/SECUNDARIO)
								FUENTE 24VDC
								FILTRADO DE RED
								FUSIBLES SECUNDARIOS
								BORNES SECUNDARIOS
						ALIMENTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA	BARRAS Y DISTRIBUCIÓN INTERNA	PUNTES DE INTERCONEXIÓN
								REGLETAS DE BORNES
								AISLADORES Y SOPORTES
								TORNILLERÍA Y ELEMENTOS DE FIJACIÓN
						ALIMENTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA	PROTECCIÓN/ INTERRUPTORES MAGNETOTÉRMICOS	INTERRUPTORES MAGNETOTÉRMICOS
								CONTACTORES
								RELES TÉRMICOS
								FUSIBLES POR CIRCUITO
								BASES PORTAFUSIBLES
						ALIMENTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA	ARMARIO ELÉCTRICO	CARCASA
								PUERTA, BISAGRAS, CERRADURA
								JUNTA ESTANCA
								FILTROS DE VENTILACIÓN A/C
								SOPORTES INTERNOS Y BANDEJAS
						ALIMENTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA	MEDICIÓN Y MONITORIZACIÓN ELÉCTRICA	CABLEADO Y TERMINALES

Continuación Apéndice A.

FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE FACHADA, PUERTAS Y VENTANAS EN ALUMINIO	SOLUCIONES ARQUITECTÓNICAS EN ALUMINIO Y VIDRIO PARA CONSTRUCCIÓN	PLANTA PRODUCCIÓN VENTANAR S.A.S, GIRÓN	TROQUELADO	SECCIÓN DE TROQUELADO Y MECANIZADO	SATELLITE XT 10500	MAGAZINE/ALMACÉN DE HERRAMIENTAS	ESTRUCTURA MAGAZINE	CARCARA MAGAZINE
								POSICIONES (SLOTS) TORNILLERÍA DE SUJECIÓN
						MAGAZINE/ALMACÉN DE HERRAMIENTAS	MECANISMO DE INDEXADO (ACTUADOR)	MOTOR INDEXADOR
								MICRO SWITCH FIN DE CARRERA ENCODER DE MAGAZINE LUBRICANTE REDUCTORA CORREA DE TRANSMISIÓN
						MAGAZINE/ALMACÉN DE HERRAMIENTAS	RETENCIÓN Y EXTRACCIÓN EN MAGAZINE	RETENCIÓN DE BLOQUEO
								RESORTES Y PASADORES SENSORES PRESENCIA HERRAMIENTA
						MAGAZINE/ALMACÉN DE HERRAMIENTAS	SISTEMA DE ENTREGA AL CAMBIADOR	PLATO/ POSICIONADOR DE ENTREGA
								TOPES MECÁNICOS SENSORES DE CONFIRMACIÓN
						SISTEMA DE CAMBIO DE HERRAMIENTA	PORTAHERRAMIENTA	CONO DE ENGANCHE HSK-63F
								PORTAPINZA ER32 ANILLO DE SUJECIÓN SUPERFICIE DE ASIENTO
						SISTEMA DE CAMBIO DE HERRAMIENTA	MECANISMO CAMBIADOR	CILINDRO DE EXTRACCIÓN
								PINZA RODAMENTOS Y RÓTULAS ACTUADOR NEUMÁTICO
						SISTEMA DE CAMBIO DE HERRAMIENTA	SISTEMAS DE SUJECIÓN	MECANISMOS DE BLOQUEO/ BLOQUEO MECÁNICO
								BOQUILLAS DE SOPLADO
						TRANSPORTADOR DE VIRUTAS Y EXTRACTOR	TRANSPORTADOR DE VIRUTA	BANDA TRANSPORTADORA
								BASTIDOR Y SOPORTE RODILLOS GUÍA POLEAS Y TENSORES

Dicha pirámide taxonómica fue la base para la aplicación de la matriz de criticidad (ver Figura 37-38) y para la definición preliminar de repuestos críticos.

Mediante el siguiente link, se podrá encontrar la documentación necesaria tanto exportado en PDF, como el Excel original del formato:

<https://drive.google.com/drive/folders/10VaoJsIFWaYVzjNMPUeJChwZVHmDNKRk>

Apéndice B. Análisis de Criticidad

Con el estudio de criticidad realizado sobre los activos de la planta, a continuación, se presenta la ponderación cuantitativa por equipo mostradas en la matriz de la Figura 32; en las distintas áreas de la empresa. Estos resultados muestran el valor final de criticidad de cada activo constituyendo una base para priorizar las intervenciones y orientar el plan de mantenimiento enfocado en lo crítico.

A continuación, se presenta el análisis de criticidad cuantitativo de cada equipo, organizado según las áreas a las que pertenecen, con su respectiva matriz de criticidad y también el enlace para observar con mayor detalle dicho estudio de criticidad.

<https://drive.google.com/drive/folders/1cDZ7pPF8jpsCKKYZDthmkXfX8X-8AQ>

ÍTEM	ÁREA	NOMBRE DEL EQUIPO	CODIFICACIÓN	FRECUENCIA DE FALLA	OPERACIÓN	FLEXIBILIDAD OPERATIVA	COSTOS	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	MANTENIBILIDAD	CALIDAD	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL	
				FF	O	FO	\$	SAH	MAN	Q			
1	PINTURA	HORNO SIFAP	PNT-HSF	2	8	4	10	10	8	9	69	138	ALTA
		CABINA DE PINTURA	PNT-CDP	2	8	4	6	10	5	9	62	124	ALTA
		TRANSPORTADOR ELÉCTRICO	PNT-TRS	1	8	4	2	2	5	4	45	45	BAJA
		POLIPASTO ELÉCTRICO	PNT-POL	1	4	2	2	7	5	1	23	23	BAJA
		TANQUE DE SECADO	PNT-TDS	1	4	2	6	7	5	9	35	35	BAJA
		TANQUE DE DESENGRASE	PNT-TDD	1	4	2	6	10	5	9	38	38	BAJA
		TANQUE DE ENJUAGUE	PNT-TDE	1	1	1	2	7	5	9	24	24	BAJA
		TANQUE DE CONVERSIÓN	PNT-TDC	1	4	2	2	10	5	9	34	34	BAJA
		ACUMULADOR DE AIRE	PNT-ACA	1	4	2	2	7	5	4	26	26	BAJA
		SECADOR DE AIRE	PNT-SCA	1	4	2	6	2	5	4	25	25	BAJA

FRECUENCIA DE FALLA	MATRIZ DE CRITICIDAD SUBSISTEMAS DEL EQUIPO						
	10	20	30	40	50	60	70
3							
2							PNT-HSF;PNT-CDP
1			PNT-POL;PNT-TDE;PNT-ACA;PNT-SCA	PNT-TDS;PNT-TDD;PNT-TDC	PNT-TRS		
CONSECUENCIA	10	20	30	40	50	60	70

ÍTEM	ÁREA	NOMBRE DEL EQUIPO	CODIFICACIÓN	FRECUENCIA DE FALLA	OPERACIÓN	FLEXIBILIDAD OPERATIVA	COSTOS	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	MANTENIBILIDAD	CALIDAD	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL	
				FF	O	FO	\$	SAH	MAN	Q			
2	VIDRIO	BAVELLONI MESA DE CORTE VIDRIO CRUDO	VID-BAV	2	8	4	6	7	5	9	59	118	MEDIA
		LISEC MESA DE CORTE LAMINADO	VID-LIS	3	4	2	10	7	8	9	42	126	ALTA
		RECTILINEA BISELADORA FOLGA	VID-RBF	2	8	2	6	7	5	4	38	76	MEDIA
		RECTILINEA CANTEADORA TOOL4GLASS	VID-RCT	2	4	2	6	7	5	4	30	60	MEDIA
		VENTOSA TECNOCAT 500KG	VID-VTC	1	4	4	6	7	2	1	32	32	BAJA
		PUENTE GRÚA IMOCOM 3.2TON	VID-PGI	1	8	4	2	7	8	1	50	50	MEDIA
		TUROMAS MESA DE CORTE VIDRIO LAMINADO	VID-TUR	1	1	1	6	7	5	9	28	28	BAJA

Continuación Apéndice B.

MATRIZ DE CRITICIDAD SUBSISTEMAS DEL EQUIPO								
FRECUENCIA DE FALLA	3					VID-LIS		
	2			VID-RCT	VID-RBF		VID-BAV	
	1			VID-TUR	VID-VTC	VID-PGI		
CONSECUENCIA		10	20	30	40	50	60	70

ITEM	ÁREA	NOMBRE DEL EQUIPO	CODIFICACIÓN	FRECUENCIA DE FALLA	OPERACIÓN	FLEXIBILIDAD OPERATIVA	COSTOS	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	MANTENIBILIDAD	CALIDAD	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL	
				FF	O	FO	\$	SAH	MAN	Q			
3	CORTE	SIERRA TK 133 113 (S3)	CRT-STK	1	4	2	2	7	5	9	31	31	BAJA
		SIERRA DOBLE CABEZAL EMMEGI MAGIC	CRT-SDE	2	4	2	6	7	8	9	38	76	MEDIA
		SIERRA DOBLE CABEZAL TENKA 145/10 GOLD	CRT-SDT	1	4	2	6	7	8	9	38	38	BAJA
		SIERRA DOBLE CABEZAL PRECISION	CRT-SDP	1	1	1	2	7	5	9	24	24	BAJA
		SIERRA DOBLE CABEZAL ELUMATEC	CRT-SDE	1	4	2	2	7	5	9	31	31	BAJA

MATRIZ DE CRITICIDAD SUBSISTEMAS DEL EQUIPO								
FRECUENCIA DE FALLA	3							
	2				CRT-SDE			
	1			CRT-SDP	CRT-STK, CRT-SDT, CRT-SDE			
CONSECUENCIA		10	20	30	40	50	60	70

ITEM	ÁREA	NOMBRE DEL EQUIPO	CODIFICACIÓN	FRECUENCIA DE FALLA	OPERACIÓN	FLEXIBILIDAD OPERATIVA	COSTOS	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	MANTENIBILIDAD	CALIDAD	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL	
				FF	O	FO	\$	SAH	MAN	Q			
4	ENSAMBLE	TALADRO DE ÁRBOL	ENS-TDA	1	1	1	2	7	2	4	16	16	BAJA
		CURVADORA	ENS-CVD	1	1	2	2	7	2	4	17	17	BAJA
		CURVADORA CNC	ENS-CVN	1	1	4	6	7	5	9	31	31	BAJA
		ACOLLADORA	ENS-ACL	2	1	1	2	7	2	9	21	42	BAJA
		SIERRA TRONZADORA	ENS-STR	1	1	2	2	7	2	9	22	22	BAJA
		SIERRA MANUAL 720	ENS-SML	1	1	1	2	7	2	4	16	16	BAJA
		SIERRA MANUAL NEO	ENS-SMN	1	1	1	2	7	2	4	16	16	BAJA
		SIERRA MANUAL CARINA	ENS-SMC	1	1	1	2	7	2	4	16	16	BAJA
		REFLADORA	ENS-REF	1	1	4	2	7	5	4	22	22	BAJA
		ESMERIL	ENS-ESM	1	1	1	2	7	2	1	13	13	BAJA

MATRIZ DE CRITICIDAD SUBSISTEMAS DEL EQUIPO								
FRECUENCIA DE FALLA	3							
	2			ENS-ACL				
	1		ENS-TDA, ENS-CVD, ENS-SML, ENS-SMN, ENS-SMC, ENS-ESM	ENS-STR, ENS-REF	ENS-CVN			
CONSECUENCIA		10	20	30	40	50	60	70

Continuación Apéndice B.

