Análisis y modificación de planes de mantenimiento preventivo por cambio en tiempos de parada y disponibilidad: Un acercamiento a la disponibilidad total.

Jharol Sebastian Agudelo Ramos

Informe de práctica presentado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Modalidad de Práctica

Semestre de Industria o Práctica Empresarial

Asesor:

Carlos Andrés Trujillo Suarez, Doctor (PhD) en Ingeniería Mecánica

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Mecánica

Medellín, Antioquia, Colombia

2025

Cita	(Agudelo Ramos, 2025)
Referencia **Estilo APA 7 (2020)**	Agudelo Ramos, J. S. (2025). *Análisis y modificación de planes de mantenimiento preventivo por cambio en tiempos de parada y disponibilidad: Un acercamiento a la disponibilidad total. [Informe de práctica]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia*



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
Vicerrectoría de Docencia

Sistema de Bibliotecas

Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: http://bibliotecadigital.udea.edu.co

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de contenido

Resumen 7

Abstract 8

1. Introducción 9

2. Objetivos 10

2.1 Objetivo general 10

2.2 Objetivos específicos 10

3. Marco teórico 11

3.1. Conceptualización del Mantenimiento Industrial 11

3.2. Mantenimiento Correctivo vs. Mantenimiento Preventivo/Predictivo 11

3.3. TPM y RCM: Principios y Aplicaciones 12

3.4. Lean Manufacturing y Análisis de Métricas en la Gestión de Mantenimiento 12

4. Metodología 14

4.1. Cronograma de actividades 15

4.2. Presupuesto estimado 16

5. Análisis de resultados 17

5.1. Análisis de estado 17

5.2. Encuesta de criticidad 18

5.3. Planteamiento de la matriz 19

5.4. Retroalimentación 20

5.5. Planteamiento de la nueva matriz 21

5.6. Modelo de frecuencia ajustado por planta 24

5.7. Análisis de criticidad 25

5.8. Hojas de ruta 26

5.9. Cronograma de mantenimiento 27

5.10. Análisis de resultados 28
6. Conclusiones y recomendaciones 31
Referencias 33

Lista de tablas

Tabla 1 Analisis de número de averías y tiempo de parada no programado. 18

Tabla 2 Resultados de la encuesta de factores de criticidad 19

Tabla 3 Matriz de consecuencia: factores de criticidad normalizados y criterio de evaluación ... 20

Tabla 4 Encuesta de nuevos factores de criticidad normalizados 21

Tabla 5 Matriz de consecuencias 22

Tabla 6 Matriz de riesgo 23

Tabla 7 Rango de criticidad 23

Tabla 8 Matriz de frecuencia 23

Tabla 9 Matriz de valoración de riesgo resultante 24

Tabla 10 Modelo de frecuencia ajustado para la planta cinturones. 25

Tabla 11 Distribución de las maquinas. 25

Tabla 12 Seguimiento de indicadores 30

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 Hoja de ruta de prensa repujadora ubicada en la planta cinturones.....26

Ilustración 2 Cronograma de mantenimiento preventivo planta cinturones nivel 1 y 2.....27

Ilustración 3 Comparativo de fallas mes de Junio.....28

Ilustración 4 Comparativo de fallas mes de Julio.....29

Resumen

En la planta Medellín de Cueros Vélez se realizaba un paro programado cada diciembre para ejecutar planes de mantenimiento preventivo en máquinas con tiempos de parada muy bajos, dificultando su intervención durante la producción. Se ha decidido eliminar este paro para aumentar la capacidad productiva, lo que hace necesario revisar y reestructurar la matriz de criticidad y reevaluar cada equipo, ajustando cronograma y actividades de mantenimiento. Esta modificación busca reducir los mantenimientos correctivos, disminuir el tiempo de paradas no programadas y mejorar la disponibilidad operativa.

Debido a los cambios que se desean implementar se requiere hacer un acercamiento, familiarización e implantación a un modelo mixto con mayor enfoque en el mantenimiento preventivo y predictivo. El nuevo enfoque aumenta la eficiencia operativa, lo que permitiría a Cueros Vélez S.A.S. responder de manera más efectiva a las demandas del mercado manteniendo los estándares de calidad.

