



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE
BACHILLERATO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA**

**Diseño de un plan de mantenimiento productivo total (TPM) para la línea de
producción de metal expandido en la empresa Metales Perfex S.A.**

NOMBRE DE ESTUDIANTE: Kevin Bonilla Obando

TUTOR: ING. Álvaro Gerardo Rojas Camacho

SEDE CENTRAL, SAN JOSÉ

Diciembre, 2025

Contenido general

Contenido

Contenido general.....	2
Contenido de tablas	7
Contenido de Ilustraciones	7
Contenido de gráficos	8
Contenido de ecuaciones	8
Contenido de Anexos	9
Dedicatoria	10
Agradecimientos	10
Abreviaturas	11
Resumen Ejecutivo	12
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	14
Objetivos.....	15
Objetivo general.....	15
Objetivos específicos.....	15
Justificación	16
Antecedentes.....	17
Antecedentes internacionales	17
Antecedentes nacionales.....	23
Alcances.....	30
Proyecciones.....	30
Limitaciones.....	30
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	32
1. Definiciones básicas	32
1.1. Máquina.....	32
1.2. Equipo.....	32
1.3. Definición de proceso.....	33
1.4. Falla.....	33
1.5. Falla funcional.....	33

1.6.	Falla potencial.....	33
1.7.	Estado real de una máquina o equipo.....	34
1.8.	Eficiencia y eficacia.....	34
1.8.1.	¿Qué es eficacia?	34
1.8.2.	¿Qué es la eficiencia?.....	34
1.9.	¿Qué es una línea productiva o producción en línea?	34
2.	Objetivos básicos del mantenimiento.....	35
1.1.	Reducir las fallas funcionales (paradas imprevistas) de los equipos, y los costos asociados a ellas	35
1.2.	Asegurar unos costos operativos razonables de los equipos, y procurar mejoras de ellos	36
1.3.	Maximizar la inversión en Planta y equipos, asegurando el cumplimiento de mínimo su vida útil esperada	37
1.4.	Garantizar que las máquinas o equipos operen de manera segura para los usuarios y para el medio ambiente.....	38
3.	Acciones básicas del mantenimiento.....	38
4.	Tipos de Mantenimientos	39
4.1.	Mantenimiento Correctivo.....	39
4.1.1.	Ventajas.....	40
4.1.2.	Desventajas	40
4.2.	Mantenimiento Preventivo	40
4.2.1.	Ventajas.....	40
4.2.2.	Desventajas	41
4.3.	Mantenimiento Predictivo	41
4.3.1.	Ventajas.....	41
4.3.2.	Desventajas	41
4.4.	Mantenimiento Programado.....	42
4.4.1.	Ventajas.....	42
4.4.2.	Desventajas	42
4.5.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM.....	42
4.6.	Mantenimiento Basado en el Riesgo RBM.....	43
5.	Mantenimiento Productivo Total TPM	44

5.1.	Los ocho pilares fundamentales del TPM	46
5.1.1.	Pilar 1 Mejora Focalizada.....	47
5.1.2.	Pilar 2 Mantenimiento autónomo.	47
5.1.3.	Pilar 3 Mantenimiento planeado.	47
5.1.4.	Pilar 4 Capacitación.....	48
5.1.5.	Pilar 5 Control inicial.....	48
5.1.6.	Pilar 6 Mejoramiento para la calidad.....	48
5.1.7.	Pilar 7 TPM en los departamentos de apoyo.....	48
5.1.8.	Pilar 8 Seguridad, Higiene y medio ambiente.....	48
6.	Lubricación de equipos y procesos	49
6.1.	Aceites lubricantes - los fluidos.....	50
6.2.	Lubricación de maquinaria, equipos y mecanismos industriales.....	54
6.2.1.	Aceites de engranajes. Lubricación de reductores y moto-reductores.....	54
6.2.2.	Aceites para la lubricación de cadenas de transmisión.....	55
6.3.	Grasas lubricantes, los semisólidos	57
7.	Análisis de criticidad de equipos	60
7.1.	Proceso de Jerarquización.....	60
7.2.	Método del flujograma de análisis de criticidad (cualitativo).....	61
7.3.	Índices de fallas	63
7.3.1.	Análisis de Pareto.....	64
7.3.2.	El Diagrama de Causa-Efecto	65
8.	Tipos de indicadores en Mantenimiento	67
8.1.	Indicadores de Eficacia del Mantenimiento.....	67
8.1.1.	Disponibilidad	67
8.1.2.	Confiabilidad	68
8.1.3.	Mantenibilidad.....	68
8.2.	Indicadores de Administración del Mantenimiento	68
8.3.	Indicadores de Costos del Mantenimiento	70
9.	Eficiencia general de los equipos	71
9.1.	Disponibilidad.....	72
9.2.	Rendimiento	72

9.3. Calidad.....	73
10. Indicadores Financieros para Evaluar Proyectos.....	74
10.1. Tasa Interna de retorno (TIR).....	74
10.2. El Valor Actual Neto (VAN).....	75
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	77
Enfoque de la Investigación.....	77
Alcance de la investigación.....	78
Fuentes de información.....	78
Muestra o población	78
Consideraciones éticas	79
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE INVESTIGACIÓN.....	81
4.1. Descripción general de los datos recolectados	81
4.2. Estado actual del sistema de mantenimiento	82
4.3. Análisis de causas de falla	83
4.3.1. Molino Aplanchador	83
4.3.2. Maquina Expandidora de lamina	84
4.4. Resultados de la encuesta sobre percepción del TPM en el personal de Metales Perfex S.A. 87	
4.5. Análisis de criticidad.....	88
4.6. Indicadores de mantenimiento	92
4.7. Análisis de gestión de repuestos	94
4.8. Análisis financiero.....	96
Costo por hora de paro de la maquina.....	97
Análisis financiero para la compra de repuesto	98
Flujos de Caja Proyectados.....	98
Tiempo de recuperación	99
Valor Presente Neto y Tasa Interna de Retorno	99
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	101
Conclusiones	101
Recomendaciones	103
CAPÍTULO VI: PROPUESTA.....	105

Descripción 105

Propuesta del TPM 105

Referencias Bibliográficas 115

Bibliografía 115

Anexos 116

Contenido de tablas

Tabla 1 Actividades básicas del Mantenimiento	39
Tabla 2 Matriz de conceptualización Enfoque cuantitativo	80
Tabla 3. Equipos evaluados y parámetros generales	82
Tabla 4 Frecuencia de fallas molino aplanador	83
Tabla 5 Frecuencia de fallas Maquina Expandidora de lamina	84
Tabla 6 encuesta sobre percepción del TPM.....	87
Tabla 7. Criterios y clasificación del método cualitativo de análisis de criticidad	90
Tabla 8. Análisis de criticidad Línea Anber 2.....	91
Tabla 9 Indicadores de Mantenimiento	92
Tabla 10 Comparativa de Costos y Plazos - Importación vs. Nacional	95
Tabla 11 Repuestos propuestos para inventario	96
Tabla 12 Calculo de VP.	99
Tabla 13 Cálculo del período de recuperación.....	99
Tabla 14 Calculo de VPN, TIR y periodo de recuperación.	99
Tabla 15 Costo Implementación base 1	106
Tabla 16 Costo Implementación base 2	106
Tabla 17Lubricantes recomendados.....	107
Tabla 18 Insumos necesarios para realizar los mantenimientos preventivos.....	112
Tabla 19 Costo Implementación base 3	112
Tabla 20 Costo para la implementación	113

Contenido de Ilustraciones

Ilustración 1Esquema general de entradas y salidas de una máquina	33
Ilustración 2 Esencia del Mantenimiento Basado en el Riesgo	44
Ilustración 3 Los ocho pilares del TPM	47
Ilustración 4 caja reductora	54
Ilustración 5 cadena de transmisión	56
Ilustración 6 Clasificación de grasa según número de consistencia.....	58
Ilustración 7 Modelo del proceso de gestión del mantenimiento	61

Ilustración 8 Modelo del flujograma de criticidad	63
Ilustración 9 Diagrama de Pareto para fallas	65
Ilustración 10 Diagrama de Ishikawa.....	67
Ilustración 11 Escala porcentual, calificativo y consecuencia del OEE	72
Ilustración 12 Diagrama esquemático del cálculo del OEE.....	74
Ilustración 13 Daño en cuchilla por mal ajuste	85
Ilustración 14 Costo por hora de paro de la maquina.....	97
Ilustración 15 Programación Mantenimiento Preventivo Desbobinadora Anber 2	109
Ilustración 16 Programación Mantenimiento Preventivo Expandidora Anber 2.....	110
Ilustración 17 Programación Mantenimiento Preventivo Molino Aplanchador Anber 2.....	111

Contenido de gráficos

Gráficos 1 Porcentaje de mantenimientos correctivos y preventivos registrados.....	82
Gráficos 2 Pareto modo de fallas molino aplanchador	83
Gráficos 3 Pareto modo de fallas molino aplanchador	85
Gráficos 4 Porcentaje de mantenimientos eléctricos y mecánicos.....	86
Gráficos 5 Encuesta sobre percepción del TPM	88
Gráficos 6 Indicadores del OEE Línea Anber 2.....	94

Contenido de ecuaciones

Ecuación 1 Costo de operación de una máquina.....	36
Ecuación 2 Costo de posesión de una máquina.....	37
Ecuación 3 tiempo promedio entre fallas	43
Ecuación 4 Maximización de la producción	44
Ecuación 5 porcentaje de disponibilidad.....	67
Ecuación 6 el tiempo promedio para reparar	68
Ecuación 7 Porcentaje de cobertura de órdenes de trabajo estándar.....	69
Ecuación 8 seguimiento al programa	69
Ecuación 9 Eficacia del Mantenimiento.....	69
Ecuación 10 Es el trabajo pendiente	69

Ecuación 11 Es la productividad laborar.....	70
Ecuación 12 costo de Mtto.....	70
Ecuación 13 Costo de mtto por unidad de producción.....	70
Ecuación 14 costo mtto prev versus mtto correctivo	71
Ecuación 15 Índice de Eficiencia General de los Equipos	71
Ecuación 16 Disponibilidad	72
Ecuación 17 Rendimiento	73
Ecuación 18 Calidad.....	73
Ecuación 19 Tasa Interna de retorno.....	74
Ecuación 20 Valor presente.....	75
Ecuación 21 Valor presente para varios periodos	76
Ecuación 22 valor presente neto.....	76

Contenido de Anexos

Anexos 1 Manual de Mantenimiento Desbobinadora Anber 2 DES-02	118
<i>Anexos 2 Manual de Mantenimiento Expandidora ANBER 2 EXP-02.....</i>	<i>124</i>
<i>Anexos 3 Manual de Mantenimiento Molino Aplanchador Anber 2 PLA-02.....</i>	<i>127</i>
<i>Anexos 4 Orden de trabajo de mantenimiento correctivo</i>	<i>127</i>
Anexos 5 Orden de trabajo de mantenimiento correctivo	128
<i>Anexos 6 Ficha técnica Aceite transmisión 220</i>	<i>129</i>
<i>Anexos 7 Ficha técnica grasa NLGL#2</i>	<i>130</i>
<i>Anexos 8 Ficha técnica lubricantes cables y cadenas</i>	<i>131</i>
<i>Anexos 9 Ficha técnica Acondicionador de correas</i>	<i>132</i>

Dedicatoria

A Dios, por guiarme, darme fortaleza y permitirme culminar este logro que representa una etapa importante en mi vida profesional y personal.

A mi madre, Clemencia Obando Elizondo, por su amor incondicional, por enseñarme con su ejemplo el valor del sacrificio, la humildad y el esfuerzo. Gracias por creer en mí incluso cuando yo mismo dudaba.

A mi esposa, Yorleny Fernández Ureña, mi mayor apoyo, que con amor, paciencia y comprensión estuvo a mi lado en cada desafío. Gracias por acompañarme, por impulsarme y por creer en mí incluso en mis momentos más difíciles.

A mi hija, Emily Fallas Fernández, mi mayor motivación. Tu inocencia, tu alegría y tu existencia me impulsan a ser mejor cada día.

Agradecimientos

A Dios, por permitirme culminar esta etapa académica, por darme sabiduría, fortaleza y salud para continuar aún en los momentos más desafiantes. Su guía ha sido fundamental en cada paso de este camino.

A la empresa Metales Perfex S.A., por brindarme la oportunidad de realizar mi trabajo de graduación en sus instalaciones y confiar en mí para desarrollar este proyecto. Agradezco profundamente el apoyo recibido, así como el tiempo y los recursos facilitados para llevar a cabo esta investigación. También expreso mi gratitud por permitirme laborar y estudiar paralelamente, lo cual fue clave para lograr este objetivo académico.

A mis profesores, por compartir sus conocimientos, por su dedicación y por el acompañamiento constante durante mi formación profesional. Gracias por el compromiso mostrado y por cada enseñanza que contribuyó significativamente a mi crecimiento académico y personal.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra manera, colaboraron para que este proyecto fuera posible

Abreviaturas

Abreviaturas	Significado
TPM	Mantenimiento Productivo Total
OEE	Eficiencia General de los Equipos
RCM	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad
ASTM	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales
EXP-02	Expandidora ANBER 2
PLA-02	Molino Aplanchador Anber 2
DES-02	Desbobinadora Anber 2

Resumen Ejecutivo

El presente trabajo final de graduación plantea una propuesta de mejora en el área de mantenimiento de la empresa Metales Perfex S.A., ubicada en Barrio San José, Curridabat, provincia de San José. Esta empresa se dedica a la fabricación de láminas de metal expandido y perforado, productos ampliamente utilizados en proyectos de construcción e industrias diversas.

La investigación se centra en diseñar un programa de mantenimiento productivo total (TPM) para la línea de producción de metal expandido, con el objetivo de fortalecer la planificación, ejecución y seguimiento del mantenimiento preventivo. Este diseño se realiza ante el aumento en la demanda que impulsa la implementación de un segundo turno de trabajo, situación que evidenció las debilidades del sistema de mantenimiento actual, el cual se caracteriza por ser predominantemente correctivo (77.6% de las intervenciones), con ausencia de planificación preventiva y registros técnicos incompletos.

Esta situación genera fallas imprevistas (promedio de 15-20 mensuales en la máquina Expandidora), paros frecuentes (40-50 horas mensuales de inactividad) y un elevado consumo de repuestos críticos, impactando negativamente la productividad con una Eficiencia Global de Equipos (OEE) del 66%, muy por debajo del estándar industrial del 85%.

Para desarrollar esta propuesta, se ejecutó un diagnóstico técnico y organizacional mediante el cual se identificaron las causas principales de fallas, los equipos más críticos y las áreas con mayor necesidad de intervención. Se aplicaron herramientas de ingeniería de mantenimiento como análisis de criticidad, que identificó a la máquina Expandidora y al Molino Aplanchador como equipos críticos (categoría A), diagrama de Pareto, que reveló que el 76% de las fallas del Molino se deben a mal ajuste de rodillos (38%), fajas desalineadas (23%) y falta de lubricación (15%), y diagrama causa-efecto, que determinó que las causas raíz principales son la falta de mantenimiento preventivo y la insuficiente capacitación del personal.

El programa TPM que se plantea busca promover la participación activa del personal técnico y operativo, fomentando una cultura de mejora continua. Se establecen tareas periódicas de mantenimiento, se definen responsabilidades compartidas, y se proyectan los posibles beneficios económicos derivados de la reducción de fallas, disminución del tiempo de inactividad y optimización del uso de repuestos.

Los resultados del diagnóstico mostraron una disponibilidad del 79.5% y un TPEF de 6

horas, indicadores que reflejan la necesidad urgente de implementar un sistema de mantenimiento estructurado. La encuesta al personal reveló que 90% considera que el TPM mejorará la productividad y 80% está dispuesto a participar en mantenimiento autónomo.

Se concluye que la implementación del TPM es técnicamente viable y organizacionalmente aceptada. Se recomienda iniciar con los pilares de Mantenimiento Autónomo y Mantenimiento Planificado, priorizando los equipos críticos identificados. La propuesta estima una reducción del 40% en tiempos de parada y un incremento del OEE al 75% en el primer año de implementación.

Se espera que la implementación progresiva del TPM contribuya significativamente a mejorar la eficiencia operativa de la empresa y que el modelo diseñado sea replicable en otras líneas de producción. Este proyecto se desarrolla como una base técnica y organizacional que facilita la transición de Metales Perfex S.A. hacia un sistema de mantenimiento más estructurado, proactivo, seguro y rentable.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La empresa Metales Perfex S.A., dedicada a la fabricación de láminas de metal expandido y perforado, ha experimentado en los últimos años un aumento significativo en la demanda de sus productos. Este incremento en la producción ha obligado a extender los turnos de trabajo e incorporar un segundo turno en la línea de metal expandido, incrementando la carga operativa sobre la maquinaria.

Sin embargo, el sistema de mantenimiento actual se encuentra basado principalmente en acciones correctivas, sin una planificación preventiva estructurada. Esto se evidenció durante el diagnóstico realizado, donde se identificaron paros frecuentes de maquinaria (40-50 horas mensuales en la Expandidora), intervenciones no programadas (77.6% del total) y un elevado consumo de repuestos críticos, generando pérdidas de tiempo productivo estimadas en 54 horas mensuales y un aumento en los costos operativos. Estos datos se corroboraron mediante el análisis de registros de mantenimiento del período julio-octubre 2025.

El análisis de 68 registros de intervención del último cuatrimestre demostró que el 82% de las reparaciones se ejecutan únicamente cuando ocurre una falla funcional, lo que provoca interrupciones imprevistas en la producción, afectando directamente los indicadores de disponibilidad (79.5%) y eficiencia global de equipos (OEE del 66%), valores que se encuentran por debajo de los estándares industriales recomendados ($\geq 85\%$).

Debido a lo anterior, surge la necesidad de diseñar un programa de Mantenimiento Productivo Total (TPM) que permita estructurar las actividades de mantenimiento preventivo, involucrar al personal operativo en tareas básicas de conservación y optimizar los recursos técnicos y económicos destinados al mantenimiento.

En este contexto, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo se puede diseñar un programa de mantenimiento preventivo basado en los principios del Mantenimiento Productivo Total (TPM) para fortalecer la confiabilidad y optimizar la operación de las líneas de producción de metal expandido en la empresa Metales Perfex?

Objetivos

Objetivo general

Diseñar un programa de mantenimiento preventivo basado en los principios del Mantenimiento Productivo Total (TPM) para fortalecer la confiabilidad y optimizar la operación de las líneas de producción de metal expandido en la empresa Metales Perfex.

Objetivos específicos

1. Diagnosticar la situación actual del sistema de mantenimiento en la línea de producción de metal expandido de la empresa Metales Perfex S.A
2. Analizar cómo afecta a la producción los tiempos de paro por fallas y las demoras en la reparación de los equipos
3. Establecer planes de mantenimiento preventivo para la línea de producción de metal expandido
4. Determinar las tareas de mantenimiento que son más urgentes según los resultados de los mantenimientos preventivos definiendo frecuencia de ejecución, duración estimada, y características de la intervención
5. Estimar el ahorro económico que generaría la implementación del TPM en la empresa

Justificación

La eficiencia operativa de las líneas de producción de metal expandido y perforado es un factor determinante para la competitividad, crecimiento y sostenibilidad de las empresas del sector metalmeccánico. En este contexto, uno de los principales retos que enfrenta Metales Perfex S.A. es mantener una operación continua y eficiente, asegurando la disponibilidad y confiabilidad de su maquinaria.

El crecimiento en la demanda de productos metálicos ha llevado a la empresa a implementar un segundo turno de trabajo, aumentando las horas de operación de los equipos. Sin embargo, los resultados del diagnóstico evidenciaron que la estrategia de mantenimiento actual se basa principalmente en acciones correctivas, lo cual ha generado paros frecuentes (15-20 eventos mensuales en promedio), fallas inesperadas y un alto consumo de repuestos críticos, afectando directamente la productividad de la línea y elevando los costos operativos.

Ante esta situación, se justifica el diseño de un programa basado en la metodología del Mantenimiento Productivo Total (TPM), elegida por su enfoque integral que combina el mantenimiento planificado con la participación activa de los operarios, fomentando la corresponsabilidad y la mejora continua, a diferencia de enfoques tradicionales que se limitan a acciones técnicas sin involucrar al personal de producción.

Además, la aplicación del TPM fomenta una cultura organizacional orientada a la mejora continua, donde operarios y técnicos asumen un papel activo en la conservación de las máquinas, fortaleciendo la comunicación interna y la eficiencia del área de mantenimiento.

Este proyecto se justifica técnica y organizativamente porque permitirá a Metales Perfex S.A. contar con un sistema de mantenimiento planificado, medible y sostenible, que contribuya a reducir los tiempos de inactividad, optimizar el uso de recursos, mejorar los indicadores de disponibilidad y asegurar una mayor continuidad operativa. Asimismo, el modelo podrá replicarse en otras líneas de producción de la empresa, consolidando una base sólida para la gestión del mantenimiento industrial.

Antecedentes

Antecedentes internacionales

Antecedente N° 1.

Institución: Universidad de San Carlos de Guatemala.

Título: Propuesta de un sistema de mantenimiento productivo total (TPM), en las líneas de producción de la empresa distribuidora América Comercial, DACSA S. A.

Autores: Luis Carlos Ochoa Sandoval.

Año:2021

En este proyecto la empresa Distribuidora América Comercial S.A. (DACSA), ve la importancia de mejorar su desempeño productivo, la cual ha identificado la necesidad de implementar un sistema de mantenimiento más eficiente y estructurado. Por ello se plantea el desarrollo de una propuesta basada en la metodología TPM, el cual tiene como objetivo aumentar la disponibilidad y confiabilidad de sus equipos, así como reducir significativamente las pérdidas operativas.

El proyecto está estructurado en tres fases, las cuales son servicio técnico profesional, investigación y docencia. En la primera fase, se realiza un diagnóstico del estado actual del área de producción, identificando los problemas en los métodos de mantenimiento existentes, analizando posibles causas de pérdida y calculando la eficiencia global de los equipos. A partir de estos hallazgos, se planifican los recursos necesarios, se diseñan procedimientos específicos de TPM y se evalúa el costo de implementación.

Se propone la creación de un manual de mantenimiento que le al personal entienda con ideas claras sobre el uso, cuidado y conservación de las máquinas, con el propósito de prolongar su vida útil y mejorar su desempeño.

En el cual se ve la necesidad de un diagnóstico sobre las necesidades de capacitación del personal de la empresa, a partir del cual se elabora un plan de formación orientado a asegurar una adecuada comprensión y aplicación del TPM, así como del manual de mantenimiento propuesto.

Este proyecto no solo busca optimizar los procesos de mantenimiento en la planta de producción de DACSA, sino también estandarizar procedimientos clave, mejorar el sistema de mantenimiento predictivo y preventivo, y fomentar una cultura organizacional comprometida con el cuidado de los activos productivos.

Antecedente N° 2.**Institución: Universidad Nacional De Ingeniería, Nicaragua.****Título: Plan de Mantenimiento Preventivo a las máquinas de elaboración de clavos wafios 1, 9, 18, 19, 20, N21, N61, N90 para la empresa INCASA****Autores: Roberto José Velásquez Castro, Keyner Alberto Robles Valle, Douglas Francisco España Rodríguez.****Año: 2023**

En este trabajo de investigación la empresa Industria Centroamericana Sociedad Anónima (INCASA) se ve que el mantenimiento de los equipos no ha sido una prioridad, ya que muchas veces se percibe como un gasto en lugar de una inversión. Esta visión ha generado consecuencias importantes, especialmente en la planta de fabricación de clavos, donde se han reportado altos índices de paros consecutivos en las máquinas, lo cual repercute directamente en los niveles de producción, en los ingresos y en el cumplimiento de la demanda del mercado.

Uno de los principales problemas que se han identificados es la falta de un plan de mantenimiento preventivo, la cual no cuenta con registros técnicos actualizados ni con un historial organizado del estado de las máquinas. Cuando ocurre una falla crítica en los equipos, muchas veces se debe esperar entre tres a cuatro meses para conseguir repuestos provenientes del extranjero, lo que prolonga innecesariamente los tiempos de paro. Además, durante estos periodos, la carga de trabajo es transferida a otras máquinas en mejores condiciones, provocando un deterioro acelerado que compromete su vida útil.

Las acciones correctivas que se aplican solo son para poner en funcionamiento momentáneamente los equipos, muchas veces terminan revelando nuevas fallas o generan resultados poco sostenibles, afectando negativamente la estabilidad operativa del área. A través de visitas técnicas y entrevistas con el personal, se pudo comprobar que las máquinas presentan deterioro progresivo, siendo el mantenimiento correctivo la única alternativa actual, lo cual es poco eficiente y costoso para la empresa.

En este trabajo en base al problema se pretende diseñar un plan de mantenimiento preventivo enfocado específicamente en las máquinas de elaboración de clavos. Este estudio busca recopilar datos mediante el análisis técnico de los equipos, entrevistas al personal de mantenimiento y producción, y la aplicación de herramientas estadísticas, con el fin de proponer un modelo que permita minimizar fallas, reducir los tiempos de inactividad, optimizar los recursos y mejorar la

productividad general del área.

La implementación de dicho plan permitirá a INCASA contar con una base de datos técnica organizada, establecer cronogramas de mantenimiento adaptados a la criticidad de cada equipo y reducir significativamente los costos asociados al mantenimiento correctivo. Además, se contempla la elaboración de un presupuesto detallado que ayude a la empresa a tomar decisiones basadas en criterios técnicos y financieros, garantizando así una gestión más eficiente del área de mantenimiento.

Antecedente N° 3.

Institución: Universidad de Chile.

Título: Desarrollo de una estrategia de mantenimiento integral para transformadores eléctricos en plantas de procesos mineros

Autor: Pedro Pablo Coloma Díaz

Año:2024

En este trabajo se desarrolla una propuesta teórica de plan de mantenimiento preventivo aplicado a transformadores eléctricos en plantas de procesos mineros, empleando como base metodológica el enfoque del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM). El cual tiene como objetivo principal optimizar la confiabilidad y la eficiencia operativa de estos equipos, mediante la identificación y análisis de variables críticas tanto físico químicas, como eléctricas y mecánicas, que puedan afectar su funcionamiento y vida útil.

Uno de los principales aportes del estudio es la integración de herramientas reconocidas como el Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad (FMECA) y el Estudio de Riesgos y Operabilidad (HAZOP), lo cual permite estructurar un plan preventivo completo, proactivo y alineado con estándares internacionales. Estas metodologías aportan un enfoque técnico y normativo riguroso para evaluar riesgos y proponer actividades de mantenimiento que sean aplicables en la práctica, aunque el alcance del estudio no incluye su implementación directa en una planta real.

El trabajo se enfoca en el diseño y planificación de las actividades de mantenimiento, dejando fuera aspectos como el mantenimiento predictivo, la gestión de repuestos y la planificación de recursos humanos. Esta delimitación responde a la intención de construir una base teórica sólida que pueda ser utilizada posteriormente en estudios más específicos o en proyectos de implementación práctica.

Se destaca el desarrollo de un plan preventivo aplicado a un transformador teórico de 110 kV a 13,8 kV, con características comunes a los equipos utilizados en el sector minero (aceite forzado, aire forzado y cambiador de derivaciones en carga). Se concluye que el plan es adaptable a otros transformadores, y que su aplicación podría mejorar significativamente la gestión técnica de estos activos.

Sugiere el uso de plataformas digitales de gestión de mantenimiento, que permitan centralizar la información, generar reportes y tomar decisiones informadas.

Antecedente N° 4.

Institución: Universidad de Chile.

Título: Planificación de mantenimiento preventivo en máquina papelerera en base a confiabilidad.

Autores: Matias Nicolás Valenzuela Hermosilla

Año: 2020

Este trabajo de investigación realizado en la empresa Papeles Cordillera SpA, ubicada en Puente Alto, Santiago de Chile, dedicada a la producción de papel y cartón. La cual a partir de diversos estudios internos se identificó que una de las principales causas de pérdida económica estaba directamente relacionada con paradas no planificadas en su línea de producción, asociadas al lucro cesante por fallas en equipos críticos.

Se enfocó el estudio en la Máquina Papelerera N°20 (MP20), la cual representa el corazón de la producción de la planta. Se analizó el desempeño y comportamiento de las 229 bombas de proceso que forman parte del sistema. Para gestionar de forma más efectiva estos activos, se optó por aplicar métodos de análisis de confiabilidad, utilizando registros históricos de fallas entre 2011 y 2019, a fin de diseñar un plan de mantenimiento preventivo basado en criterios técnicos y económicos.

Se utilizaron herramientas como el diagrama de Pareto y la técnica Jack Knife, considerando tanto la frecuencia de fallas como el impacto en la producción (tiempo de detención), se procedió al modelamiento estadístico de la vida útil de las bombas más críticas, ajustando sus comportamientos a la distribución de Weibull, una herramienta común en ingeniería de mantenimiento. Para validar este ajuste, se aplicó una prueba de bondad estadística (prueba de Mann), que confirmó la validez de la distribución usada.