ÍTEM	ÁREA	NOMBRE DEL EQUIPO	CODIFICACIÓN	FRECUENCIA DE FALLA	OPERACIÓN	FLEXIBILIDAD OPERATIVA	COSTOS	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	MANTENIBILIDAD	CALIDAD	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL	
				FF	O	FO	\$	SAH	MAN	Q			
5	TROQUELADO	TK-447	TRQ-TEK	2	1	1	6	7	8	9	31	62	MEDIA
		QUADRA L1	TRQ-QL1	3	8	1	10	7	8	9	42	126	ALTA
		SATELLITE XT 10500	TRQ-SAT	3	8	4	10	7	5	9	63	189	ALTA
		TROQUEL ELÉCTRICO	TRQ-TRE	1	1	1	2	7	5	9	24	24	BAJA
		PUNZÓN	TRQ-PUN	1	1	4	2	7	5	9	27	27	BAJA
		TROQUEL NEUMÁTICO	TRQ-TRN	1	1	1	2	7	2	9	21	21	BAJA
		COPIADORA FRESADORA RINALDI	TRQ-CFR	1	4	4	6	7	2	9	40	40	BAJA
		COPIADORA FRESADORA DYMAC	TRQ-CFD	1	1	1	6	7	5	9	28	28	BAJA
		MINI CNC COPIADORA EMMEGI	TRQ-CFN	1	4	4	6	7	5	9	43	43	BAJA
		TROQUEL MANUAL	TRQ-TRM	1	1	1	2	7	8	4	22	22	BAJA
		REFLADORA	TRQ-REF	3	1	1	6	7	5	4	23	69	MEDIA
		RETESTADORA	TRQ-RET	2	1	1	6	7	5	4	23	46	BAJA
SIERRA MESANINI	TRQ-SMN	1	1	1	2	7	2	4	16	16	BAJA		

FRECUENCIA DE FALLA	CONSECUENCIA	TRQ-SMN	TRQ-TRE, TRQ-PUN, TRQ-TRN, TRQ-CFD, TRQ-TRM	TRQ-CFR	TRQ-CFN	TRQ-REF	TRQ-QL1	TRQ-SAT
3						TRQ-REF	TRQ-QL1	TRQ-SAT
2			TRQ-RET	TRQ-TEK				
1		TRQ-SMN	TRQ-TRE, TRQ-PUN, TRQ-TRN, TRQ-CFD, TRQ-TRM	TRQ-CFR	TRQ-CFN			
	CONSECUENCIA	10	20	30	40	50	60	70

De acuerdo con los resultados obtenidos, la máquina con mayor criticidad en la planta de producción es la Satellite XT 1500, ubicada en Troquelado. Para este activo se llevó a cabo un estudio y análisis cuantitativo detallado, considerando subsistemas e ítems mantenibles, cuyos resultados se presentan a continuación mediante tablas y matrices de criticidad correspondientes.

ÍTEM	UNIDAD DE EQUIPO	SUB-UNIDAD	CRITERIOS DE CRITICIDAD	FRECUENCIA DE FALLA	OPERACIÓN	FLEXIBILIDAD OPERATIVA	COSTOS	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	MANTENIBILIDAD	CALIDAD	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL	CLASIFICACIÓN FINAL
				FF	O	FO	\$	SAH	MAN	Q			
SAT-AE	SATELLITE XT 10500	ALIMENTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA		1	8	4	6	7	5	4	54	54	MEDIA
SAT-DR		ACCIONAMIENTOS Y EJES DRIVE X(Y ANALOGO PARA Y,Z,B,C,U,V,W,P)	1	8	4	2	7	5	9	55	55	MEDIA	
SAT-EM		ELECTROMANDRIL Y SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	1	8	4	10	7	8	9	66	66	MEDIA	
SAT-SC		SISTEMA DE CONTROL Y LÓGICA	2	8	4	10	7	8	9	66	132	ALTA	
SAT-MD		SISTEMA DE SUJECIÓN DE MORDAZAS	2	8	2	2	7	2	9	36	72	MEDIA	
SAT-MG		MAGAZINE/ ALMACÉN DE HERRAMIENTAS	1	4	2	2	2	5	4	21	21	BAJA	
SAT-CH		SISTEMA DE CAMBIO DE HERRAMIENTA	1	8	4	2	7	5	9	55	55	MEDIA	
SAT-TV		TRANSPORTADOR DE VIRUTAS Y EXTRACTOR	1	4	2	2	2	2	1	15	15	BAJA	
SAT-LB		SISTEMA DE LUBRICACIÓN	1	4	2	2	7	2	9	28	28	BAJA	
SAT-NE		SISTEMA NEUMÁTICO	1	8	4	2	7	5	4	50	50	MEDIA	
SAT-PC		PÁNELES Y CONSOLA DE MANDO	1	8	4	6	7	5	4	54	54	MEDIA	
SAT-AX		SISTEMAS AUXILIARES	1	1	1	2	2	2	1	8	8	BAJA	
SAT-ES		ESTRUCTURA MECÁNICA	1	4	2	10	7	8	9	42	42	BAJA	
SAT-SR		SISTEMA SENSORIO Y RETROALIMENTACIÓN	1	8	2	2	7	5	9	39	39	BAJA	
SAT-SF		SEGURIDAD FUNCIONAL	1	8	4	6	7	8	1	54	54	MEDIA	
SAT-HD		HIDRÁULICA/ CENTRALITA OLEODINÁMICA	1	8	2	6	7	5	9	43	43	BAJA	

Continuación Apéndice B.

ÍTEM	SUB-UNIDAD	ÍTEM MANTENIBLE/ ACCESORIO	CRITERIOS DE CRITICIDAD	FRECUENCIA DE FALLA	OPERACIÓN	FLEXIBILIDAD OPERATIVA	COSTOS	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	MANTENIBILIDAD	CALIDAD	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL		
				FF	O	FO	\$	SAH	MAN	Q				
3	ELECTROMANDRIL Y SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	MOTOR ELECTROMANDRIL	EM-MEL	1	8	4	10	7	8	9	66	132	66	MEDIA
		INVERSOR DEL ELECTROMANDRIL	EM-INV	1	8	4	6	7	5	9	59	59	59	MEDIA
		ACCESORIOS MECÁNICOS ELECTROMANDRIL	EM-AME	1	4	1	2	2	2	4	14	14	14	BAJA
		INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL	EM-INS	1	8	2	2	7	2	4	31	31	31	BAJA
		CHILLER (REFRIGERACIÓN)	EM-CHL	1	8	4	6	7	5	4	54	54	54	MEDIA

MATRIZ DE CRITICIDAD ÍTEM MANTENIBLES DEL EQUIPO

FRECUENCIA DE FALLA	3												
	2												
	1		EM-AME			EM-INS				EM-INV;EM-CHL			EM-MEL
	CONSECUENCIA		10	20	30	40	50	60	70				

ÍTEM	SUB-UNIDAD	ÍTEM MANTENIBLE/ ACCESORIO	CRITERIOS DE CRITICIDAD	FRECUENCIA DE FALLA	OPERACIÓN	FLEXIBILIDAD OPERATIVA	COSTOS	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	MANTENIBILIDAD	CALIDAD	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL		
				FF	O	FO	\$	SAH	MAN	Q				
4	SISTEMA DE CONTROL Y LÓGICA	CNC/ CPU PRINCIPAL	SC-CNC	2	8	4	10	7	8	9	66	132	132	ALTA
		MÓDULOS I/O (24V) Y FUENTES	SC-MIO	1	8	2	2	7	2	4	31	31	31	BAJA
		REDES DE CAMPO	SC-RED	1	8	2	2	7	2	4	31	31	31	BAJA
		TARJETAS ESPECÍFICAS	SC-TAR	1	8	4	6	7	5	9	59	59	59	MEDIA
		PANELES DE COMUNICACIÓN/PUENTES	SC-PAN	1	8	2	2	2	2	1	23	23	23	BAJA

MATRIZ DE CRITICIDAD ÍTEM MANTENIBLES DEL EQUIPO

FRECUENCIA DE FALLA	3												
	2												SC-CNC
	1			SC-PAN		SC-MIO;SC-RED				SC-TAR			
	CONSECUENCIA		10	20	30	40	50	60	70				

ÍTEM	SUB-UNIDAD	ÍTEM MANTENIBLE/ ACCESORIO	CRITERIOS DE CRITICIDAD	FRECUENCIA DE FALLA	OPERACIÓN	FLEXIBILIDAD OPERATIVA	COSTOS	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	MANTENIBILIDAD	CALIDAD	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL		
				FF	O	FO	\$	SAH	MAN	Q				
5	SISTEMA DE SUJECCIÓN DE MORDAZAS	MORDAZAS (IZQ/DER)	MD-MDZ	2	8	2	2	7	2	9	36	72	72	MEDIA
		ELEMENTO ACCIONAMIENTO MORDAZA	MD-AMD	1	8	2	2	7	2	9	36	36	36	BAJA
		SISTEMAS DE DETECCIÓN DE MORDAZA	MD-SDM	1	8	1	2	7	2	9	28	28	28	BAJA
		GUÍAS Y CARRIAGES DEL SISTEMA DE SUJECCIÓN	MD-GCR	1	4	2	6	7	5	9	35	35	35	BAJA

MATRIZ DE CRITICIDAD ÍTEM MANTENIBLES DEL EQUIPO

FRECUENCIA DE FALLA	3												
	2					MD-MDZ							
	1			MD-SDM		MD-AMD;MD-GCR							
	CONSECUENCIA		10	20	30	40	50	60	70				

Continuación Apéndice B.

ÍTEM	SUB-UNIDAD	ÍTEM MANTENIBLE/ ACCESORIO	CRITERIOS DE CRITICIDAD	FRECUENCIA DE FALLA		OPERACIÓN	FLEXIBILIDAD OPERATIVA	COSTOS	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	MANTENIBILIDAD	CALIDAD	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL	
				FF	O								FO	\$
6	MAGAZINE/ ALMACÉN DE HERRAMIENTAS	ESTRUCTURA MAGAZINE	MG-MGZ	1	4	4	6	2	5	4	33	33	BAJA	
		MECANISMO DE INDEXADO (ACTUADOR)	MG-IDX	1	4	2	2	2	2	4	18	18	BAJA	
		RETENCIÓN Y EXTRACCIÓN EN MAGAZINE	MG-REM	1	4	2	2	2	2	4	18	18	BAJA	
		SISTEMA DE ENTREGA AL CAMBIADOR	MG-SEC	1	4	2	2	2	2	4	18	18	BAJA	

MATRIZ DE CRITICIDAD ÍTEM MANTENIBLES DEL EQUIPO

FRECUENCIA DE FALLA	3							
	2							
	1		MG-IDX, MG-REM, MG-SEC		MG-MGZ			
	CONSECUENCIA	10	20	30	40	50	60	70

ÍTEM	SUB-UNIDAD	ÍTEM MANTENIBLE/ ACCESORIO	CRITERIOS DE CRITICIDAD	FRECUENCIA DE FALLA		OPERACIÓN	FLEXIBILIDAD OPERATIVA	COSTOS	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	MANTENIBILIDAD	CALIDAD	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL	
				FF	O								FO	\$
7	SISTEMA DE CAMBIO DE HERRAMIENTA	PORTAHERRAMIENTA	CH-PTH	1	8	2	2	2	2	9	31	31	BAJA	
		MECANISMO CAMBIADOR	CH-MCM	1	8	4	2	7	5	9	55	55	MEDIA	
		SISTEMAS DE SUJECCIÓN	CH-SUJ	1	8	2	2	7	2	9	36	36	BAJA	

MATRIZ DE CRITICIDAD ÍTEM MANTENIBLES DEL EQUIPO

FRECUENCIA DE FALLA	3							
	2							
	1				CH-PTH, CH-SUJ		CH-MCM	
	CONSECUENCIA	10	20	30	40	50	60	70

ÍTEM	SUB-UNIDAD	ÍTEM MANTENIBLE/ ACCESORIO	CRITERIOS DE CRITICIDAD	FRECUENCIA DE FALLA		OPERACIÓN	FLEXIBILIDAD OPERATIVA	COSTOS	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	MANTENIBILIDAD	CALIDAD	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL	
				FF	O								FO	\$
8	TRANSPORTADOR DE VIRUTAS Y EXTRACTOR	TRANSPORTADOR DE VIRUTA	TV-TRV	1	4	2	2	2	2	2	1	15	15	BAJA
		MOTORREDUCTOR DEL TRANSPORTADOR	TV-MTR	1	4	2	2	2	2	2	1	15	15	BAJA
		CONTENEDOR DE VIRUTA	TV-CNT	1	1	1	2	2	2	2	1	8	8	BAJA
		EXTRACTOR	TV-EXT	1	4	2	2	2	5	2	1	18	18	BAJA

MATRIZ DE CRITICIDAD ÍTEM MANTENIBLES DEL EQUIPO

FRECUENCIA DE FALLA	3							
	2							
	1	TV-CNT	TV-TRV, TV-MTR, TV-EXT					
	CONSECUENCIA	10	20	30	40	50	60	70

Continuación Apéndice B.