La implementación de dichos cambios enmarca la necesidad de cambiar el paradigma del mantenimiento correctivo hacia un enfoque predictivo, apoyándose en la evaluación continua de condiciones, la integración de métricas de desempeño y la reevaluación para el afinamiento de los cambios efectuados.

Palabras clave: Industria, gestión de mantenimiento, mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo, mantenimiento correctivo, TPM, RCM, métrica de desempeño, disponibilidad, criticidad, parada no programada, optimización de procesos, falla.

Abstract

At the Medellín plant of Cueros Vélez, a scheduled shutdown was carried out every December to execute preventive maintenance plans on machines with very low downtime, making intervention during production difficult. It has been decided to eliminate this shutdown in order to increase production capacity, which makes it necessary to review and restructure the criticality matrix and reevaluate each piece of equipment, adjusting the maintenance schedule and activities. This modification aims to reduce corrective maintenance, decrease unplanned downtime, and improve operational availability.

Due to the changes to be implemented, it is necessary to approach, familiarize, and implement a mixed model with a greater focus on preventive and predictive maintenance. The new approach increases operational efficiency, allowing Cueros Vélez S.A.S. to respond more effectively to market demands while maintaining quality standards.

The implementation of these changes involves the need to shift from a corrective maintenance paradigm to a predictive approach, supported by continuous condition monitoring, the integration of performance metrics, and reevaluation for refining the changes made.

Keywords: Industry, maintenance management, preventive maintenance, corrective maintenance, TPM, RCM, performance metrics, availability, criticality, unplanned downtime, process optimization, failure.

1. Introducción

La empresa CUEROS VÉLEZ S.A.S. es una empresa manufacturera enfocada en la creación de artículos de moda y marroquinería, por lo tanto, su área de mantenimiento es de suma importancia para la operación. La implementación de una metodología de mantenimiento con enfoque predictivo-preventivo es fundamental para optimizar la producción, reducir costos y garantizar la calidad del producto. Esta estrategia permite anticipar y prevenir fallas en maquinaria clave para los procesos de producción, como prensas, cortadoras y máquinas de 3 coser, evitando paradas inesperadas que afecten los tiempos de entrega y con estos la rentabilidad. Al establecer un plan de mantenimiento basado en monitoreo y revisiones programadas, se pronostica una mayor eficiencia operativa, asegurando un flujo de trabajo continuo y una fabricación que cumpla los estándares de calidad.

Desde finales del siglo XX la transición del mantenimiento correctivo a enfoques estratégicos ha tomado impulso en Colombia, influenciada por la globalización y el surgimiento de estándares de calidad como ISO 9001, ISO 55000, OHSAS 18001, etc. Lo que incentiva la difusión del TPM/RCM en industrias que requieren una alta disponibilidad de equipos. Históricamente, la planta Medellín de Cueros Vélez ha manejado el mantenimiento preventivo a través de paros programados en el mes de diciembre, interviniendo aquellas máquinas con tiempos de parada muy bajos, no siendo esta la situación ideal para una planta que tiene como objetivo la mejora de los tiempos de disponibilidad. La eliminación de estos paros, orientada a incrementar la producción, plantea el desafío de reestructurar la programación de mantenimiento sin comprometer la fiabilidad de los equipos.

Con el fin de dar solución a dicha problemática se opta por revisar profundamente la matriz de criticidad actual y reestructurarla para evaluar las condiciones técnicas de cada máquina y rediseñar el cronograma de mantenimiento, lo que permite optimizar la operatividad de la planta. Este proyecto no sólo reduce los tiempos parada no programada, sino que también permite disminuir la cantidad de mantenimientos correctivos y costos de mantenimiento, mejora la productividad y, a largo plazo, las utilidades de la empresa. Se iniciará la prueba piloto en la planta de cinturones.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Implementar un nuevo enfoque de la gestión de mantenimiento en Cueros Vélez, migrando del mantenimiento correctivo reactivo al mantenimiento predictivo y estratégico, de modo que disminuyan los tiempos de parada no programados, los mantenimientos correctivos y aumente la disponibilidad de las maquinas críticas.