El plan de mantenimiento resultante se basó en una comparación económica entre el

escenario actual (mantenimiento correctivo) y una propuesta con intervenciones preventivas optimizadas, proyectando las acciones en un horizonte de tres años. Los resultados mostraron que la implementación del plan no solo reduce los costos de mantenimiento, sino que también incrementa significativamente la disponibilidad operativa de la MP20, lo que repercute directamente en la productividad de la planta.

Se abordó el impacto organizacional de estas estrategias, considerando aspectos como mano de obra, disponibilidad de repuestos, tiempos de intervención y recursos del área de planificación y confiabilidad. La propuesta no solo logra cumplir los objetivos planteados, sino que ofrece una metodología replicable para otras máquinas o plantas similares, entregando herramientas prácticas para mejorar la toma de decisiones en la gestión del mantenimiento industrial.

Este trabajo demuestra cómo un enfoque basado en confiabilidad, apoyado por análisis de datos históricos y evaluación económica, puede ser clave para diseñar planes de mantenimiento efectivos, reducir paradas no planificadas y optimizar la gestión de activos en entornos industriales de alta demanda operativa como lo es el sector papelerero.

Antecedente N° 5.

Institución: Universidad Cesar Vallejo, Perú

Título: Aplicación del TPM para incrementar la eficiencia global de los equipos en la empresa volcotech Ingeniería y Servicios E.I.R.L, ATE, 2022

Autores: Marianela Yoselin Rodríguez Barboza, Zurman Palacios Pino

Año:2022

Este trabajo de investigación realizado en la empresa Volcotech Ingeniería y Servicios EIRL tiene como propósito determinar cómo la implementación del Mantenimiento Productivo Total (TPM) podía contribuir al incremento de la eficiencia global de las máquinas de termofusión. La empresa se dedicada a brindar servicios de mantenimiento de maquinaria y a la instalación de geosintéticos y tuberías de HDPE, presenta deficiencias importantes en su gestión de mantenimiento, reflejadas en paradas frecuentes de equipos, baja productividad y pérdida de confianza por parte de sus clientes.

La investigación se realiza a nivel descriptivo, de largo plazo y descriptivo. Esto es casi-experimental y utiliza un procedimiento deductivo. Se recogieron datos durante un periodo de 12 semanas antes y después de aplicar la propuesta de TPM, haciendo uso de herramientas como fichas de registro, informes diarios, observaciones directas y análisis estadístico con el software SPSS.

Además, se emplearon herramientas de calidad como el Diagrama de Ishikawa y el Diagrama de Pareto para identificar y clasificar las causas raíz de los problemas en la operación de las máquinas.

Los resultados demostraron una mejora significativa en los indicadores clave del OEE (Eficiencia Global de los Equipos). La eficiencia general aumentó del 48,99 % al 68,91 %, evidenciando avances tanto en la disponibilidad como en el rendimiento y la calidad del producto. La disponibilidad de las máquinas se incrementó notablemente gracias a la implementación de rutinas de mantenimiento autónomo y preventivo, sumado a la capacitación del personal operativo. El rendimiento de los equipos mejoró en un 4,07 %, mientras que la calidad del producto final incrementó en un 4,65 %.

El trabajo sugiere continuar con la aplicación de TPM en otras áreas de la empresa, reforzar la formación del personal, institucionalizar buenas prácticas como las 5S, y mantener un seguimiento constante de los indicadores de mantenimiento.

Antecedente N° 6.

Institución: Universidad Nacional de Colombia.

Título: Implementación de un plan de mantenimiento integral para una planta de embotellado

Autores: Juan Daniel Díaz Marín

Año:2024

Este trabajo se desarrolló en la empresa Drinks de Colombia S.A.S., ubicada en Girardota, Antioquia, la cual se dedica a la producción de bebidas no alcohólicas y embotellado de aguas minerales. A pesar de su crecimiento sostenido en los últimos años, la planta enfrentaba serios problemas relacionados con la falta de planificación en su sistema de mantenimiento, que era mayoritariamente correctivo. Esta situación generaba constantes paradas inesperadas, baja disponibilidad de equipos, demoras por falta de repuestos, y un uso empírico e informal de las actividades de lubricación, todo lo cual impactaba negativamente la eficiencia operativa y aumentaba considerablemente los costos.

Con el fin de enfrentar estos desafíos, se propuso e implementó un plan de mantenimiento preventivo y de lubricación, tomando como base la metodología del Mantenimiento Productivo Total (TPM). Se realizó un diagnóstico integral del estado de las líneas de producción, priorizando los equipos de mayor criticidad, y se aplicó un análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) para identificar las principales causas de averías y sus consecuencias.

Los resultados fueron bastante positivos ya que se incrementó la eficiencia de producción de la línea más crítica, pasando de un 57% a un 74%, se redujeron las paradas inesperadas hasta en un 70%, y se logró disminuir los costos de mantenimiento y lubricación en aproximadamente 70 millones de pesos. Además, la implementación del software de mantenimiento “Mántum” permitió sistematizar las actividades, generar datos históricos y establecer un enfoque de mantenimiento proactivo.

El proyecto no solo mejoró los indicadores técnicos de la planta, sino que también promovió la participación del personal operativo y de mantenimiento, al integrar sus conocimientos en la construcción del plan, y al establecer un programa de capacitación técnica que fortalece la cultura organizacional en torno al mantenimiento. Gracias a este enfoque integral, se abrió la posibilidad de extender la metodología a otras líneas de producción y a nuevas adquisiciones de maquinaria, con lo cual se espera mantener un crecimiento sostenido y una mayor competitividad en el mercado.

Antecedentes nacionales

Antecedente N° 1.

Institución: Universidad Internacional de las Américas, Costa Rica.

Título: Propuesta de un programa de mantenimiento productivo total (TPM) en el taller de mantenimiento automotriz de concretera nacional

Autor: Deivel Ramirez Solis

Año:2023

En esta tesis se rediseña el plan de mantenimiento, el cual presenta una serie de oportunidades de mejora que afectan directamente la disponibilidad de los camiones afectando la operación diaria de la empresa.

El taller de mantenimiento automotriz tiene una relación directa con el departamento de programación y despacho, que depende de la disponibilidad de los camiones para cumplir con la planificación de entregas. Esta dependencia ha generado una presión constante hacia el taller, llevándolo a omitir ciertas fallas menores o a reprogramar mantenimientos, decisiones que con el tiempo derivan en fallas mayores y un incremento de trabajos correctivos. Aunque existe un plan de mantenimiento preventivo, se ha detectado que la clasificación de los trabajos no siempre es clara, confundiendo hallazgos preventivos con reparaciones correctivas, lo cual distorsiona las estadísticas y dificulta la toma de decisiones.

El taller no cuenta con indicadores adecuados para medir la eficiencia del mantenimiento,

la ausencia de un inventario actualizado de repuestos críticos y una administración ineficiente de los tiempos de trabajo del personal técnico. Estos aspectos han contribuido al aumento de los costos operativos, a la baja disponibilidad de equipos y a una logística deficiente, especialmente en proyectos ubicados fuera del Gran Área Metropolitana.

Lo cual surge la necesidad de rediseñar el programa de mantenimiento actual, incorporando herramientas de gestión más efectivas y estableciendo un enfoque basado en la metodología del Mantenimiento Productivo Total (TPM). Esta metodología no solo busca mejorar la disponibilidad y productividad de los equipos, sino también fomentar una cultura de mejora continua, mayor control de fallas, reducción de costos y fortalecimiento de la comunicación entre las áreas involucradas.

Este proyecto propone un rediseño estructurado y gradual del programa de mantenimiento, el cual incluye etapas claras de implementación y responsabilidades compartidas con la empresa. La intención es avanzar hacia un modelo más eficiente y sostenible que permita mejorar el desempeño del taller automotriz, reducir los tiempos no operativos, optimizar los recursos disponibles y contribuir de forma directa a la competitividad de Concretera Nacional.

Antecedente N° 2.

Institución: Instituto Tecnológico de Costa Rica

Título: Diseño del Modelo de Gestión de Mantenimiento para los equipos mineros de la Mina La Chilena en Holcim Costa Rica

Autores: Antonio de Jesús Solano Álvarez

Año: 2020

En este trabajo la empresa Holcim y su operación en la mina La Chilena, tiene como principal reto la gestión eficiente del mantenimiento de los equipos móviles mineros. La ausencia de un sistema estructurado y digitalizado que permita registrar, analizar y proyectar los costos totales de mantenimiento ha generado limitaciones para evaluar adecuadamente la rentabilidad del negocio minero.

La administración del mantenimiento en esta mina se realiza a través de hojas de cálculo en Microsoft Excel, lo cual es una herramienta insuficiente para las necesidades del área. Esta situación impide llevar un historial técnico adecuado de los equipos, no permite una trazabilidad confiable de las actividades realizadas y dificulta la elaboración de un presupuesto realista que refleje los costos de operación y mantenimiento. Por lo cual no se pueden tomar decisiones basadas

en datos precisos, lo que compromete tanto la eficiencia operativa como la sostenibilidad financiera de la actividad minera.

El mantenimiento en la industria minera no solo es uno de los mayores componentes del costo operativo, sino también un factor clave para garantizar la disponibilidad, confiabilidad y seguridad de los equipos. Lo que resulta importante adoptar un modelo de gestión de mantenimiento que no solo permita planificar y ejecutar estrategias preventivas, predictivas y correctivas, sino que también facilite una visión clara del impacto financiero de estas actividades.

Este proyecto propone diseñar un modelo de gestión del mantenimiento enfocado en establecer los costos totales asociados al mantenimiento de los equipos móviles de la mina. La solución incluirá la aplicación de un análisis de modos y efectos de falla, así como la evaluación de la sostenibilidad del modelo a través de un Cuadro de Mando Integral. Esta iniciativa busca transformar el enfoque tradicional del mantenimiento, posicionándolo como una herramienta estratégica para la toma de decisiones, el control presupuestario y la mejora continua en la operación minera.

Antecedente N° 3.

Institución: Universidad Internacional de las Américas, Costa Rica.

Título: Propuesta de mantenimiento preventivo para la máquina multi en la empresa Coloplast.

Autor: Jenniffer Portugués Meoño

Año:2023

En este trabajo de investigación la empresa Coloplast S.A. La cual, dentro de la planta de producción, se identifica un problema relevante en el área de producción de piezas multi, específicamente relacionada con la gestión del mantenimiento de las máquinas encargadas de producir dichas piezas.

En la cual observan que las máquinas multi presentan paros frecuentes, lo que provoca retrasos en la producción, también genera una cantidad significativa de piezas defectuosas, afectando directamente la calidad del producto final. Una de las causas principales de estos paros es la falta de un plan de mantenimiento preventivo estructurado y la poca capacitación del personal en temas de mantenimiento básico. Además, se identificó que la empresa cuenta únicamente con tres técnicos por turno para atender siete máquinas, lo cual dificulta mantener una atención adecuada a cada equipo.

En base a esta situación surge la necesidad de proponer un programa de mantenimiento preventivo que permita mejorar la eficiencia de las máquinas multi, reducir el tiempo de inactividad, y garantizar una producción más estable y confiable. Esta propuesta busca también incluir a los operarios en labores de mantenimiento autónomo, con el fin de evitar depender exclusivamente del equipo técnico.

Como parte del proyecto también incluye la elaboración de un cronograma de mantenimiento detallado, la capacitación periódica del personal, la documentación de las actividades realizadas y la asignación de responsables por cada tarea, con el objetivo de garantizar el cumplimiento y la trazabilidad del programa. Se propone establecer métricas de desempeño que permitan evaluar si los objetivos se están cumpliendo de forma efectiva.

Con este proyecto se espera no solo reducir la cantidad de paros y defectos en la producción, sino también mejorar el ambiente laboral, al dar herramientas concretas al personal de planta para enfrentar fallas comunes y minimizar el desperdicio de materia prima.

Antecedente N° 4.

Institución: Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica.

Título: Diseño de propuesta de modelo de gestión de mantenimiento para el Departamento de Mantenimiento de Gualapack Costa Rica S.A

Autor: Loren Dayana Salazar Quirós

Año: 2020

En este trabajo de investigación la empresa Gualapack Costa Rica S.A., a pesar de contar con una infraestructura sólida y personal capacitado, se ha identificado la necesidad de fortalecer su sistema de mantenimiento para asegurar la confiabilidad operativa y el cumplimiento de sus objetivos estratégicos.

El departamento de mantenimiento enfrenta diversas limitaciones relacionadas con la ausencia de un modelo de gestión estructurado. La cual quedo en evidenciado a través de una auditoría de calidad aplicada por Santiago García, la que permitió identificar oportunidades de mejora relevantes, principalmente en la administración de inventarios, el control de indicadores y la alineación de las actividades de mantenimiento con la visión organizacional.

Otro aspecto importante a tomar en cuenta en este trabajo es que las decisiones dentro del departamento tienden a ser tomadas de forma subjetiva, sin un criterio técnico o ingenieril que sustente adecuadamente las acciones. Esto ha limitado la capacidad de planificación, seguimiento

y mejora continua de los procesos de mantenimiento, así como la identificación de fallas recurrentes y su análisis detallado.

Se plantea el diseño de un modelo de gestión de mantenimiento que permita estandarizar procesos, distribuir responsabilidades, fomentar el trabajo en equipo y mejorar la toma de decisiones mediante información confiable. Un modelo de este tipo no solo contribuiría a optimizar el desempeño del departamento, sino que también generaría un impacto positivo en la sostenibilidad del negocio, al asegurar el cumplimiento de normativas como la ISO 9001:2008 y la UNE-EN 15341

Antecedente N° 5.

Institución: Universidad Técnica Nacional, Costa Rica.

Título: Diseño de un plan estratégico de mantenimiento basado en la filosofía TPM, para el área de planta de complejos en la empresa Fertica S.A., Costa Rica. En el periodo 2019-2020

Autores: Joshet Alberto Araya Martínez, Elí Zenén Jara Campos, Ana Gabriela Pastrana Arias

Año: 2020

En este trabajo la empresa Fertica S.A., presenta la necesidad de mejorar la eficiencia operativa de los equipos de producción, específicamente en el área de la planta de complejos. Con el objetivo de reducir averías, fallas, tiempos de paro y desperdicios, se desarrolló un proyecto enfocado en el diseño de un plan estratégico de mantenimiento bajo la filosofía del Mantenimiento Productivo Total (TPM).

La investigación tiene un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo) y un diseño correlacional. En el que se realizó un diagnóstico del estado actual de la planta, mediante herramientas como el diagrama de Ishikawa, análisis de históricos de mantenimiento, cálculo del OEE y listas de chequeo basadas en los pilares del TPM. Este diagnóstico permitió identificar equipos críticos y causas frecuentes de fallas.

Mediante los hallazgos se diseñó una propuesta que incluyó fichas técnicas, manuales de procedimientos, cronogramas de mantenimiento y un plan estructurado con actividades periódicas (diarias, semanales, mensuales, etc.). Se estimó una reducción del 15% en los tiempos de mantenimiento correctivo, logrando un ahorro de 36,7 horas mensuales y un incremento de la producción estimado en 477,17 toneladas métricas, lo cual representó un ahorro económico de

\$35.787,38 mensuales.

Unos de los principales alcances de este proyecto se destacan la mejora en la gestión del mantenimiento, la implementación de indicadores clave como el OEE, y el diseño de un plan preventivo para los equipos más críticos. Las principales limitaciones fueron el acceso restringido a la planta por la pandemia, la falta de registros históricos precisos y la ausencia de indicadores de tiempos de paro.

Este estudio demostró que la aplicación de la filosofía TPM puede generar beneficios significativos en términos de productividad, eficiencia operativa y ahorro económico, consolidando la importancia de una gestión de mantenimiento estructurada en entornos industriales.

Antecedente N° 6.

Institución: Universidad Técnica Nacional, Costa Rica.

Título: Estudio del beneficio del plan de mantenimiento basado en la confiabilidad RCM con el aporte de un programa de lubricación, en el sistema turbogenerador de una central hidroeléctrica.

Autor: Jason David Badilla Mora

Año:2022

En este proyecto desarrollado por Coopelesca R.L., se evidenció el impacto positivo de implementar un programa de lubricación basado en análisis de aceite como complemento al mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en sus centrales hidroeléctricas. El estudio se enfocó en mejorar la disponibilidad operativa del sistema turbogenerador, reducir fallas asociadas con los sistemas hidráulicos, y proporcionar herramientas precisas para la toma de decisiones en mantenimiento.

El programa fue diseñado conforme a normativas ASTM y lineamientos de Noria Corporation, identificando equipos críticos, definiendo parámetros de salud, contaminación y desgaste (SACODE), estableciendo límites condenatorios, frecuencias de muestreo y métodos estandarizados de toma de muestras. Se integraron además tecnologías no invasivas como termografía y análisis de vibraciones, logrando una sinergia efectiva para el monitoreo de condición.

Mediante un modelo estadístico en el software Wolfram, se estimó una mejora del 35,74 % ($\pm 2,75$ %) en la disponibilidad de los equipos, con un ahorro anual de aproximadamente ₡15,5 millones, y un retorno de inversión en menos de 10 meses. El análisis de fallas históricas demostró

que muchas de ellas se debieron a prácticas inadecuadas en el manejo y almacenamiento de lubricantes, lo cual afectó significativamente la confiabilidad del sistema.

Este proyecto respalda la importancia de incluir el análisis de aceite como pilar del mantenimiento proactivo, reforzando la confiabilidad y eficiencia de los activos críticos sin necesidad de interrumpir la operación.

Alcances

- Se enfoca exclusivamente en la línea de producción de metal expandido ANBER2 (EXP-02)
- Incluye los tres equipos principales: Desbobinadora (DES-02), Máquina Expandidora (EXP-02) y Molino Aplanchador (PLA-02)
- Excluye equipos auxiliares y otras líneas de producción de la empresa
- El diagnóstico se basó en datos del período julio-octubre 2025

Proyecciones

- La capacitación continua del personal operativo y técnico, enfocada en mantenimiento autónomo, buenas prácticas de lubricación, seguridad industrial y manejo de equipos críticos.
- La digitalización de las actividades de mantenimiento, que permita registrar, programar y monitorear las tareas preventivas de forma más eficiente.
- El fortalecimiento de la comunicación interdepartamental entre producción y mantenimiento, mediante reuniones de seguimiento, indicadores compartidos y metas conjuntas.
- La implementación del programa TPM en otras líneas de producción, aprovechando la experiencia adquirida en la línea de metal expandido.

Limitaciones

- Se tiene el acceso a datos históricos sobre fallas, sin embargo, dichos registros no siempre fueron completos ni actualizados, lo cual representa una limitación importante para realizar análisis cuantitativos más rigurosos y tendencias de fallas más precisas.
- La carga operativa del personal de producción y mantenimiento, especialmente con la implementación del segundo turno, limitó el tiempo disponible para realizar entrevistas en profundidad y sesiones de observación continua.
- Debido al constante crecimiento de la empresa y a la falta de espacio algunas partes críticas de las máquinas tienen difícil acceso para inspecciones, lubricación o ajustes y para trabajos más grandes requiere que las máquinas sean movidas de lugar. Esta condición limita la

frecuencia o profundidad de ciertas tareas de mantenimiento preventivo y puede aumentar los tiempos de intervención o provocar omisiones involuntarias.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan las bases teóricas que sustentan la investigación, con el propósito de contextualizar el mantenimiento industrial y en especial el enfoque del Mantenimiento Productivo Total (TPM), apoyando el cumplimiento de los objetivos específicos del estudio.

Hasta finales del siglo XVII, el mantenimiento no era considerado una práctica relevante, ya que el trabajo humano tenía mayor protagonismo que las máquinas. Antes de 1880, se estimaba que el 90% del trabajo era realizado por personas y solo el 10% por equipos mecánicos. Por lo tanto, las acciones de mantenimiento eran únicamente correctivas, limitándose a reparaciones cuando se presentaban fallas importantes (Villanueva, 2014).

Según (Montilla, 2019) el mantenimiento es una disciplina que soporta constantemente el desenvolvimiento de los sistemas productivos modernos. Su aplicación mínima comienza con tareas tan sencillas como orden, aseo, lubricación básica y ajustes menores, pasando paulatinamente a niveles más avanzados como rutas de inspección y lubricación, mediciones puntuales con instrumentos especializados y mediciones totales u online, con sistemas de adquisición de datos, todo ello acompañado de procesos técnico-administrativos, soportados cada vez más por las tecnologías de la informática y las telecomunicaciones TIC.

1. Definiciones básicas

Montilla Montaña (2019) define los siguientes conceptos fundamentales:

1.1. Máquina

Conjunto de elementos móviles y fijos, cuyo funcionamiento posibilita aprovechar, dirigir, regular o transformar energía, o realizar un trabajo con un fin determinado. Regularmente, en el ámbito industrial, se asume que una máquina entrega algún tipo de producto tangible, es decir, transforma una materia prima en una pieza verde, o una pieza verde en un producto semiterminado o terminado. Ejemplos: tornos, fresadoras, máquina de corte con láser, etc. (p. 28)

1.2. Equipo

Colección de utensilios, instrumentos y aparatos especiales para un fin determinado (por ejemplo, “equipo quirúrgico”, “equipo de salvamento”, etc.). También recibe el nombre de equipo cada uno de los elementos de dicho conjunto. Regularmente, en el ámbito industrial, se asume que un equipo presta un servicio o modifica las propiedades de la materia prima/pieza

verde/producto semi o terminado que transite por él. Ejemplos: equipos de ventilación, acondicionadores de aire, de cómputo, para temple de piezas, etc. (p. 28)

1.3. Definición de proceso

Conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados. Los elementos de entrada para un proceso son generalmente, resultados de otros procesos.

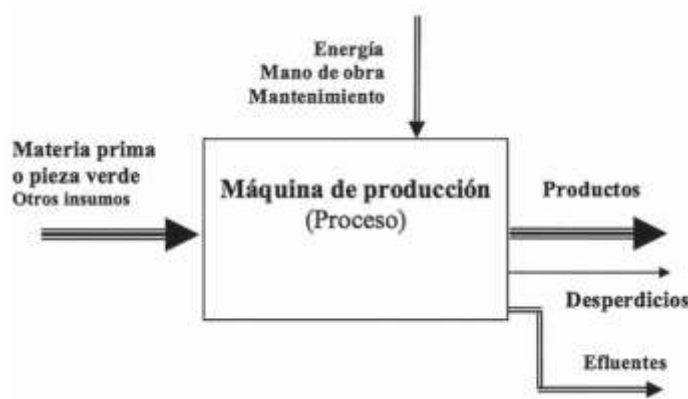


Ilustración 1 Esquema general de entradas y salidas de una máquina

Fuente: (Montilla, 2019)

1.4. Falla

Toda condición que afecta la operación normal de una máquina o equipo. (p. 29)

1.5. Falla funcional

Tipo de falla que impide que una máquina/equipo, continúe en operación (ocurre avería mayor). (p. 29)

1.6. Falla potencial.

Tipo de falla que no inhabilita a la máquina o equipo para que opere, pero en determinado momento propicia las condiciones para que ocurra una varada. En otras palabras, una falla potencial es una falla funcional en gestación. Estado teórico o nominal de una máquina/equipo. Aquella condición operativa y de funcionamiento que debe poseer una máquina/equipo cuando sale de fábrica; el estado teórico debe ser redefinido en la medida que el equipo haya trabajado x cantidad de tiempo, debido a que sufre una degradación normal que aleja su nivel de rendimiento de la inicial, en este caso se habla de estado nominal (p. 29)

1.7. Estado real de una máquina o equipo.

Aquel estado que exhibe la máquina o equipo en cualquier momento de su operación. El estado real puede coincidir o no, con los estados teórico y nominal. (p. 30)

Jean Ruffier (1998), en su libro La eficiencia productiva, define los siguientes conceptos

1.8. Eficiencia y eficacia

La eficiencia productiva es el nivel de aptitud obtenida en la capacidad de movilizar los recursos humanos y no humanos para producir objetos o servicios acordes con las formas y los costos que la demanda requiere

1.8.1. ¿Qué es eficacia?

La eficacia hace referencia a la capacidad que tienen las personas, empleados o procesos para poder conseguir aquello que se proponen, independientemente del número de recursos empleados.

1.8.2. ¿Qué es la eficiencia?

Se define como la relación existente entre los recursos que son empleados para un proyecto y los logros que son obtenidos por medio de éste. Asimismo, la eficiencia se consigue en aquellos casos en los que se utiliza un menor número de recursos para poder conseguir un mismo objetivo. O bien, todo lo contrario, cuando se alcanza un mayor número de objetivos haciendo uso de los mismos recursos.

1.9. ¿Qué es una línea productiva o producción en línea?

Es un conjunto de operaciones secuenciales en las que se organiza un proceso para la fabricación de un producto. Ahora bien, para la producción de un gran número de unidades del mismo artículo se requiere organizar un montaje en serie de las distintas operaciones requeridas para su transformación de materias prima en este. Lo anterior, implica la organización del proceso en fases y operaciones que se asignan individualmente o por grupos de trabajo.

Seguidamente, la asignación se hace a trabajadores y/o a maquinaria y/o herramientas en cada fase u operación. Por lo que la producción en línea también requiere de operarios especializados en las diferentes fases u operaciones. Otra característica de la producción en línea es que las sistematizaciones se hacen por separado hasta llegar al montaje final de todas ellas para terminar la fabricación del producto.

Para la producción en línea se requiere organizar físicamente en línea los puestos de trabajo.

De esta manera la organización física del espacio es coherente con el orden de las operaciones. Por lo tanto, organiza la producción en paquetes en función de las operaciones a realizar. La especialización de las máquinas y los trabajadores. Por último, por la organización física de la línea de producción en coherencia con el orden de las operaciones; todo esto repercute en un menor tiempo de producción y una mayor productividad.

2. Objetivos básicos del mantenimiento

Uno de los principales objetivos del mantenimiento industrial es reducir las fallas funcionales, ya que estas pueden generar múltiples consecuencias negativas que afectan la productividad, los costos operativos y la reputación de la empresa

Montilla Montaña (2019) señala que

1.1. Reducir las fallas funcionales (paradas imprevistas) de los equipos, y los costos asociados a ellas

Los equipos y máquinas dentro de una planta están diseñados para operar a una cierta velocidad o tasa de producción, ya sea en metros cúbicos por hora (m^3/h), toneladas por hora (ton/h) o piezas por hora, dependiendo del tipo de proceso. Esta producción puede clasificarse como discreta, continua o una mezcla de ambas. Hablamos de producción discreta cuando se fabrican piezas o productos por lotes, como ocurre en una ensambladora de motocicletas o en una inyectora de plástico. En cambio, la producción continua se da cuando el proceso opera con un flujo constante de material, como el caso de una refinería que produce barriles por día o una planta de tratamiento de agua que trabaja en m^3 por día.

Cuando ocurre una falla funcional en una máquina, sus consecuencias dependen en gran parte de cómo está distribuida la planta. Esta distribución influye directamente en el impacto que puede tener la falla. Algunos de los efectos y consecuencias que acarrea una falla funcional son:

- Detención de la producción
- Pérdidas de materia prima y producto en proceso
- Defectos de calidad
- Riesgo de accidente laboral
- Riesgo de daño al medio ambiente
- Incremento de gastos por repuestos y mano de obra de mantenimiento correctivo de emergencia (que regularmente son mayores si la reparación se hubiese hecho a tiempo)

- Incumplimiento a los clientes
- Lucro cesante durante el tiempo que demora la reparación de la Planta
- Incremento del consumo de energía en el re-arranque una vez terminada la reparación
- Horas extras de personal de producción para culminar los pedidos
- Pérdida de productividad por desmotivación del personal
- Afectación al buen nombre de la empresa (p. 36)

1.2. Asegurar unos costos operativos razonables de los equipos, y procurar mejoras de ellos

Cita corta Los costos de operación (CO) son aquellos en que se incurre cuando se hace uso de la máquina o equipo para producir un bien o servicio.

El área de mantenimiento juega un papel fundamental para lograr que los costos de operación se mantengan dentro de niveles razonables. Una de las formas en que lo hace es brindando asesoría al personal de operación, promoviendo el uso de buenas prácticas de manufactura.

El mantenimiento contribuye realizando un seguimiento detallado de los consumos de insumos como combustibles, lubricantes y filtros. También se monitorean los resultados de análisis de aceite en uso, con el fin de detectar posibles desviaciones. Cuando se identifican anomalías importantes, se toman acciones correctivas para evitar impactos mayores en los costos.

Otra forma en que mantenimiento apoya el control de costos es trabajando de la mano con el área de producción para establecer estándares de rendimiento para repuestos y componentes sujetos a desgaste, considerando condiciones de operación específicas. Este trabajo conjunto permite hacer comparaciones objetivas y tomar decisiones basadas en datos reales.