ÍTEM	SUB-UNIDAD	ÍTEM MANTENIBLE/ ACCESORIO	CRITERIOS DE CRITICIDAD	FRECUENCIA DE FALLA	OPERACIÓN	FLEXIBILIDAD OPERATIVA	COSTOS	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	MANTENIBILIDAD	CALIDAD	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL	
				FF	O	FO	\$	SAH	MAN	Q			
9	SISTEMA DE LUBRICACIÓN	DEPÓSITO/ TANQUE LUBRICANTE	LB-TAN	1	4	2	2	7	2	9	28	28	BAJA
		BOMBAS DE LUBRICACIÓN	LB-BML	1	4	2	2	7	2	9	28	28	BAJA
		DOSIFICADORES/ VÁLVULAS PROGRESIVAS	LB-DOS	1	4	2	2	2	2	4	18	18	BAJA
		FILTRACIÓN Y SENSORES	LB-FIL	1	4	2	2	2	2	4	18	18	BAJA
		RED DE DISTRIBUCIÓN	LB-RDD	1	4	1	2	7	2	4	19	19	BAJA

MATRIZ DE CRITICIDAD ÍTEM MANTENIBLES DEL EQUIPO

FRECUENCIA DE FALLA	3												
	2												
	1		LB-DOS, LB-FIL, LB-RDD	LB-TAN, LB-BML									
	CONSECUENCIA	10	20	30	40	50	60	70					

ÍTEM	SUB-UNIDAD	ÍTEM MANTENIBLE/ ACCESORIO	CRITERIOS DE CRITICIDAD	FRECUENCIA DE FALLA	OPERACIÓN	FLEXIBILIDAD OPERATIVA	COSTOS	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	MANTENIBILIDAD	CALIDAD	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL	
				FF	O	FO	\$	SAH	MAN	Q			
10	SISTEMA NEUMÁTICO	MANIFOLD/ CAJA DE ELECTROVÁLVULAS	NE-MFD	1	8	4	6	7	5	4	54	54	MEDIA
		ELECTROVÁLVULAS	NE-EV	1	8	2	2	7	2	4	31	31	BAJA
		CILINDROS/ ACTUADORES NEUMÁTICOS	NE-CIL	1	8	2	2	7	2	4	31	31	BAJA
		FRL Y TRATAMIENTO DE AIRE	NE-FRL	1	8	2	2	2	2	1	23	23	BAJA
		RACORERÍA Y TUBERÍA NEUMÁTICA	NE-RAC	1	4	1	2	7	2	1	16	16	BAJA

MATRIZ DE CRITICIDAD ÍTEM MANTENIBLES DEL EQUIPO

FRECUENCIA DE FALLA	3												
	2												
	1		NE-RAC	NE-FRL	NE-EV, NE-CIL				NE-MFD				
	CONSECUENCIA	10	20	30	40	50	60	70					

ÍTEM	SUB-UNIDAD	ÍTEM MANTENIBLE/ ACCESORIO	CRITERIOS DE CRITICIDAD	FRECUENCIA DE FALLA	OPERACIÓN	FLEXIBILIDAD OPERATIVA	COSTOS	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	MANTENIBILIDAD	CALIDAD	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL	
				FF	O	FO	\$	SAH	MAN	Q			
11	PÁNELES Y CONSOLA DE MANDO	HMI/ CONSOLA PRINCIPAL	PC-HMI	1	8	4	6	7	5	4	54	54	MEDIA
		PANEL PUSHBUTTONS/ E-STOP	PC-PBE	1	8	4	2	7	2	1	44	44	BAJA
		PEDAL/ MANDOS MANUALES	PC-PDL	1	4	1	2	7	2	4	19	19	BAJA
		INTERCONEXIÓN DEL PANEL	PC-IPC	1	4	2	2	2	2	1	15	15	BAJA

MATRIZ DE CRITICIDAD ÍTEM MANTENIBLES DEL EQUIPO

FRECUENCIA DE FALLA	3												
	2												
	1		PC-PDL, PC-IPC					PC-PBE	PC-HMI				
	CONSECUENCIA	10	20	30	40	50	60	70					

Continuación Apéndice B.

ÍTEM	SUB-UNIDAD	ÍTEM MANTENIBLE/ACCESORIO	CRITERIOS DE CRITICIDAD	FRECUENCIA DE FALLA	OPERACIÓN	FLEXIBILIDAD OPERATIVA	COSTOS	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	MANTENIBILIDAD	CALIDAD	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL		
				FF	O	FO	\$	SAH	MAN	Q				
12	SISTEMAS AUXILIARES	AIRE ACONDICIONADO DE ARMARIO	AX-AIR	1	1	1	2	2	2	1	8	8	8	BAJA
		VENTILACIÓN Y EXTRACCIÓN	AX-VNT	1	1	1	2	2	2	1	8	8	8	BAJA
		ILUMINACIÓN DE CABINA (24VAC)	AX-IDC	1	1	1	2	2	2	1	8	8	8	BAJA

MATRIZ DE CRITICIDAD ÍTEM MANTENIBLES DEL EQUIPO

FRECUENCIA DE FALLA	3												
	2												
	1	AX-AIR, AX-VNT, AX-IDC											
	CONSECUENCIA		10	20	30	40	50	60	70				

ÍTEM	SUB-UNIDAD	ÍTEM MANTENIBLE/ACCESORIO	CRITERIOS DE CRITICIDAD	FRECUENCIA DE FALLA	OPERACIÓN	FLEXIBILIDAD OPERATIVA	COSTOS	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	MANTENIBILIDAD	CALIDAD	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL	
				FF	O	FO	\$	SAH	MAN	Q			
13	ESTRUCTURA MECÁNICA	BANCADA/ BASE	ES-BAS	1	4	4	10	7	8	9	50	50	MEDIA
		PUENTE/MONTANTES	ES-MNT	1	4	4	10	7	8	9	50	50	MEDIA
		TOPE MECÁNICOS Y HARD-STOPS	ES-TPS	1	4	2	2	2	2	4	18	18	BAJA
		CAJONES Y RECIPIENTES DE VIRUTA	ES-CDV	1	1	1	2	2	2	1	8	8	BAJA
		CUBIERTAS, PUERTAS Y JUNTAS	ES-CPB	1	1	1	2	2	2	1	8	8	BAJA

MATRIZ DE CRITICIDAD ÍTEM MANTENIBLES DEL EQUIPO

FRECUENCIA DE FALLA	3												
	2												
	1	ES-CDV, ES-CPB	ES-TPS					ES-BAS, ES-MNT					
	CONSECUENCIA		10	20	30	40	50	60	70				

ÍTEM	SUB-UNIDAD	ÍTEM MANTENIBLE/ACCESORIO	CRITERIOS DE CRITICIDAD	FRECUENCIA DE FALLA	OPERACIÓN	FLEXIBILIDAD OPERATIVA	COSTOS	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	MANTENIBILIDAD	CALIDAD	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL	
				FF	O	FO	\$	SAH	MAN	Q			
14	SISTEMA SENSORICO Y RETROALIMENTACION	ENCODERS (SPINDLE Y EJES)	SR-ENC	1	8	4	10	7	8	9	66	66	MEDIA
		SENSORES DE PROXIMIDAD	SR-SRP	1	8	1	2	7	2	4	23	23	BAJA
		SENSORES DE PRESIÓN Y TEMPERATURA	SR-SPT	1	4	1	2	7	2	4	19	19	BAJA
		MÓDULOS DE ACONDICIONAMIENTO Y TERMINALES	SR-MAC	1	8	2	2	7	5	4	34	34	BAJA

MATRIZ DE CRITICIDAD ÍTEM MANTENIBLES DEL EQUIPO

FRECUENCIA DE FALLA	3												
	2												
	1		SR-SPT	SR-SRP	SR-MAC							SR-ENC	
	CONSECUENCIA		10	20	30	40	50	60	70				

Continuación Apéndice B.

ÍTEM	SUB-UNIDAD	ÍTEM MANTENIBLE/ ACCESORIO	CRITERIOS DE CRITICIDAD	FRECUENCIA DE FALLA	OPERACIÓN	FLEXIBILIDAD OPERATIVA	COSTOS	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	MANTENIBILIDAD	CALIDAD	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL	
				FF	O	FO	\$	SAH	MAN	Q			
15	SEGURIDAD FUNCIONAL	MÓDULOS PSR/ SAFETY-MODULES	SF-MSF	1	8	4	6	7	8	1	54	54	MEDIA
		CIRCUITO E-STOP Y RELÉS DE SEGURIDAD	SF-EST	1	8	4	2	7	5	1	47	47	BAJA
		INTERLOCKS/ BARRERAS/ CORTINAS	SF-IBC	1	8	4	6	7	5	1	51	51	MEDIA

MATRIZ DE CRITICIDAD ÍTEM MANTENIBLES DEL EQUIPO

FRECUENCIA DE FALLA	3							
	2							
	1					SF-EST	SF-MSF, SF-IBC	
	CONSECUENCIA							
		10	20	30	40	50	60	70

ÍTEM	SUB-UNIDAD	ÍTEM MANTENIBLE/ ACCESORIO	CRITERIOS DE CRITICIDAD	FRECUENCIA DE FALLA	OPERACIÓN	FLEXIBILIDAD OPERATIVA	COSTOS	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	MANTENIBILIDAD	CALIDAD	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL	
				FF	O	FO	\$	SAH	MAN	Q			
16	HIDRÁULICA/CENTRALITA OLEODINÁMICA	UNIDAD HIDRÁULICA	HD-UHD	1	8	7	6	7	5	9	59	59	MEDIA
		CIRCUITO DE CONEXIÓN Y ALIMENTACIÓN	HD-CCA	1	4	2	2	7	2	4	23	23	BAJA

MATRIZ DE CRITICIDAD ÍTEM MANTENIBLES DEL EQUIPO

FRECUENCIA DE FALLA	3							
	2							
	1			HD-CCA			HD-UHD	
	CONSECUENCIA							
		10	20	30	40	50	60	70

Como complemento final de este apéndice, se presenta la matriz de criticidad integrada, donde se agrupan todos los ítems mantenibles evaluados anteriormente. Esta matriz permite visualizar de manera global la información obtenida y facilita la comparación entre los diferentes elementos.

MATRIZ DE CRITICIDAD ÍTEM MANTENIBLES DEL EQUIPO

FRECUENCIA DE FALLA	3							
	2					MD-MDZ		SC-CNC
	1	TV-CNT; AX-AIR; AX-VNT; AX-IDC; ES-CDV; ES-CPB	AE-MED; EM-AME; MG-IDX; MG-REM; MG-SEC; TV-TRV; TV-NTR; TV-EXT; LB-DOS; LB-FIL; LB-RDD; NE-RAC; PC-PDL; PC-IPC; ES-TPS; SR-SPT	SC-PAN; MD-SDM; LB-TAN; LB-BML; NE-FRL; SR-SRP; HD-CCA	AE-INM; DR-ENC; DR-CBL; DR-PRE; EM-INS; SC-MIO; SC-RED; MD-AMD; MD-GCR; MG-MGZ; CH-PTH; CH-SUJ; NE-EVV; NE-CIL; SR-MAC	PC-PBE; ES-BAS; ES-MNT; SF-EST	AE-PVR; AE-TRA; AE-BUS; AE-ARM; DR-VDR; DR-SVM; EM-INV; EM-CHL; SC-TAR; CH-MCM; NE-MFD; PC-HMI; SF-MSF; SF-IBC; HD-UHD	EM-MEL; SR-ENC
	CONSECUENCIA							
		10	20	30	40	50	60	70

Apéndice C. Análisis AMEF Satellite XT 10500

Con el fin de facilitar el análisis de fallas funcionales estudiadas a profundidad, se habilitó un acceso en línea donde se almacena el documento en formato PDF. De esta manera, el usuario podrá visualizar el archivo directamente en Excel o descargar el documento para su análisis. A continuación, se presenta el enlace de acceso:

<https://drive.google.com/drive/folders/1ns7iWA-ex6imx6FrWyU2jCuVsggj6Idd>

Allí encontrará los dos formatos, tanto el Excel, como también el PDF exportado directamente del Excel para facilitar su navegación.

Apéndice D. Ficha de Inspección Satellite XT 10500

El presente apéndice incorpora la ficha de inspección, en el que permite registrar y verificar de manera estandarizada las actividades de limpieza, revisiones funcionales y/o restauraciones de lubricante o refrigerante del activo, siguiendo las recomendaciones del fabricante y tareas establecidas en el análisis técnico del proyecto.

Mediante el siguiente link, se encuentra el formato Excel, como también en PDF exportado para facilitar su navegación y entendimiento.

<https://drive.google.com/drive/folders/1EQ4WJczEiyclpXPd8I7dzXGYUjYww1IR>

Apéndice E. Cronograma Anual de Mantenimiento Satellite XT 10500

Este apéndice presenta el cronograma anual de mantenimiento elaborado para el equipo Satellite XT 10500, el cual es un mecanismo dentro del sistema de gestión propuesto. Este formato consolida todas las actividades preventivas, basadas en condición y programadas por tiempo, integrando sus respectivas frecuencias y responsables de ejecución.