2.2 Objetivos específicos

• Analizar la matriz de criticidad actual y redefinir una nueva matriz de criticidad que contemple la nueva disponibilidad operativa y otros factores críticos, en conjunto con los coordinadores de producción.
• Implementar la evaluación integral de la maquinaria (inicialmente en la planta de cinturones) mediante la nueva matriz, determinando la valoración de riesgo y la prioridad de atención.
• Modificar el cronograma de mantenimiento preventivo para las máquinas que anteriormente se intervenían en diciembre.
• Diseñar e implementar planes de mantenimiento preventivo para equipos sin plan actual, ajustándolos al nuevo cronograma.
• Realizar un análisis de métricas utilizando técnicas TPM/RCM y herramientas Lean para medir la mejora en la transición al mantenimiento predictivo.

3. Marco teórico

A continuación, se contextualiza y expone los conceptos fundamentales para comprender el cambio del enfoque de mantenimiento correctivo hacia un enfoque predictivo y preventivo, mediante metodologías como TPM, RCM, Lean Manufacturing y el análisis de métricas, con especial énfasis en el contexto colombiano.

3.1. Conceptualización del Mantenimiento Industrial

En las últimas décadas, el mantenimiento industrial ha tenido gran reconocimiento en las empresas manufactureras. Debido a las diferentes estrategias y acciones reactivas o preventivas diseñadas por los equipos de mantenimiento para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos, se logra cumplir las métricas de productividad requeridas en la industria.

La llegada de multinacionales y el incremento de la competencia han llevado a muchas industrias nacionales a migrar a modelos de mantenimiento donde la disponibilidad es primordial, por esto se produce la migración en muchos sectores de estrategias correctivo/reactivas a estrategias preventivo/predictivas, implementando metodologías como TPM y RCM. Este cambio ha genera mejoras en la productividad, reducción de costos operativos y optimización del uso de los activos, factores clave para la competitividad empresarial en el sector manufacturero.

3.2. Mantenimiento Correctivo vs. Mantenimiento Preventivo/Predictivo

Tradicionalmente, muchas empresas se basaban en el mantenimiento correctivo, el cual se ejecuta una vez ocurrida la falla en un equipo. Como menciona en su análisis García**,** el enfoque reactivo perjudica las líneas de producción que necesitan gran disponibilidad ya que, a pesar de reparar la falla, esta se produce, generando tiempos de inactividad y costos elevados por parada y reemplazo de piezas (Garcia, 2015).

Por el contrario, el mantenimiento preventivo y predictivo se basa en la anticipación de fallas, es decir la intervención del equipo mediante paro programado antes de ocurrir la falla, para optimizar la disponibilidad de los equipos y aportar a una gestión más eficiente del recurso. Para predecir la falla es necesario realizar revisiones periódicas, monitoreo de condiciones y análisis de datos.

3.3. TPM y RCM: Principios y Aplicaciones

La integración de TPM y RCM resulta particularmente eficaz para entornos industriales complejos, ya que combina el enfoque participativo del primero con el análisis profundo de riesgos del segundo.

- **Mantenimiento Productivo Total (TPM)**

  El TPM es una metodología que involucra a todos los niveles de la organización, desde operarios hasta directivos, con el objetivo de maximizar la disponibilidad de los equipos y reducir pérdidas en el proceso productivo. “Este enfoque promueve la participación del personal en actividades de mantenimiento, la mejora continua y la eliminación de tiempos improductivos” (Nakajima, 1988). Basado en los principios del sistema de producción japonés, el TPM se ha establecido como una metodología estratégica en industrias que requieren alta disponibilidad de sus activos.

- **Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)**

  El RCM se enfoca en identificar y analizar los modos de fallo de los equipos, evaluando su impacto en la operación y estableciendo las medidas preventivas necesarias para mantener la operación. “Esta metodología permite priorizar las intervenciones en función del riesgo y la criticidad de cada activo, optimizando así los recursos y minimizando los costos asociados a fallas inesperadas”(Nowlan, 1978).