Es importante destacar que una empresa que busca mantener el control de sus costos debe apoyarse en indicadores de gestión, los cuales permiten detectar a tiempo si los gastos se mantienen dentro de lo planificado o si se están desviando de los objetivos establecidos.

$$CO = Cco + Clu + CM + Crm + Cpd$$

Ecuación 1 Costo de operación de una máquina

Fuente: (Montilla, 2019)

Donde:

- CO es el costo de operación de una máquina o equipo
- Cco es el costo de los combustibles necesarios para la operación de la máquina (electricidad, gas, gasolina, ACPM, bagazo de caña, etc.)
- Clu es el costo asociado a la lubricación (aceites, grasas y filtros)
- CM es el costo de las labores rutinarias de Mantenimiento. Incluye mano de obra, repuestos (partes de recambio), herramientas y equipos para tal propósito
- Crm es el costo de las reparaciones mayores no rutinarias, por ejemplo, reparaciones anuales; también comprende las modificaciones del equipo, incluyendo mano de obra, repuestos, herramienta y equipo necesarios para tal propósito
- Cpd es el costo de las partes de desgaste, es decir las partes que entran en contacto con la materia prima, pieza verde o producto semi terminado e inevitablemente van a perder peso, forma, tamaño, etc. Ejemplos: cuerpos molidores, troqueles, cuchillas de corte, llantas, pastillas para frenos, etc. (p. 37)

1.3. Maximizar la inversión en Planta y equipos, asegurando el cumplimiento de mínimo su vida útil esperada

Cuando una empresa adquiere una máquina o equipo, normalmente se realiza una proyección de costos basada en una vida útil estimada de varios años, considerando una determinada tasa de producción y unos costos operativos (CO) asociados. Además, durante cada periodo contable, es necesario hacer una provisión contable correspondiente a una parte del Valor de Reposición Nuevo (VRN).

La idea es que, al final de la vida útil del equipo, la inversión inicial se haya recuperado por completo gracias a su operación productiva, y que exista también el respaldo financiero necesario para adquirir su reemplazo sin afectar la estabilidad económica de la empresa.

Para comprender este objetivo es necesario hablar del Costo de Posesión CP es decir el costo en que se incurre por el sólo hecho de adquirir la máquina o equipo y tenerla en la empresa, así opere o no.

$$CP = VRN + DP + SI$$

Ecuación 2 Costo de posesión de una máquina

Fuente: (Montilla, 2019)

Donde:

- CP es el costo de posesión de una máquina o equipo
- VRN es el valor de reposición o nuevo, es el costo del equipo al momento de la adquisición o el costo de reponer el equipo una vez que llegó al final de su vida útil.
- DP es la depreciación o reducción paulatina de valor que sufre una máquina debido al deterioro normal que sufre durante su operación.
- SI es el valor de las pólizas de seguros de toda índole e impuestos que se deben pagar por la posesión del equipo. (p. 39)

1.4. Garantizar que las máquinas o equipos operen de manera segura para los usuarios y para el medio ambiente

No basta con asegurar que los equipos funcionen correctamente, también es fundamental que lo hagan de forma segura para los operarios y sin causar impactos negativos al medio ambiente. Si los equipos generan emisiones o efluentes que superan los límites establecidos por las autoridades ambientales, la empresa se expone a multas, sanciones e incluso al riesgo de cierre de operaciones.

Por esta razón, el área de mantenimiento debe trabajar bajo el cumplimiento de normativas reconocidas, como las normas ISO 14000 en materia ambiental, las OHSAS 18000 en seguridad industrial y salud ocupacional, y la ISO 31000 para la gestión de riesgos. Aplicar estas normativas permite garantizar no solo el correcto funcionamiento de los equipos, sino también la protección del bienestar físico, mental y emocional de los trabajadores, al mismo tiempo que se contribuye a la conservación del medio ambiente. (p. 43)

3. Acciones básicas del mantenimiento

Por compleja que sea la estructura de Mantenimiento en una organización, su operación siempre podrá desagregarse en acciones básicas.

Administrativa	Planear	Elaborar presupuestos generales
		Recomendar cambio maquina o equipo
		Seleccionar equipos o maquina
Administrativa	Programar	Cronograma actividades

		Instrucción actividad
		Insumos, repuestos, herramientas
		Tiempo de ejecutante
Operativa	Ejecutar	Instalar
		Poner a punto (ajustar)
		Calibrar
		Inspeccionar
Operativa	Ejecutar	Limpiar
		Lubricar
		Cambiar
		Reparar
		Modificar
Operativa	Medir	Recolectar y procesar información de campo
Administrativa		Elaborar indicadores
Administrativa		Registrar actividades desarrolladas
Administrativa	Controlar	Comparar resultados obtenidos versus lo planeado, y tomar decisiones (revisar y ajustar los planes)

Tabla 1 Actividades básicas del Mantenimiento

Fuente: (Montilla, 2019)

4. Tipos de Mantenimientos

Sánchez (2006) clasifica el mantenimiento de manera más generalizada diciendo que “Existen varios tipos de mantenimiento con diferencias en cuanto a objetivos, planificación, recursos necesarios, etc. En la actualidad, en las grandes industrias, ninguna de estos tipos se utiliza exclusivamente, sino que se realiza un mantenimiento planificado que combina los diferentes tipos con el objetivo de optimizar los costes globales y la disponibilidad de los equipos”

Montilla Montaña (2019) clasifica los mantenimientos de la siguiente manera:

4.1. Mantenimiento Correctivo

Sistema de mantenimiento en el que se interviene un equipo una vez que ha ocurrido una falla funcional o que se hace evidente que va a ocurrir una avería mayor (falla potencial).

Correctivo de emergencia tiene lugar cuando ocurre una falla funcional dentro de la jornada

de producción de la empresa, y generalmente detiene o trastorna la producción. Puede generar pérdidas de producción, accidentes laborales, incumplimientos a los clientes, problemas de calidad, daños ambientales.

4.1.1. Ventajas

- No implica detalladas planificaciones o programaciones
- No exige organización técnico-administrativo
- En el corto plazo es un sistema de mantenimiento económico

4.1.2. Desventajas

- Conlleva a la ocurrencia de fallas funcionales, con todas las consecuencias que ello acarrea
- Se les infringen daños y desgastes sistemáticos y prematuros a las maquinas o equipos. Se acorta su vida útil
- En el mediano y largo plazo es muy costoso (p. 44)

4.2. Mantenimiento Preventivo

Es un sistema de Mantenimiento cuyo objetivo esencial es prevenir la ocurrencia de fallas en un sistema productivo, con base en la ejecución de unas tareas básicas (Observar, Inspeccionar, calibrar, ajustar, cambiar, lubricar, reparar, etc.), a unas frecuencias predeterminadas, asociadas a cada ciclo productivo en particular. La ejecución de las tareas básicas puede indicar la necesidad de realizar tareas programadas adicionales (mantenimiento correctivo programado, modificaciones, overhaul, etc.).

4.2.1. Ventajas

- Aumenta la confiabilidad de las maquinas o equipo puesto que operan en mejores condiciones de seguridad, ya que se conoce su estado y sus condiciones de funcionamiento
- Uniformidad en la carga de trabajo para el personal de mantenimiento debido a una programación de actividades
- Mayor duración de los equipos e instalaciones, disminución de repuestos en existencia y los costos asociados
- Disminución del tiempo muerto, tiempo de parada de máquinas y equipos
- Menor costo de las reparaciones

4.2.2. Desventajas

- Implica realizar una inversión inicial y sostenida en infraestructura y mano de obra
- Si no se priorizan y eligen adecuadamente la cantidad y profundidad de las tareas de mantenimiento, se llegan a generar sobrecargas de trabajo que no aportan al desempeño y rendimiento de las maquinas
- Alto costo en inspecciones (p. 48)

4.3. Mantenimiento Predictivo

Se basa en estudiar los síntomas de falla y predecir la ocurrencia de la falla de una máquina o equipo, midiendo y analizando los cambios en las variables de operación de esta. El Mantenimiento Predictivo es una fase avanzada del Preventivo, y se efectúan por un lado ensayos o pruebas sobre partes de las máquinas o equipos, y complementariamente se hacen mediciones de variables de operación.

El Mantenimiento predictivo se apoya en tecnologías y técnicas específicas tales como: Análisis de vibraciones, termografías, análisis de aceites en uso, ensayo de tintas penetrantes, ultrasonidos, rayos X, ensayos con partículas magnéticas, etc.

4.3.1. Ventajas

- Brinda una alta posibilidad de anticiparse a la ocurrencia de las fallas, ya que se evidencia la gestación de esta, en la medida que la variable de referencia se salga de control
- Muchas de los ensayos, pruebas y mediciones se hacen con la maquina en operación, por lo tanto, la afectación al proceso productivo es mínima
- Reducción de los tiempos de intervención del equipo, El equipo se interviene cuando las pruebas y ensayos confirman que hay falla en gestación

4.3.2. Desventajas

- Muchas de sus técnicas y ensayos implican inversión en equipo costoso
- Implica disponer de personal calificado tanto para la utilización del equipo como para el análisis de la información
- Muchas de las técnicas y ensayos del PdM pueden indicar la falla en gestación, pero no su causa, por lo que es fundamental la labor de personal calificado (p. 48)

4.4. Mantenimiento Programado

Es aquel que se ejecuta deteniendo el equipo cada que se cumpla un lapso predeterminado, procediendo luego a llevar unas actividades de limpieza, lubricación, desarme, cambio de partes de recambio y posterior rearme, generalmente el lapso es el recomendado por el fabricante del equipo, desconociendo la cantidad e intensidad real de trabajo que haya efectuado el equipo. El Mantenimiento programado presupone falsamente que las partes se desgastan y deterioran de la misma manera y a la misma velocidad.

4.4.1. Ventajas

- Es más científico que el mantenimiento correctivo
- Se anticipa y reduce la ocurrencia de fallas funcionales

4.4.2. Desventajas

- Se van introduciendo perdidas sucesivas de los ajustes de fabrica a la maquina debido a los continuos desarmes del equipo, lo que puede ser contraproducente en le mediano y largo plazo
- Genera sobrecostos puesto que las partes se cambian estén o no lo suficientemente desgastadas (p. 46)

4.5. Mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) es una estrategia que se utiliza para decidir qué tipo de mantenimiento aplicar a cada equipo, dependiendo de qué tan importante sea su función dentro del proceso de producción. Este tipo de mantenimiento se enfoca en prevenir fallas que puedan afectar la seguridad, el medio ambiente o la operación continua de la planta. El objetivo principal del RCM es mantener los equipos funcionando de manera confiable, evaluando los posibles modos de falla y sus consecuencias, según Montilla (2019) lo define como:

RCM es una filosofía de gestión de Mantenimiento, que optimiza la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, en función de cuán críticos son los activos, tomando en cuenta los posibles efectos que originarán los modos de falla de dichos activos, sobre la seguridad, al ambiente, a las operaciones. En este sistema de mantenimiento se pone especial énfasis en el funcionamiento global del sistema, más que en el de cada máquina o equipo individualmente, un equipo no es intrínsecamente importante, sino por la función que desempeñe dentro de un proceso productivo. En RCM

la palabra clave es la Confiabilidad o Fiabilidad. La Confiabilidad de un equipo es posible evaluarla en términos cuantitativos, tal como lo indica la fórmula. El conocimiento de la confiabilidad y la disponibilidad de un equipo permiten planear la producción e incluso disponer de planes de contingencia.

$$TPEF = \frac{Top}{Narr}$$

Ecuación 3 tiempo promedio entre fallas

Fuente: (Montilla, 2019)

Donde:

- TPEF es la confiabilidad o tiempo promedio entre fallas
- Top es el tiempo real de operación de la planta
- Narr es el número de arranques de planta.

El RCM se apoya en estadísticas de falla, con las cuales se lleva a cabo un análisis de criticidad CA de las secciones o áreas de la planta y posteriormente se determina la criticidad de los subsistemas que conforman las máquinas/equipos, que hayan sido clasificados como críticos, aplicando una metodología de Análisis de Modo y Efecto de Falla AMEF (o FMEA por sus siglas en Inglés) obteniendo un parámetro llamado Número de Prioridad de Riesgo NPR; posteriormente, se pasa a determinar un plan de acción para dicho subsistema; el plan de acción puede indicar la aplicación de correctivo, preventivo, predictivo, instalar unidades redundantes o rediseñar el subsistema. (p. 52).

4.6. Mantenimiento Basado en el Riesgo RBM

Sistema de Mantenimiento de última generación, en el que se direccionan los recursos de mantenimiento hacia los equipos que un análisis probabilidad-riesgo determine que son los más riesgosos. El RBM es especialmente apto para ser aplicado en plantas cuya operación encarna alta peligrosidad, como las petroquímicas, nucleares, biológicas, etc. La ilustración 2 muestra de manera básica la esencia del RBM, el área verde indica que hay poca probabilidad de que una máquina o equipo A falle de manera catastrófica y en el caso que ocurriese, las consecuencias (sobre la salud, sobre el medio ambiente y sobre otros equipos) serían poco importantes. Por el contrario, para una máquina o equipo B, ubicado en la región roja indicaría una alta probabilidad

de que ocurra una falla catastrófica, y las consecuencias serían elevadas, por lo tanto, a la máquina B hay que aplicarle planes de acción más elaborados y asignarle mayores recursos que a la máquina A. En RBM se hace uso de Sistemas Integrados de Seguridad SIS, con el objetivo de llevar el Riesgo a niveles aceptables o tolerables (el Riesgo no se puede llevar a un valor cero).

A nivel industrial este tipo de mantenimiento lo desarrollan equipos multidisciplinarios de profesionales.

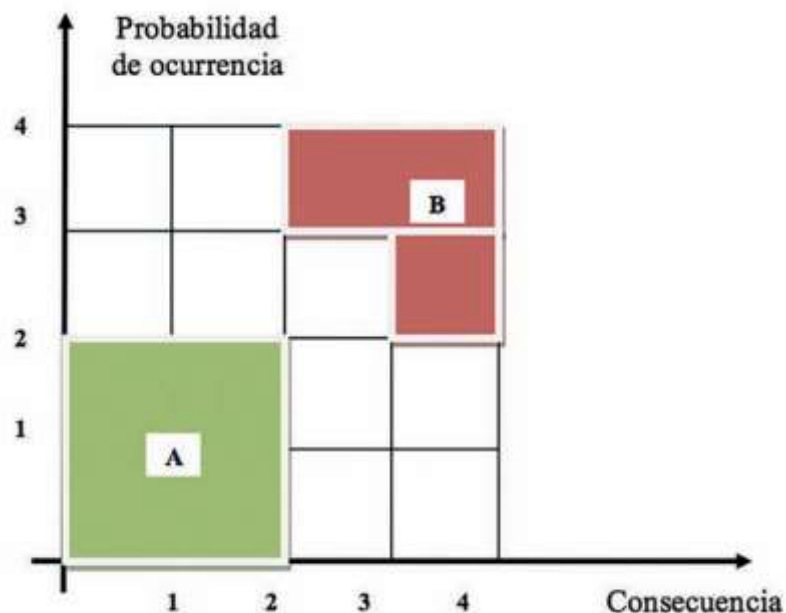


Ilustración 2 Esencia del Mantenimiento Basado en el Riesgo

Fuente: (Montilla, 2019)

5. Mantenimiento Productivo Total TPM

Más que un sistema de Mantenimiento es la aplicación de toda una filosofía empresarial y personal, que busca maximizar la productividad en los procesos productivos. La Productividad, es la maximización de la relación entre los resultados obtenidos versus los recursos empleados. Productividad no es producir más, sino producir bien, lo máximo con lo mínimo.

$$Pr = \frac{i}{r}$$

Ecuación 4 Maximización de la producción

Fuente: (Montilla, 2019)

Donde:

- P es la productividad o maximización de la producción
- i son los productos obtenidos
- r son los recursos empleados

El término TPM se puede desagregar y analizar la contribución de cada uno de sus componentes, para alcanzar el incremento de la productividad.

Mantenimiento: Conservación de las instalaciones en buen estado con acciones como reparar, limpiar, apretar, lubricar y dedicar tiempo a estas tareas básicas

Productivo: Destinado a la producción, con enfoque de no penalizarla. Noción de rendimiento-eficacia de las acciones de mantenimiento y mejora continuada.

Total: participación de toda la fuerza de trabajo de la empresa y considerando todos los aspectos relacionados a las máquinas/equipos

El TPM busca alcanzar sistemas altamente productivos, eliminando las seis grandes pérdidas que los aquejan (daños de las máquinas, tiempos de alistamiento largos, productos de mala calidad, máquinas funcionando en vacío o a baja velocidad, accidentes en la planta y emisiones contaminantes) y pretende alcanzar plantas con:

- Cero averías
- Cero setup o tiempo de alistamiento
- Cero defectos
- Cero despilfarros
- Cero accidentes
- Cero contaminaciones

En el TPM el operario del equipo toma un papel protagónico en el Mantenimiento Preventivo de su unidad productiva, y se compromete en el incremento de la productividad a la totalidad del personal de una empresa, incluyendo la alta gerencia; para tomar ese papel protagónico el operador debe ser sensibilizado y capacitado, para ejecutar tareas básicas contempladas en el Mantenimiento Autónomo, tales como:

- Limpieza
- Ajustes menores
- Lubricación

- Reportes

Una fase inicial del TPM es la implementación del sistema de las 5S (sistema de mejoramiento continuo), el cuál puede ser implementado en cualquier empresa, independiente de su tamaño y tecnología. Las 5S (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu y Shitsuke) están asociadas con orden, aseo y mejoramiento continuado (Montilla, 2019)

Según Montilla Montaña (2019) los define de la siguiente manera:

- **Seiri Seleccionar.** Eliminación de todo lo innecesario. Lo que no sirve estorba
- **Seiton Organizar.** Un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar. Es un principio de funcionalidad. Todo objeto que se utiliza en una labor debe volver a su sitio original.
- **Seiso Limpiar.** Retirar la suciedad acumulada de mi sitio de trabajo, incluyendo las máquinas. Esta limpieza deber hacerse tanto durante el tiempo de producción como al finalizar la jornada.
- **Seiketsu Estandarizar.** Una vez definidos y alcanzados los niveles de organización y limpieza, estos deben ser mantenidos en el tiempo, es decir, no ejecutar estas tareas sólo cuando haya visitas ilustres o cuando a los jefes se les ocurre darse una pasadita por la fábrica o las oficinas.
- **Shitsuke: Sostener.** Capacitar y concientizar a la gente para que de manera autónoma realice estas tareas cotidianamente. (p. 181-184).

5.1. Los ocho pilares fundamentales del TPM

Según Montilla Montaña (2019) para alcanzar una aplicación exitosa y continuada del TPM, se debe seguir la aplicación sistemática de los ocho pasos generales mostrados en la Ilustración 3

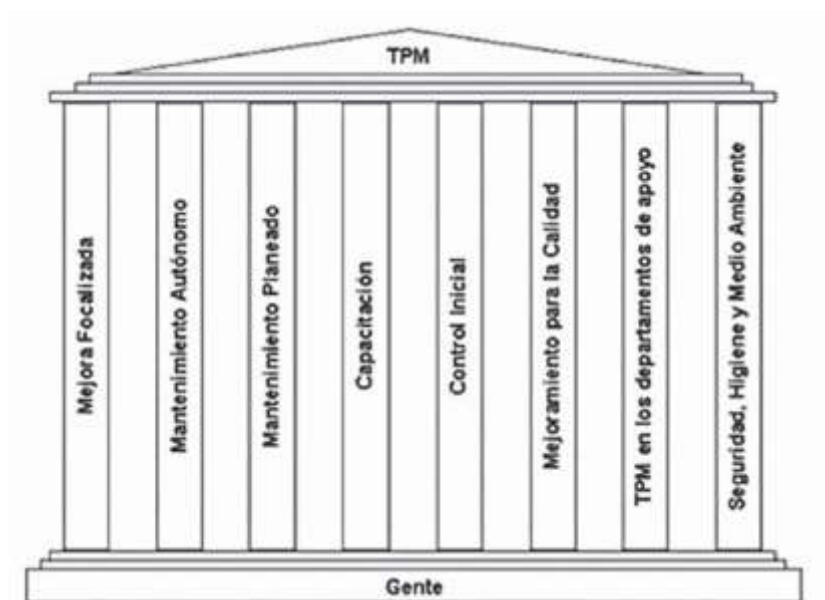


Ilustración 3 Los ocho pilares del TPM

Fuente: (Montilla, 2019)

5.1.1. Pilar 1 Mejora Focalizada.

Tiene como objetivo eliminar las grandes pérdidas del proceso productivo, gracias a la aplicación de metodologías que permitan llegar a la causa-raíz del problema, cuantificarlo, poner metas y alcanzarlas, así como conservar y transferir el conocimiento adquirido en este proceso.

5.1.2. Pilar 2 Mantenimiento autónomo.

Se busca hacer partícipe al operario de la conservación, mantenimiento y/o mejora de la máquina donde trabaja, de manera que pueda detectar a tiempo las fallas potenciales. El mantenimiento autónomo puede entre otros aspectos, prevenir la contaminación por agentes internos y externos, las roturas de ciertas piezas, los desplazamientos y los errores en la manipulación con sólo instruir al operario en limpiar, lubricar, revisar y reportar.

5.1.3. Pilar 3 Mantenimiento planeado.

Pretende mantener las máquinas o equipos y procesos en un estado óptimo, aplicando actividades sistemáticas y metódicas para construir y mejorar continuamente. Se procura que el operario diagnostique la falla mayor (de las menores se encarga él mismo de resolverlas) y la indique convenientemente para facilitar la detección de la avería al personal de mantenimiento encargado de repararla.

5.1.4. Pilar 4 Capacitación.

Puesto que el operario toma un papel protagónico en el proceso productivo, y adicionalmente debe realizar funciones que en el sistema tradicional no efectuaba, entonces debe ser convenientemente capacitado. La capacitación debe hacerse extensiva en lo posible a todo el personal de la propia empresa. Este pilar pretende adicionalmente, formar personal competente en máquinas o equipos y en la mejora continua de su área de responsabilidad, estimular el autodesarrollo del personal, desarrollar recursos humanos que puedan satisfacer las necesidades de trabajo futuras, estimular la formación sistemática del personal.

5.1.5. Pilar 5 Control inicial.

Se busca reducir el deterioro de las máquinas o equipos y mejorar los costos de su mantenimiento en el momento que se compran y se incorporan al proceso productivo. El aprendizaje adquirido en unas máquinas o equipos debe ser aplicado en la puesta a punto y operación de los nuevos, para que sean fiables, fáciles de mantener, fáciles de operar y seguros.

5.1.6. Pilar 6 Mejoramiento para la calidad.

Pretende alcanzar la meta de calidad de cero defectos en la producción, para lo cual la máquina o equipo debe presentar también cero defectos. Se deben tomar acciones preventivas para alcanzar un proceso y equipo cero defectos.

5.1.7. Pilar 7 TPM en los departamentos de apoyo.

Puesto que la meta última del TPM es maximizar la productividad, entonces se deben eliminar las pérdidas en los procesos administrativos de apoyo, aumentando su eficiencia. Este pilar pretende generar comunicación y un equilibrio entre las actividades primarias de la cadena de valor y las actividades de soporte.

5.1.8. Pilar 8 Seguridad, Higiene y medio ambiente.

Se deben aplicar políticas y medidas para garantizar un ambiente laboral sin accidentes y sin contaminación. La contaminación en el ambiente de trabajo puede llegar a producir un mal funcionamiento de una máquina o viceversa. Muchos de los accidentes de trabajo son ocasionados por la mala distribución de las máquinas o equipos y herramientas en el área de trabajo, o por el mal estado de las instalaciones, utillajes o herramientas. (p. 180-181).

6. Lubricación de equipos y procesos

Según Martos Cabeza (2020), “Un lubricante es una sustancia que se interpone entre dos superficies, una de las cuales o ambas están en movimiento, con el objeto de disminuir la fricción y su principal consecuencia; el desgaste. Por tanto, el objetivo principal de un lubricante es la separación de dos superficies, con deslizamiento relativo entre sí, para que no se produzca daño entre ellas. Pueden ser varias las formas de esa sustancia lubricante: líquida, sólida, semisólida y como veremos en adelante, en muchas ocasiones, formada por compuestos de diferente naturaleza.” (p. 20).

El lubricante desempeña seis funciones principales

- **Lubricar** Es la primera función del lubricante pues, cuando interponemos una película lubricante entre dos superficies en movimiento, estamos disminuyendo la fricción entre ellas y por tanto evitando el desgaste, el recalentamiento y la pérdida de potencia. En los componentes metal mecánicos presentes en toda maquinaria; cojinetes, rodamientos, guías, cilindros, engranajes, cadenas, se ha de mantener una constante presencia y/o aportación de lubricante mientras éstos se encuentran en movimiento.
- **Refrigerar** Durante el funcionamiento normal de cualquier máquina se produce un aumento de la temperatura a causa de la fricción y ello contribuye a provocar un recalentamiento de ésta. El lubricante absorbe parte de esa temperatura y la disipa al exterior de la zona de operación aliviando el calentamiento del punto o superficie crítica de fricción.
- **Sellar** Acción también conocida como estanqueidad. El lubricante, en forma de aceite o grasa, contribuye a evitar la contaminación originada interna o externamente formando una barrera que impide el paso de elementos nocivos y/o abrasivos que puedan dañar las piezas o conjuntos mecánicos presentes en una máquina.
- **Limpiar** A pesar de los efectos anti desgaste y anti contaminación que ha de generar un lubricante, es inevitable la formación de residuos en el interior de un mecanismo; siempre existirán micro partículas formadas por el desgaste, depósitos carbonosos y lodos producidos por el funcionamiento de la máquina. Para evitar que esa formación de elementos dañinos pueda afectar negativamente al equipo, por medio de la acumulación de estos pueda provocar la obstrucción o sedimentación en parte críticas del equipo (circuitos,

guías, válvulas...) los aceites lubricantes deben estar formulados con agentes dispersantes o detergentes que actúan sobre esas partículas cuando se encuentran en estado microscópico evitando que éstas se aglomeren, manteniéndolas finalmente dispersas en el mismo cuerpo del aceite.

- **Proteger contra la corrosión** Ya sea a causa de un proceso de combustión, en el caso de motores o por efecto de la humedad o agua proveniente de condensación, en el interior de conjuntos y mecanismos se forman sustancias y sinergias indeseables que tiene un efecto ácido y altamente corrosivo. El aceite lubricante debe estar formulado con el fin de neutralizar esas sustancias con el fin de evitar la corrosión y formación de herrumbre en su interior.
- **Proteger contra el desgaste** En todo funcionamiento de maquinaria o conjunto automotriz o industrial se da una mayor o menor frecuencia de aumento de presión y carga entre las superficies metálicas. veremos que los lubricantes han de cumplir una función esencial de protección ante los procesos de desgaste, por tanto, su formulación ha de contemplar la presencia de sustancias u productos componentes de éstos, que mejoran el comportamiento lubricante frente Al pernicioso efector del desgaste
(Martos Cabeza, 2020, pp. 20–22)

6.1. Aceites lubricantes - los fluidos

Son dos los componentes principales de un fluido lubricante, el aceite base y los aditivos.

Según Martos Cabeza (2020), “El aceite base esta conforma por medio de la mezcla de dos o varios fluidos en unas proporciones determinadas con el objetivo de conseguir unas propiedades concretas para esa base como punto de partida, fundamentalmente la viscosidad. Esa mezcla supone la parte mayoritaria del que será el lubricante como producto final acabado. Como fluidos para constituir la base se emplean naturalezas minerales, siendo estos hidrocarburos derivados directamente de refino, o sintéticas, elaboradas por las industrias químicas productoras. Y entre estas naturalezas, se pueden mezclar diversos tipos, en función de las propiedades que se desee conferir al aceite base. También se pueden mezclar bases minerales con otras determinadas sintéticas (no es viable en todos los casos, como ya veremos más adelante) con el fin de obtener lo que se denominan bases semisintéticas.” (p. 25).

“Los aditivos En función del trabajo específico al que va a ser destinado el lubricante y con el fin de optimizar sus propiedades, características físicas y químicas, en la formulación y producción de lubricantes se emplean los aditivos. Estos son productos y sustancias químicas que, generalmente utilizados en pequeñas cantidades y/o proporciones muy estudiadas, en relación al aceite base ya constituido, le confieren nuevas o mejoradas propiedades al lubricante final.” (p. 25).

Podemos repasar, de una forma general, los diferentes tipos de aditivos y su función básica

- **Antioxidantes:** evitan que el aceite envejezca rápidamente
- **Inhibidores de corrosión:** impiden que el lubricante inicie procesos de corrosión en contacto o frente a determinados metales
- **Anti-herrumbre:** evitan la formación de óxido en hierro y aceros
- **Anti-desgaste (AW):** limitan el desgaste de las superficies metálicas en contacto
- **Extrema Presión (EP):** ante la existencia de elevadas presiones específicas, elevan la resistencia de la película de lubricante en contacto con los metales manteniendo una capa en condiciones límite
- **Lubricantes sólidos:** En la mayoría de las ocasiones, éstos se pueden considerar como aditivos AW o EP, directamente orientados a proporcionar mayor resistencia de la película lubricante ante cargas y golpes,
- **Mejoradores del Índice de Viscosidad (I.V.):** Afectan positivamente el comportamiento de la viscosidad frente a los cambios de temperatura suavizando la variación de ésta
- **Detergentes:** facilitan el efecto de captación y arrastre de las partículas y lodos de suciedad alejando ésta de las superficies y componentes.
- **Dispersantes:** necesarios para mantener partículas, lodos u otros contaminantes en suspensión para que estos sean evacuados del mecanismo en el momento del cambio o filtrado del lubricante
- **Depresores del punto de congelación:** disminuyen el punto de congelación del lubricante
- **Anti Stick-slip:** evitan el desplazamiento a golpes o tirones sobre guías o elementos deslizantes
- **Antiespumantes:** evitan la formación y permanencia de espumas
- **Multifuncionales:** son paquetes de aditivos de composición determinada destinadas al

cumplimiento de normas o requerimientos concretos.