Incorpora a su vez, indicadores automáticos de seguimiento, permitiendo evaluar el desempeño del plan y apoyar la toma de decisiones operativas a lo largo del año.


Este cronograma se desarrolló en formato Excel con el fin de facilitar su actualización, consulta y uso práctico en el área de mantenimiento de Ventanar S.A.S. A continuación, se muestra la versión completa del cronograma, siguiendo el siguiente drive con el link:

<https://drive.google.com/drive/folders/1JhgpY1P94vHGsh1kYzq5QcweSV36ZkQ8>

Apéndice F. Formato Instructivo Ficha Técnica y Hoja de vida

En este apéndice se presenta el instructivo completo para el uso del formato de Ficha Técnica y Hoja de vida de la maquinaria de la planta. El documento incluye el paso a paso para el diligenciamiento, indicaciones de macros incorporadas y acciones necesarias para realizar el registro adecuado de cada intervención. Este instructivo complementa la explicación técnica descrita en el capítulo del CMMS, sirviendo como guía para el área de mantenimiento en Ventanar S.A.S.

RECOMENDACIONES GENERALES
1. Abra siempre la versión oficial del libro. Antes de cambios masivos haga copia de seguridad.
2. No modifique nombres de hojas, rangos ni fórmulas protegidas; hacerlo puede romper macros y conexiones con el libro Excel.
3. Use únicamente las listas desplegadas y celdas habilitadas; evite escribir texto libre en campos codificados.
4. Seleccione el código o nombre del equipo correcto antes de navegar; la navegación y los reportes dependen de esa coincidencia exacta.
5. Antes de registrar un mantenimiento, asegúrese de que la Orden de Trabajo (OT) correspondiente ya esté generada en el Formato OT_Ventanar si quiere que se autocompleten los datos.
6. Los campos obligatorios (fecha, costo, encargado, estado final, tipo de mantenimiento) deben completarse; la macro validará estos datos antes de guardar.
7. Las macros que extraen datos o generan reportes deben ejecutarlas personal autorizado.
8. Haga backup regular del archivo Excel (preferible en OneDrive/SharePoint o servidor de la compañía).
9. En caso de inconsistencias (no se encuentra OT, no se encuentran Tipos de Mantenimiento, hoja de equipo ausente), comunique al responsable de Mantenimiento y anote el error. Capacítese primero señor Usuario.

INSTRUCCIONES DE USO
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Navegación inicial y selección de equipo <ul style="list-style-type: none"> • Abra la hoja SELECCION EQUIPO. • Seleccione Código o Nombre del equipo (o ambos) desde la lista desplegable. • Pulse el botón IR AL EQUIPO. El libro abrirá la hoja de la ficha técnica / hoja de vida del equipo seleccionado.
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Qué contiene la Ficha Técnica: <ul style="list-style-type: none"> • Información general del equipo (código, fabricante, modelo, ubicación). • Descripción funcional y técnica (dimensiones, alimentaciones eléctricas, etc.). • Documentación soporte (manuales, planos, ubicación física o enlace). • Taxonomía conforme ISO 14224. • Elementos de protección personal requeridos. • Identificación de riesgos, factores, controles y consecuencias. • Frecuencias de mantenimiento general y hoja de vida (registro histórico).
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Registrar un nuevo mantenimiento (Hoja de vida) <ul style="list-style-type: none"> • En la hoja de vida del equipo pulse:  NUEVO MANTENIMIENTO - CLIC AQUÍ PARA GUARDAR. • Se abrirá el formulario de registro. Complete los campos obligatorios: Número de Orden de Trabajo (poner exactamente la OT que generó en Formato OT_Ventanar). ¿Programado? (Sí / No) — indicar si la intervención fue programada. Subsistema / Ítem mantenible (texto breve del elemento intervenido). Causa raíz / Modo de falla (describir la causa o modo de falla). Estado final (seleccionar: OK, Requiere seguimiento, Rechazado). Descripción acciones tomadas / correctivas realizadas (resumen claro y entendible de la intervención).
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Antes de pulsar GUARDAR: verifique que la OT indicada existe en el Formato OT_Ventanar si desea autocompletar campos. Qué hace la macro al pulsar GUARDAR

Continuación Apéndice F.

<p>◆ Si la OT existe en OT_Ventanar, la macro extraerá automáticamente los siguientes datos desde esa OT y los registrará en la fila de la hoja de vida correspondiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fecha Realizado • Tipo de Mantenimiento (Preventivo / Correctivo) • Subtipo de Mantenimiento • Otro (si aplica) — ¿Cuál tipo de intervención? • Prioridad • Empresa/Proveedor • ¿Cuál Proveedor? (si aplica) • Subsistema / Ítem mantenible implicado (si se completó en OT) • Partes repuestas (lista) • Ejecución de Mantenimiento (Hrs) • Horas-Hombre • Costo Orden de Trabajo • Encargado
<p>◆ Si la OT no existe, la macro mostrará un aviso; podrá guardar el registro manualmente pero no se autocompletarán esos campos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La macro registrará la fila en la hoja de vida con formato y hará AutoFit en la columna de descripción. • Mensaje final: confirma registro y resumen (ej.: registro guardado, preventivos / correctivos contados).
<p>◆ Campos y validaciones importantes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fecha: usar formato dd/mm/aaaa. La macro validará IsDate. • Costo: debe ser numérico; la macro validará IsNumeric. • Estado final: elegir entre los valores permitidos (OK / Requiere seguimiento / Rechazado). • Número de OT: debe coincidir exactamente con la OT en OT_Ventanar si se desea autocompletar. • Si algún campo obligatorio falta, la macro avisará y no permitirá guardar.
<p>◆ Ver reporte gráfico por máquina (SEGUIMIENTO MÁQUINA)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abra la hoja SEGUIMIENTO MÁQUINA. • En la celda de Nombre del equipo seleccione el equipo objetivo (lista desplegable). • Pulse VER REPORTE (GRÁFICO) POR MÁQUINA. La macro generará automáticamente: • Gráfica circular: % Preventivo vs % Correctivo (porcentaje del total de OTs registradas para esa máquina). • Gráfica MTTR: gráfico de barras/lineas donde se listan las OTs correctivas con sus tiempos de reparación; se calcula y marca con una línea el MTTR (promedio de tiempos de reparación en horas). • Observe la tabla inferior donde se listan las OTs correctivas que componen el MTTR y confirme que las horas son coherentes (inicio/fin o horas-humanas correctas). • Si los gráficos no aparecen o hay datos inconsistentes, revise que las OTs estén bien registradas en Historial_OT y que la hoja SEGUIMIENTO MÁQUINA tenga el nombre exacto del equipo.
<p>◆ Errores comunes y soluciones rápidas</p> <ul style="list-style-type: none"> • "OT no encontrada" → Verifique el número exacto en OT_Ventanar (sin espacios) y pruebe de nuevo. • "Carpeta de evidencias no encontrada" → Verifique la ruta y permisos; comuníquese con el técnico o en Mantenimiento. • Gráficos vacíos en SEGUIMIENTO → Asegúrese que existan OTs registradas para ese equipo y que la columna de horas tenga valores numéricos. • Formato desalineado tras guardar → No cierre el libro antes de permitir que la macro termine; si el formato se pierde, restaure desde respaldo.

Apéndice G. Formato Instructivo Orden de Trabajo

Este apéndice presenta el instructivo completo correspondiente al Formato de Orden de Trabajo (OT). El documento detalla el procedimiento de diligenciamiento y funcionamiento de macros integradas, incluyendo la asignación automática de consecutivos, cálculo de tiempos y costos, y posible inserción de evidencias fotográficas del usuario.


	VENTANAR S.A.S				
	FORMATO ORDEN DE TRABAJO				
	BITÁCORA PARA EL SEGUIMIENTO DE LOS EQUIPOS				
FECHA ULTIMA VERSIÓN	11/07/2025	VERSION	#1	PÁGINA	1 de 1
REALIZADO POR	Juan Sebastian Moreno			FECHA	27/11/2025
RECOMENDACIONES GENERALES					
1. Use siempre esta plantilla oficial de Orden de Trabajo (OT) . No cambie la estructura de filas, columnas ni fórmulas.					
2. Rellene todas las celdas obligatorias antes de generar una OT. Si deja campos en blanco, la macro no ejecutará correctamente.					
3. Para campos con lista desplegable (Código del equipo, Nombre del equipo, Ubicación/Área, Prioridad, Tipo/Subtipo de Mantenimiento, Tipo de intervención, Empresa/Proveedor, Estado final), seleccione siempre desde la lista.					
4. Para los campos de entrada libre (Solicitante, Descripción trabajo, Proveedor, Técnicos, Fecha/Hora, Actividades, Materiales, Resultado final), escriba la información de manera clara y completa.					
5. Los cálculos automáticos (Tiempo fuera de servicio, Horas-Hombre totales, Costos Totales), no deben modificarse manualmente. Verifique que los datos de entrada estén correctos para que el cálculo sea confiable.					
6. Antes de generar la OT, revise que los datos estén consistentes: horas en formato hh:mm, cantidades numéricas correctas y sin duplicados.					
7. Guarde periódicamente el archivo para no perder información y respalde copias de seguridad.					
8. La OT debe cerrarse únicamente cuando tenga diligenciado: actividades realizadas, materiales usados, estado final, resultado final y firmas de recibido y VoBo.					
9. Para las evidencias fotográficas , asegúrese de guardar previamente las imágenes en la carpeta definida por el sistema (EVIDENCIAS OT). Nómbralas con el número de OT (ejemplo: OT2.1, OT2.2).					
10. Si no existen fotos, seleccione la opción "No" en la casilla de Evidencia (J9).					
11. Ante dudas o errores, no modifique fórmulas ni macros. Comuníquese con el área de Mantenimiento o el administrador del archivo.					

Continuación Apéndice G.

INSTRUCCIONES DE USO
<p>◆ Ingreso de datos iniciales. Seleccione desde las listas desplegables:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Código del equipo. • Nombre del equipo. • Ubicación/Área. • Prioridad (Alta/Media/Baja). • Tipo de Mantenimiento (Preventivo/Correctivo). • Subtipo de Mantenimiento. • Tipo de intervención (si selecciona "Otro", especifique cuál). • Empresa/Proveedor (si es proveedor externo, escriba cuál en la celda correspondiente).
<p>◆ Datos del solicitante: Escriba Área/Cargo del solicitante, Nombre del solicitante, y Descripción breve del trabajo solicitado.</p>
<p>◆ Programación de ejecución:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ingrese Fecha de ejecución, Hora de inicio y Hora de fin en formato hh:mm. • Digite número de personal involucrado y técnicos responsables. • El sistema calculará automáticamente: • Tiempo fuera de servicio (horas). • Horas-Hombre totales.
<p>◆ Actividades a realizar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Registre la descripción de las actividades de mantenimiento. • Ingrese el Tiempo estimado de ejecución. • Seleccione Estado final de la máquina en la lista desplegable (OK / NO OK).
<p>◆ Materiales y repuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ingrese: descripción del material, cantidad planeada, cantidad utilizada, costo unitario. • El sistema calculará automáticamente: Costo Total Unitario y Costo Total de materiales.
<p>◆ Cierre y aprobaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Escriba el Resultado final de la Orden de Trabajo (observaciones, conclusiones, estado del equipo). • Diligencie las firmas de Recibido y VoBo en físico o digital. • El sistema actualizará automáticamente el Costo total de la OT (suma de materiales y mano de obra).
<p>◆ Generación y registro en historial:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Una vez diligenciada toda la información, pulse el botón GENERAR OT Y REGISTRAR HISTORIAL. • El sistema asignará un número consecutivo a la OT y la registrará automáticamente en la hoja Historial_OT. • Verifique en la hoja de historial que los datos se guardaron correctamente.
<p>◆ Control y archivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Revise que la OT quede marcada como "Cerrada" únicamente si tiene diligenciados todos los campos de cierre y aprobación. • Guarde y respalde la OT junto con las evidencias (fotos, reportes, documentos adicionales).
<p>◆ Evidencia fotográfica:</p> <ul style="list-style-type: none"> • En la celda J9, seleccione en lista desplegable si existe o no evidencia: • No → el sistema registrará automáticamente "No aplica" en el historial. • Sí → al generar la OT, el sistema abrirá un explorador de archivos para que seleccione las imágenes desde la carpeta EVIDENCIAS OT. • Si selecciona varias imágenes, el primer archivo quedará registrado en la columna AG del historial y las siguientes en columnas contiguas (AH, AI, AJ...). • Nombres recomendados para los archivos: OT1, OT2, OT2.1, OT2.2 (según el número de OT y cantidad de fotos).