3.4. Lean Manufacturing y Análisis de Métricas en la Gestión de Mantenimiento

El lean manufacturing es un modelo de gestión con un enfoque adaptativo a las necesidades cambiantes del mercado, permite la eliminación de desperdicios y la optimización de procesos. Su aplicación en la industria supone una mayor eficiencia operativa y en la mejora del producto final. Según Womack & Jones, la relación entre Lean y el mantenimiento predictivo/preventivo parte de la necesidad de contar con equipos en óptimas condiciones para mantener un flujo continuo en la producción, es decir mantener la disponibilidad en el tiempo necesario para favorecer la creación de un entorno productivo más ágil y competitivo (Womack & Jones, 2003).

La recopilación y análisis de métricas es una práctica de importancia en la industria al posibilitar la toma de decisiones fundamentadas como lo menciona en su informe Rodríguez (2017),

permitiendo optimizar la planificación y ejecución de intervenciones, reducir costos y minimizar tiempos de inactividad, además de permitir la comprensión de las operaciones y el impacto de los planes de mantenimiento. Mediante indicadores como el MTBF (Tiempo medio entre fallas), MTTR (Tiempo medio entre reparaciones) y la disponibilidad operativa permiten cuantificar el rendimiento de los equipos y la eficacia de las estrategias de mantenimiento implementadas. El uso de métricas contribuye a una gestión más precisa asegurando una respuesta proactiva ante potenciales fallas (Rodriguez, 2017).

4. Metodología

Para el desarrollo del proyecto se opta por un enfoque**:** Mixto (cualitativo y cuantitativo).

Se combinarán análisis estadísticos y evaluaciones cualitativas de las métricas para diseñar y validar el nuevo modelo de mantenimiento.

Técnicas y herramientas:

- TPM y RCM: Uso de métricas y evaluaciones propias de Mantenimiento productivo total-Mantenimiento basado en confiabilidad para redefinir la criticidad de los equipos (porcentaje de mantenimientos correctivos y preventivos, tiempo medio entre fallas, tiempo de paradas no programadas).
- Lean Manufacturing: Aplicación de técnicas Lean para identificar ineficiencias y optimizar procesos.
- Análisis de Métricas: Seguimiento de indicadores para evaluar el desempeño post implementación.

Fases del proyecto y entregables:

I. Diagnóstico y Revisión Inicial:
    a. Reconocimiento de tipo de mantenimiento actual.
    b. Propuesta de mejora.
II. Rediseño del Modelo de Mantenimiento:
    a. Nueva matriz de criticidad.
    b. Diseño de planes de mantenimiento.
    c. Cronograma ajustado.
III. Implementación Piloto:
    a. Informe de ejecución.
IV. Monitoreo y Ajuste:
    a. Análisis de métricas.
V. Documentación y Presentación
    a. Informe final.
    b. Sustentación.

4.1. Cronograma de actividades

El proyecto se desarrollará en cinco fases con fecha de culminación el 23 de julio del presente año:

Mes	Semana	Fase	Actividades
1	1 y 2	I. Diagnóstico y Revisión Inicial	Reconocimiento de planta, revisión de la situación actual e identificación de problemas.
1	3 y 4	I. Diagnóstico y Revisión Inicial	Elección de idea de proyecto y recopilación de datos.
2	1 y 2	I. Diagnóstico y Revisión Inicial	Análisis de viabilidad y planteamiento de límites.
2	3 y 4	I. Diagnóstico y Revisión Inicial	Análisis de información de fallos y reevaluación matriz de criticidad actual.
3	1 y 2	II. Rediseño del Modelo	Desarrollo de la nueva matriz de criticidad
3	3 y 4	II. Rediseño del Modelo	Diseño de planes de mantenimiento y adecuación de cronograma.
4	1 y 2	II. Rediseño del Modelo	Socialización del modelo con el personal de producción (planta cinturones).
4	3 y 4	III. Implementación Piloto	Ejecución del modelo en la planta de cinturones.
5	1 y 2	IV. Monitoreo y Ajuste	Seguimiento de métricas y evaluación de resultados
5	3 y 4	IV. Monitoreo y Ajuste	Ajustes finales
6	1,2,3 y 4	V. Documentación y Presentación	Preparación de informe final y sustentación.