(Martos Cabeza, 2020, pp. 26–27)

Propiedades más importantes

Los aceites lubricantes poseen una serie de características que son importantes para determinar sus propiedades, así como para su correcta prescripción y aplicación en determinado punto de engrase

- **Viscosidad:** Es la propiedad más importante y determinante en la elección de un aceite lubricante. Toda idea y diseño de un componente mecánico móvil que requiera lubricación cuenta desde su origen con la prescripción de una determinada viscosidad. La viscosidad puede definirse como la resistencia que ofrece un fluido a su propia fluidez. Mientras más grandes sean las moléculas de un líquido, mayor resistencia pondrán a su desplazamiento, por lo tanto, en este caso se dice que estos fluidos son más viscosos debido a que el desplazamiento que pueden presentar sus moléculas se da de una manera más lenta, en caso el contrario, cuando las moléculas que lo conforman son más pequeñas tendrán menor fuerza de oposición por lo que su movimiento será más rápido. De hecho, la determinación del grado de viscosidad se efectúa a través del tiempo que un fluido, en cantidad determinada por norma, tarda en pasar por un conducto o pipeta también determinada según norma.
- **Densidad:** No debe confundirse la densidad con la viscosidad, descrita anteriormente. Es el peso, en kilos, por ejemplo, de un determinado volumen (un litro) de aceite. En los aceites minerales dicho valor suele oscilar entre 0,850 y 0,900 kilo/litro, menor que el del agua, cuyo valor se sitúa alrededor de 1 kilo/litro, por eso el aceite flota sobre ella. Los aceites de base sintética, dependiendo de su formulación pueden presentar una densidad entre 0,800 hasta 2,000 kilos/litro.
- **Color:** El color de un lubricante no guarda relación directa con las prestaciones que puede ofrecer ni con el nivel de calidad de su formulación. Esta característica está determinada, en primer lugar, por el tipo de aceite base y, en segundo lugar, por los aditivos que contiene. El aceite base mineral, al ser un producto de origen natural, no presenta una coloración uniforme, pudiendo variar desde un tono amarillento hasta un ámbar más oscuro e intenso. Asimismo, los aditivos pueden presentar colores que van desde claros hasta muy oscuros,

influyendo de manera significativa en la tonalidad final del lubricante.

Por otra parte, existen aceites lubricantes de base y formulación sintética que pueden ser prácticamente transparentes e incoloros, similares al agua, y que, sin embargo, poseen excelentes prestaciones técnicas. En consecuencia, la calidad de un lubricante nunca debe juzgarse únicamente por su color

- **Índice de viscosidad (I.V.):** ES un número adimensional que se calcula a partir de las viscosidades a 40°C y 100°C de temperatura de un aceite lubricante determinado. NO da una idea de la variación de la viscosidad del aceite en frío y en caliente. Un aceite parafínico mineral normal, procedente de primer refinado del petróleo suele poseer un índice de viscosidad, por su propia naturaleza, de 95 a 100. De esa manera, si gracias a la específica formulación de un aceite lubricante conseguimos que este tenga un IV de 200, este tendrá un comportamiento más estable y constante frente a la temperatura
- **Punto de congelación:** Es la temperatura a la que se produce el proceso de congelación del aceite lubricante. Como en el punto de inflamación existen diversos métodos de obtención del mismo, es necesario por ello que, en el momento de comparar dos aceites, esta comparación se realice en función de la misma prueba, test o norma.
- **Punto de inflamación:** Es la temperatura a la que se produce la combustión de un fluido lubricante en presencia de aire y de llama. Es lógicamente, un valor que se ha de estimar en el momento de prescribir un lubricante, por una cuestión de seguridad, no obstante, salvo excepciones, siempre encontraremos puntos de inflamación a partir y alrededor de 180°C en fluidos lubricantes, no así cuando más adelante hablemos de fluidos de proceso; en muchos de ellos, en función de su formulación específica y su aplicación técnica e industrial, presentan puntos de inflamación más bajos que hay que tener muy en cuenta.
- **Índice de acidez o neutralización:** Este dato sirve para comparar el estado del aceite después de su empleo en el punto o conjunto a lubricar en relación con éste cuando era nuevo, es la manera de conocer el nivel de envejecimiento o agotamiento y por tanto la vida útil del aceite lubricante. Valora la totalidad de constituyentes ácidos en el seno del fluido y siempre se debe comparar con el valor del índice obtenido inicialmente con el mismo aceite.
- **Índice de desemulsión:** Este dato nos señala la facilidad del aceite de separarse del agua

cuando se le somete a una mezcla. Este es un dato muy importante a tener en cuenta en aquellas aplicaciones en que un fluido lubricante puede estar en contacto en mayor o menor medida con un ambiente húmedo u acuoso

- **Propiedades mecánicas:** Un valor fundamental de los aceites lubricantes es su capacidad de resistencia ante el trabajo mecánico. Suele ser habitual conocer previamente este dato antes de la prescripción y aplicación de un lubricante; la resistencia y presencia constante garantizada de la película lubricante en el punto de fricción es vital para asegurar la correcta función del fluido en el elemento o conjunto.

(Martos Cabeza, 2020, pp. 27–33)

6.2. Lubricación de maquinaria, equipos y mecanismos industriales

6.2.1. Aceites de engranajes. Lubricación de reductores y moto-reductores

Según Martos Cabeza (2020), “los reductores de velocidad son mecanismos que transmiten movimiento entre un eje que, rota a alta velocidad, generalmente un motor, y otro que, rota a menor velocidad, por ejemplo, una herramienta. Están compuestos por juegos de engranajes de diámetros diferentes o bien de un tornillo sin fin y corona.

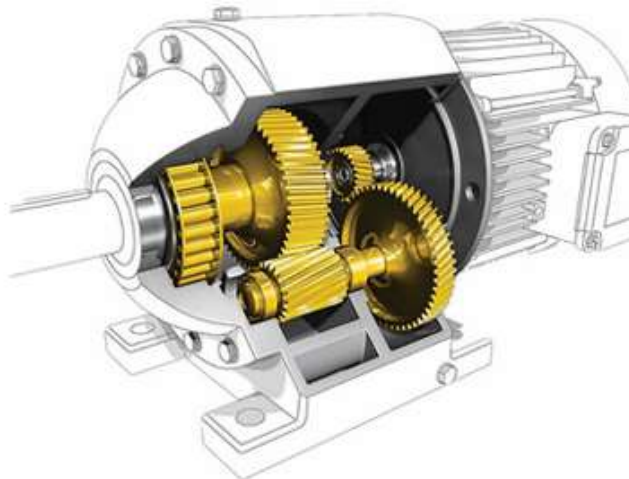


Ilustración 4 caja reductora

Fuente: (Martos, 2020)

¿Cuáles son las especificaciones que tenemos que contemplar en un aceite de engranajes?

Viscosidad ISO VG: Es fundamental para calcular el aseguramiento de la presencia constante de

película lubricante entre las superficies en contacto sometidas a fricción. En el caso de los aceites lubricantes de engranajes generalmente nos moveremos a partir de ISO 100 hasta ISO 1000, situando la mayoría de las aplicaciones entorno a las viscosidades ISO 220 e ISO 320.

Índice de Viscosidad (IV): El valor indicativo del Índice de Viscosidad (IV) en los aceites de engranajes tiene especial relevancia en este terreno cuando las condiciones de trabajo del equipo reductor o multiplicador requieren de una especial resistencia ante el cizallamiento del lubricante producido por la labor mecánica, cuando es de especial severidad en cargas o velocidades o ante la posibilidad de amplios rangos entre temperaturas de funcionamiento, ya sea por condiciones ambientales o por el efecto de las elevadas fricciones a las que está sometido el conjunto

Valores de fricciometría: Son de especial interés en este campo de la lubricación, porque es evidente que las necesidades tribológicas en un mecanismo de transmisión, reducción o aumento de potencia y/o velocidad en base a engranajes está directamente relacionado con esfuerzos más o menos importantes en puntos específicos de contacto y rozamiento, en movimientos y cargas que aumentan el coeficiente de fricción en momentos diferentes, en superficies uniformes o puntuales, e incluso en tiempos e intensidades diferenciados. (Martos Cabeza, 2020, pp. 59–60)

6.2.2. Aceites para la lubricación de cadenas de transmisión

Según Martos Cabeza (2020), “define la cadena de transmisión como un elemento mecánico que sirve para transmitir el movimiento de arrastre de fuerza entre ruedas dentadas”, también podemos concretar que las cadenas de transmisión de rodillos son las que suelen resultar más apropiadas para todas las condiciones de trabajo. Las mallas de cadenas de rodillos están remachas en un extremo por bulones y por casquillos articulados en el otro y se pueden fabricar hasta en cinco hileras. Este tipo de cadenas viene definido por tres medidas: PASO (Distancia entre rodillos), ANCHO libre entre placas y DIÁMETRO de los rodillos.” (p. 74).



Ilustración 5 cadena de transmisión

Fuente: (Martos, 2020)

¿Cuáles son las consecuencias de la lubricación defectuosa en una cadena?

- **Deterioro prematuro.** Si se utilizan lubricantes no aptos, que normalmente son demasiado espesos como para poder penetrar en la articulación de la cadena, la articulación sufrirá una fricción seca. Además, en las articulaciones se producen espacios vacíos, que con el tiempo se llenan de agua condensada. La fricción y la corrosión de la superficie ocasionadas por el agua condensada son consecuencias inevitables.
- **Desgaste prematuro.** En pocos casos, pero importantes, aparece un rápido alargamiento por desgaste debido a la fricción en seco y oxidación, y la cadena parece como si sangrara, debido a la aparición de partículas de óxido provenientes del interior de la articulación.

¿Cuáles son los criterios para una lubricación óptima de la cadena?

Para lograr una lubricación efectiva, en cada proceso de lubricación se debe colocar la cantidad suficiente de lubricante líquido, que pueda penetrar en la articulación de la cadena.

¿Cómo podemos controlar que existe una correcta lubricación en la cadena?

Para saber si la lubricación realizada será efectiva hemos de observar el eje del eslabón de unión. Si el eje ha estado lubricado correctamente, presentará una capa pareja, y al retirar el producto lubricante del punto/superficie que ha sido sometido a la carga, toda su superficie será lisa como un espejo. Si, por el contrario, presenta estrías u óxido, la lubricación ha sido irregular y/o defectuosa. (Martos Cabeza, 2020, pp. 76–77)

6.3. Grasas lubricantes, los semisólidos

Según Martos Cabeza (2020), “Una grasa lubricante es un material semisólido formado por un agente espesante, generalmente en forma de jabón orgánico o inorgánico, un aceite base, de tipo mineral o sintético, y una serie de aditivos que le confieren propiedades complementarias. La naturaleza y porcentajes de los componentes de la grasa dependen mucho de las aplicaciones para las cuales va a estar destinada.” (p. 93).

¿Cuáles son las principales ventajas y propiedades que tienen las grasas?

- Mayor adherencia a superficies
- Mejor capacidad de sellado y aislamiento del medio
- Excelente protección contra el desgaste
- Superior lubricación frente a altas cargas y bajas velocidades
- Superior protección contra la corrosión
- Más amplio rango de temperaturas de operación
- Más efectiva absorción de ruido y vibraciones
- Menor migración del punto de lubricación

¿Cuáles son las desventajas de la grasa respecto al aceite?

- Mecanismos donde se precisa la evacuación de calor a través del lubricante
- Máquinas donde se requiere la extracción de partículas contaminantes y de desgaste
- Regímenes de velocidad muy altos, donde es requisito un lubricante dinámicamente muy ligero
- Limitaciones de velocidad en los rodamientos
- Menor estabilidad al almacenamiento.
- Problemas de compatibilidad más frecuentes entre diferentes grasas.
- Menor resistencia a la propia oxidación.
- Control de la contaminación.

(Martos Cabeza, 2020, pp. 94–95)

¿Cómo se clasifican las grasas?

Martos Cabeza (2020), “Las grasas lubricantes se clasifican en función del grado de consistencia o penetración. El NGLI (National Lubricating Grease Institute), establece una clasificación de las grasas en función de su consistencia. Una grasa aumenta su consistencia al aumentar el contenido en espesante. La cantidad de espesante en una grasa varía desde el 2% (grasas muy fluidas) hasta el 25% (grasas más consistentes).” (p. 96).

Clasificación de las grasas según el número de consistencia NLGI		
Número NLGI	Penetración trabajada ASTM (10 ⁻¹ mm)	Aspecto a temperatura ambiente
000	445–475	muy fluida
00	400–430	fluida
0	355–385	semifluida
1	310–340	muy blanda
2	265–295	blanda
3	220–250	semidura
4	175–205	dura
5	130–160	muy dura
6	85–115	extremadamente dura

Ilustración 6 Clasificación de grasa según número de consistencia

Fuente: (Martos, 2020)

¿Cómo se fabrican y clasifican los espesantes?

Existen diferentes tipos de espesantes. Se pueden clasificar como jabones metálicos, simples o complejos, espesantes con base no jabonosa, e inorgánicos. La obtención de uno u otro tipo de espesante viene definido por los compuestos empleados, así como su proceso de fabricación

- **Jabones de Litio.** Espesante general para grasas lubricantes en aplicaciones de alta temperatura pues posee un punto de fusión elevado en comparación con otros jabones simples. Las grasas de jabón de litio son resistentes a las pérdidas de consistencia y las fugas. Proporcionan buenas propiedades anti-herrumbre y corrosión, moderada resistencia al agua, pero, a la vez, excelentes propiedades selladoras.
- **Jabones de Calcio.** Espesante de buena estabilidad mecánica pero baja estabilidad térmica

debido a su bajo punto de fusión. Proporcionan grasas muy bombeables, que no emulsionan y ofrecen una alta resistencia al agua. Con la adecuada aditivación son excelentes anticorrosivos.

- **Jabones de Aluminio.** Espesante con textura fibrosa muy suave (tipo gel), que tiene un punto de fusión bajo (110°C) pero una elevada estabilidad mecánica y excelente resistencia al agua. Recomendable ante entornos acuosos para lubricación en componentes de baja velocidad.
- **Jabones de Sodio.** Espesante de textura fibrosa áspera con alto punto de fusión (punto de gota de 200°C). Hasta ahora empleado en grasas para aplicaciones de lubricación de alta frecuencia, con buenas propiedades anti-herrumbre y corrosión, pero con mala resistencia al agua debido a su facilidad para hidratarse. Presenta poca estabilidad en consistencias y con tendencia al endurecimiento.
- **Jabones complejos de Calcio.** El primero de los espesantes complejos que se desarrollaron a partir del empleo de moléculas de jabón estearato-acetato de calcio. Manteniendo un excelente comportamiento frente al agua, presenta un punto de gota en torno a 250°C, por lo que mantiene su consistencia a altas temperaturas. Presenta buenas propiedades de extrema presión.
- **Jabones complejos de Litio.** Espesante con elevado punto de gota (260°C), que permite mayores temperaturas de trabajo. Alta estabilidad térmica y estructural, acepta cargas más elevadas y ofrece una excelente resistencia al agua.
- **Jabones complejos de Aluminio.** Este espesante presenta una particularidad respecto de otros jabones; su estructura fibrosa es sensiblemente más pequeña, lo cual le confiere ventajas añadidas. Fácil bombeabilidad incluso en consistencias 2 y 2/3, pero a la vez dispone de una excelente resistencia al lavado e impermeabilidad al agua. Su específica estructura fibrosa no impide una excelente retención del aceite base. Buenas propiedades de carga, bajo par de arranque y estabilidad mecánica.
- **Jabones complejos de Sulfonato de Calcio.** Espesante de altas prestaciones ante aplicaciones de extrema presión, elevada estabilidad mecánica y excelente capacidad anticorrosiva; propiedades que mantiene en aplicaciones de elevadas cargas de trabajo incluso con altos niveles de contaminación de agua.

(Martos Cabeza, 2020, pp. 96–98)

7. Análisis de criticidad de equipos

Las técnicas de análisis de criticidad constituyen herramientas clave para identificar y clasificar los activos de una instalación según su relevancia operativa. Su objetivo principal es facilitar la asignación eficiente de recursos técnicos, humanos y financieros hacia aquellos elementos cuya falla tendría un mayor impacto en el desempeño del sistema. Estas metodologías permiten evaluar tanto la importancia funcional de los activos como las consecuencias asociadas a sus posibles fallos dentro del contexto productivo. Además, existen diversos modelos aplicables que permiten jerarquizar equipos de manera cualitativa, semicuantitativa y cuantitativa, según sea el entorno industrial (Carlos Alberto Parra Marquez, 2015)

7.1. Proceso de Jerarquización

Las técnicas de análisis de criticidad permiten identificar y establecer una jerarquía entre los activos de una planta, con el fin de asignar de manera eficiente los recursos disponibles, ya sean humanos, financieros o tecnológicos, hacia aquellos equipos cuya falla podría representar mayores consecuencias. Dicho análisis evalúa la importancia funcional de cada elemento en el sistema de producción, considerando el entorno operativo en el que se encuentra. El concepto de criticidad puede variar en función del objetivo del análisis, por lo que resulta necesario definir criterios claros para la evaluación. Entre los factores más frecuentes que se consideran están: la flexibilidad operativa, el impacto en la producción y en la calidad del producto, los riesgos para la seguridad y el medio ambiente, los costos asociados a fallos, la frecuencia de fallas, la dificultad de mantenimiento y la disponibilidad de repuestos.

En particular, las metodologías de análisis empleadas en este tipo de evaluaciones integran la teoría del riesgo, que combina la probabilidad de fallo (confiabilidad) con la severidad de sus consecuencias (impacto en seguridad, ambiente, calidad o producción). Los resultados derivados de estas técnicas son fundamentales para iniciar procesos de mejora orientados por la ingeniería de mantenimiento y confiabilidad. Dentro de estas metodologías destacan varios modelos de jerarquización de activos basados en el análisis de riesgos, los cuales permiten identificar los equipos más críticos dentro de un sistema productivo (Carlos Alberto Parra Marquez, 2015)



Ilustración 7 Modelo del proceso de gestión del mantenimiento

Fuente: (crespo,2015)

7.2. Método del flujograma de análisis de criticidad (cualitativo)

El método cualitativo desarrollado por Crespo (2015) para el análisis de criticidad de equipos propone una técnica estructurada a través de un flujograma, en la que se clasifica cada activo en una de tres categorías: A, B o C. Esta clasificación se determina respondiendo secuencialmente una serie de preguntas que abordan distintos criterios técnicos y operacionales. Cada respuesta permite caracterizar al equipo de acuerdo con su nivel de impacto o criticidad, y sugiere una jerarquización que ayuda a definir prioridades de intervención o mantenimiento.

Este enfoque se basa en la participación de un equipo de trabajo natural (compuesto por técnicos, operarios y encargados de mantenimiento) que, a partir de su experiencia y conocimiento del sistema, valora atributos específicos de cada activo. A continuación, se explican con mayor

detalle los criterios del modelo:

- **Medio ambiente (E):** Evalúa el impacto ambiental que podría tener un fallo del equipo. Un equipo se clasifica en categoría A si su fallo podría desencadenar consecuencias graves fuera de la empresa, requiriendo notificación a autoridades (por ejemplo, una fuga de amoníaco). Si el impacto se puede contener internamente (como una fuga de un químico neutralizado por el sistema de aguas de la planta), se clasifica como categoría B. Finalmente, si no existe riesgo ambiental significativo, se ubica en la categoría C.
- **Seguridad (S):** Analiza las consecuencias del fallo en la salud o seguridad del personal. Un equipo es A si su avería puede causar accidentes con consecuencias graves como lesiones permanentes o incapacidades. Si los daños son menores y no causan ausencias laborales, se clasifica como B. Si no hay impacto en la seguridad del personal, se considera C.
- **Calidad (Q):** Considera cómo un fallo puede afectar la calidad del producto final. Los activos cuya falla puede provocar defectos detectados por el cliente o que afecten la imagen de la empresa en el mercado se clasifican como A. Si el defecto es detectado y corregido internamente, el equipo es B, y si su falla no tiene impacto en la calidad, se ubica como C.
- **Tiempo de trabajo (W):** Evalúa la carga operativa del equipo. Los activos que trabajan en tres turnos diarios son categoría A, los que operan dos turnos son B, y los de un turno diario son C. También puede considerarse en este criterio la cantidad de horas extras requeridas para realizar mantenimiento correctivo, asignando mayor criticidad a los equipos que demandan más esfuerzo.
- **Entrega (D):** Este criterio se relaciona con la repercusión operativa de un fallo. Si la falla de un activo detiene toda la planta, es A; si solo afecta una línea de producción, es B; y si no interrumpe significativamente la operación, es C. Este criterio permite entender cómo la indisponibilidad de un equipo afecta directamente la capacidad de entrega o producción.
- **Fiabilidad (F):** Se refiere a la frecuencia con la que el equipo falla. Aquellos que presentan fallos cada menos de 5 horas son considerados críticos (A); entre 5 y 10 horas, moderadamente críticos (B); y si fallan cada más de 10 horas, poco críticos (C). Este criterio se suele utilizar con una distribución porcentual típica, donde el 20% de los activos son A, el 30% B y el 50% C.
- **Mantenibilidad (M):** Mide el tiempo promedio requerido para reparar un equipo tras una falla. Los activos cuya reparación toma más de 90 minutos son A, los que requieren entre

45 y 90 minutos son B, y aquellos con un tiempo de reparación menor a 45 minutos son C. Este criterio permite evaluar la facilidad o dificultad para intervenir los activos y devolverlos a operación.

Este enfoque cualitativo es particularmente valioso en contextos donde se necesita una herramienta sencilla, rápida y basada en el conocimiento experto para identificar los equipos más críticos dentro de un sistema productivo. Además, permite adaptar el análisis a los objetivos de la organización, ya sea priorizar recursos, mejorar la disponibilidad, reducir riesgos o mejorar la calidad operativa general (Carlos Alberto Parra Marquez, 2015).

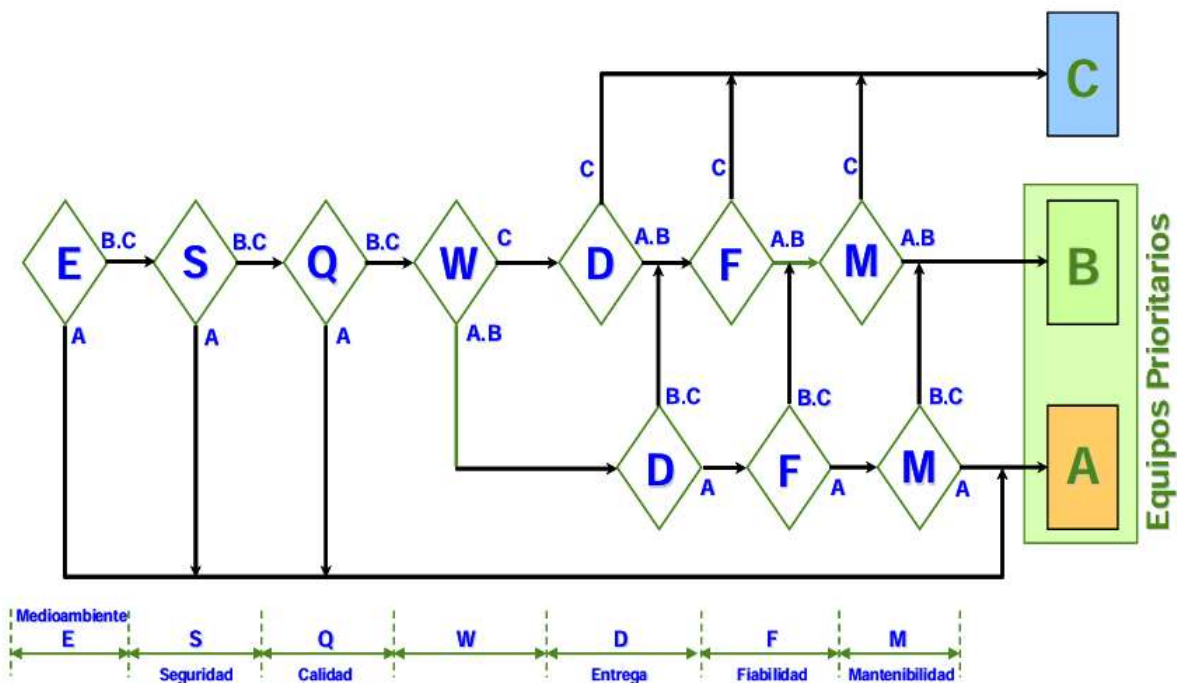


Ilustración 8 Modelo del flujo de criticidad

Fuente: (crespo,2015)

7.3. Índices de fallas

Montilla Montaña (2019) define los índices de fallas como herramientas fundamentales dentro de la gestión del mantenimiento, ya que permiten identificar, estudiar y analizar de manera sistemática aquellas situaciones que presentan problemas recurrentes. Estos problemas, por lo general, no han sido resueltos debido a que no se ha detectado su causa raíz o el verdadero origen del fallo. El propósito de utilizar estos índices es facilitar la toma de decisiones orientadas a eliminar las causas subyacentes, en lugar de atender únicamente los síntomas. Entre los métodos

más utilizados se encuentran el Análisis de Pareto, que ayuda a priorizar los problemas según su frecuencia o impacto, y el Diagrama Causa-Efecto, también conocido como Diagrama de Ishikawa o Diagrama de Espina de Pescado, que permite visualizar las posibles causas que contribuyen a un determinado problema, agrupándolas en categorías como mano de obra, maquinaria, métodos, materiales, entre otras. Estas herramientas no solo mejoran la eficiencia del mantenimiento, sino que también fomentan una cultura de mejora continua en la organización.

7.3.1. Análisis de Pareto

El Análisis de Pareto es una herramienta ampliamente utilizada en la gestión de la calidad y el mantenimiento industrial, ya que permite identificar y priorizar aquellas causas que generan la mayor parte de los problemas. Este enfoque se basa en el principio desarrollado por el economista y sociólogo italiano Vilfredo Pareto, quien en sus estudios sobre la distribución de la riqueza observó que una minoría de la población poseía la mayoría de los recursos, lo que dio origen a la conocida Ley de Pareto o regla 80/20. Más adelante, Joseph Juran, uno de los principales teóricos de la calidad, adaptó esta regla al análisis de problemas, estableciendo que, en muchos casos, el 80% de las consecuencias proviene del 20% de las causas.

Aplicado al ámbito del mantenimiento, este análisis permite identificar que una pequeña cantidad de fallas o componentes suelen ser responsables de la mayoría de los tiempos de paro, costos o pérdidas de eficiencia. Por tanto, se convierte en una herramienta estratégica para enfocar esfuerzos de mejora, ya que ayuda a distinguir entre los “pocos vitales” y los “muchos triviales”.

El procedimiento para aplicar un análisis de Pareto consiste en los siguientes pasos:

- Recolectar datos sobre la frecuencia o impacto de las causas de un problema, como por ejemplo estadísticas de fallas.
- Jerarquizar estas causas de mayor a menor, y calcular su porcentaje acumulativo.
- Representar en un gráfico las causas en el eje horizontal (X) y los porcentajes individuales en el eje vertical izquierdo (Y).
- Añadir una curva de porcentaje acumulado, la cual parte de 0% y termina en 100%.
- Trazar una línea horizontal al nivel del 80% en el eje Y, y desde ese punto proyectar una línea vertical hacia el eje X. Las causas situadas a la izquierda serán las más significativas.

Esta técnica permite que el equipo de trabajo dirija sus acciones correctivas hacia las causas que realmente influyen en el desempeño del sistema. (Montilla, 2019)

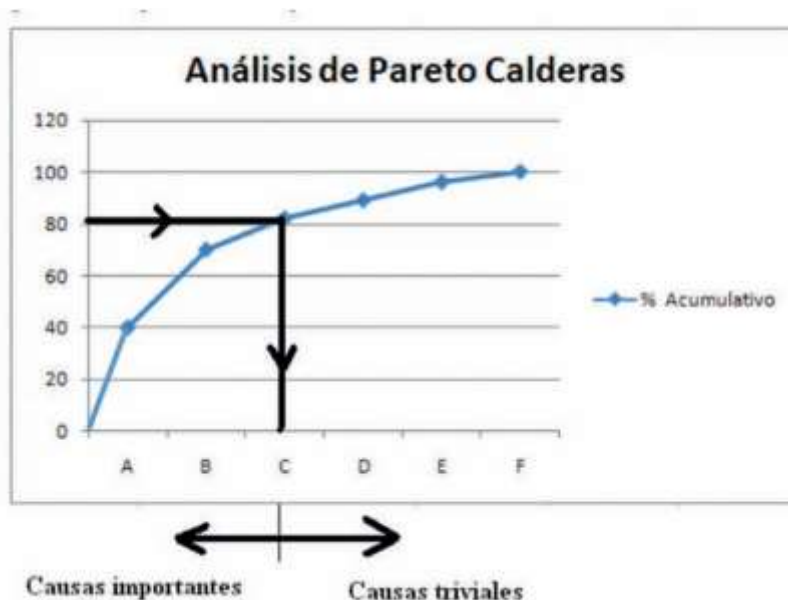


Ilustración 9 Diagrama de Pareto para fallas

Fuente: (Montilla, 2019)

7.3.2. El Diagrama de Causa-Efecto

El Diagrama Causa-Efecto, también conocido como Diagrama de Ishikawa o Diagrama de Espina de Pescado, es una herramienta de análisis que permite identificar y clasificar las causas que originan un problema determinado, con el fin de llegar a su causa raíz. Es especialmente útil en entornos industriales y de servicios, donde se busca mejorar la calidad, la eficiencia o la confiabilidad de procesos, equipos o servicios.