Apéndice H. Formato Instructivo Análisis de Criticidad

En este apéndice se presenta el instructivo de uso del formato de análisis de criticidad empleado en la evaluación del equipo Satellite XT 10500. El documento describe el proceso para ingresar los valores correspondientes a cada criterio de evaluación y, mediante el botón "CLICK ACTUALIZAR NIVEL DE CRITICIDAD", permitir que el sistema calcule automáticamente la criticidad total y asigne su clasificación (Alta, Media o Baja), resaltándola mediante colores y etiquetas configuradas en la hoja de cálculo.

	VENTANAR S.A.S				
	INSTRUCTIVO ANALISIS DE CRITICIDAD DE MAQUINARIA				
	REGISTRO DE CRITICIDAD PARA ACTIVOS DE PRODUCCIÓN				
FECHA ULTIMA VERSIÓN	27/11/2025	VERSIÓN	#1	PÁGINA	1 de 1
REALIZADO POR	Juan Sebastian Moreno			FECHA CREACIÓN	11/07/2025
RECOMENDACIONES GENERALES					
1. Asegúrese de seleccionar correctamente el código o nombre del equipo en la hoja de selección antes de presionar el botón "IR AL EQUIPO" .					
2. Trabaje siempre sobre la versión oficial del libro. Antes de cambios masivos haga una copia de seguridad.					
3. No modifique nombres de hojas, rangos ni fórmulas protegidas; hacerlo puede romper macros e indicadores.					
4. Use únicamente las celdas y listas desplegables habilitadas para ingreso de datos (no escribir texto libre donde hay validación).					
5. Mantenga IDs únicos para cada Sub-Unidad e ítem mantenible; verifique unicidad antes de ubicar ítems en matriz.					
6. Ejecute siempre CLICK ACTUALIZAR NIVEL DE CRITICIDAD después de cambiar ponderación de criterios; así las etiquetas (Alta/Media/Baja) estarán actualizadas.					
7. Haga backup antes de usar CLICK PARA FORMATEAR MATRIZ CRITICIDAD ; esa acción borra la matriz y requiere confirmación.					
8. Si la macro indica errores, corrija los datos y vuelva a ejecutar la acción.					
9. Si detecta una condición insegura o falla crítica, detenga la operación y notifique al responsable; registre la incidencia y genere OT si aplica.					


Continuación Apéndice H.

INSTRUCCIONES DE USO
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Abrir el libro y comprobar que trabaja con la versión oficial (ver nombre de archivo y fecha).
<ul style="list-style-type: none"> ◆ En la hoja principal del módulo de criticidad, seleccione el equipo desde la lista desplegable (código o nombre).
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Pulse IR AL EQUIPO -> el libro abrirá la hoja del equipo seleccionado y posicionará la vista en el área de análisis.
<ul style="list-style-type: none"> ◆ En la hoja del equipo identifique la Tabla de Sub-Unidades (parte superior) y la Tabla de Ítems Mantenibles (debajo). Compruebe que cada fila tiene su ID o ÍTEM.
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Rellenar criterios por fila: <ul style="list-style-type: none"> • Introduzca los valores numéricos en las columnas definidas (Frecuencia, Operación, Flexibilidad, Costos, Seguridad/Ambiente, Mantenibilidad, Calidad). Use la escala indicada en la hoja CRITERIOS.
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Antes de continuar, verifique que no haya celdas obligatorias vacías y que no existan IDs duplicados (corregir si las hay).
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Cuando termine de editar criterios, pulse CLICK ACTUALIZAR NIVEL DE CRITICIDAD: <ul style="list-style-type: none"> • La macro calculará la calificación total aplicando las ponderaciones. • Asignará la etiqueta Alta/Media/Baja según los umbrales configurados. • Actualizará los colores correspondientes según la etiqueta.
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Si desea ver únicamente las filas con criticidad alta, pulse FILTRAR CRITICIDAD ALTA. Para ver Media/Baja, use FILTRAR MEDIA/BAJA. Para volver la vista completa, pulse QUITAR FILTROS.
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Para representar ítems/sub-unidades en la matriz: <ul style="list-style-type: none"> • Pulse CLICK PARA UBICAR SUB-UNIDADES EN MATRIZ. ◆ Para ubicar ítems mantenibles de las sub-unidades: <ul style="list-style-type: none"> • Pulse CLICK PARA UBICAR ÍTEM MANTENIBLES EN MATRIZ.
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Para eliminar un ID específico de la matriz: <ul style="list-style-type: none"> • Pulse CLICK ELIMINAR (SUBSISTEMA O ÍTEMS MANTENIBLES) DENTRO DE MATRIZ.
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Para limpiar toda la matriz y restablecer formato, pulse CLICK PARA FORMATEAR MATRIZ CRITICIDAD.
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Si se presentan errores no contemplados: anote el mensaje exacto, fecha/hora y usuario y comuníquelo al desarrollar responsable con una copia del log.

Apéndice I. Formato Instructivo AMEF

En este apéndice se presenta el instructivo completo del Formato AMEF, utilizado para evaluar y priorizar los riesgos asociados al Satellite XT 10500. El documento describe el diligenciamiento de los campos relacionados con la funcionalidad del equipo, las fallas funcionales, modos, efectos, causas y controles actuales, junto con la asignación de los valores O-D-S. Con esta información, el cálculo del Número Prioritario de Riesgo (NPR) se realiza mediante la macro "CLICK CALCULAR/ACTUALIZAR NPR", que obtiene automáticamente el valor de OxDxS y resalta cada registro según el nivel de criticidad establecido.

La coloración resultante permite identificar rápidamente los modos de falla más críticos, valores en rojo señalan fallas de alto impacto que requieren acciones preventivas o correctivas inmediatas, el color amarillo indica modos de riesgo moderado que deben ser monitoreados y el verde corresponde a condiciones controladas.

	VENTANAR S.A.S				
	<i>INSTRUCTIVO FORMATO AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Fallas)</i>				
	<i>REGISTRO DE ANÁLISIS DE RIESGOS Y PRIORIZACIÓN DE FALLAS EN EQUIPOS</i>				
FECHA ULTIMA VERSION	27/11/2025	VERSION	#1	PAGINA	1 de 1
REALIZADO POR	Juan Sebastian Moreno			FECHA DE CREACIÓN	11/07/2025
RECOMENDACIONES GENERALES					
1. Abra siempre la versión oficial del libro. Antes de realizar cambios masivos haga una copia de seguridad.					
2. No modifique nombres de hojas, rangos, fórmulas ni celdas protegidas. Alterar la estructura puede romper cálculos y macros.					
3. Use únicamente las listas desplegables y celdas habilitadas; evite escribir texto libre donde hay validación.					
4. Mantenga IDs/códigos de equipo únicos y consistentes entre la hoja de selección y las hojas de equipo.					
5. Asigne valores de Severidad (S) , Ocurrencia (O) y Detectabilidad (D) según la tabla de apoyo en la hoja Criterios S-O-D ; los valores deben ser objetivos y justificables .					
6. Antes de calcular, verifique que no haya celdas obligatorias vacías (función, modo de falla, componente, efectos, causas, S-O-D, controles actuales).					
7. Guarde antes de ejecutar acciones que re-escriban matrices o formateen.					
8. Use las conversaciones de códigos para consecuencias y tipos de fallo: • Consecuencias: OP (Operacionales), SA (Seguridad y Ambiente), NOP (No Operacionales), OC (Ocultas). • Tipos de fallo: MEC, ELEC, EJEC, NEUM, REFR, SENS, LUB, EDAD					
9. Las macros principales (CALCULAR/ACTUALIZAR NPR, ACTUALIZAR NPR REEVALUADO) deben ser ejecutadas por personal autorizado (responsable de Mantenimiento/ Coordinador).					
10. Defina y mantenga los umbrales de criticidad (Alta/ Media/ Baja); no deje los umbrales en macros sin documentarlos.					
11. Para trazabilidad, registre Fecha y Estado de implementación para cada acción propuesta.					
12. Si detecta riesgo grave o condición insegura: detenga la operación y notifique de inmediato al responsable; registre incidencia y priorice su corrección.					

Continuación Apéndice I.


INSTRUCCIONES DE USO
<p>◆ Seleccionar equipo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abra la hoja SELECCION EQUIPO elija el Código o Nombre del equipo desde la lista desplegable. • Presione el botón IR AL EQUIPO. El libro abrirá y posicionará la hoja correspondiente al equipo seleccionado.
<p>◆ Revisión de la hoja del equipo (estructura y contenido):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verifique que en la parte superior estén registradas: Función general del equipo y Fallas funcionales. • Por cada falla funcional encuentre sus Modos de Falla y complete: Componente asociado, Efectos, Causas, Consecuencias. • Compruebe que las columnas de Controles actuales (detección y prevención) estén completas antes de asignar S-O-D.
<p>◆ Asignación de valores S-O-D:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abra la hoja Criterios S-O-D y consulte las escalas y ponderaciones (ej.: 1-10). • Para cada modo de falla asigne: S (Severidad), O (Ocurrencia) y D (Detectabilidad) según los criterios documentados. Sea objetivo y registre evidencia si aplica. • No deje celdas S-O-D vacías; la macro validará su existencia antes de calcular.
<p>◆ Tipos de consecuencia y tipo de fallo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • En la columna de Consecuencia use uno o varios de: OP / SA / NOP / OC. • En la columna de Tipo de fallo use uno o varios de: MEC / ELEC / EJEC / NEUM / REFR / SENS / LUB / EDAD. • Estas etiquetas ayudan en filtros, reportes y análisis por categoría.
<p>◆ Calcular NPR (Número Prioritario de Riesgo):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cuando las S-O-D estén completas, presione CLICK CALCULAR / ACTUALIZAR NPR. • La macro: tomará S, O, D según Criterios S-O-D, calculará el NPR (fórmula $S \times O \times D$), y coloreará automáticamente las filas según el nivel de criticidad (usando los umbrales configurados). • Verifique la columna NPR y la coloración; si hay errores, corrija los valores y recalculé.
<p>◆ Revisión de Controles y Propuesta de Acciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Para cada modo de falla analice los Controles actuales (detección / prevención) y determine la efectividad. • En la sección de Acciones Propuestas documente: acción (preventiva/correctiva), Descripción, Frecuencia (inspección/limpieza, planificado/recambio, condicionada), Responsable, Fecha estimada y Estado (Pendiente / Implementado). <p>Tipos de acción recomendados (ejemplos):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Preventivo por inspección/limpieza • Planificado / recambio • Monitoreo por condición • Mejora de control de detección
<p>◆ Ejecutar acciones y documentar evidencias:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cuando una acción se ejecute marque como Implementada y registre: fecha, ejecutor y evidencia (fotos, reportes, OT). • Si la acción no se ejecutó, registre la razón y nueva fecha prevista. Mantenga trazabilidad.
<p>◆ Reevaluar NPR tras implementación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Una vez implementadas las acciones preventivas (totales o parciales) para los modos de falla, presione ACTUALIZAR NPR REEVALUADO. • La macro recalculará NPR usando la nueva configuración de controles/efectividad y mostrará el NPR reevaluado y su coloración. • Compare NPR original vs NPR reevaluado para medir impacto de las acciones; registre la variación en la columna de observaciones.
<p>◆ Filtros y priorización:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Use filtros por NPR, Consecuencia o Tipo de fallo para priorizar grupos de actividades. • Para planificación operativa crea una lista de acciones de alta prioridad (NPR alto y efecto OP/SA).
<p>◆ Validaciones y buenas prácticas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • No borre fórmulas automáticas ni cambie rangos de soporte. • Establezca umbrales de criticidad y documente la lógica de decisión. • Defina revisiones periódicas del AMEF (trimestral/semestral) para mantener datos actualizados. • Capacite a operarios y técnicos en la correcta asignación de S-O-D y en el uso del botón de actualización.

Apéndice J. Formato Instructivo Ficha de Inspección

Este apéndice contiene el instructivo del Formato de Ficha de Inspección, empleado para el control periódico del Satellite XT 10500.

En él se describe el procedimiento para programar las tareas de inspección según su frecuencia, asignar la semana de ejecución y registrar manualmente las actividades realizadas por el operario. Asimismo, se detallan los campos destinados a observaciones y reporte de anomalías, junto con el funcionamiento de las automatizaciones que distribuyen las tareas dentro del calendario mensual de inspección.

Dichas automatizaciones permiten marcar una actividad mediante una "X" en la semana correspondiente y generar de forma automática el relleno visual asociado a la frecuencia establecida, facilitando el registro y trazabilidad del cumplimiento de éstas.