4.2. Presupuesto estimado

El presupuesto se estima en pesos colombianos (COP) e incluye los siguientes rubros:

1. Gastos en Personal:
   Honorarios del practicante de mantenimiento: COP 8.541.000
2. Consultoría Externa y Asesoría:
   Asesoría en implementación de mantenimiento predictivo y rediseño de procesos: COP 2.500.000
3. Herramientas y Software de Gestión:
   Adquisición de software para seguimiento de métricas y análisis de datos: COP 7.500.000

Total estimado: COP 18.541.000

5. Análisis de resultados

5.1. Análisis de estado

Al realizar un análisis comparativo entre de los datos del mantenimiento correctivo efectuado en el año 2024 frente al mantenimiento preventivo ejecutado en el mismo año, se observa una diferencia drástica en el porcentaje de máquinas intervenidas, teniendo un mayor enfoque en el mantenimiento correctivo, lo que conlleva a un alto gasto por consumo de repuestos y ocupación técnica. Esta alta tasa de intervenciones correctivas comprometía la continuidad operativa y reflejaba la falta de una estrategia preventiva basada en la criticidad real de los activos.

Por ese motivo se decidió realizar un cambio de enfoque en la gestión de mantenimiento direccionado al aumento del mantenimiento preventivo mediante la reevaluación de la criticidad de la maquinaria priorizando el número de fallas y tiempo fuera de servicio por paradas no programadas.

Se observo que para la planta de cinturones el 20% de las máquinas de la planta (18) genera al rededor del 80 % del tiempo de parada no programado, correspondiente a 77,46 días de parada anuales de 95,96 días de parada totales en la planta. Además, como se muestra en la tabla 1 de las 18 maquinas mencionadas 12 encabezan la lista de las maquinas con mayor número de averías al año.

Al realizar el análisis de la cantidad de equipos programados para mantenimiento preventivo en la planta de cinturones se obtuvo que al mes de junio menos del 15% de los equipos de la planta (12 equipos) tenían programado mantenimiento preventivo de los cuales solo 4 se encuentran en la tabla mostrada anteriormente (Tabla 1), Al analizar esos datos se fijó como objetivo el planteamiento de un nuevo cronograma de mantenimientos preventivo para atacar el problema.

Tabla 1

Análisis de número de averías y tiempo de parada no programado.

Código	Numero de fallas	Tiempo de parada
6000000777	56	88.34
23000000649	55	131.79
6000001084	52	63.71
23000000254	47	54.79
6000000666	33	90.78
6000000037	33	52.94
6000000851	32	102.94
10003855	30	34.06
6000000889	29	38.18
23000000211	28	24.77
6000000192	26	64.81
6000001123	21	45.63

**Tiempo de parada no programada en horas.*

Fuente. (Mantenimiento cueros Vélez).

5.2. Encuesta de criticidad

Una vez decidido reevaluar la criticidad de la maquinaria se elaboró una matriz de criticidad para hacer un ajuste más acercado a la realidad operativa. Para ello se creó una encuesta dirigida a los coordinadores de producción de cada planta para evaluar los factores más importantes o con mayor afectación a la producción. con esto se obtuvieron datos numéricos para evaluar la relevancia de cada factor para cada unidad productiva de esta empresa.

Los resultados obtenidos en la encuesta se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2

Resultados de la encuesta de factores de criticidad

Factor crítico	Marroquinería	Prendas	Bolsos	Cinturones	Corte	Calzado	Ingeniería
Seguridad de los trabajadores	4	5	3	3	4	5	3
Impacto ambiental	1	2	1	1	1	1	1
Tiempo de parada no programado	3	1	5	2	5	2	4
Variación de producción	2	3	2	4	2	4	2
Calidad del producto	5	4	4	5	3	3	5

5.3. Planteamiento de la matriz

Luego de obtener los resultados de la encuesta se normalizaron los valores y seleccionamos los tres factores más puntuados y se definió el criterio de evaluación para cada uno, se ubicaron en una tabla con los niveles de criticidad crítico, semi crítico y no crítico como se muestra a continuación (Tabla 3). El puntaje asignado depende de la puntuación obtenida en la (Tabla 2), se toma el puntaje obtenido en el nivel crítico y se distribuye uniformemente en los tres niveles de criticidad y van ordenadas entre más arriba y más a la izquierda más crítico será el factor evaluado, y más importancia deberá tener.