Su aplicación consiste en descomponer un problema complejo en causas mayores y menores, organizadas de forma lógica y jerárquica. Estas causas se agrupan tradicionalmente en cinco categorías conocidas como las 5M:

- **Maquinaria:** Fallas relacionadas con el estado, selección o configuración de los equipos o máquinas.
- **Mano de Obra:** Factores humanos como desmotivación, falta de habilidades o problemas de actitud.
- **Método:** Formas inadecuadas de ejecutar tareas, frecuentemente asociadas a deficiencias en la capacitación.
- **Materia Prima:** Calidad o conformidad de los insumos o materiales utilizados.
- **Metrología:** Problemas relacionados con instrumentos de medición, como mala calibración

o selección incorrecta.

Cada una de estas categorías se representa en el diagrama como una "espina" que converge en una línea central que culmina en el efecto o problema observado. A partir de estas espinas principales, se identifican causas secundarias, que contribuyen al problema de fondo. El análisis gráfico permite visualizar la estructura completa del problema y facilita la identificación de los factores que deben ser corregidos.

Funcionamiento y Construcción del Diagrama

Para desarrollar un Diagrama Causa-Efecto, se siguen los siguientes pasos:

- Definir el problema a estudiar (por ejemplo, una falla repetitiva en un equipo) y ubicarlo en el extremo derecho del diagrama.
- Trazar una línea central (espina principal), desde el problema hacia la izquierda.
- Identificar las categorías principales de causas (5M) y conectarlas a la línea central mediante líneas diagonales.
- Agregar causas secundarias a cada categoría, identificando elementos específicos que puedan estar contribuyendo al problema.
- Analizar las relaciones causales, buscando conexiones entre causas menores y múltiples categorías (por ejemplo, un problema con un instrumento puede afectar tanto a la metrología como al método o la mano de obra).
- Determinar la causa raíz, es decir, la causa más profunda y repetitiva que origina el efecto, y que debe ser corregida para evitar su recurrencia.
- Este método debe ser aplicado por un equipo multidisciplinario, ya que el análisis abarca dimensiones técnicas, humanas, administrativas y organizativas. Si el análisis se realiza únicamente desde una perspectiva, existe el riesgo de obtener conclusiones sesgadas o incompletas. (Montilla, 2019)

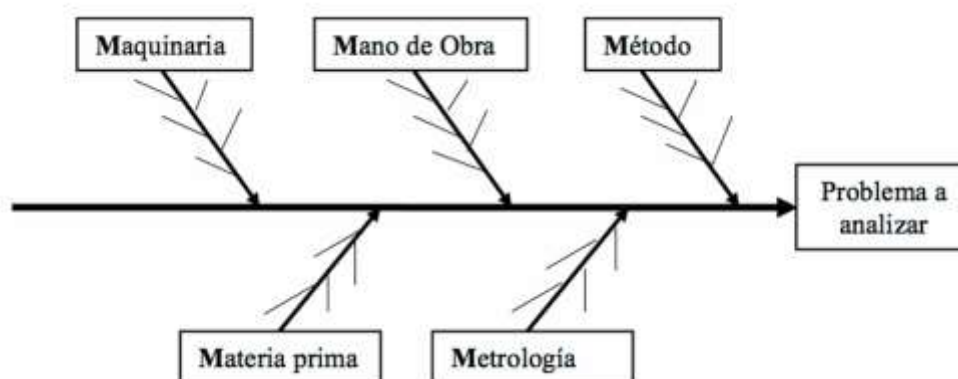


Ilustración 10 Diagrama de Ishikawa

Fuente: (Montilla, 2019)

8. Tipos de indicadores en Mantenimiento

Según Montilla Montaña (2019) menciona 3 tipos de indicadores:

8.1. Indicadores de Eficacia del Mantenimiento

Son aquellos destinados a mostrarle, principalmente, al Gerente o al jefe de mantenimiento cómo anda su gestión, desde el punto de vista de efectividad en la ejecución, es decir, disponibilidad de la planta, número de varadas, tiempo perdido por varadas, etc. De este grupo los indicadores más ampliamente utilizados son Disponibilidad, Confiabilidad y Mantenibilidad, los cuales se describirán a continuación.

8.1.1. Disponibilidad

Capacidad de una máquina o equipo de llevar a cabo con éxito la función requerida, durante un tiempo determinado, en unas condiciones específicas. Se determina en función del Tiempo Programado para Producción TPP y del Tiempo de Paradas No Programadas TPNP.

$$D = 100x \frac{TPP - TPNP}{TPP}$$

Ecuación 5 porcentaje de disponibilidad

Fuente: (Montilla, 2019)

Donde:

- D es el porcentaje de disponibilidad
- TPP es el tiempo planeado para la producción
- TPNP es el tiempo de paradas no programadas.

8.1.2. Confiabilidad

Probabilidad de que un equipo no falle durante su operación. Se evalúa por intermedio del Tiempo Promedio Entre Fallas (TPEF) Según ecuación 3

8.1.3. Mantenibilidad

La Mantenibilidad se evalúa con el Tiempo promedio para reparar TPPR. Propiedad de un Equipo o Sistema que representa la cantidad de esfuerzo requerida para conservar su funcionamiento normal o para restituirlo una vez se ha presentado un evento de falla.

Probabilidad de que un equipo pueda ser puesto en condiciones operacionales en un período de tiempo dado, cuando el mantenimiento es ejecutado de acuerdo con procedimientos preestablecidos.

$$TPPR = \frac{T_{nop}}{N_{arr}}$$

Ecuación 6 el tiempo promedio para reparar

Fuente: (Montilla, 2019)

Donde:

- TPPR es el tiempo promedio para reparar
- T_{nop} es el tiempo que duraron las intervenciones de mantenimiento
- N_{arr} es el número de arranques de planta. (p. 337-339).

8.2. Indicadores de Administración del Mantenimiento

Este grupo de indicadores se encarga de valorar la forma como se están o no se están alcanzado los objetivos del Mantenimiento en función de las horas-hombre ejecutadas (o dejadas de ejecutar), es decir, es probable que la planta se haya varado una cantidad de veces pequeña y que la calidad de la producción sea la adecuada, pero vendrían las siguientes preguntas ¿Se están ejecutando adecuadamente las OTs? ¿Cuánto porcentaje de OTnS se están ejecutando? ¿Ha sido necesario llamar de manera recurrente el personal de mantenimiento a trabajar horas extras para poner a punto las máquinas o equipos y evitar una varada al día siguiente? ¿Ha sido necesario subcontratar más de lo previsto? ¿Cuántas OTs se dejaron de hacer? Entre otras.

$$Cob = 100x \frac{OTs - c}{OTs}$$

Ecuación 7 Porcentaje de cobertura de órdenes de trabajo estándar

Fuente: (Montilla, 2019)

Donde:

- Cob es el porcentaje de cobertura de órdenes de trabajo estándar.
- OTs-c Son las ordenes de trabajo cerradas
- OTs Son las ordenes planeadas

$$Sp = 100x \frac{Ts - mtto}{Tmtto}$$

Ecuación 8 seguimiento al programa

Fuente: (Montilla, 2019)

Donde:

- Sp es el seguimiento al programa
- Ts-mtto Es el tiempo laborado en mantenimiento según el plan
- Tmtto Es el tiempo total laborado de mantenimiento

$$Emtto = 100x \frac{Ts}{Tmtto}$$

Ecuación 9 Eficacia del Mantenimiento

Fuente: (Montilla, 2019)

Donde:

- Emtto Es la eficacia del Mantenimiento
- Ts Es el tiempo estándar programado para mantenimiento

$$Wpend = 100x \frac{Ts}{Ts - mtto}$$

Ecuación 10 Es el trabajo pendiente

Fuente: (Montilla, 2019)

Donde:

- Wpend Es el trabajo pendiente

$$Ptab = 100x \frac{Ts - mtto}{Tmtto}$$

Ecuación 11 Es la productividad laborar

Fuente: (Montilla, 2019)

Donde:

- Ptab Es la productividad laborar (p. 339-341).

8.3. Indicadores de Costos del Mantenimiento

Este grupo de indicadores son muy importantes para la Gerencia de Planta porque cuantifican cuánto se está gastando en Mantenimiento y de qué manera (Correctivo, Preventivo, mano de obra, materiales, etc.). antes del inicio de cada período (anual y mensual) es necesario elaborar presupuestos de ventas, de costos y de gastos, entre ellos obviamente el de Mantenimiento. La práctica normal tiende a que los costos de mantenimiento en lo posible sean variables, por lo tanto, de este grupo de indicadores es sumamente importante el indicador llamado Costo de mantenimiento por unidad producida (\$/un), los (\$/un) permiten hacer comparaciones con períodos contables pasados, con otras sucursales o unidades de negocio o con otras empresas (si se comparte información gremial), y en caso de anomalías entrar a determinar las causas raíz del problema.

$$CM = 100x \frac{CM}{VAP}$$

Ecuación 12 costo de Mtto

Fuente: (Montilla, 2019)

Donde:

- CM es el costo de Mtto
- VAP es valor agregado a la producción

$$Cm - u = \frac{CM}{Upr}$$

Ecuación 13 Costo de mtto por unidad de producción

Fuente: (Montilla, 2019)

Donde:

- Cm-u es el costo de mtto por unidad de producción

- Upr son las unidades producidas

$$Cc - p = 100x \frac{CPrev}{Cce}$$

Ecuación 14 costo mtto prev versus mtto correctivo

Fuente: (Montilla, 2019)

Donde:

- Cc-p es el costo mtto prev versus mtto correctivo
- Cprev es el costo del mantenimiento preventivo
- Cprev es el costo del correctico de emergencia efectuado (p. 341-343).

9. Eficiencia general de los equipos

Los resultados en los sistemas productivos se deben definir mediante un sistema de indicadores accesible y fiable que permita evaluar esos resultados y desviaciones respecto a los objetivos planteados. Para integrar todos los factores que componen un sistema productivo se recurre a un indicador numérico, denominado Índice de Eficiencia General de los Equipos (EGE), conocido como OEE por su nombre en inglés (Overall Equipment Efficiency).

El OEE representa un indicador que se calcula diariamente para uno o varios equipos y genera la comparación entre el número de piezas que se pudieron haber fabricado idealmente y la cantidad de unidades sin defectos que se fabricaron de manera real. Para la utilización de este indicador, se requiere de los índices de Disponibilidad, Rendimiento y Calidad, siendo el OEE el producto de estos tres.

$$OEE = \text{Disponibilidad} \times \text{Rendimiento} \times \text{Calidad}$$

Ecuación 15 Índice de Eficiencia General de los Equipos

Fuente: Hernández, J. Vizán, 2013.

El indicador OEE posee su clasificación de acuerdo con el porcentaje obtenido, y define la condición actual de la máquina o equipos en estudio. De esta manera se genera una visión general y se fijan los objetivos a conseguir.

Escala porcentual, calificativo y consecuencia del OEE

OEE	Calificativo	Consecuencias
< 65%	Inaceptable	Importantes pérdidas económicas. Baja competitividad
≥ 65% < 75%	Regular	Pérdidas económicas. Aceptable sólo si se está en proceso de mejora
≥ 75% < 85%	Aceptable	Ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja
≥ 85% < 95%	Buena	Buena competitividad. Valores considerados "World Class"
≥ 95%	Excelente	Competitividad excelente

Ilustración 11 Escala porcentual, calificativo y consecuencia del OEE

Fuente: Hernández, J. Vizán, 2013.

Asimismo, según define Hernández, J. Vizán, A. (2013), los conceptos de disponibilidad, rendimiento y calidad para el cálculo de la Eficiencia General de los Equipos.

9.1. Disponibilidad

El coeficiente de disponibilidad representa la fracción de tiempo que el equipo está operando realmente teniendo el reflejo de las pérdidas por averías y paradas. Para realizar su cálculo se parte del tiempo disponible total o también llamado tiempo de carga que es el tiempo total de operación menos el tiempo muerto, tal como descansos, reuniones programadas, interrupciones del programa.

Mientras tanto, el tiempo operativo es el tiempo de carga menos el tiempo que la máquina está parada debido a averías, ajustes, preparaciones, etc.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo trabajado real}}{\text{Tiempo disponible para producir}}$$

Ecuación 16 Disponibilidad

Fuente: Hernández, J. Vizán, 2013.

9.2. Rendimiento

También llamado coeficiente de eficiencia, este indicador mide el nivel real de funcionamiento de la máquina considerando las pérdidas ocasionadas por pequeñas paradas, velocidades operativas inferiores a la velocidad de diseño, tiempos muertos y cualquier otro evento que reduzca la productividad efectiva del equipo

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Producción teórica del equipo}}{\text{Producción real obtenida}}$$

Ecuación 17 Rendimiento

Fuente: Hernández, J. Vizán, 2013.

9.3. Calidad

El coeficiente de calidad se encarga de medir la fracción de la producción resultante que cumple con los estándares de calidad, cuya exigencia se ve reflejada en la parte del tiempo empleada en la generación de piezas defectuosas.

Este tipo de cálculo hace que el OEE se convierta en un examen severo, pues, por ejemplo, un OEE de 70% significa de cada 100 piezas buenas producidas por la máquina, solo ha fabricado 70. En la práctica se plantearían objetivos diferenciados de acuerdo con cada índice, por ejemplo, se plantea tener una disponibilidad del 92%, un rendimiento del 90% y una calidad del 99%, en total representaría un OEE del 82%.

$$\text{Calidad} = \frac{\text{Producción buena}}{\text{Producción real}}$$

Ecuación 18 Calidad

Fuente: Hernández, J. Vizán, 2013.

Calidad = Producción buena / Producción real

La Eficiencia General de los Equipos resulta interesante porque con un único indicador se evalúan todos los parámetros fundamentales de un sistema productivo. El valor numérico que se obtiene se debe determinar antes de introducir mejoras en los equipos para así tener en cuenta la situación actual del mismo y proyectar la eficiencia a la cual se quiere llegar.



Ilustración 12 Diagrama esquemático del cálculo del OEE

Fuente: OEE, 2010.

10. Indicadores Financieros para Evaluar Proyectos

En el análisis de proyectos de inversión, la aplicación de indicadores financieros constituye una herramienta fundamental para valorar su factibilidad económica y apoyar la toma de decisiones estratégicas. Estos indicadores permiten cuantificar el grado de rentabilidad, estimar la recuperación del capital invertido y comparar diversas alternativas de inversión bajo criterios objetivos. Entre los más relevantes se encuentran el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), los cuales permiten proyectar los flujos de efectivo futuros en función de una tasa de descuento determinada, evaluando así la conveniencia de ejecutar o descartar un proyecto. La correcta interpretación y aplicación de estos instrumentos financieros garantiza un proceso de evaluación riguroso y alineado con los objetivos financieros de la organización.

10.1. Tasa Interna de retorno (TIR).

La tasa de descuento que hace que el Valor Presente Neto (VPN) sea igual a cero. Es decir, es la tasa a la que los flujos futuros descontados de un proyecto igualan la inversión inicial, sin dejar pérdidas ni ganancias netas.

$$VPN = C_0 + \frac{C_1}{1 + TIR} + \frac{C_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{C_\tau}{(1 + TIR)^\tau} = 0$$

Ecuación 19 Tasa Interna de retorno

Fuente: Allen et al. (2010).

La regla de la Tasa Interna de Retorno (TIR) es una herramienta fundamental para la evaluación financiera de proyectos, ya que permite determinar si la rentabilidad de una inversión supera su costo de oportunidad. Esta regla se relaciona directamente con el Valor Presente Neto (VAN), como lo explican Allen et al. (2010):

Allen et al. (2010) señalan lo siguiente:

La regla de la tasa interna de rendimiento consiste en aceptar un proyecto de inversión si el costo de oportunidad del capital es menor que la tasa interna de rendimiento. Por ejemplo, si el costo de oportunidad del capital es menor para una TIR de 28%, entonces el proyecto tiene un VPN positivo cuando se descuenta al costo de oportunidad del capital. Si es igual a la TIR, el proyecto tiene un VPN de cero, y si es mayor el proyecto tendrá un VPN negativo. Por lo tanto, cuando comparamos el costo de oportunidad del capital con la TIR de nuestro proyecto, en realidad preguntamos si el proyecto tiene un VPN positivo, y así ocurre en todos los casos: la regla siempre dará la misma respuesta que la regla del valor presente neto si el VPN de un proyecto es una función de la tasa de descuento que decrece suavemente. (pp. 123–124)

10.2. El Valor Actual Neto (VAN)

Allen et al., 2010 menciona que el valor actual neto (VAN), también conocido como valor presente neto (NPV por sus siglas en inglés), es una herramienta utilizada para evaluar la viabilidad económica de un proyecto. Este indicador refleja el valor futuro del dinero que se espera recibir en distintos periodos, considerando la recuperación de la inversión inicial, la cobertura de los costos operativos y la obtención de utilidades. Si el VAN resulta ser positivo, significa que los ingresos superan los costos, lo cual sugiere que el proyecto es rentable y, por tanto, recomendable para su ejecución. Para calcular este valor, es necesario descontar los flujos de efectivo futuros mediante una tasa apropiada, comúnmente conocida como tasa de descuento, tasa mínima aceptable o costo de oportunidad del capital

- Valor presente

$$VP = \frac{C_1}{1 + r}$$

Ecuación 20 Valor presente

Fuente: (Allen et al., 2010).

- Valor presente para varios periodos

$$VP = \frac{C_1}{1+r} + \frac{C_2}{(1+r)^2} + \dots$$

Ecuación 21 Valor presente para varios periodos

Fuente: (Allen et al., 2010).

- El valor presente neto

$$VPN = C_0 + \frac{C_1}{1+TIR} + \frac{C_2}{(1+TIR)^2} + \frac{C_3}{(1+TIR)^3} + \dots$$

Ecuación 22 valor presente neto

Fuente: (Allen et al., 2010)

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

Enfoque de la Investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, ya que busca ofrecer una solución práctica a un problema real identificado en la empresa Metales Perfex S.A., mediante el diseño de un plan de Mantenimiento Productivo Total (TPM) que mejore la eficiencia operativa y la confiabilidad de los equipos.

La presente investigación adopta un enfoque cuantitativo, ya que se centra en la recolección y análisis de datos, con el fin de cumplir con los objetivos planteados que permitan identificar el estado actual del sistema de mantenimiento, así como evaluar el impacto de la propuesta del Mantenimiento Productivo Total (TPM) en la línea de producción de metal expandido de la empresa Metales Perfex S.A.

El enfoque cuantitativo permite realizar diagnósticos basados en indicadores técnicos como la disponibilidad, frecuencia de fallas, tiempo promedio de reparación (TPPR), eficiencia global de los equipos (OEE), y costos operativos, antes y después de aplicar la propuesta de mantenimiento. Este enfoque facilita la obtención de resultados comparables, reproducibles y estadísticamente significativos.

El estudio utiliza un método descriptivo de tipo no experimental, dado que se observará y analizará el estado actual de la línea de producción sin manipular las variables en un entorno controlado. A través de la recolección de datos históricos, registros técnicos y mediciones directas, se podrán describir las condiciones actuales del mantenimiento, sus efectos en la operación y los beneficios potenciales de la propuesta.

Adicionalmente, se realizará un análisis comparativo de indicadores operativos y económicos para evaluar el impacto del TPM. Esto incluye la estimación de reducción en tiempo de inactividad, mejora en la eficiencia operativa y disminución de costos asociados a mantenimiento correctivo.

Hernández, Fernández & Baptista (2014, p. 4), menciona que el enfoque cuantitativo implica un proceso secuencial y riguroso, en el cual cada etapa debe seguirse sin ser omitida. Comienza con una idea que se delimita progresivamente, a partir de la cual se plantean los objetivos y preguntas de investigación. Luego, se revisa la literatura existente, se formula un marco teórico, se desarrollan hipótesis, y se identifican las variables que se medirán. Estas se analizan dentro de

un diseño previamente establecido y, mediante herramientas estadísticas, se interpretan los resultados obtenidos

Alcance de la investigación

El alcance de la investigación es descriptivo porque detalla las condiciones actuales del sistema de mantenimiento, los tipos de fallas recurrentes, los indicadores de desempeño y las prácticas operativas.

También es explicativo porque busca determinar las causas que provocan las deficiencias en el mantenimiento y cómo la implementación del TPM puede corregirlas y mejorar la eficiencia global de los equipos (OEE).

Fuentes de información

Se utilizarán fuentes primarias como entrevistas al personal técnico y de producción, observaciones directas de la operación de las máquinas, análisis de registros internos de mantenimiento, y recopilación de datos de fallas, tiempos de paro y repuestos utilizados.

Así como también fuentes secundarias como libros, artículos científicos, tesis, manuales de fabricantes y documentación previa sobre TPM y mantenimiento preventivo.

Muestra o población

La población objeto de estudio corresponde a la línea de producción de metal expandido de la empresa Metales Perfex S. A, específicamente la línea de producción ANBER2 (EXP-02). compuesta por tres máquinas principales y el personal asociado a su operación y mantenimiento.

La muestra está conformada por:

- 3 equipos principales: Desbobinadora (DES-02), Maquina Expandidora de lámina (EXP-02) y Molino Aplanchador (PLA-02)
- Personal participante: 2 técnicos de mantenimiento, 4 operarios de producción y 1 supervisor de planta.

La selección fue intencional, ya que se eligieron los equipos y personas directamente involucrados en la problemática y en la aplicación del TPM.

Consideraciones éticas

El estudio se desarrolló bajo principios éticos de confidencialidad, respeto y consentimiento informado. Toda la información técnica, operacional y económica proporcionada por Metales Perfex S.A. fue utilizada exclusivamente con fines académicos. Los participantes fueron informados del propósito de la investigación y participaron de forma voluntaria, garantizando la veracidad de los datos y la integridad profesional del investigador.

Enfoque cuantitativo					
Objetivo	Variable	Indicador	Definición Conceptual	Definición Operacional	Definición Instrumental
Diagnosticar la situación actual del mantenimiento	Estado actual del mantenimiento	Disponibilidad de equipo	Conjunto de condiciones técnicas y organizativas que caracterizan el mantenimiento aplicado	Revisión de registros históricos de mantenimiento,	Hoja de inspecciones, ordenes de trabajo
Analizar cómo afecta a la producción los tiempos de paro por fallas y las demoras en la reparación de los equipos	Tiempos de paro, tiempos de reparación, pérdidas por inactividad	Disponibilidad de equipo	Relación entre la eficiencia productiva y el sistema de mantenimiento implementado	Análisis de tiempos de inactividad registrados en bitácoras y reportes de producción	Registro de paros, informe de producción,

Establecer planes de mantenimiento preventivo	Actividades programadas, Frecuencia de tareas, responsables definidos	Porcentaje de ejecución de programa	Plan estructurado de actividades sistemáticas para mantener los equipos en condiciones óptimas	Elaboración de cronograma de mantenimiento preventivo con responsables y periodicidad	Formato de cronograma, ordenes de trabajo
Determinar las tareas de mantenimiento que son más urgentes	Nivel de criticidad de equipos	Priorización de tareas	Asignación jerárquica de tareas según su urgencia e impacto	Aplicación de matriz de criticidad para determinar prioridades	Matriz de criticidad, análisis causa-raíz
Estimar el ahorro económico que generaría la implementación del TPM en la empresa	Aumento del tiempo de producción	Costos de capacitación, herramientas, repuestos, mano de obra	Evaluación económica de los recursos necesarios para implementar el TPM	Análisis financiero con base en cotizaciones, consumos estimados y presupuesto proyectado	Hoja de cálculo, tabla de costos, análisis comparativo

Tabla 2 Matriz de conceptualización Enfoque cuantitativo

Fuente: Elaboración propia, 2025.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE INVESTIGACIÓN

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos durante el diagnóstico técnico y organizacional realizado en la línea de producción de metal expandido Anber 2 de la empresa Metales Perfex S.A., así como el análisis de los datos recolectados en función de los objetivos propuestos en esta investigación.

El propósito principal es evidenciar las condiciones actuales de los equipos, determinar los principales factores que afectan su disponibilidad y eficiencia, y analizar las oportunidades de mejora mediante la implementación del programa de Mantenimiento Productivo Total (TPM). Asimismo, se presentan los indicadores técnicos y económicos que permiten valorar el impacto potencial del plan propuesto sobre la productividad, confiabilidad y costos operativos.

4.1. Descripción general de los datos recolectados

La información utilizada en este estudio fue obtenida a partir de los registros internos de mantenimiento, hojas de control de producción, entrevistas con el personal técnico, y observaciones directas en planta. El periodo de análisis comprende desde 01/07/2025 hasta 31/10/25, abarcando las principales máquinas y equipos involucrados en el proceso de producción de metal expandido.

En la siguiente tabla se presentan los equipos evaluados y los parámetros básicos registrados durante el periodo de observación.

Código	Equipo	Función principal	Horas operadas (Diarias)	N° de fallas (Mes)	Horas paradas totales (Mes)
DES-02	Desbobinadora	Alimentación progresiva de lamina	16	1-2	2-5
EXP-02	Maquina Expandidora de	Expandido de lamina	16	10-20	40-50

	lamina				
PLA-02	Molino Aplanchador	Aplanado y lisado de lamina	16	6-8	10-15

Tabla 3. Equipos evaluados y parámetros generales

Fuente: Elaboración propia, 2025.

La máquina Expandidora presenta la mayor frecuencia de fallas, con 10-20 fallas mensuales y 40-50 horas de parada, equivalente a 3-4 días de producción perdidos por mes, lo que impacta significativamente la producción

4.2. Estado actual del sistema de mantenimiento

El mantenimiento en la empresa se ejecuta principalmente bajo un enfoque correctivo, donde las acciones se realizan únicamente después de que ocurre una falla funcional.

No existe un plan preventivo formal ni cronogramas establecidos, lo cual limita la planificación de repuestos, mano de obra y tiempos de parada.

Durante el análisis de los últimos 4 meses, en la línea de producción de la Anber 2 se registraron 68 intervenciones correctivas y solo 14 preventivas, representando un 77,6 % de acciones correctivas. Esto evidencia una falta de sistematización y seguimiento de actividades preventivas que garanticen la continuidad de la operación.



Gráficos 1 Porcentaje de mantenimientos correctivos y preventivos registrados

Fuente: Elaboración propia, 2025.

4.3. Análisis de causas de falla

Con base en los datos recolectados, se identifica que la maquina Expandidora y el Molino Aplanchador son las que tienen mayor frecuencia de fallas y tiempos de parada, los cuales fueron analizados para determinar su impacto en la eficiencia global del sistema de producción.

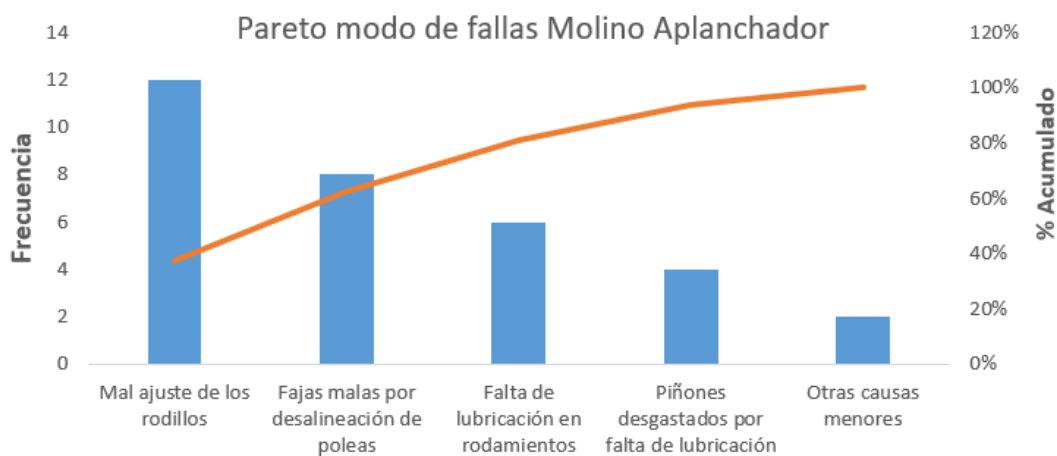
4.3.1. Molino Aplanchador

El molino aplanchador presenta fallas recurrentes, que afectan la calidad del producto final. Se identificaron las causas más frecuentes aplicando el diagrama de Pareto, se determinó que el 94 % de los paros se debe a cuatro causas principales

Causa principal de falla	Frecuencia (%)
Mal ajuste de los rodillos	38%
Fajas malas por desalineación de poleas	23%
Falta de lubricación en rodamientos	15%
Piñones desgastados por falta de lubricación	15%
Otras causas menores	8%

Tabla 4 Frecuencia de fallas molino aplanchador

Fuente: Elaboración propia, 2025.