	VENTANAR S.A.S				
	INSTRUCTIVO FICHA DE INSPECCIONES				
	<i>BITÁCORA PARA EL MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS</i>				
FECHA ULTIMA VERSIÓN	28/11/2025	VERSION	#1	PÁGINA	1 de 1
REALIZADO POR	Juan Sebastian Moreno			FECHA CREACIÓN	11/07/2025
RECOMENDACIONES GENERALES					
1. Antes de usar el formato, verifique que está trabajando con la versión oficial del archivo. Haga una copia de seguridad antes de editar.					
2. Use siempre los Elementos de Protección Personal (EPP) : guantes, gafas, casco, botas, etc.					
3. Mantenga el área limpia y ordenada durante y después de la inspección.					
4. Registre cada actividad realizada marcando con "✓" en el espacio correspondiente y firme al finalizar.					
5. No modifique las fórmulas, rangos ni la estructura del archivo sin autorización del área de Mantenimiento. Cambios no controlados pueden romper cálculos y el historial .					
6. Para dudas sobre procedimientos, consulte el Manual del Fabricante (Capítulo correspondiente) o contacte al Jefe de Mantenimiento.					
7. Las inspecciones deben realizarse en dos momentos cuando aplique: preoperacional (antes de iniciar labores) y posoperacional (al finalizar jornada).					
8. En caso de detectar condiciones inseguras o fallas críticas: detenga la operación y repórtelo de inmediato al Jefe de Mantenimiento.					
9. Mantenga una copia física firmada de la ficha (operario y supervisor). Digitalice y archive la ficha al final del mes como respaldo documental.					

Continuación Apéndice J.

RECOMENDACIONES GENERALES
1. Antes de usar el formato, verifique que está trabajando con la versión oficial del archivo. Haga una copia de seguridad antes de editar.
2. Use siempre los Elementos de Protección Personal (EPP) : guantes, gafas, casco, botas, etc.
3. Mantenga el área limpia y ordenada durante y después de la inspección.
4. Registre cada actividad realizada marcando con "✓" en el espacio correspondiente y firme al finalizar.
5. No modifique las fórmulas, rangos ni la estructura del archivo sin autorización del área de Mantenimiento. Cambios no controlados pueden romper cálculos y el historial .
6. Para dudas sobre procedimientos, consulte el Manual del Fabricante (Capítulo correspondiente) o contacte al Jefe de Mantenimiento.
7. Las inspecciones deben realizarse en dos momentos cuando aplique: preoperacional (antes de iniciar labores) y posoperacional (al finalizar jornada).
8. En caso de detectar condiciones inseguras o fallas críticas: detenga la operación y repórtelo de inmediato al Jefe de Mantenimiento.
9. Mantenga una copia física firmada de la ficha (operario y supervisor). Digitalice y archive la ficha al final del mes como respaldo documental.
INSTRUCCIONES DE USO
ANTES DE EMPEZAR
<ul style="list-style-type: none"> ◆ En la hoja de selección, escoja el equipo a revisar: • Introduzca el código del equipo o seleccione el nombre desde la lista desplegable. • Presione el botón IR AL EQUIPO para abrir la ficha correspondiente. ◆ Verifique que la ficha corresponde al equipo y al periodo (mes) que va a evaluar.
DURANTE EL MES
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Cada hoja muestra una tabla mensual dividida en 4 semanas. ◆ El operario recibe una copia física de la ficha para uso diario. Durante el mes, deberá marcar con "X" ó "✓" las celdas correspondientes en los días que realice la tarea. ◆ Cada actividad tiene una frecuencia (preoperacional, diaria, semanal, quincenal, mensual). En la ficha se indican claramente los días programados (celda amarilla) — respete esas programaciones. ◆ En el apartado Observaciones Semanales registre comentarios por cada semana (Semana 1 / Semana 2 / Semana 3 / Semana 4) si aplica: anomalías, repuestos requeridos, medidas temporales tomadas, etc. ◆ Si una tarea no se ejecuta, registre "NO" en la columna correspondiente y explique la razón en Observaciones Semanales. ◆ Cada quincena el operario deberá firmar en el espacio designado (Firma quincenal). ◆ Al finalizar el mes, el Jefe de Mantenimiento revisa la ficha, firma y fecha el cierre. ◆ Conserve la ficha física firmada y escanéela para archivo digital. ◆ Para seguimiento centralizado existe la hoja SEGUIMIENTO en el libro: • Mensualmente se registran la cantidad de actividades realizadas y el total posible para cada máquina. • El resultado se expresa en % Cumplimiento por máquina y un % Cumplimiento TOTAL (suma de X de todas las máquinas / suma de casillas válidas de todas las máquinas). ◆ Flujo sugerido para alimentar SEGUIMIENTO (manual): • Al término del mes, copia los totales de cada hoja máquina y pégalos como valores en la hoja SEGUIMIENTO. ◆ En SEGUIMIENTO existe las columnas de meses, siendo así la construcción histórica por mes y/o anualidad.

Apéndice K. Formato Instructivo Plan Cronograma Anual de Mantenimiento

Este apéndice presenta el instructivo completo del Formato de Cronograma Anual de Mantenimiento utilizado para la programación y el seguimiento de las actividades del Satellite XT 10500.

En él se describe el procedimiento para registrar las tareas programadas mediante la fila "P" y actualizar su ejecución a través de la fila "E-R-NO", cuyos valores alimentan automáticamente los indicadores de cumplimiento y efectividad. Asimismo, se detalla el funcionamiento de la macro "ACTUALIZAR PRÓXIMOS MANTENIMIENTOS", encargada de calcular la próxima intervención y el número de semana restantes, según lo establecido en el instructivo mostrado a continuación.

Este documento complementa la explicación técnica del capítulo y sirve como guía operativa para el personal de mantenimiento.

	VENTANAR S.A.S				
	MANUAL DE USO DEL CRONOGRAMA ANUAL DE MANTENIMIENTO				
	<i>PLANIFICACIÓN Y SEGUIMIENTO DE MANTENIMIENTOS POR EQUIPO</i>				
FECHA ULTIMA VERSIÓN	15/12/2025	VERSIÓN	#1	PÁGINA	1 de 1
REALIZADO POR	Juan Sebastian Moreno			FECHA CREACIÓN	11/07/2025
RECOMENDACIONES GENERALES					
1. Abra siempre la versión oficial del libro; antes de cambios masivos haga copia de seguridad					
2. No modifique nombres de hojas, rangos ni fórmulas protegidas: alteraciones no controladas pueden romper macros e indicadores.					
3. Use únicamente las celdas y listas desplegadas habilitadas. Evite escribir texto libre donde hay validación (fechas, códigos, E-R-NO, frecuencias).					
4. La semana actual del año se marca automáticamente en verde pastel en el Cronograma Maestro ; úsela como referencia temporal.					
5. Las celdas en amarillo pastel indican mantenimientos programados según frecuencia (quincenal, mensual, bimestral, trimestral, semestral, anual, bianual, sexenal).					
6. El control es 100% digital : no es necesario copia física ni firmas en el flujo normal.					
7. Realice backups periódicos (diarios/semana según uso). Antes de ejecutar macros que reescriben muchas celdas (ej. formateos masivos), haga una copia.					
8. Si detecta una condición insegura o falla crítica: detenga la operación, notifique al Departamento de Mantenimiento de inmediato .					
9. Configure umbrales del tacómetro y criterios de cumplimiento/efectividad en la hoja tal como se encuentra.					
10. Los botones macros deben ser usados por personal autorizado.					

Continuación Apéndice K.

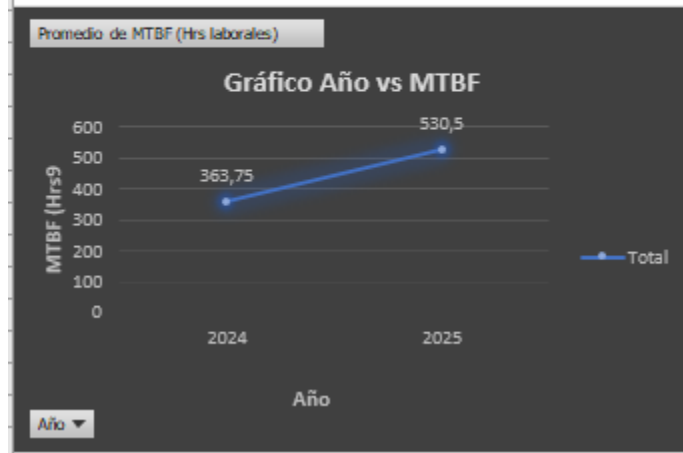
INSTRUCCIONES DE USO
<p>◆ Inicio y navegación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abra la hoja Cronograma Maestro. Allí verá la lista de máquinas y los 12 meses (representados por 4 semanas/mes). • La columna de la semana actual aparece en verde pastel al abrir el libro. • Para ir a la hoja de una máquina, doble-clíc sobre la celda de la semana amarilla (la que indica mantenimiento) correspondiente a esa máquina: el libro abrirá la hoja del equipo y posicionará la actividad de esa semana.
<p>◆ Estructura de la hoja de máquina:</p> <ul style="list-style-type: none"> • En la hoja del equipo encontrará: Área, Nombre de la máquina, Actividades de mantenimiento, Departamento/encargado, Tipo de mantenimiento (Preventivo — Basado en Tiempo / Basado en Condición / Mixto — o Correctivo) y la representación anual por semanas (hasta la semana 48). • Cada actividad tiene una fila P (Programado) y, justo debajo, la fila E-R-NO para seguimiento de ejecución.
<p>◆ Programación (fila P):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Para programar una actividad en una semana concreta, escriba X en la celda de la fila P de la semana elegida. • Al escribir la X, la macro aplicará automáticamente el color correspondiente y distribuirá la programación a lo largo del año según la frecuencia definida (hasta la semana 48). • Para eliminar una programación, seleccione la celda y presione Supr (Delete).
<p>◆ Registro de ejecución (fila E-R-NO):</p> <ul style="list-style-type: none"> • En la fila E-R-NO (debajo de P) use la lista desplegable para seleccionar: E (Ejecutado), R (Reprogramado) o NO (No ejecutado). • Al seleccionar la opción la macro aplicará color automático (E = verde, R = naranja, NO = rojo) y actualizará contadores. No modifique manualmente los colores. • Use E para registrar que la actividad se hizo en la semana programada; R si se hizo pero en otra fecha; NO si no se realizó. Sea veraz — estos datos alimentan los indicadores.
<p>◆ Cálculo de indicadores (Cumplimiento / Efectividad):</p> <ul style="list-style-type: none"> • El sistema cuenta, en el rango anual de semanas, las celdas programadas (P), ejecutadas (E), reprogramadas (R) y no ejecutadas (NO) para cada actividad. • % Cumplimiento: $\text{Cumplimiento \%} = (\text{Ejecutadas} / \text{Programadas}) * 100$. • % Efectividad: puede definirse como $(\text{Ejecutadas} - \text{Reprogramadas}) / \text{Programadas} * 100$ • Los indicadores y tacómetro (panel derecho) se actualizarán cuando se cambien valores de E-R-NO y/o P — idealmente después de pulsar ACTUALIZAR PRÓXIMOS MANTENIMIENTOS (ver 7).
<p>◆ Interpretación del tacómetro (líneas guía):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Para cumplimiento, se basa en los siguientes umbrales: Excelente: ≥ 85% Aceptable: 65%–84% Deficiente: < 65% • Para efectividad, se basa en los siguientes umbrales: Excelente: ≥ 80% Aceptable: 61%-79% Deficiente: < 60% • El tacómetro se actualiza de manera automática, reflejando la situación actual y seguimiento de las actividades anuales.
<p>◆ Botón — ACTUALIZAR PRÓXIMOS MANTENIMIENTOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Después de realizar cambios en P o en E-R-NO, pulse ACTUALIZAR PRÓXIMOS MANTENIMIENTOS. La macro realizará: • Cálculo y registro de la semana próxima para cada actividad según su frecuencia (a partir de la semana actual). • Cálculo de cuántas semanas faltan hasta la próxima intervención (desde la semana actual). • Repita esta acción cada vez que haga modificaciones relevantes en la programación o ejecución.
<p>◆ Reglas y validaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • No deje celdas obligatorias vacías (frecuencia, tipo de tarea, encargado). El sistema mostrará alertas si falta información. • Si trabaja con filtros activos, tenga cuidado: algunas macros pueden pedir quitar filtros temporalmente para recalcular todo. • No borre columnas auxiliares ni fórmulas; los cálculos dependen de rangos concretos. • Mantenga consistencia en nombres de máquinas para que la navegación por doble-clíc funcione correctamente.
<p>◆ Planificación y operación diaria:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Use los filtros y los tacómetros para priorizar las actividades semanales. • Al finalizar cada semana, verifique registros (E-R-NO) y actualice proximos mantenimientos si hubo cambios en la ejecución.