Tabla 3

Matriz de consecuencia: factores de criticidad normalizados y criterio de evaluación

	CALIDAD DEL PRODUCTO	**SEGURIDAD DE LOS TRABAJADORES**	**TIEMPO DE PARADA NO PROGRAMADO**
CRÍTICO	100	93	76
	Más de 10 unidades producidas con errores por jornada	Nivel de riesgo 3	Parada en la producción mayor a 12 horas. MTTR mayor a 2 horas
SEMI-CRÍTICO	66	62	48
	De 5 a 10 unidades producidas con errores por jornada	Nivel de riesgo 2	Parada en la producción entre 6 y 12 horas. MTTR entre 1y 2 horas
NO CRÍTICO	34	31	24
	De 1 a 4 unidades producidas con errores por jornada	Nivel de riesgo 1	Parada en la producción menor a 6 horas. MTTR menor a 1 hora

5.4. Retroalimentación

Una vez definidos los factores de criticidad y el criterio de evaluación se compartió la información con gerencia y encargados de producción; se realizó una retroalimentación mediante Lean manufacturing y se obtuvo como resultado el surgimiento de nuevos factores de criticidad y criterios de evaluación con mejor trazabilidad para la elaboración de la matriz.

Se hizo la encuesta con los nuevos de factores de criticidad con el equipo de coordinación de mantenimiento para tener datos acordes a las necesidades de las plantas (Tabla 4).

Tabla 4

Encuesta de nuevos factores de criticidad normalizados

Factor crítico	A	B	C	D	E	Puntaje	Normalizado
Impacto en la producción	5	4	4	5	5	23	100
Seguridad de los trabajadores	2	3	3	4	3	15	65
Costo de reemplazo	4	1	1	1	1	8	35
Respaldo o redundancia	1	5	2	2	2	12	52
Criticidad operacional	3	2	5	3	4	17	74

5.5. Planteamiento de la nueva matriz

Seguido a esto se realizó la distribución de todos los factores críticos en la matriz con el respectivo criterio de evaluación. Al mantener todos los criterios se da lugar a una evaluación más detallada de cada equipo como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5

Matriz de consecuencias

	IMPACTO EN LA PRODUCCIÓN*	**CRITICIDAD OPERACIONAL***	**SEGURIDAD DE LOS TRABAJADORES****	**RESPALDO O REDUNDANCIA**	**COSTO DE REMPLAZO**
CRÍTICO	100	74	65	52	35
	A	Afectación a la calidad 3	Nivel de riesgo 3	Sin maquinaria que realice dicha función	>15 millones
SEMI-CRÍTICO	66	50	43	34	24
	B	Afectación a la calidad 2	Nivel de riesgo 2	En otra planta	>5 a 15 millones
NO CRÍTICO	33	25	22	17	12
	C	Afectación a la calidad 1	Nivel de riesgo 1	En la misma planta	1 a 5 millones

**Se toma de datos históricos o es evaluado por el analista.*
***Los niveles de seguridad de los equipos son brindados por SST.*

Fuente. (Mantenimiento cueros velez)

Para realizar la matriz de valor de riesgo (Tabla 6), se definieron tantos niveles de ocurrencia como de criticidad seleccionados, siendo el 1 el más bajo y el 3 el más alto; al igual que con la ocurrencia se definieron el mismo número de niveles de severidad, estos últimos mediante la suma de los puntajes obtenidos por cada nivel de criticidad (Tabla 5) y se multiplicaron por la ocurrencia generando el iso-riesgo, usado como referencia para generar los rangos de criticidad.

Tabla 6

Matriz de riesgo

Severidad	269	176	89
Ocurrencia	3	2	1
ISO-riesgo	807	352	89

Se usaron lo valores de riesgo de referencia para crear rangos de criticidad, se realizaron divisiones de en los valores de riesgo, generando 3 rangos de riesgo con diferentes tamaños donde predomina el rango crítico y va disminuyendo conforme baja a no crítico (Tabla 7).

Tabla 7

Rango de criticidad

Nivel	**Rango**
Critico	540-895
Semi-Critico	270-539
No Critico	1-269

Por último, para crear la matriz de frecuencia (Tabla 8), se usaron los datos de la Tabla 7 y se hizo una distribución de valores, teniendo en cuenta los colores designados para cada rango y no generar saltos bruscos. Esta matriz permitió asignar un nivel de criticidad a cada equipo definido por los criterios de evaluación.