Gráficos 2 Pareto modo de fallas molino aplanchador

Fuente: Elaboración propia, 2025.

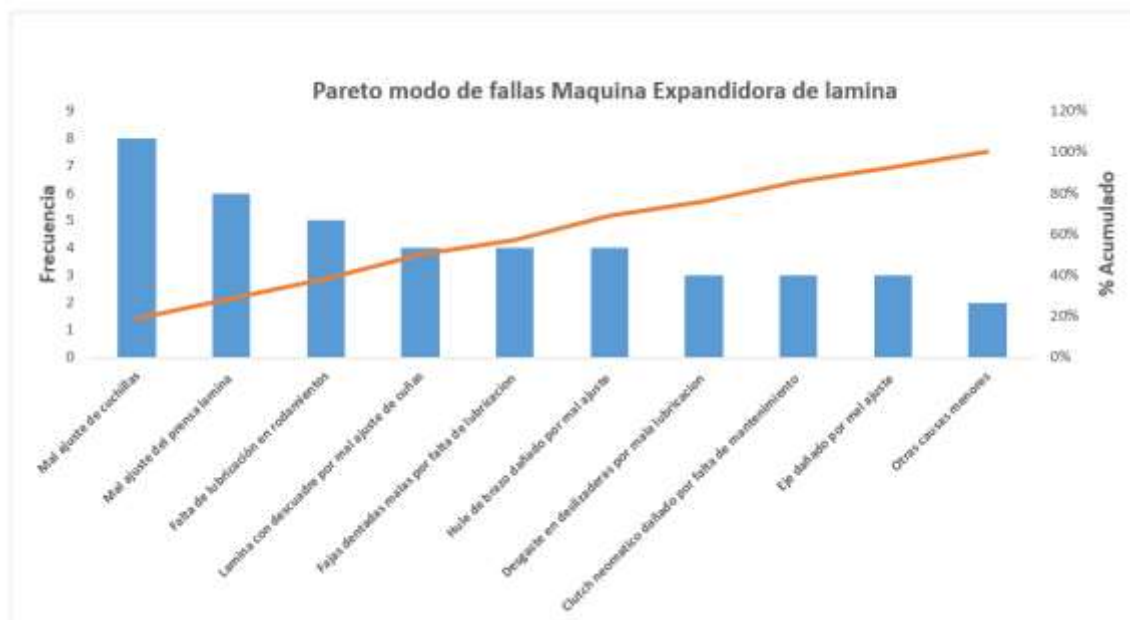
Para el Molino Aplanchador. El 94% de las paradas se deben a cuatro causas, siendo el mal ajuste de rodillos la principal (38%). Esto sugiere la necesidad de estandarizar procedimientos de ajuste y capacitar al personal

4.3.2. Maquina Expandidora de lamina

Causa principal de falla	Frecuencia (%)
Mal ajuste de cuchillas	19%
Mal ajuste del prensa lamina	14%
Falta de lubricación en rodamientos	12%
Lamina con descuadre por mal ajuste de cuñas	10%
Fajas dentadas malas por falta de lubricación	10%
Hule de brazo dañado por mal ajuste	10%
Desgaste en deslizaderas por mala lubricación	7%
Clutch neumático dañado por falta de mantenimiento	7%
Eje dañado por mal ajuste	7%
Otras causas menores	5%

Tabla 5 Frecuencia de fallas Maquina Expandidora de lamina

Fuente: Elaboración propia, 2025.



Gráficos 3 Pareto modo de fallas molino aplanchador

Fuente: Elaboración propia, 2025

Para la Máquina Expandidora. Las fallas están distribuidas en más causas, pero el mal ajuste de cuchillas y prensa lámina representan el 33% combinado, indicando que la calibración y ajuste son críticos.



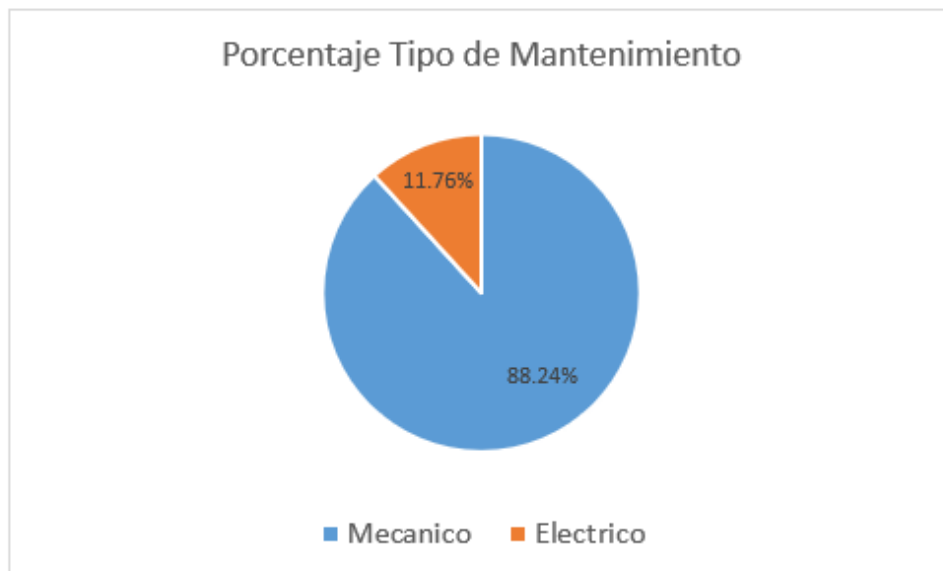
Ilustración 13 Daño en cuchilla por mal ajuste

Fuente: Propia, 2025

En la Ilustración 13 se observa el daño presente en la cuchilla, específicamente melladuras, rebabas y deformación del filo de corte, localizadas en las zonas señaladas en rojo. Este defecto es ocasionado por un ajuste inadecuado de la holgura entre la cuchilla y el yunque, lo que provoca contacto directo entre ambos elementos durante la operación de corte. Este problema se presenta con una frecuencia aproximada de tres veces por mes, debido a que los operarios realizan el ajuste

de forma empírica, sin considerar las holguras recomendadas por el fabricante. Esta deficiencia tiene un impacto significativo en la operación, ya que las cuchillas deben ser rectificadas para poder reutilizarse, proceso que requiere un turno completo de trabajo y reduce considerablemente la vida útil de la cuchilla.

Los resultados obtenidos durante el período de estudio indican que la mayoría de los eventos registrados corresponden a fallas de tipo mecánico con un 88%. Estas fallas están principalmente asociadas con el desgaste de los componentes debido al uso continuo de la maquinaria, lo que evidencia la necesidad de un mantenimiento preventivo más riguroso. Además, se identificaron problemas recurrentes relacionados con la falta de lubricación, lo que provoca fricción excesiva entre piezas móviles y acelera su deterioro.



Gráficos 4 Porcentaje de mantenimientos eléctricos y mecánicos

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Un factor crítico adicional es el correcto ajuste de la máquina por parte del operario. En varias ocasiones, se observaron ajustes incorrectos, que generan sobrecarga de los componentes, contribuyendo directamente a fallas mecánicas. Esto resalta la importancia de la capacitación del personal y de la aplicación de procedimientos estandarizados de operación y ajuste, asegurando que cada máquina funcione dentro de sus parámetros óptimos.

Se detectaron deficiencias en la limpieza y mantenimiento básico de los equipos, lo cual también afecta el desempeño mecánico. La combinación de estos factores evidencia la necesidad de un programa integral de Mantenimiento Productivo Total (TPM) que incluya no solo actividades preventivas y correctivas, sino también la participación de los operarios en la supervisión, ajuste y cuidado diario de las máquinas.

4.4. Resultados de la encuesta sobre percepción del TPM en el personal de Metales Perfex S.A.

Pregunta	Porcentaje de acuerdo (%)
Conozco el concepto de TPM.	20%
El sistema actual de mantenimiento es eficiente.	20%
Las fallas en los equipos afectan frecuentemente la producción.	90%
Existe buena comunicación entre producción y mantenimiento.	30%
He recibido capacitación en mantenimiento o TPM.	10%
El mantenimiento preventivo se realiza de forma constante.	15%
Es importante la participación del operario en el mantenimiento autónomo.	80%
La implementación del TPM mejorará la productividad.	90%
Estoy dispuesto a participar activamente en el TPM.	80%

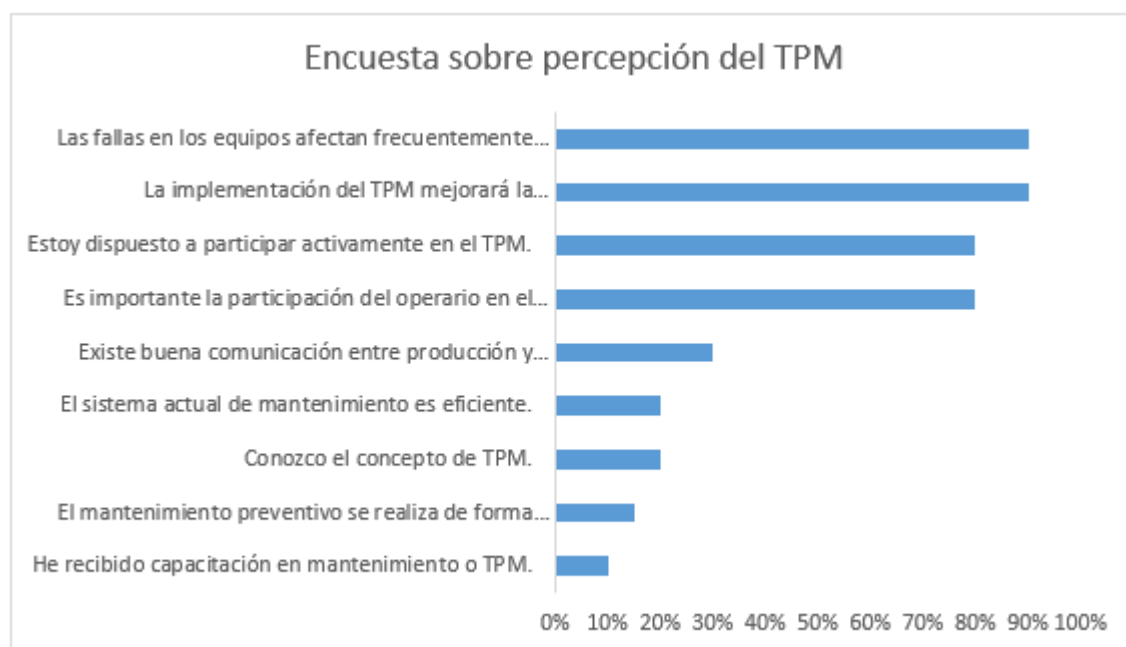
Tabla 6 encuesta sobre percepción del TPM

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Según la encuesta realizada al personal operativo y técnico de Metales Perfex S.A., se evidencia una percepción positiva respecto a la implementación del Mantenimiento Productivo Total (TPM). Los resultados muestran que el 90 % de los encuestados considera que la aplicación del TPM mejorará la productividad de la línea de producción, y un 80 % manifestó su disposición para participar activamente en las actividades de mantenimiento autónomo. Estos porcentajes reflejan una actitud favorable hacia el cambio y una alta aceptación del enfoque participativo que

propone el TPM.

No obstante, los datos también revelan debilidades significativas en el sistema de mantenimiento actual, particularmente a la capacitación técnica del personal y a la ejecución constante de mantenimiento preventivo. Estas limitaciones confirman la necesidad de establecer un programa estructurado de formación continua y de planificación preventiva. Asimismo, la comunicación entre los departamentos de producción y mantenimiento presenta un nivel muy bajo, lo que sugiere la importancia de fortalecer los canales de coordinación interna para mejorar la respuesta ante fallas y optimizar la gestión operativa.



Gráficos 5 Encuesta sobre percepción del TPM

Fuente: Elaboración propia, 2025.

4.5. Análisis de criticidad

Con el propósito de identificar los equipos que representan un mayor riesgo para la continuidad operativa de la línea de producción de metal expandido, se elaboró una matriz de criticidad con base a los registros históricos y bitácoras. Esta herramienta permite evaluar la importancia relativa de cada equipo en función del impacto que tendría su falla sobre la producción, su frecuencia de ocurrencia y la facilidad para detectar dichas fallas.

La matriz de criticidad constituye un elemento fundamental dentro del diseño del plan de Mantenimiento Productivo Total (TPM), ya que permite priorizar los recursos de mantenimiento hacia los equipos que requieren mayor atención preventiva.

La siguiente matriz muestra la clasificación cualitativa de criticidad para los principales equipos de la línea de producción de metal expandido en la empresa Metales Perfex S.A., aplicando el método del flujograma de análisis de criticidad propuesto por Crespo (2015). Los equipos se evaluaron considerando los criterios de Disponibilidad de repuesto (E), Seguridad (S), Calidad (Q), Tiempo de Trabajo (W), Entrega (D), Fiabilidad (F) y Mantenibilidad (M). La clasificación final (A, B o C) representa el nivel global de criticidad, siendo A la más alta y C la más baja.

La siguiente tabla resume los criterios considerados en el método cualitativo de análisis de criticidad propuesto, así como la escala de clasificación cualitativa (A, B, C) utilizada para determinar el nivel de importancia o severidad asociado a cada criterio.

Criterio	Descripción	Clasificación A (Alta criticidad)	Clasificación B (Media criticidad)	Clasificación C (Baja criticidad)
E – Disponibilidad de repuestos	Facilidad y rapidez para obtener repuestos necesarios.	Pedido internacional más de un mes	Disponible en 1 semana	Stock local inmediato
S – Seguridad	Analiza riesgos a la integridad del personal.	Puede causar accidentes graves o incapacidades.	Lesiones menores, sin ausencias laborales.	Sin riesgo para el personal.
Q – Calidad	Mide el efecto de una falla sobre la calidad del producto.	Falla afecta calidad detectada por el cliente o mercado.	Defecto detectado y corregido internamente.	Sin impacto en la calidad.

W – Tiempo de trabajo	Considera el tiempo de operación del equipo.	Trabaja 3 turnos diarios o requiere atención continua.	Opera en 2 turnos.	Opera 1 turno o de uso eventual.
D – Entrega	Mide el impacto del fallo en la continuidad del proceso.	Detiene toda la línea de producción.	Afecta solo una parte del proceso.	No afecta la producción total.
F – Fiabilidad	Frecuencia con la que el equipo presenta fallas.	Falla cada semana	Falla cada mes	Falla cada año
M – Mantenibilidad	Tiempo promedio de reparación del equipo.	Requiere más de 16 horas.	Entre 4 y 8 horas.	Menos de 2 horas.

Tabla 7. Criterios y clasificación del método cualitativo de análisis de criticidad

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Equipo	E	S	Q	W	D	F	M	Criticidad
Desbobinadora								
Motor	C	C	C	B	A	C	B	C
Transmisión	C	B	B	B	A	B	B	B
Sistema Eléctrico	C	C	C	B	A	C	C	C
Molino Aplanchador								
Transmisión	B	B	A	B	A	A	B	B
Rodillos y Sistema de Aplanchado	A	A	A	B	A	B	A	A
Sistema Eléctrico	C	C	C	B	B	C	B	C

Maquina Expandidora de lamina								
Transmisión Principal	A	C	A	B	A	B	A	A
Movimiento De Cuchillas	B	B	A	B	A	A	B	A
Avance y Alimentación de la lamina	B	C	A	B	A	B	B	A
Servo motor y partes eléctricas	B	C	A	B	A	B	B	B
Panel Eléctrico	B	C	B	B	A	C	B	B
Maquina General	C	A	C	B	C	B	C	C

Tabla 8. Análisis de criticidad Línea Anber 2

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Se observa que los equipos clasificados con alta criticidad (A) corresponden principalmente a la máquina expandidora de lámina, en particular la transmisión principal, el mecanismo de movimiento de cuchillas y el sistema de avance y alimentación de la lámina y también los rodillos y sistema de aplanchado del molino aplanchador. La falla de cualquiera de estos componentes puede detener por completo la producción, afectar el cumplimiento de los pedidos y comprometer la calidad del producto final, por lo que constituyen elementos prioritarios dentro del plan de mantenimiento preventivo.

En la categoría B se agrupan los equipos con criticidad media, como la transmisión del molino aplanador y la desbobinadora. Si bien sus fallas pueden ocasionar una detención total del proceso, pueden generar pérdidas parciales de productividad o defectos en el producto, pero el tiempo de reparación y la obtención de repuestos es rápida, por lo que requieren un control periódico y una planificación preventiva adecuada.

Los equipos con baja criticidad (C), como los sistemas eléctricos, presentan un impacto reducido sobre la producción. Ya que sus fallas son muy pocas y rápidas de reparar

4.6. Indicadores de mantenimiento

Para evaluar la eficiencia técnica se estimaron los indicadores principales del mantenimiento durante los cuatro meses analizados

Indicador	Ecuación	Valor Estimado	Interpretación
Disponibilidad (A)	Ecuación 5	79.5%	La línea estuvo operativa el 78% del tiempo disponible.
TPEF (Tiempo medio entre fallas)	Ecuación 3	6h	Se presenta una falla cada 6 horas de trabajo
MTTR (Tiempo medio de reparación)	Ecuación 6	1h	El tiempo promedio de reparación por falla fue de 1 horas.
OEE (Eficiencia global de los equipos)	Ecuación 15	66%	Nivel de eficiencia bajo; ideal $\geq 85\%$.

Tabla 9 Indicadores de Mantenimiento

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El análisis de tiempos de paro confirma que las demoras en reparación afectan directamente la producción, con un MTTR de 1 hora que, aunque parece bajo, se repite 10-20 veces mensual en la expandidora, acumulando 40-50 horas de parada

TPEF de 6 horas, una falla cada 6 horas operativas es extremadamente alta para equipos industriales, donde el estándar debería ser >200 horas

Análisis de línea de producción de la Anber 2

Disponibilidad:

1. Tiempo de trabajo disponible mensual 265 horas
2. Tiempo de trabajo real mensual 211 horas

$$Disponibilidad = 100 \frac{265 - 54}{265}$$

$$\text{Disponibilidad} = 79.5\%$$

Rendimiento:

1. Producción teórica mensual: 5820 láminas
2. Producción real obtenida: 5036 láminas.

$$\text{Rendimiento} = \frac{5036}{5820}$$

$$\text{Rendimiento} = 86\%$$

Calidad:

3. Producción buena: 4882 láminas
4. Producción real: 5036 láminas.

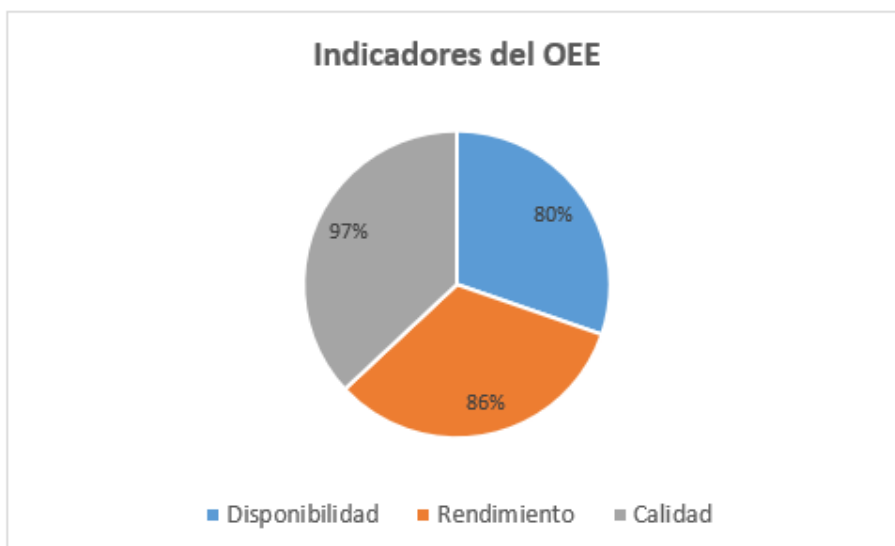
$$\text{Rendimiento} = \frac{4882}{5036}$$

$$\text{Rendimiento} = 97\%$$

Índice general de eficiencia Anber-2

$$\text{OEE} = 79.5\% \times 86\% \times 97\% \quad \text{EGE} = 66\%$$

Este valor está 19 puntos porcentuales por debajo del estándar mundial (85%), indicando pérdidas significativas por paradas (disponibilidad 79.5%) y velocidad reducida (rendimiento 86%)



Gráficos 6 Indicadores del OEE Línea Anber 2

Fuente: Elaboración propia, 2025.

4.7. Análisis de gestión de repuestos

Durante el diagnóstico efectuado al área de mantenimiento de la línea de producción de metal expandido Anber 2, se identificó que la gestión de repuestos constituye uno de los factores más determinantes en la continuidad operativa de los equipos. Los registros de mantenimiento evidenciaron que un alto porcentaje de los tiempos de parada se relacionan con demoras en la adquisición o disponibilidad de repuestos críticos, lo que repercute directamente en la disponibilidad y confiabilidad del sistema productivo.

La empresa Metales Perfex S.A. realiza la mayoría de sus adquisiciones de repuestos a través de proveedores nacionales, lo cual permite atender emergencias en plazos cortos, generalmente entre uno y tres días y reponer rápidamente piezas de consumo frecuente. Sin embargo, el costo de adquisición nacional es entre un 40 % y un 60 % más elevado que el precio por importación directa. Este modelo de compra reactiva, basado en la atención inmediata de fallas, evidencia una falta de planificación y control del inventario, lo que genera compras urgentes y un incremento constante en los costos operativos.

Por otra parte, se determinó que no todos los repuestos se consiguen en el mercado local. Algunos componentes específicos, como el clutch neumático, deslizaderas, fajas dentadas y ciertos elementos estructurales del sistema de expansión, deben ser importados, ya que no existen equivalentes nacionales compatibles con las máquinas de la línea. Estos repuestos presentan

tiempos de entrega prolongados, que oscilan entre 30 y 60 días, lo que genera periodos de inactividad significativos cuando ocurre una falla imprevista

Parámetro	Proveedores Nacionales	Importación directa	Diferencia
Costo promedio repuesto críticos	100%(referencia)	40-60% del costo nacional	Ahorro 40-60%
Tiempo de entrega	1-3 días	30-60 días	Demora 4-8 semanas
Condiciones de pago	30 días	50 % anticipo, 50% contra entrega	Mas restrictivo

Tabla 10 Comparativa de Costos y Plazos - Importación vs. Nacional

Fuente: Elaboración propia, 2025.

En contraste, los repuestos de alta rotación como rodamientos pequeños, fajas en v, y tornillería sí se adquieren fácilmente en el mercado nacional, lo que permite una respuesta rápida en las reparaciones menores o mantenimientos rutinarios. No obstante, la falta de un sistema de control formal sobre estos insumos provoca acumulación innecesaria de piezas de bajo costo y escasez de repuestos críticos que requieren un plazo mayor de importación.

El análisis de registros históricos evidenció que cerca del 40 % de las fallas con paros prolongados en los equipos críticos (principalmente la máquina Expandidora y el Molino Aplanchador) se relacionan directamente con la ausencia o demora en la obtención de repuestos. En promedio, los tiempos de espera para piezas locales son de 3 a 5 días, mientras que para repuestos importados pueden alcanzar hasta dos meses, afectando significativamente los indicadores de disponibilidad y eficiencia global de equipos (OEE).

Actualmente, la empresa no cuenta con un sistema formal de inventario ni con una clasificación por niveles de criticidad. La gestión se realiza mediante registros manuales en hojas de cálculo, sin control de rotación, consumo ni trazabilidad. Este método dificulta la planificación y genera incertidumbre sobre la existencia real de ciertos repuestos, obligando al personal técnico a confirmar manualmente la disponibilidad en bodega antes de cada intervención. Esta práctica incrementa los tiempos improductivos y retrasa la ejecución de mantenimientos programados.

Equipo / Línea	Repuesto	Cantidad Requerida	Costo Unitario (€)	Costo Total (€)	Criticidad	Disponibilidad Nacional	Recomendación de Inventario
EXP-02	Clutch neumático	1	601,145.76	601,145.76	Alta	No	Mantener 1 unidad
	Caja reductora	1	1,878,580.50	1,878,580.50	Alta	No	Mantener 1 unidad
	Prensa de lámina	1	1,250,000.00	1,250,000.00	Media	No	Mantener 1 unidad
	Fajas dentadas excéntricas	4	175,334.18	701,336.72	Alta rotación	No	Mantener 4 unidades.
	Fajas dentadas servomotor	2	22,500.00	45,000.00	Media	Sí	Mantener 2-4 unidades.
	Roles excéntrica	2	654,000.00	1,308,000.00	Media	No	Mantener 2-3 unidades .
	Roles de brazo	4	30,000.00	120,000.00	Alta rotación	Sí	Mantener 4 unidades.
	Deslizaderas	1	1,425,000.00	1,425,000.00	Alta	No	Mantener 1 unidad
	Hule de brazo	4	50,000.00	200,000.00	Media	Sí	Mantener 2-4 unidades.
PLA-02	Rodamientos de rodillos	1	1,480,000.00	1,480,000.00	Alta	No	Mantener 1 unidad.
	Piñones	1	425,811.58	425,811.58	Media	Sí/Limitado	Mantener 1 unidad
	Fajas en V	4	12,000.00	48,000.00	Alta rotación	Sí	Mantener 4-8 unidades.
				9,482,874.56			

Tabla 11 Repuestos propuestos para inventario

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El análisis de la tabla 11 evidencia que la línea cuenta con repuestos cuyos tiempos de reposición y disponibilidad pueden comprometer significativamente la operación, especialmente en el caso de componentes importados como el clutch neumático, la caja reductora, los rodamientos especiales y las deslizaderas. Asimismo, se observa la necesidad de mantener inventarios mínimos para los repuestos de alta rotación, tales como fajas, roles y hules de brazo, con el fin de evitar paros no programados por desgaste normal. La tabla permite definir una estrategia de inventario más precisa y alineada con los principios del Mantenimiento Productivo Total (TPM), orientada a asegurar la continuidad operativa, optimizar costos y fortalecer la confiabilidad de las líneas Anber 2

4.8. Análisis financiero

Es importante señalar que los costos asociados a las fases de implementación del programa TPM no representan una inversión extraordinaria ni requieren la asignación de un presupuesto externo adicional. Todas las actividades contempladas se integran dentro del presupuesto regular de mantenimiento de la empresa, aprovechando los recursos, el personal técnico y los procedimientos ya establecidos. Únicamente se incorpora el costo mensual de los insumos necesarios para ejecutar las tareas del TPM, el cual asciende a €91,196.17. Este monto se encuentra dentro de los límites del presupuesto operativo actual, por lo que no genera una afectación significativa y permite implementar el programa de manera sostenible y organizada.

Costo por hora de paro de la maquina

Actual				Objetivo			
Línea	Horas de paro Mensual	Costo de paro por hora	Total	Línea	Horas de paro Mensual	Costo de paro por hora	Total
Anber 2	59	₡295,615.53	₡17,441,316.27	Anber 2	23.6	₡295,615.53	₡6,976,526.51

Ilustración 14 Costo por hora de paro de la maquina

Fuente: Elaboración propia, 2025.

De acuerdo con lo mostrado en la Tabla 14, la empresa cada vez que se detiene una máquina tiene un costo directo, motivo por el cual se deja de producir en ese tiempo, esto mismo tiene una implicación directa en la venta, si la mejora puede ejecutarse de la forma correcta, este costo podría reducir un 40%.

Actualmente, la línea registra 59 horas de paro mensuales, lo que genera un costo total de ₡17,441,316.27, considerando un costo por hora de paro de ₡295,615.53, el cual se encuentra debidamente, calculado y validado por la empresa como parte de sus indicadores internos de costos operativos.

Esta situación refleja la urgencia de implementar acciones de mejora que permitan disminuir estos tiempos improductivos y aumentar la disponibilidad del equipo.

Con la correcta aplicación de las actividades de mejora planteadas en el marco del TPM, se estima que es posible reducir al menos un 40% las horas de paro actuales. Bajo este escenario, las horas de paro mensual de la línea Anber 2 disminuirían a 23.6 horas, lo que representa un costo revisado de ₡6,976,526.51. Esta reducción no solo implica un ahorro mensual considerable, sino que además incrementa la capacidad real de producción, la tasa de entrega a tiempo y la estabilidad operativa del proceso.

Para lograr esta meta, los mantenimientos planificados deben ejecutarse una vez al mes con una duración de 10.5 horas, contando con la participación de dos técnicos con un costo de ₡2,500 por hora cada uno y dos operarios con un costo de ₡2,000 por hora cada uno. Este recurso humano permite realizar intervenciones efectivas sin afectar significativamente el presupuesto y garantiza que las tareas se lleven a cabo de manera adecuada, evitando paros inesperados y prolongados.