Apéndice L. Dashboard de indicadores de mantenimiento del equipo Satellite XT 10500

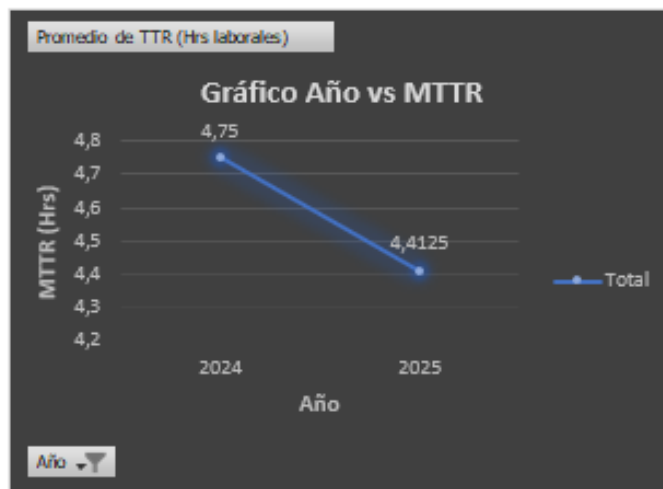
Para mayor comprensión y visibilidad de cada gráfico puede ver el Excel siguiendo la siguiente ruta:

https://drive.google.com/drive/folders/1qLCf_eFwErM_M7jULNPdKYSTjy27Aimo

Año	Promedio de MTBF (Hrs laborales)
2024	363,75
2025	530,5
Total general	447,125

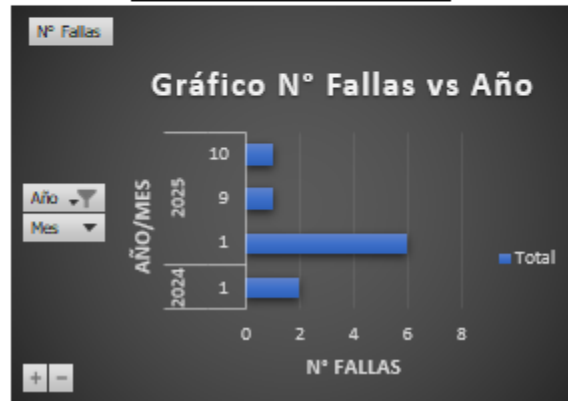


Año	Promedio de TTR (Hrs laborales)
2024	4,75
2025	4,4125



Continuación Apéndice L.

Año/Mes	N° Fallas
2024	2
1	2
2025	8
1	6
9	1
10	1
Total general	10



Año/Mes	Costos (\$)
2024	\$ 0
2025	\$ 605.629
Total general	\$ 605.629



Continuación Apéndice L.

Año	Tasa de fallo Anual(λ)
2024	0,0027491
2025	0,0018850

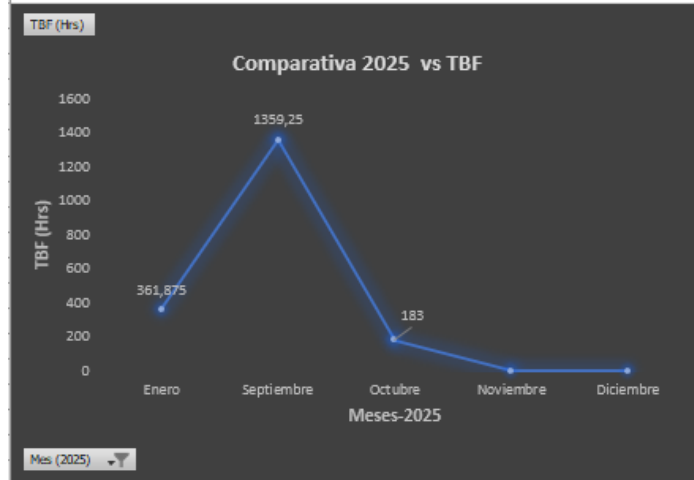


Año	Disponibilidad Anual (%)
2024	98,711%
2025	99,175%

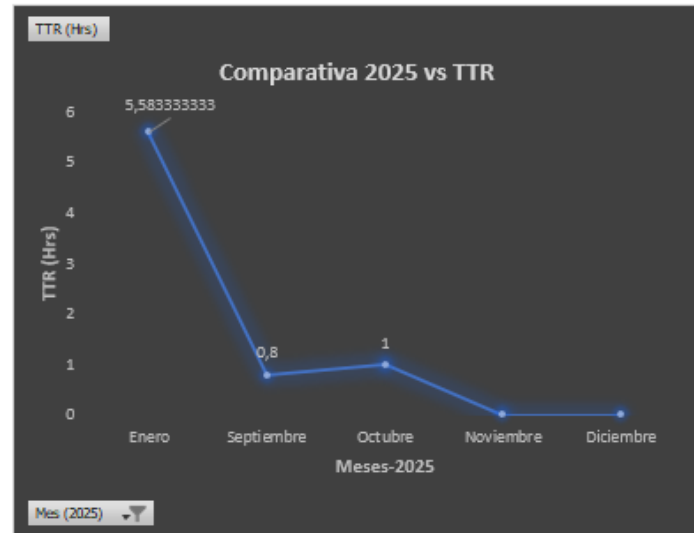


Continuación Apéndice L

Mes-2025	TBF (Hrs)
Enero	361,875
Septiembre	1359,25
Octubre	183
Noviembre	0
Diciembre	0



Mes-2025	TTR (Hrs)
Enero	5,5833
Septiembre	0,8
Octubre	1
Noviembre	0
Diciembre	0

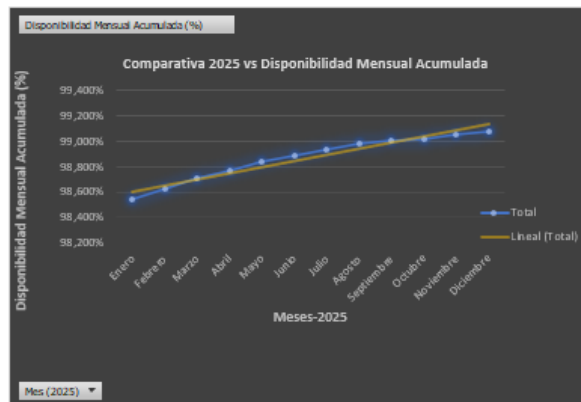


Continuación Apéndice L.

Mes-2025	Disponibilidad Mensual (%)
Enero	98,48%
Febrero	100,00%
Marzo	100,00%
Abril	100,00%
Mayo	100,00%
Junio	100,00%
Julio	100,00%
Agosto	100,00%
Septiembre	99,94%
Octubre	99,46%
Noviembre	100,00%
Diciembre	100,00%

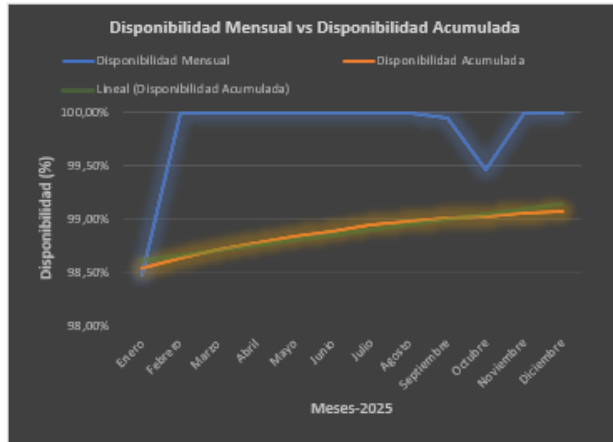


Mes-2025	Disponibilidad Mensual Acumulada (%)
Enero	98,538%
Febrero	98,626%
Marzo	98,702%
Abril	98,769%
Mayo	98,833%
Junio	98,883%
Julio	98,939%
Agosto	98,981%
Septiembre	99,004%
Octubre	99,022%
Noviembre	99,057%
Diciembre	99,077%

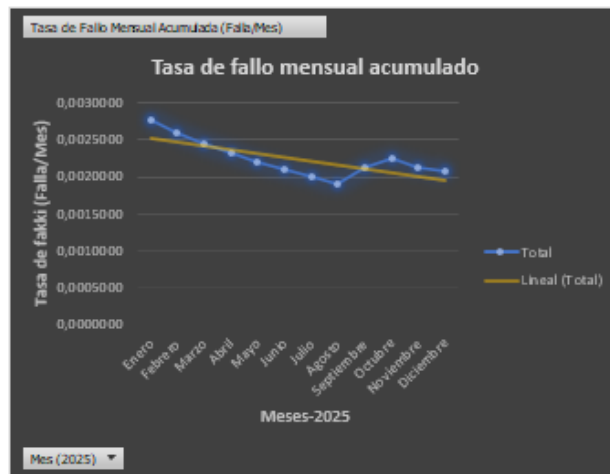


Continuación Apéndice L.

Mes-	Disponibilidad Mensual	Disponibilidad Acumulada
Enero	98,48%	98,538%
Febrero	100,00%	98,626%
Marzo	100,00%	98,702%
Abril	100,00%	98,769%
Mayo	100,00%	98,833%
Junio	100,00%	98,883%
Julio	100,00%	98,939%
Agosto	100,00%	98,981%
Septiembre	99,94%	99,004%
Octubre	99,46%	99,022%
Noviembre	100,00%	99,057%
Diciembre	100,00%	99,077%

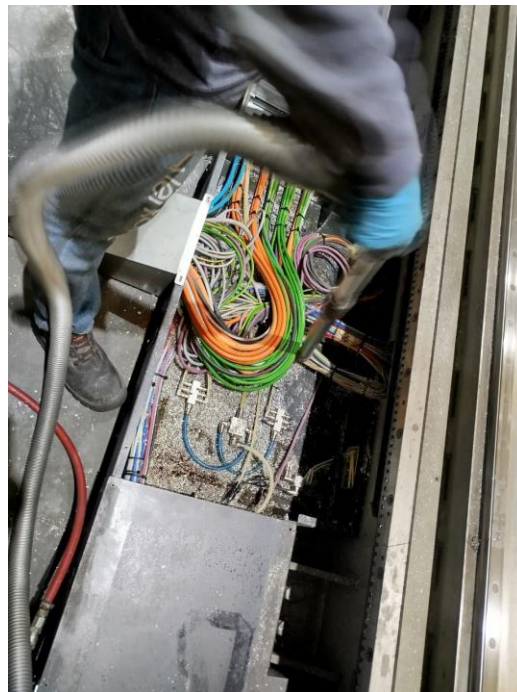


Mes-2025	Tasa de Fallo Mensual Acumulada (Falla/Mes)
Enero	0,0027598
Febrero	0,0025915
Marzo	0,0024459
Abril	0,0023183
Mayo	0,0021961
Junio	0,0021018
Julio	0,0019360
Agosto	0,0019144
Septiembre	0,0021137
Octubre	0,0022517
Noviembre	0,0021280
Diciembre	0,0020821



Apéndice M. Intervención de mantenimiento preventivo y componentes Satellite XT 10500

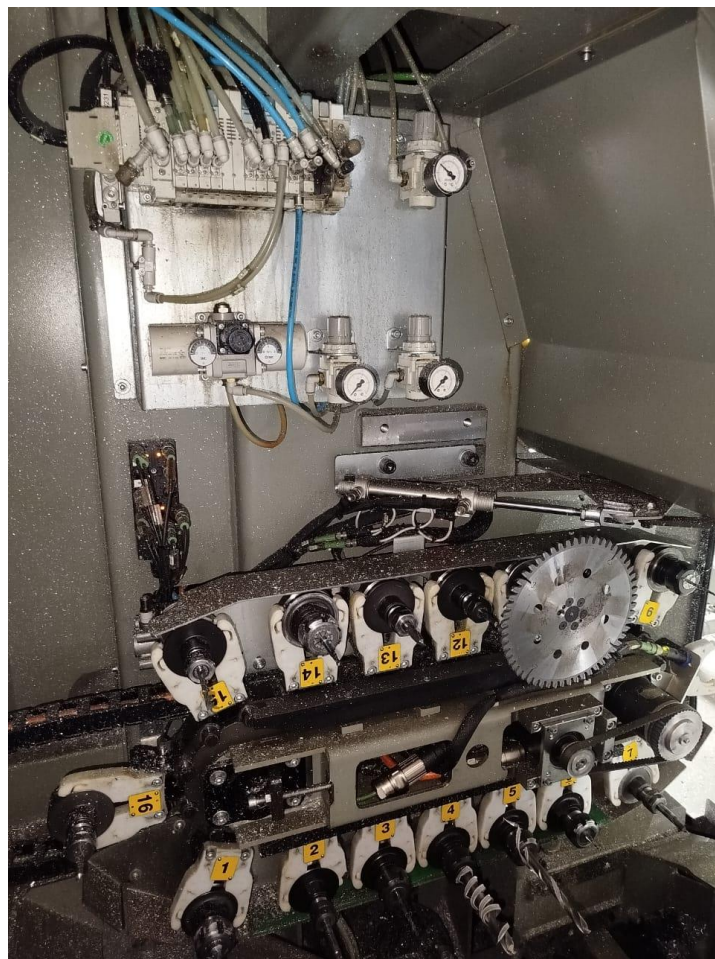
En este apéndice se presentan las imágenes recopiladas durante las intervenciones realizadas al equipo, junto a la gran mayoría de componentes de la máquina inspeccionados.