En conjunto, la comparación entre la situación actual y el objetivo proyectado demuestra que la reducción de horas de paro es una de las acciones con mayor impacto económico y operativo dentro del programa TPM. La disminución de tiempos muertos no solo reduce los costos directos,

sino que también contribuye a mejorar la confiabilidad de la línea Anber 2, aumenta la eficiencia global del equipo (OEE) y fortalece la continuidad productiva de la planta.

Análisis financiero para la compra de repuesto

Para los cálculos se tomarán en cuenta los siguientes aspectos:

- Todos los cálculos financieros se realizaron en Microsoft Excel.
- La inversión se financiará 100% con capital propio de la empresa.
- El valor total de los repuestos es de ¢9,482,874, con un plan de pago distribuido en 2 años.
- El costo de oportunidad del capital es del 4% anual, que representa el rendimiento que la empresa podría obtener si invirtiera los fondos en lugar de destinarlos a la compra de repuestos.
- Con la adquisición de repuestos, se reduce el tiempo de paro en 10 horas mensuales, pasando de 23.6 horas a 13.6 horas mensuales.
- El valor de cada hora de paro es de ¢295,615.53, lo que genera un ahorro mensual de ¢2,956,155.30 (10 horas \times ¢295,615.53).
- El horizonte de evaluación es de 5 años, considerando la vida útil de los repuestos y los beneficios continuos.

Flujos de Caja Proyectados

Inversión Inicial

- La inversión total de ¢9,482,874 se distribuye en dos pagos iguales:
- Año 0: ¢4,741,437
- Año 1: ¢4,741,437

Ahorros Anuales

- Ahorro mensual: ¢2,956,155.30
- Ahorro anual: ¢35,473,863.60 (¢2,956,155.30 \times 12 meses)

Valor presente

Periodo	Flujo netos de efectivo	Valor presente
0	-C4,741,437.00	-C4,741,437.00
1	C30,732,426.60	C29,550,410.19
2	C35,473,863.60	C32,797,580.99
3	C35,473,863.60	C31,536,135.57
4	C35,473,863.60	C30,323,207.28
5	C35,473,863.60	C29,156,930.07
		C148,622,827.10

Tabla 12 Calculo de VP.

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tiempo de recuperación

Tiempo de recuperacion		
Periodo	VAN	Resultado
1	-C4,741,437.00	C4,741,437.00
2	C24,808,973.00	C0.00
3	C57,593,504.00	C0.00
4	C89,117,091.00	C0.00
5	C119,428,232.00	C0.00

Tabla 13 Cálculo del período de recuperación.

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Valor Presente Neto y Tasa Interna de Retorno

VPN	C148,622,827.10
TIR	661%
Periodo de recuperacion	Menos de 1 año

Tabla 14 Calculo de VPN, TIR y periodo de recuperación.

Fuente: Elaboración propia, 2025

VAN altamente positivo (C148.6 millones) Esto significa que, descontando el costo del capital al 4%, la compra de los repuestos genera beneficios muy superiores a la inversión inicial.

TIR extremadamente alta (661%) Este valor tan elevado se explica porque la inversión es relativamente pequeña (C9.48 millones en total) y el ahorro anual es extraordinariamente grande

(C\$35.47 millones por año).

El proyecto recupera la inversión en menos de 2 meses. La adquisición de los repuestos es financieramente excelente, ya que genera retornos muy superiores al costo de oportunidad. recupera la inversión casi inmediatamente. Aporta un ahorro acumulado muy significativo durante los 5 años evaluados.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- El diagnóstico realizado en la línea de producción de metal expandido de Metales Perfix S.A. permitió determinar que el sistema de mantenimiento es predominantemente correctivo, representando un 77.6% de las intervenciones registradas. Se evidenció la ausencia de una planificación preventiva estructurada, así como deficiencias en la documentación técnica y en la gestión sistemática de fallas, lo que ha generado paradas recurrentes, baja confiabilidad operativa y un incremento significativo en los costos asociados a fallas no programadas.
- El análisis de los tiempos de inactividad mostró que los equipos presentan aproximadamente 54 horas mensuales de paro por fallas, lo que incide directamente en el desempeño productivo reflejado en un OEE del 66%. Este valor se encuentra por debajo del estándar industrial del 85%, afectando la capacidad instalada, el cumplimiento de la demanda y la competitividad de la empresa dentro del sector metalmeccánico. Se comprobó que las demoras en reparación y la falta de planificación impactan negativamente la eficiencia global del proceso.
- A partir del diagnóstico y del análisis de criticidad, se estructuró un plan de mantenimiento preventivo TPM enfocado en los equipos de mayor impacto operacional, especialmente la Expandidora EXP-02 y el Molino Aplanchador PLA-02, clasificados con criticidad categoría A y responsables del 70% de las paradas no programadas. El plan contempla inspecciones periódicas, ajustes técnicos, alineaciones, lubricación programada y estandarización de procedimientos, integrando los principios del Mantenimiento Productivo Total (TPM).
- Mediante el análisis de Pareto se identificaron como principales causas de falla el mal ajuste de componentes (38%), la desalineación (23%) y la falta de lubricación (15%). Con base en estos resultados, se definieron tareas prioritarias de mantenimiento, estableciendo frecuencias de ejecución, duración estimada de intervención y características técnicas específicas para cada actividad. Estas acciones permiten reducir la probabilidad de fallas recurrentes y mejorar la confiabilidad operativa de la línea de producción.
- El análisis técnico-económico determinó que la implementación del TPM permitiría incrementar el OEE hasta un 75% y reducir los tiempos de parada en aproximadamente un

40%, pasando de 59 horas mensuales a 23.6 horas. Esta mejora operativa generaría un beneficio económico estimado de ¢10,464,789.76 mensuales. Además, la adquisición estratégica de repuestos críticos podría reducir los tiempos de inactividad hasta 13.6 horas mensuales, generando ganancias adicionales de ¢2,956,155.30. Estos resultados confirman que la adopción del TPM constituye una estrategia técnica, organizacional y financieramente viable, fortaleciendo la productividad y competitividad de Metales Perfex S.A. a largo plazo.

Recomendaciones

- Se recomienda establecer un inventario estratégico de repuestos críticos, definiendo niveles mínimos y máximos que garanticen la continuidad operativa. La priorización de la importación directa permitirá reducir los costos entre un 40% y un 60%, además de disminuir el riesgo de paros prolongados por falta de componentes esenciales.
- Se sugiere la implementación de un sistema de control visual de desempeño, soportado por un software de gestión de mantenimiento (CMMS/VMS), que permita integrar y visualizar de forma centralizada los principales indicadores de desempeño del mantenimiento, tales como OEE, MTBF y MTTR. La implementación de esta herramienta facilitará el monitoreo continuo de la operación, permitirá la detección temprana de desviaciones, y fortalecerá la toma de decisiones basada en datos reales, históricos y verificables. Asimismo, el uso de un sistema informático de mantenimiento permitirá una trazabilidad completa y estructurada de las actividades de mantenimiento preventivo, autónomo y correctivo, desde la generación de órdenes de trabajo hasta el análisis de fallas, contribuyendo a una gestión del mantenimiento más eficiente y alineada con los objetivos operativos de la empresa.
- Es recomendable desarrollar un programa de capacitación permanente orientado al fortalecimiento de las competencias en TPM, mantenimiento autónomo y buenas prácticas de lubricación. La formación continua del personal técnico y operativo contribuirá a mejorar la confiabilidad de los equipos y a reducir las fallas asociadas a errores de operación y mantenimiento. No obstante, esta recomendación no fue incluida en el análisis económico del presente estudio, debido a que su implementación depende de políticas internas y lineamientos operativos de la empresa, los cuales no cuentan actualmente con una estructura de costos ni con indicadores históricos que permitan cuantificar de manera objetiva su impacto económico directo.
- Con el propósito de mejorar la coordinación entre las áreas clave de la planta, se propone fortalecer los canales de comunicación entre producción y mantenimiento mediante reuniones semanales, indicadores compartidos y mecanismos de retroalimentación estructurados. Esto permitirá una planificación más efectiva de las intervenciones y una alineación operativa más robusta.
- Una vez consolidada la implementación del TPM en la línea Anber 2, se recomienda replicar progresivamente el modelo en otras líneas de producción de la empresa. Esto

permitirá estandarizar prácticas, homologar procedimientos y ampliar los beneficios obtenidos, promoviendo una cultura organizacional orientada a la mejora continua.

CAPÍTULO VI: PROPUESTA

Descripción

Propuesta del TPM

La propuesta consiste en la implementación de un programa de Mantenimiento Productivo Total (TPM) en la línea de producción de metal expandido (Anber 2) de la empresa Metales Perfex S.A., con el fin de transformar el sistema de mantenimiento actual, predominantemente correctivo, hacia uno preventivo y proactivo. La propuesta se basa en los hallazgos del diagnóstico, que revelaron una disponibilidad del 79.5%, un OEE del 66% y una alta frecuencia de fallas en equipos críticos.

Objetivos de la Propuesta

- Incrementar el OEE de la línea Anber 2 del 66% al 75%.
- Reducir el porcentaje de mantenimiento correctivo del 77.6% al 50%.
- Disminuir el tiempo de parada no programada en un 40%.
- Capacitar al 100% del personal operativo y de mantenimiento en TPM y mantenimiento autónomo.

Alcance

La implementación se llevará a cabo en la línea de producción Anber 2, que incluye los equipos: Desbobinadora (DES-02), Máquina Expandidora (EXP-02) y Molino Aplanchador (PLA-02). Se involucrará al personal de producción (4 operarios) y mantenimiento (2 técnicos) y al supervisor de planta.

Fases de Implementación

Fase 1: Preparación y Sensibilización

Actividades:

1. Constitución del comité TPM (compuesto por el gerente de planta, supervisor, 1 técnico, 1 operario).
2. Taller de sensibilización y capacitación en conceptos TPM para todo el personal.
3. Diagnóstico detallado y establecimiento de la línea base de indicadores (OEE, MTBF, MTTR).
4. Implementación de 5S en el área de la línea Anber 2.

Actividad	Cantidad de personas	Costo por hora	Cantidad de horas	Total
Constitución del comité TPM	4	€3,000.00	8	€96,000.00
Taller de sensibilización y capacitación	5	€2,500.00	10	€125,000.00
Diagnóstico detallado para base de indicadores	1	€3,000.00	15	€45,000.00
Implementación de 5S	4	€2,500.00	10	€100,000.00
				€366,000.00

Tabla 15 Costo Implementación base 1

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El costo total asociado a la Fase 1 asciende a **€366,000**, monto que corresponde principalmente al tiempo de dedicación del personal en actividades clave como la conformación del comité TPM, la capacitación del recurso humano, el levantamiento de la línea base de indicadores (OEE, MTBF y MTTR) y la implementación de la metodología 5S en la línea Anber 2

Fase 2: Mantenimiento Autónomo

Actividades:

1. Desarrollo de estándares de limpieza, lubricación e inspección para cada equipo.
2. Capacitación a operarios en detección de anomalías y mantenimiento autónomo (limpieza, lubricación, ajustes menores).
3. Implementación de tableros de control visual para monitoreo de condiciones de equipo.
4. Ejecución de mantenimiento autónomo por operarios, con seguimiento del comité TPM.

Actividad	Cantidad de personas	Costo por hora	Cantidad de horas	Total
Desarrollo de estándares de limpieza, lubricación e inspección	1	€3,000.00	8	€24,000.00
Capacitación a operarios en detección de anomalías y mantenimiento autónomo	5	€2,500.00	10	€125,000.00
Implementación de tableros de control visual para monitoreo de condiciones de equipo	5	€3,000.00	10	€150,000.00
Ejecución de mantenimiento autónomo por operarios, con seguimiento del comité TPM.	4	€2,500.00	10	€100,000.00
				€399,000.00

Tabla 16 Costo Implementación base 2

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Dentro de la Fase 2 del TPM, el enfoque principal se centra en la capacitación de los operarios para desarrollar competencias en limpieza, lubricación e inspección básica, de manera que puedan identificar oportunamente desviaciones en las condiciones normales de operación. Para ello, se establecen estándares claros que detallan los puntos críticos de cada equipo, la frecuencia de intervención y los métodos adecuados para realizar estas tareas. La formación incluye el uso correcto de los lubricantes recomendados para la línea ANBER 2, tales como

Nombre	Aplicaciones	Anexo
Certoptm Industrial Iso 68	Aceite para caja reductoras	4
PREMALUBE NLGI #2	Grasa para rodamientos y deslizaderas	5
X-433	Lubricante para cables y cadenas	6
HOLD-FASTPLU	Acondicionador de fajas	7

Tabla 17 Lubricantes recomendados

Fuente: Elaboración propia, 2025.

A través de esta capacitación, los operarios adquieren la capacidad de ejecutar adecuadamente la limpieza profunda, aplicar lubricación con el tipo de grasa o aceite adecuado, reconocer signos tempranos de desgaste y reportar anomalías mediante tableros visuales, fortaleciendo así la fiabilidad del proceso y reduciendo la dependencia exclusiva del personal técnico para tareas de mantenimiento rutinarias.

Fase 3: Mantenimiento Planificado

Actividades:

1. Elaboración de planes de mantenimiento preventivo para equipos críticos (basados en análisis de criticidad y modo de falla).
2. Establecimiento de cronogramas de mantenimiento preventivo (semanal, mensual, cuatrimestral y anual).
3. Implementación de un sistema de gestión de mantenimiento para registro y seguimiento de órdenes de trabajo.

Las actividades correspondientes a la Fase 3 no representan un costo adicional dentro del análisis financiero, ya que fueron ejecutadas previamente como parte del diagnóstico técnico y la preparación requerida para la formulación de la propuesta.

La programación de las actividades de mantenimiento se desarrolla a partir de los planes de mantenimiento preventivo establecidos en los Anexos 1, 2 y 3, los cuales detallan las tareas, frecuencias y requerimientos técnicos para cada equipo crítico de la línea. Con esta información se elaboran cronogramas que organizan las intervenciones semanales, mensuales, cuatrimestrales y anuales, garantizando que cada actividad se ejecute en el momento adecuado para prevenir fallas y asegurar la continuidad operativa. Esta planificación permite una asignación adecuada de responsables, una mejor gestión de recursos y una coordinación efectiva con las áreas operativas, lo que contribuye a una ejecución más eficiente del mantenimiento.

El proceso de programación inicia con la identificación de las tareas críticas, tales como lubricaciones periódicas, ajustes de alineación, inspección de componentes con desgaste y verificaciones mecánicas del sistema de expansión y del molino aplanchador. Una vez definidas, estas actividades se distribuyen de acuerdo con su frecuencia y prioridad, permitiendo establecer un cronograma preventivo alineado con las necesidades reales de operación y con las condiciones particulares de cada equipo. De esta manera, la programación del mantenimiento preventivo se convierte en un elemento esencial dentro del diseño del programa TPM, ya que estructura de forma ordenada las intervenciones necesarias para asegurar la confiabilidad, disponibilidad y desempeño adecuado de la línea ANBER 2, minimizando las afectaciones al proceso productivo.

La tabla 15 presenta la codificación de los períodos de ejecución de las actividades de mantenimiento, donde a cada frecuencia se le asigna un símbolo específico. Esta codificación permite simplificar la planificación, estandarizar los planes de mantenimiento y facilitar la interpretación de cronogramas, instructivos y órdenes de trabajo dentro del sistema de gestión de mantenimiento.

Periodo	Símbolo
Semanal	S
Mensual	M
Cuatrimestral	C
Anual	A

Ilustración 15 Periodo de ejecución

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Programación Mantenimiento Preventivo Desbobinadora Anber 2													
Actividad	Encargado	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Motor													
Medir los voltajes y corriente de línea del motor	Técnico	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Lubricar los rodamientos del motor	Operario	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Revisar estado del ventilador	Técnico		C				C				C		
Revisar estado de rodamientos	Técnico		C				C				C		
Transmisión													
Revisar pérdidas de aceite en caja reductora	Operario		C				C				C		
Revisar desgaste caja reductora	Técnico		C				C				C		
Cambiar aceite caja reductora	Técnico												A
Revisar desgaste de cadena y piñones	Operario	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Revisar alineado de rodillos	Técnico	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Lubricar muñoneras y cadena	Operario	5 S	4 S	4 S	5 S	4 S	4 S	5 S	4 S	4 S	4 S	4 S	5 S
Sistema Eléctrico													
Revisar todo el cableado y verificar su ajuste	Técnico												A
Revisar funcionamiento del brazo	Técnico	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Revisar funcionamiento de los componentes	Técnico												A

Código	Duraciones(min)	Cantidad	Total(min)	Total(Horas)
S	15	52	780	13
M	30	60	1800	30
C	60	12	720	12
A	90	5	450	7.5
			59.5	Año
			5	Mes

Ilustración 16 Programación Mantenimiento Preventivo Desbobinadora Anber 2

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Programación Mantenimiento Preventivo Expandidora Anber 2													
Actividad	Encargado	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Transmisión Principal													
Medir los voltajes y corriente de línea del motor	Tecnico	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Revisar estado del ventilador	Tecnico		C				C				C		
Revisar estado de rodamientos del motor	Tecnico	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Lubricar los rodamientos del motor	Operario	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Revisar desgaste en fajas	Operario	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Limpia y rociar con anti deslizante las fajas	Operario	5 S	4 S	4 S	5 S	4 S	4 S	5 S	4 S	4 S	4 S	4 S	5 S
Limpia y revisar poleas motor	Tecnico		C				C				C		
Verificar presión de aire del clutch	Operario	5 S	4 S	4 S	5 S	4 S	4 S	5 S	4 S	4 S	4 S	4 S	5 S
Revisar la unidad de mantenimiento del aire	Tecnico		C				C				C		
Revisar funcionamiento del clutch	Tecnico	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Revisar nivel de aceite caja reductora	Operario	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Cambiar el aceite caja reductora	Tecnico												A
Limpia y revisar poleas caja reductora	Tecnico	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Limpia y rociar con anti deslizante las fajas dentadas	Operario	5 S	4 S	4 S	5 S	4 S	4 S	5 S	4 S	4 S	4 S	4 S	5 S
Revisar ajuste y desgaste fajas dentadas	Operario	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Revisar y lubricar excéntrica	Operario		C				C				C		
Revisar desgaste de cuñas	Operario		C				C				C		
Movimiento de cuchillas													
Lubricar la cadena y los piñones	Operario	5 S	4 S	4 S	5 S	4 S	4 S	5 S	4 S	4 S	4 S	4 S	5 S
Revisar desgaste y piñones y cadena	Tecnico	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Revisar estado del hule del telescopio	Tecnico	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Revisar rodamientos del telescopio	Tecnico	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Revisar y lubricar deslizaderas	Operario	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Revisar eje del desplazamiento de la excéntrica	Tecnico	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Revisar estado de las bobas de aire	Operario	5 S	4 S	4 S	5 S	4 S	4 S	5 S	4 S	4 S	4 S	4 S	5 S
Lubricar barras de las bobas de aire	Operario	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Avance y Alimentación de la lamina													
Revisar engranajes rodillos de avance	Operario	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Revisar roles rodillos de avance	Tecnico	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Revisar prensa lamina	Operario	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Lubricar y revisar deslizaderas	Operario	5 S	4 S	4 S	5 S	4 S	4 S	5 S	4 S	4 S	4 S	4 S	5 S
Revisar tornillos de ajuste de cuchillas y yunques	Operario	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Revisar pistones neomaticos	Tecnico	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Revisar funcionamiento de valvula	Tecnico	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Revisar sistema de alineamiento de lamina	Tecnico		C				C				C		
Lubricar cuñas de ajuste de profundidad	Operario	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Servo motor y partes eléctricas													
Medir los voltajes de línea del Servomotor	Tecnico	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Revisar estado general servomotor	Tecnico		C				C				C		
Revisar estado de fajas dentadas	Operario	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Revisar funcionamiento de electrovalvulas	Tecnico	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Revisar estado de botoneras	Tecnico	5 S	4 S	4 S	5 S	4 S	4 S	5 S	4 S	4 S	4 S	4 S	5 S
Revisar sensor de avance	Tecnico	5 S	4 S	4 S	5 S	4 S	4 S	5 S	4 S	4 S	4 S	4 S	5 S
Panel Eléctrico													
Revisar todo el cableado y verificar su ajuste	Tecnico												A
Revisar estado de abanicos y limpiar filtros	Tecnico	5 S	4 S	4 S	5 S	4 S	4 S	5 S	4 S	4 S	4 S	4 S	5 S
Revisar funcionamiento de los componentes	Tecnico	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Revisar protecciones y fusibles	Tecnico	5 S	4 S	4 S	5 S	4 S	4 S	5 S	4 S	4 S	4 S	4 S	5 S
Revisar funcionamiento fuente DC 24V	Tecnico	5 S	4 S	4 S	5 S	4 S	4 S	5 S	4 S	4 S	4 S	4 S	5 S
Maquina General													
Revisar que todas las puertas estén bien	Operario	5 S	4 S	4 S	5 S	4 S	4 S	5 S	4 S	4 S	4 S	4 S	5 S
Revisar estado de mangueras neomaticas	Tecnico	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Revisar tornillería general de la máquina	Operario	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Verificar presión de manómetros	Tecnico	5 S	4 S	4 S	5 S	4 S	4 S	5 S	4 S	4 S	4 S	4 S	5 S
Revisar protectores de seguridad	Operario	5 S	4 S	4 S	5 S	4 S	4 S	5 S	4 S	4 S	4 S	4 S	5 S

Código	Duración(min)	Cantidad	Total(min)	Total(Horas)
S	15	728	10920	182
M	30	324	9720	162
C	60	21	1260	21
A	90	2	180	3
				368
				31
				Al año
				Al mes

Ilustración 17 Programación Mantenimiento Preventivo Expandidora Anber 2

Fuente: Elaboración propia, 2025

Programación Mantenimiento Preventivo Molino Aplanchador Anber 2													
Actividad	Encargado	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Transmisión													
Medir los voltajes y corriente de línea del motor	Tecnico	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Revisar estado del ventilador	Tecnico		C				C				C		
Lubricar los rodamientos del motor	Operario	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Revisar estado de rodamientos motor	Tecnico		C				C				C		
Revisar perdidas de aceite en caja reductora	Operario		C				C				C		
Revisar desgaste caja reductora	Tecnico		C				C				C		
Cambiar aceite caja reductora	Tecnico												A
Revisar desgaste en piñones	Operario	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Revisar desgaste en acople	Operario	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Limpia y rociar con anti deslizante las fajas	Operario	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Rodillos y Sistema de Aplanchado													
Revisar estado rodamientos rodillos	Tecnico	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Lubricar los rodamientos rodillos	Operario	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Revisar funcionamiento caja reductora ajuste	Tecnico	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Cambiar aceite caja reductora	Tecnico												A
Sistema Eléctrico													
Revisar todo el cableado y verificar su ajuste	Tecnico												A
Revisar funcionamiento del Abanico	Operario	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Revisar funcionamiento de los componentes	Tecnico												A

Código	Duración(min)	Cantidad	Total(min)	Total(horas)
S	15	0	0	0
M	30	108	3240	54
C	60	12	720	12
A	90	4	360	6
				72
				6

Ilustración 18 Programación Mantenimiento Preventivo Molino Aplanchador Anber 2

Fuente: Elaboración propia, 2025

El análisis de las actividades necesarias para cumplir con el programa de mantenimiento preventivo de la línea de producción ANBER 2 demuestra que, para atender adecuadamente las tareas de limpieza, lubricación, inspección, ajuste y correctivos programados, se requiere un total de 42 horas de intervención técnica por mes. Sin embargo, estas actividades son ejecutadas por un equipo conformado por cuatro personas: dos técnicos y dos operarios, quienes trabajan de forma simultánea y coordinada en los distintos puntos de la línea.

Gracias a esta distribución del trabajo, la carga efectiva por individuo se reduce significativamente. El tiempo real requerido por mes para cumplir con todas las tareas del programa es de 10.5 horas por persona. Este nivel de dedicación mensual resulta plenamente viable dentro de la jornada laboral, permite la correcta ejecución del mantenimiento preventivo y contribuye directamente a mejorar la disponibilidad operativa y la continuidad del proceso productivo.

Costo de insumos para realizar los mantenimientos preventivos

Insumo	Cantidad (unidades/mes)	Cantidad	Precio por Unidad	Total /Mes	Total /Año
PREMALUBE #2 Grasa	4	420 g	¢8,125.00	¢32,500.00	¢390,000.00
X-433 Lubricante especial para cadenas	1	317 g	¢12,930.00	¢12,930.00	¢155,160.00
HOLD FAST PLUS Lubricante cadenas	1	317 g	¢14,147.00	¢14,147.00	¢169,764.00
CERTOP INDUSTRIAL ISO 220 aceite tranmision	3.17	Litros	¢9,985.00	¢31,619.17	¢31,619.17
				¢91,196.17	¢746,543.17

Tabla 18 Insumos necesarios para realizar los mantenimientos preventivos

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Para estimar el costo asociado al mantenimiento preventivo mensual y anual de la línea ANBER 2, se realizó un análisis de los insumos requeridos para la ejecución de las actividades de lubricación, engrase y aplicación de aceites industriales. La tabla siguiente detalla los insumos utilizados, sus cantidades de consumo por mes, el precio por unidad y el costo total mensual y anual correspondiente. Esta información permite determinar el presupuesto necesario para asegurar la correcta lubricación y operación de los equipos, garantizando la continuidad del proceso productivo y la reducción de fallas asociadas a desgaste o falta de mantenimiento adecuado.

Fase 4: Evaluación y Mejora Continua

Actividades:

1. Monitoreo semanal de indicadores (OEE, MTBF, MTTR, porcentaje de mantenimiento correctivo vs. preventivo).
2. Reuniones de revisión del comité TPM para analizar desviaciones y definir acciones correctivas.
3. Realización de auditorías TPM y planes de mejora continua.

Actividad	Cantidad de personas	Costo por hora	Cantidad de horas	Total
Monitoreo semanal de indicadores	1	¢3,000.00	10	¢30,000.00
Reuniones de revisión del comité TPM	4	¢3,000.00	3	¢36,000.00
Realización de auditorías TPM y planes de mejora continua	3	¢2,500.00	3	¢22,500.00
				¢88,500.00

Tabla 19 Costo Implementación base 3

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Costo para la implementación en la línea Anber 2

Con el fin de determinar la inversión total requerida para la implementación del programa de Mantenimiento Productivo Total (TPM) en la línea ANBER 2, se realizó una consolidación de los costos asociados a cada una de las fases del proyecto, así como de los insumos necesarios para la ejecución del mantenimiento preventivo

Concepto	Monto
Fase 1	₡366,000.00
Fase 2	₡399,000.00
Fase 3	₡0.00
Fase 4	₡88,500.00
Insumos para Mantenimineto Mensual	₡91,196.17
	₡944,696.17

Tabla 20 Costo para la implementación

Fuente: Elaboración propia, 2025.

La tabla de costos totales evidencia que la mayor parte del gasto corresponde a las Fases 1 y 2, las cuales representan las actividades iniciales de preparación, sensibilización y estandarización operativa. Estas etapas requieren una inversión significativa debido principalmente a la participación del personal interno de la empresa y a la ejecución de talleres, capacitaciones y procedimientos fundamentales para el inicio del programa TPM. Es importante destacar que la implementación del TPM se realizará en su totalidad con recursos internos, sin la contratación de profesionales externos, lo que permite optimizar los costos y fortalecer las competencias técnicas del personal propio. Por otro lado, se observa que la Fase 3 no genera ningún costo adicional, ya que sus actividades fueron desarrolladas previamente durante el levantamiento de información y la elaboración de los planes de mantenimiento preventivo. La Fase 4 presenta un costo moderado, asociado principalmente a la capacitación final, seguimiento y sustentación del sistema TPM propuesto, actividades que también serán ejecutadas por el personal interno capacitado. Finalmente, el gasto correspondiente a los insumos de mantenimiento confirma la necesidad de contar con un presupuesto mensual destinado a garantizar la correcta lubricación, conservación y confiabilidad operativa de los equipos.

La implementación del plan de mantenimiento se apoya en el uso de dos registros operativos fundamentales que permiten documentar, medir y dar seguimiento a las actividades realizadas en la línea de producción ANBER 2. El primero corresponde a la orden de mantenimiento preventivo, presentada en el Anexo 5, la cual permite registrar de forma estructurada las actividades ejecutadas, los tiempos de intervención y los recursos utilizados, facilitando la evaluación de la mantenibilidad de los equipos, uno de los indicadores clave dentro de la filosofía TPM.

El segundo registro es la orden de trabajo para mantenimientos correctivos, incluida en el Anexo 4, cuyo objetivo es documentar los eventos de falla, los tiempos de paro y los indicadores de confiabilidad, como el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio de reparación (MTTR), permitiendo un control y análisis sistemático de los paros no programados. La utilización conjunta de ambos documentos asegura la trazabilidad de las intervenciones, respalda la toma de decisiones basada en datos reales y fortalece la mejora continua del sistema de mantenimiento propuesto.

Referencias Bibliográficas

Bibliografía

- Carlos Alberto Parra Marquez, A. C. (2015). Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada en la Gestión de Activos. Segunda Edición. Sevilla, España: INGEMAN .
- Martos, J. A. (2020). Lubricación de equipos y procesos en la industria metalúrgica. Autor.
- Montilla, C. A. (2019). Mantenimiento Industrial. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Villanueva, E. D. (2014). La productividad en el mantenimiento industrial . México : Patria .
- NCH Latin America. (2022). *Costa Rica – NCH Latin America*. <https://www.la.nch.com/costa-rica.html>
- Free Logistics. (2021). Eficiencia General de los Equipos OEE. Recuperado de <http://www.free-logistics.com>
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2003). Metodología de la investigación (3ª ed.). México: Editorial Mc Graw-Hill.
- Jordomex.com. 2022. Jordomex® | Metales Perf-Ex - Láminas de Metal Expandido y Perforado. [online] Available at: [Accessed 26 April 2022].

Anexos

Metales Perf-Ex S. A Departamento de Mantenimiento Programa de Mantenimiento Preventivo Última Revisión: 20/10/2025		<i>Manual de Mantenimiento Preventivo Planta Perf-Ex Sección Expandido</i>		
Máquina: Desbobinadora Anber 2		Código: DES-02		
Parte: Motor		Código: DES-02-01		
No	Inspección	Sub Parte	P	D(min)
DES-02 01	Medir los voltajes de línea del motor, verificar que es de 208V±10V, medir la corriente de línea con carga y verificar, Informar el valor de la medición. Verificar que están balanceadas para cada una de las fases y por último revisar que no existan ruidos anormales, en caso contrario informar. Medir la temperatura de la carcasa e informar su valor.	Motor	M	30
DES-02 02	Lubricar los rodamientos del motor con grasa Premalube grasa #2	Motor	M	30
DES-02 03	Revisar que el ventilador esté en buen estado no presente ninguna quebradura o algún tipo de anomalía, limpiarlos	Motor	C	60
DES-02 04	Escuchar, tocar y sentir los rodamientos, si el giro no es suave y tiene un sonido fuerte o algún sello desprendido o dañado, cambiar, en caso contrario informar	Motor	C	60

Máquina: Desbobinadora China		Código: DES-02		
Parte: Transmisión		Código: DES-02-02		
No	Inspección	Sub Parte	P	D(min)
DES-02 1	Revisar que la caja reductora no tenga fugas de aceite, en caso de que las haya revisar empaques y retenedores, cambiar de ser necesario	Caja Reductora	C	60
DES-02 02	Revisar que la caja reductora no tenga vibraciones excesivas, ni ruidos extraños, en caso de que las tenga, Revise que la alineación de la caja con el motor y de la caja con la cadena sea	Caja Reductora	C	60

		la correcta, además revise que todo el sistema de sujeción de la base de la caja este en excelente estado, sino reparar. Si la vibración continua revisar los rodamientos, si no giran suavemente y generan ruido excesivo cambiar, además revisar la correcta alineación de los engranes, revisar también que estos no tengan un diente quebrado o algún desgaste excesivo, en caso de que así lo sea informar.			
DES-02	03	Cambiar el aceite de la caja reductora (aceite transmisión 220)	Caja Reductora	C	90
DES-02	04	Revisar si existen dientes de los piñones de la cadena desgastados o quebrados, en caso de ser así informar. Además, verificar la tensión de la cadena sea la correcta, si existen evidencias de desgaste, informar, de ser necesario cambiar. Si todo está normal solamente Lubricar la cadena y los piñones de la cadena con Grasa	Cadena y piñones cadena	M	30
DES-02	05	Revisar correcto alineado de rodillos	Rodillos	M	30
DES-02	06	Lubricar muñoneras y cadena	Muñoneras y cadena	S	15

Máquina: Desbobinadora Anber 2			Código: DES-02		
Parte: Sistema Eléctrico			Código: DES-02-03		
No	Inspección		Sub Parte	P	D(min)
DES-02	01	Revisar todo el cableado eléctrico y verificar su ajuste, en caso de algún cable flojo con alguna fisura cambiar	Cableado	A	90
DES-02	02	Revisar sistema de brazo que funcione adecuadamente que la bobina no se despliegue demasiado	Brazo	M	30
DES-	03	Revisar que todos los componentes, estén	Componentes		

02	funcionando adecuadamente y no exista ningún tipo de falso contacto, limpiar bien con dieléctrico	A	90
----	---	---	----

Anexos 1 Manual de Mantenimiento Desbobinadora Anber 2 DES-02

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Metales Perf-Ex S. A Departamento de Mantenimiento Programa de Mantenimiento Preventivo Última Revisión: 22/10/ 2025		<i>Manual de Mantenimiento Preventivo Planta Perf-Ex Sección Expandido</i>		
Máquina: Expandidora Anber 2		Código: EXP-02		
Parte: Transmisión Principal		Código: EXP-02-01		
No	Inspección	Sub Parte	P	D(min)
EXP-02 01	Medir los voltajes de línea del motor, verificar que es de $208V \pm 10V$, medir la corriente de línea y verificar que está dentro de los rangos de corriente a plena carga según los datos de placa, y verificar que están balanceadas para cada una de las fases y por último revisar que no existan ruidos anormales, en caso contrario informar. Medir temperatura de la carcasa del motor e informar su valor.	Motor Principal	M	30
EXP-02 02	Revisar que el ventilador esté en buen estado no presente ninguna quebradura o algún tipo de anomalía, limpiarlos.	Motor principal	C	60
EXP-02 03	Escuchar, tocar y sentir los rodamientos, si el giro no es suave y tiene un sonido fuerte o algún sello desprendido o dañado, cambiar.	Motor Principal	M	30
EXP-02 04	Lubricar los rodamientos del motor	Motor Principal	M	30
EXP-02 05	Con la máquina trabajando observar las fajas si estas presentan algún sonido, vibran excesivamente, revisar el ajuste de las fajas, la alineación de las poleas, si las fajas están flojas: ajustar, si las poleas están desalineadas corregir. Si existe evidencia de desgaste como por ejemplo se pueden ver las fibras Cambiar	Fajas del Motor Principal	M	30

EXP-02	06	Rociar las Fajas en movimiento con HOLD-FAST PLUS	Fajas del Motor Principal	S	15
EXP-02	07	Limpiar las poleas, revisar que no exista algún desgaste o quebradura en ella, que no tenga algún contaminante como aceite, grasa, arena etc. En caso de que tengan desgaste cambiar o corregir, y corregir las fuentes de contaminación si las hay.	Poleas del Motor Principal	C	60
EXP-02	08	Verificar que la presión este en 65 a 87 PSI para la línea de alimentación del clutch, en caso contrario ajustar	clutch	S	15
EXP-02	09	Revisar la unidad de mantenimiento del aire, limpiar el filtro de partículas y verificar el nivel de aceite de la válvula lubricadora, en caso de que sea bajo, llenar.	clutch	C	60
EXP-02	10	Revisar correcto funcionamiento del clutch, que desactive y active el corte de manera correcta de no ser así revisar y corregir Limpiar bien con aire	clutch	M	30
EXP-02	11	Revisar el nivel de aceite del carter, si ya no se logra ver por el visor, reportar y llenar. Aceite transmisión 220 Revisar que no se presente alguna pérdida de aceite de lo contrario reportar y corregir	Caja	M	30
EXP-02	12	Cambiar el aceite, además verificar que ningún engranaje de los que se encuentran dentro del carter tenga algún desgaste, quebradura o daños o pérdidas de aceite, en caso de que así sea reparar.	Caja	A	90
EXP-02	13	Limpiar las poleas, revisar que no exista algún desgaste o quebradura en ella, que no tenga algún contaminante como aceite, grasa, arena etc. En caso de que tengan desgaste cambiar o corregir, y corregir las fuentes de contaminación si las hay.	Poleas caja dentadas Excéntrica	M	30
EXP-02	14	Rociar las Fajas en movimiento con HOLD-FAST PLUS	Fajas dentadas caja	S	15

EXP-02	15	Con la máquina trabajando observar las fajas si estas presentan algún sonido, vibran excesivamente, revisar el ajuste de las fajas, la alineación de las poleas, si las fajas están flojas: ajustar, si las poleas están desalineadas corregir. Si existe evidencia de desgaste como por ejemplo se pueden ver las fibras Cambiar	Fajas dentadas caja	M	30
EXP-02	16	Revisar excéntrica, que giren libremente y que no presenten ningún ruido, que se encuentre bien alineada y tener los tornillos bien sujetos	Excéntrica	C	60
EXP-02	17	Revisar que las cuñas no presenten desgaste y que funcionen correctamente	Cuñas	C	60

Máquina: Expandidora Anber 2			Código: EXP-02		
Parte: Movimiento De Cuchillas			Código: EXP-02-02		
EXP-02	01	Lubricar la cadena y los piñones de la cadena con Lubricante con Moly para cables y cadenas en aerosol.	Cadena y piñones de excéntrica	S	15
EXP-02	02	Revisar si existen dientes de los piñones de la cadena desgastados o quebrados, en caso de ser así reparar e informar. Además, verificar la tensión de la cadena, si existen evidencias de desgaste, cambiar.	Cadena y piñones de excéntrica	M	30
EXP-02	03	Revisar correcto funcionamiento del telescopio, revisar que el hule está haciendo su función revisar el desgaste del bushing de bronce Limpiar y lubricar	Telescopio	M	30
EXP-02	04	Escuchar, tocar y sentir los rodamientos, si el giro no es suave y tiene un sonido fuerte o algún sello desprendido o dañado, cambiar.	Telescopio	M	30

EXP-02	05	Revisar las deslizaderas (2 por riel, 4 por lado), lubricar con (Premalube grasa #2) que no presente signos de daño como balines sueltos o que se encuentren fojas de ser así (informar de inmediato)	Deslizaderas pequeñas	M	30
EXP-02	06	Revisar el eje del desplazamiento de la excéntrica que no presente inicios de descentrado de ser así informar y corregir Revisar que los rodamientos no tengan sellos desprendidos y que no presenten ruidos extraños	Eje y Rodamientos desplazamiento	M	30
EXP-02	07	Revisar el desgaste de las bolsas de aire, si se ven fibras del hule, o cierto fracturamiento, informar, Además revisar que no existan fugas o fuentes de aceite y grasa que caigan sobre las bolsas, en este caso corregir e informar.	Bolsas de aire	S	15
EXP-02	08	Lubricar barras de las bolsas de aire, revisar que no se encuentren desgastadas	Bolsas de aire e	M	30

Máquina: Expandidora Anber 2			Código: EXP-02		
Parte: Avance y Alimentación de la lamina			Código: EXP-02-03		
EXP-02	01	Revisar que no exista ningún diente quebrado o juego en los engranajes de los rodillos de avance, de ser así reparar, en caso contrario solamente lubricar. Revisar la cadena y los piñones que no presenten dientes quebrados y que la cadena tenga un buen ajuste	Rodillos de avance	M	30
EXP-02	02	Escuchar, tocar y sentir los rodamientos, si el giro no es suave y tiene un sonido fuerte o algún sello desprendido o dañado, cambiar.	Rodillos de avance	M	30
EXP-02	03	Revisar estado de los ejes y resortes, que el hule se encuentre en buen estado y cumpliendo la función	Resortes y hule de prensado	M	30

EXP-02	04	Revisar las deslizaderas, lubricar con (Premalube grasa #2) que no presente signos de daño como balines sueltos o que se encuentren fojas de ser así (informar de inmediato)	Quijada	S	15
EXP-02	05	Revisar tornillería de cuchillas y yunque que todas las roscas sirvan y que no faltan tornillos, de no ser así informar y corregir	Quijada	M	30
EXP-02	06	Inspeccionar visualmente en operación, verificar que no tengan ningún tipo de fractura o sonido extraño a la hora de operar y que no tenga fugas de aire, en caso de que así sea informar. Limpiar bien	Pistones de Aire comprimido	M	30
EXP-02	07	Revisar válvula que no presente signos de deterioro que no presente fugas de aire y trabaje correctamente Revisar que los roles estén bien, lubricar	Válvula de pistones	M	30
EXP-02	08	Revisar sistema de alineamiento de la lámina, revisar que la lámina no presente ganchos	Mesa	C	60
EXP-02	09	Lubricar las cuñas de ajuste de profundidad de la quijada (Premalube grasa #2) y revisar los tornillos de ajuste de las cuñas, si se encuentra alguna fractura o pandeo extraño informar.	Quijada	M	30
Máquina: Expandidora Anber 2			Código: EXP-02		
Parte: Servo motor y partes eléctricas			Código: EXP-02-04		
EXP-02	01	Medir los voltajes de línea del motor, verificar que es de $208 \pm 10V$, medir la corriente de línea y verificar que está dentro de los rangos de corriente a plena carga según los datos de placa, y verificar que están balanceadas para cada una de las fases y por último revisar que no existan ruidos anormales, en caso contrario informar. Medir temperatura de la carcasa del servo e informar su valor.	Servo motor	M	30

EXP-02	02	Revisar estado general, que no le caiga nada encima (aceite, grasa) de ser así informar y corregir	Servo motor	C	60
EXP-02	03	Con la máquina trabajando observar las fajas dentadas presentan algún sonido, vibran excesivamente, revisar el ajuste de las fajas, la alineación de las poleas, si las fajas están flojas: ajustar, si las poleas están desalineadas corregir. Si existe evidencia de desgaste como por ejemplo se pueden ver las fibras Cambiar Y lubricar	Servo motor	M	30
EXP-02	04	Revisar los voltajes de conexión de todas las electroválvulas que sean $24V \pm 5V$, además de inspeccionar que no tengan acceso a agua o algún tipo de sustancia que las mantenga húmedas, en caso de que esto exista corregir. Revisar que no presenten daños superficiales. Informar si los hay.	Electroválvulas	M	30
EXP-02	05	Revisar botoneras que no se encuentren en mal estado y que todos los botones estén bien	Botonera	S	15
EXP-02	06	Revisar sensor de avance que no se encuentre sucio, que se encuentre en la distancia recomendada de trabajo tener mucho cuidado	Sensor de Avance	S	15

Máquina: Expandidora Anber 2			Código: EXP-02		
Parte: Panel Eléctrico			Código: EXP-02-05		
EXP-02	01	Mover todo el cableado eléctrico y verificar su ajuste, en caso de algún cable flojo con alguna fisura cambiar	Cableado	A	90
EXP-02	02	Revisar estado de abanicos y limpiar filtros Revisar y limpiar bien abanicos internos (variador, fuente, PLC)	Abanicos	S	15
EXP-02	03	Revisar que todos los componentes del panel estén funcionando adecuadamente y no exista ningún tipo de falso contacto, limpiar bien con dieléctrico. Revisar botonera maquina	Panel Eléctrico	M	30

EXP-02	04	Revisar protecciones y fusibles que estén en correcto funcionamiento, tener fusibles para repuestos	Panel Eléctrico	S	15
EXP-02	05	Revisar fuente que esta no presente calentamientos que el voltaje de salida este entre los rangos	Fuente de 24DC	S	15
Máquina: Expandidora Anber 2			Código: EXP-02		
Parte: Maquina General			Código: EXP-02-06		
EXP-02	01	Revisar que todas las puertas estén bien que no estén caídas	Puertas	S	15
EXP-02	02	Revisar todas las mangueras, que no tengan fugas, reventaduras, dobleces etc. que pueda aumentar la pérdida de presión, en caso de que exista algún tipo de problema reparar.	Maquina general	M	30
EXP-02	03	Revisar tornillería general de la máquina, revisar que no se encuentren flojos de ser así aplicar Loctite 290	Maquina general	M	30
EXP-02	04	Verificar que los manómetros estén aproximadamente en 65 a 87 PSI en caso contrario ajustar la presión, y que funcionen adecuadamente, en caso de que alguno este dañado reportar para cambiar.	Sistema aire	S	15
EXP-02	05	Revisar que todos los protectores estén correctamente colocados y que no falta ninguno	Protectores	S	15

Anexos 2 Manual de Mantenimiento Expandidora ANBER 2 EXP-02

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Metales Perf-Ex S. A
Departamento de Mantenimiento
Programa de Mantenimiento Preventivo
Última Revisión: 22/10/2025

Manual de Mantenimiento Preventivo
Planta Perf-Ex
Sección Expandido

No		Inspección	Sub Parte	P	D(min)
Máquina: Plancha Anber 2			Código: PLA-02		
Parte: Transmisión			Código: PLA-02-01		
PLA-02	01	Medir los voltajes de línea del motor, verificar que es de $208V \pm 10V$, medir la corriente de línea con carga, Informar el valor de la medición. Verificar que están balanceadas para cada una de las fases y por último revisar que no existan ruidos anormales, en caso contrario informar. Medir la temperatura de la carcasa e informar su valor.	Motor	M	30
PLA-02	02	Revisar que el ventilador esté en buen estado no presente ninguna quebradura o algún tipo de anomalía, limpiarlos	Motor	C	60
PLA-02	03	Escuchar, tocar y sentir los rodamientos, si el giro no es suave y tiene un sonido fuerte o algún sello desprendido o dañado, cambiar, en caso contrario informar.	Motor	C	60
PLA-02	04	Revisar que la caja reductora no tenga fugas de aceite, en caso de que las haya revisar empaques y retenedores, cambiar de ser necesario	Caja Reductora	C	60
PLA-02	05	Revisar que la caja reductora no tenga vibraciones excesivas, ni ruidos extraños, en caso de que las tenga, Revise que la alineación de la caja con el motor y de la caja con la cadena sea la correcta, además revise que todo el sistema de sujeción de la base de la caja este en excelente estado, sino reparar. Si la vibración continua revisar los rodamientos, si no giran suavemente y generan ruido excesivo cambiar, además revisar la correcta alineación de los engranes, revisar también que estos no tengan un diente quebrado o algún desgaste excesivo, en caso de que así lo sea informar.	Caja Reductora	C	60
PLA-02	06	Cambiar el aceite de la caja reductora (aceite 220)	Caja Reductora	A	90
PLA-02	07	Revisar que no exista ningún diente quebrado en los engranajes de los rodillos de avance, de ser así reparar, en caso contrario solamente lubricar con grasa	Engranes de los rodillos	M	30

PLA-02	08	Revisar acople que se encuentre en buenas condiciones y que no presente vibraciones excesivas	Acople caja rodillos	M	30
PLA-02	09	Con la máquina trabajando observar las fajas si estas presentan algún sonido, vibran excesivamente, revisar el ajuste de las fajas, la alineación de las poleas, si las fajas están flojas: ajustar, si las poleas están desalineadas corregir.	Fajas y Poleas	M	30

Máquina: Plancha Anber 2			Código: PLA-02		
Parte: Rodillos y Sistema de Aplanchado			Código: PLA-02-02		
No	Inspección		Sub Parte	P	D(min)
PLA-02	01	Tocar, escuchar y sentir los rodamientos de los rodillos de aplanchado, si emiten un fuerte zumbido, entramamiento o algún otro síntoma de deterioro cambiar.	Rodillos de Aplanchado	M	30
PLA-02	02	Lubricar los rodamientos de los rodillos de aplanchado con grasa liviana #2	Rodillos de Aplanchado	M	30
PLA-02	03	Revisar el correcto funcionamiento de caja y revisar el nivel de aceite, si se encuentra baja rellenar con aceite transmisión 220	Caja reductora de ajuste	M	30
PLA-02	04	Cambiar el aceite de las cajas reductoras	Caja reductora de ajuste	A	90

Máquina: Plancha Anber 2			Código: PLA-02		
Parte: Sistema Eléctrico			Código: PLA-02-03		
No	Inspección		Sub Parte	P	D(min)
PLA-02	01	Mover todo el cableado eléctrico y verificar su ajuste, en caso de algún cable flojo con alguna fisura cambiar	Cableado	A	90
PLA-02	02	Revisar componentes eléctricos estén funcionando adecuadamente y no exista ningún tipo de falso contacto, limpiar bien con dieléctrico	Panel	A	90
PLA-02	03	Revisar abanico que esté funcionando correctamente y limpiar filtro	Panel	M	30

Anexos 3 Manual de Mantenimiento Molino Aplanchador Anber 2 PLA-02

Fuente: *Elaboración propia, 2025.*

Perfex	Orden de trabajo de correctivo		N°
FECHA: 05 enero, 2026 DPTO: Producción Perf-ex Cod máquina: EXP-02 Máquina: Expandidora Anber 2 Codigo Parte: EXP-02-01 Parte: Transmisión Principal	Prioridad: Urgente Empresa: Perfex Sección: Expandido Tipo Trabajo: Mecanico	452	
Descripción del trabajo Solicitado:			
Fecha/Hora de inicio: _____		Fecha/hora Finalizo: _____	
Descripción del trabajo realizado:			
Responsable del trabajo: _____		Responsable de la maquina: _____	

Anexos 4 Orden de trabajo de mantenimiento correctivo

Fuente: *Elaboración propia, 2025.*

Perfex	Orden de trabajo de preventivo	
FECHA: 05 enero, 2026	Frecuencia: Mensual	N°
DPTO: Producción Perf-ex	Fecha Programada: 08 enero, 2026	
Cod máquina: EXP-02		
Máquina: Línea de Expandido Anber 2		
Detalle de Actividades Realizadas		
Fecha/Hora de inicio: _____	Fecha/hora Finalizo: _____	
Insumos Utilizados:		
Acciones Recomendadas:		
Responsable del trabajo: _____	Responsable de la maquina: _____	

Anexos 5 Orden de trabajo de mantenimiento correctivo

Fuente: Elaboración propia, 2025.



CERTOP™ INDUSTRIAL

Aceite monogrado para rodamientos y engranajes cerrados de rendimiento avanzado, formulado para equipos industriales con trabajo pesado. **ISO 68, 150, 220, 320, 260 Y 680.**



- PROPORCIONA UNA PROTECCIÓN SUPERIOR CONTRA SELLOS CON FUGAS, ARRANQUES EN SECO, CONTAMINACIÓN DEL AGUA, OXIDACIÓN Y FORMACIÓN DE ESPUMA
- DURA HASTA 4 VECES MÁS QUE LOS ACEITES CONVENCIONALES

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES Y BENEFICIOS

AYUDA A ELIMINAR ARRANQUES EN SECO

PREVIENE ÓXIDO Y CORROSIÓN

DESPLAZA EL AGUA PARA UN DRENADO FÁCIL

CONTROLA LA ESPUMA

REDUCE LA TEMPERATURA DE OPERACIÓN Y RESISTE LA OXIDACIÓN PARA PROLONGAR LA VIDA DEL ACEITE

AMPLIO RANGO DE TEMPERATURA

CERTOP™ INDUSTRIAL opera de -12 °C a 135 °C (10 °F a 275 °F) intermitentemente con una relubricación monitoreada.

PARA UN RENDIMIENTO MÁXIMO LIMPIE PREVIAMENTE LAS CAJAS DE ENGRANAJE CON SYSTEM PURGE DE NCH

CUMPLE O EXCEDE LOS SIGUIENTES REQUISITOS DE RENDIMIENTO:

- Todas las API GL-3, GL-4 y GL-5 (la mayoría de GL-1 y aplicaciones GL-2)
- DIN 51517 Parte 3
- David Brown S1.53.101
- Cincinnati Milacron P-63 CM (ref# 1100207)
- US Steel #224
- AGMA 9005, 215.02 y 250.04
- AGMA 2EP a 8E

*Para más información consulte la etiqueta y la Hoja de Datos de Seguridad

www.la.NCH.com

© NCH Corporation

NCH

Anexos 6 Ficha técnica Aceite transmisión 220

Fuente: NCH Latin America. (2022)

NCH

PREMALUBE

Grasa a base de complejo de aluminio ideal para cargas pesada, presión extrema y altas temperaturas, **NLGI #2, #1.**



- **ESPECÍFICAMENTE FORMULADA PARA EQUIPO DE CONSTRUCCIÓN, MAQUINARIA PESADA Y EQUIPO INDUSTRIAL**
- **OFRECE PROTECCIÓN SUPERIOR PARA EQUIPOS CONTRA CARGAS PESADAS, TIERRA, POLVO, AGUA Y CALOR**

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES Y BENEFICIOS

PERMANECE EN EL LUGAR PARA PREVENIR DESGASTE BAJO CONDICIONES DE CARGA PESADA

PROPIEDADES EXCEPCIONALES DE REVERSIÓN DE CALOR

CONTIENE DISULFURO DE MOLIBDENO PARA MINIMIZAR EL DESGASTE ABRASIVO CAUSADO POR TIERRA Y POLVO

SUPERIOR RESISTENCIA AL AGUA

PREVIENE LA OXIDACIÓN Y CORROSIÓN

REDUCE SU INVENTARIO DE GRASA PARA AHORRAR COSTOS

EXCELENTE DESEMPEÑO EN ALTAS TEMPERATURAS
NLGI #2 permanece efectiva hasta temperaturas de 135 °C (275 °F) continuos y 204 °C (400 °F) intermitentes con lubricación monitoreada

DISPONIBLE EN FÓRMULA ROJA NLGI # 2, #1

CUMPLE O EXCEDE LOS SIGUIENTES REQUISITOS DE RENDIMIENTO:

- US Steel Mill Grease Specifications
- Roll Neck Grease, Req. No. 340
- Extreme Pressure Grease Req. No. 350
- Extra Duty EP Grease, Req. No. 352
- Extreme-Temp. Req. No. 355, 370, & 372
- Ball and Roller Bearing, Req. No. 371
- Mill Utility Grease Req. No. 375
- Military Spec. MIL-G-23549C
- CASE 251H EP
- Caterpillar MPG
- Ford M1E693A

*Para más información consulte la etiqueta y la Hoja de Datos de Seguridad

www.la.NCH.com

© NCH Corporation

NCH

Anexos 7 Ficha técnica grasa NLGL#2

Fuente: NCH Latin America. (2022)



X-433

Lubricante con Moly para cables y cadenas en aerosol.



- PENETRA, LUBRICA Y PROTEGE PARA INCREMENTAR LA VIDA DE CABLES Y CADENAS
- LUBRICA CON MOLY PARA REDUCIR LA FRICCIÓN Y EL DESGASTE

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES Y BENEFICIOS

PENETRA HASTA EL CENTRO DEL CABLE

Llega hasta el centro de los cables, cables trenzados y cadenas para mantenerlos flexibles y protegidos

SE PUEDE UTILIZAR EN INTERIORES O AL AIRE LIBRE

No se ve afectado por los cambios de temperatura y no se desliza. Es efectivo desde -40 °C (-40 °F) hasta 107 °C (225 °F)

LUBRICA CON MOLY PARA REDUCIR LA FRICCIÓN Y EL DESGASTE

Deja una capa de lubricación entre puntos de fricción extendiendo la vida de cables y cadenas

CREA UNA CAPA SUAVE QUE NO SE ENDURECE

Protege contra suciedad, polvo y lavado con agua

OFRECE PROTECCIÓN SUPERIOR ANTE ÓXIDO Y CORROSIÓN

Contiene inhibidores de óxido y corrosión

NO SE DESPLAZA

No será arrojado a altas velocidades, ni goteará a bajas velocidades

USADO AMPLIAMENTE EN:

- Manufactura industrial
- Procesamiento de alimentos
- Plantas químicas y refinerías
- Construcciones y minería
- Agencias federales, estatales y locales
- Materiales textiles
- Marina
- Departamentos de agua
- Tuberías de petróleo
- Perforadores de pozos de petróleo

IDEAL PARA USO EN:

- Cadenas
- Montacargas
- Grúas
- Cable de alambre
- Zanjadoras
- Transportador
- Pala de cable eléctrica
- Cables
- Camiones
- Trenes
- Plataformas de perforación
- Cadena de transmisión
- Equipos de perforación

*Para más información consulte la etiqueta y la Hoja de Datos de Seguridad

www.la.NCH.com

© NCH Corporation



Anexos 8 Ficha técnica lubricantes cables y cadenas

Fuente: NCH Latin America. (2022)



HOLD-FAST PLUS

Acondicionador de correas



- REDUCE EL DESLIZAMIENTO DE LA CORREA YA QUE PROTEGE Y PROLONGA SU VIDA.

- AUMENTA EL PODER DE TRACCIÓN EN CONDICIONES HÚMEDAS O SECAS.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES Y BENEFICIOS

MANTIENE LAS CORREAS SUAVES Y FLEXIBLES

No envejece, oxida, endurece o se seca.

LAS CORREAS SE PUEDEN ACONDICIONAR DURANTE EL FUNCIONAMIENTO

RESISTENTE A LA INTEMPERIE Y PROTEGE LAS CORREAS DE LA HUMEDAD

LIMPIA CORREAS DE MATERIA ACUMULADA

NO COLECTA SUCIEDAD, POLVO O PELUSA - NO ES ESMALTE

Excelente para todas las correas, planos o en forma de v fabricados con cualquier material de la correa.

Adecuado para su uso como lubricante de contacto no alimenticio en plantas de carne y aves de corral inspeccionadas federalmente.

IDEAL PARA USO EN:

- Alternadores
- Cables
- Herramientas
- Pasadores de pivote
- Cajas de engranajes
- Guarniciones
- Motores
- Ejes de bomba
- Cinturones de rejilla
- Guías-Maneras
- Rodillos
- Émbolos
- Volar ruedas
- Piezas de caucho
- Estribos
- Sinfines
- Transportadores
- Deslizaderas

www.la.NCH.com

NCH

Anexos 9 Ficha técnica Acondicionador de correas

Fuente: NCH Latin America. (2022)