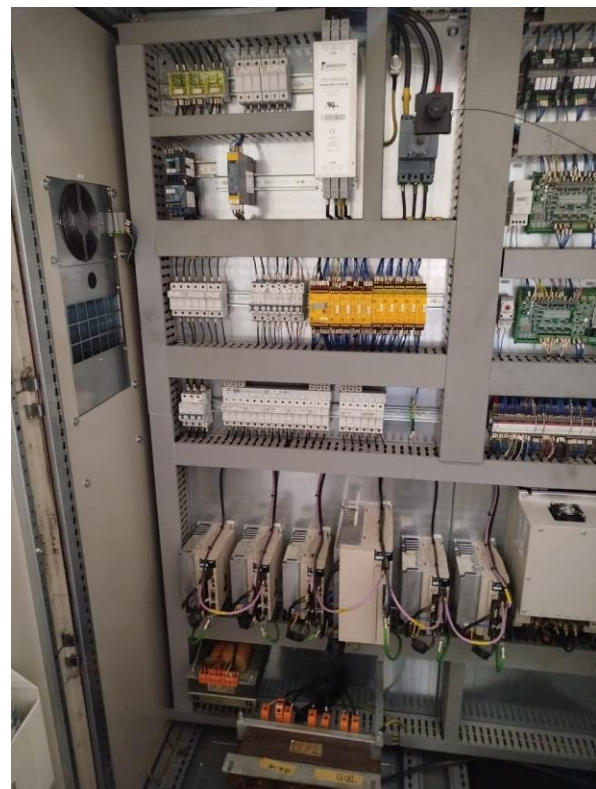
Continuación Apéndice M.



Continuación Apéndice M.



Continuación Apéndice M.



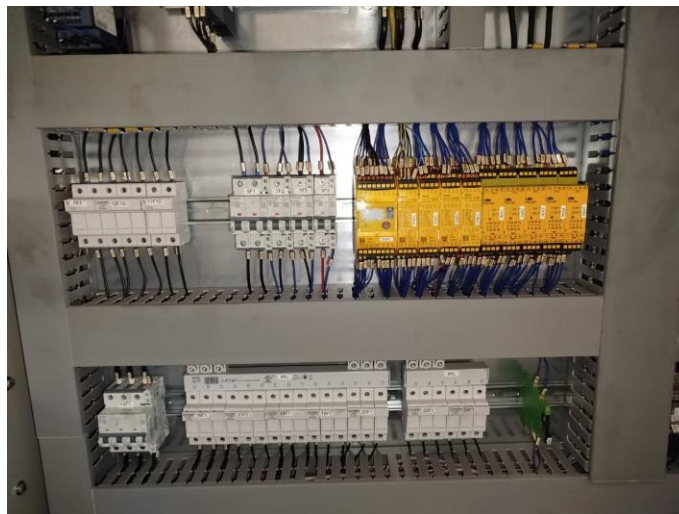
Continuación Apéndice M.



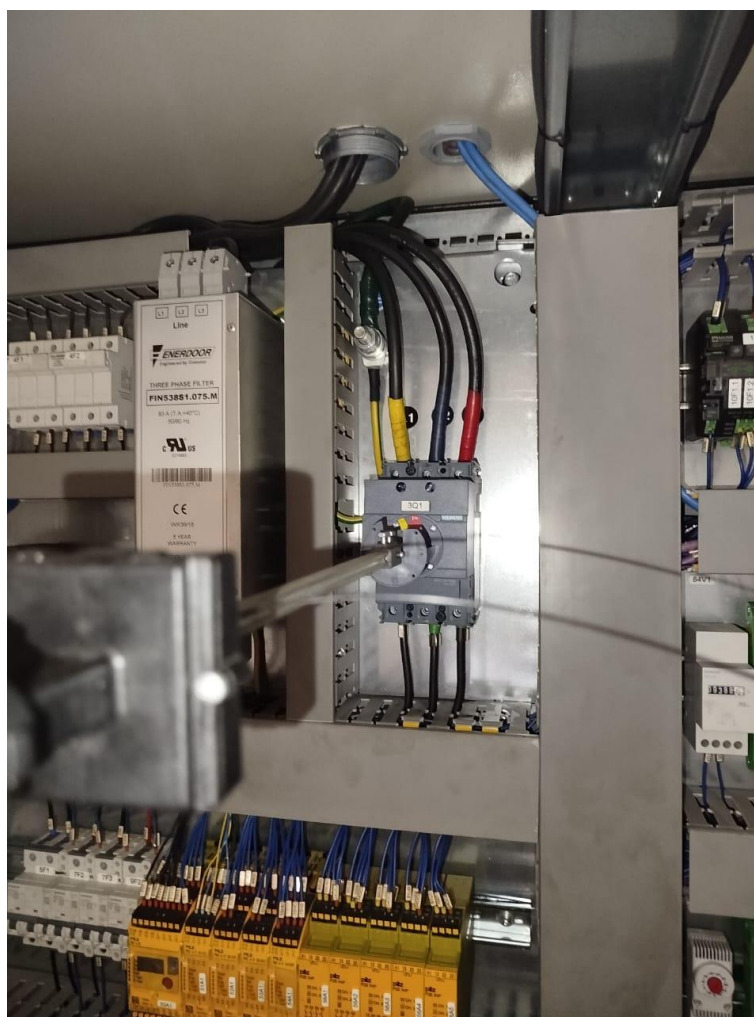
Continuación Apéndice M.



Continuación Apéndice M.



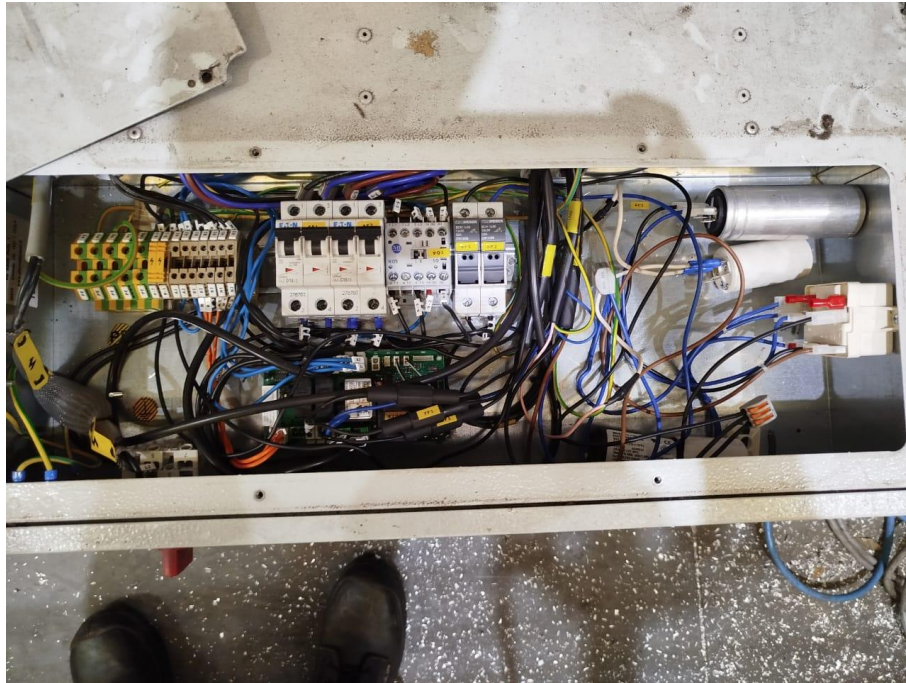
Continuación Apéndice M.



Continuación Apéndice M.



Continuación Apéndice M.



Apéndice N. Registro de seguimiento de la ficha de inspección operativa del equipo Satellite XT 10500

VENTANAR		FICHA DE INSPECCION EQUIPO CRITICO												CÓDIGO: F-INF-054														
CÓDIGO EQUIPO		FECHA DE EDICIÓN		9/12/2025												VERSION: 01												
EQUIPO		LEYENDA		"OK" ✓ "NO" X												FECHA: 01-12-2025												
SATELLITE XT 10500		PROGRAMADO														"P"												
SATELLITE XT 10500		EJECUTADO														"E"												
N°	TAREA	FRECUENCIA	ÁREA	TROQUELADO				RESPONSABLE				SEMANA 1				SEMANA 2				SEMANA 3				SEMANA 4				FUENTE
				P/E	L	M	M	J	V	S	L	M	M	J	V	S	L	M	M	J	V	S	L	M	M	J	V	
1	Verificación funcional y limpieza de sensores de proximidad, temperatura(chiller) y posición (encoder)	PREOPERACIONAL		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	FICHA TECNICA	
2	Limpieza del electromandril, portaherramientas y unidad angular (13.7.1.4)	POSOPERACIONAL		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	MANUAL FABRICANTE	
3	Limpieza y vaciado de los capones de evacuación de virutas del puente (13.7.1.6)	SEMANAL						X					X					X					X			MANUAL FABRICANTE		
4	Limpieza general de la máquina (partes externas e internas) (13.7.1.1)	SEMANAL					X					X					X					X				MANUAL FABRICANTE		
5	Limpieza de las placas e indicadores luminosos (indicadores de mando, testigos, placas e indicadores de seguridad) (13.7.1.2)	SEMANAL		X				X				X					X					X				MANUAL FABRICANTE		
6	Control y/o restauración de niveles de lubricación (lubricante de herramientas(13.7.2.4) y lubricación en el depósito de engrase centralizado(13.7.2.5)) y red neumática(manómetros)	SEMANAL					X				X					X						X				MANUAL FABRICANTE		
7	Limpieza del almacén herramientas y almacén disco (13.7.1.5)	SEMANAL					X				X					X						X				MANUAL FABRICANTE		
8	Inspección de estado conexiones eléctricas y mangueras neumáticas (aviso en caso de anomalía)	SEMANAL			X				X				X				X					X				FICHA TECNICA		
9	Descarga de condensación (13.7.5.1)	QUINCENAL					X									X										MANUAL FABRICANTE		
10	Control y/o reposición del relleno de nivel del líquido refrigerante electromandril (13.7.2.6) [Revisión de fugas del circuito de refrigeración]	MENSUAL					X																			MANUAL FABRICANTE		
11	Control de los dispositivos de seguridad (13.7.4.2) (funcionamiento de pulsador de emergencia, presostato de línea, fotocélulas de control de zona, microinterruptor portillos cabina, puerta acceso al área de trabajo y área de recogida de viruta)	MENSUAL														X										MANUAL FABRICANTE		
OBSERVACIONES SEMANALES												FIRMA QUINCENAL																
SEMANA 1												PRIMER QUINCENA																
SEMANA 2												ENCARGADO/OPERARIO																
SEMANA 3												REVISADO/JEFE DE MTTTO																
SEMANA 4																												
OBSERVACIÓN FINAL DE MES/ESTADO DEL ACTIVO																												
REVISADO POR:												FIRMA																
FECHA:												FIRMA																
REALIZADO POR:																												
FECHA:																												

VENTANAR		SEGUIMIENTO INSPECCION EQUIPO CRITICO												CÓDIGO: F-INF-058			
VIGENCIA		FECHA DE EDICIÓN		17/12/2025												VERSION: 01	
2025																FECHA: 01-12-2025	
EQUIPO		ÁREA		ACTIVIDADES DE INSPECCIÓN TOTALES POR MESES												LEYENDA	
SATELLITE XT 10500		TROQUELADA		ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	P/E	% Cumplimiento Anual
				83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	P	1%
SATELLITE XT 10500				0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	17%	% Cumplimiento Mes-Mes	