Tabla 8

Matriz de frecuencia

1	2	3
No Critico	Semi-Critico	Critico
270	448	540
178	270	448
89	178	270

Con el fin de obtener un análisis más completo y una evaluación eficiente de la criticidad se unieron la matriz de consecuencia simplificada (Tabla 5) y la matriz de frecuencia (tabla 8) lo que generó la matriz de valoración de riesgo resultante (tabla 9) con la que se evaluaron los equipos.

Tabla 9

Matriz de valoración de riesgo resultante.

CONSECUENCIAS			FRECUENCIA		
			1	2	3
CALIDAD DEL PRODUCTO	SEGURIDAD DE LOS TRABAJADORES	TIEMPO DE PARADA NO PROGRAMADO	No critico	Semi-crítico	Crítico
100	93	76	270	448	540
66	62	48	178	270	448
34	31	24	89	178	270

La implementación de esta matriz de criticidad permitió la evaluación de los parámetros críticos en el contexto operacional. A través de la asignación de puntajes, se pudo determinar claramente cuáles de estos equipos generaban un riesgo significativo para la compañía permitiendo tomar las medidas necesarias para la intervención.

5.6. Modelo de frecuencia ajustado por planta

Para realizar la evaluación de los equipos se ajustó un modelo de frecuencia a cada planta para determinar el comportamiento especifico en producción.

Para realizar el ajuste del modelo de frecuencia se tomó el promedio de fallas anuales de la planta como referencia como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10
Modelo de frecuencia ajustado para la planta cinturones.

maquinas en planta cinturones:	90
fallas por año en planta cinturones:	1779
promedio de fallas anuales por maquina:	20
Rango de fallas por maquina	**Número de frecuencia**
<20	1
20-40	2
>40	3

5.7. Análisis de criticidad

Ya establecida la matriz de criticidad definitiva, se procedió a realizar la evaluación de criticidad de todos los equipos que componen cada planta de la compañía. A cada equipo se le asignó una puntuación combinada de severidad y frecuencia, categorizándolo como Crítico, Semi crítico o No crítico.

Se Evaluaron un total de 785 equipos distribuidos como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11
Distribución de las maquinas.

Planta	**No critico**	**Semi crítico**	**Crítico**	**Total**
Bolsos	96	46	18	160
Calzado	184	80	42	306
Cinturones	55	20	15	90
Corte	55	6	22	83
Ingeniería	12	4	4	20
Marroquinería	35	7	26	68
Prendas	31	21	6	58
Total	467	185	133	785

5.8. Hojas de ruta

Para definir las hojas de ruta fue necesario hacer una recopilación de manuales de maquinaria de cada planta, para posteriormente ajustar el mantenimiento ordenado por el manual con la realidad operativa de cada equipo y generar una hoja de ruta adecuada a la necesidad. A continuación, se muestra una hoja de ruta (Figura 1) de un equipo critico de la planta cinturones que se intervino durante la ejecución de la prueba piloto realizada en dicha planta.

El ordenamiento del tiempo cumplió un papel fundamental en cambio de enfoque en la gestión del mantenimiento; para lograr la ejecución de las actividades planeadas fue necesario diseñar un cronograma que se ajustara a la variable disponibilidad técnica para atender los mantenimientos correctivos que se presentaban en el transcurrir del día y los mantenimientos preventivos planeados.

Ilustración 1

Hoja de ruta de prensa repujadora ubicada en la planta cinturones

CUEROS VÉLEZ 1986	PLANES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A MAQUINARIA Y EQUIPOS		
Grupo de Hoja de Ruta	**MAQUINA PRENSA REPUJADORA BANF**		
Plan	**Frecuencia**	**Operaciones**	
MANTENIMIENTO A SISTEMA ELECTRICO	TRIMESTRAL	VERIFICAR FUNCIONAMIENTO PULSADORE MANDO	0,5 HUR
		VERIFICAR FUNCIONAMIENTO SENSORES MICROS	
		VERIFICAR FUNCIONAMIENTO DE EMERGENCIAS	
	TRIMESTRAL	VERIFICAR ACOMETIDA	0,4 HUR
		VERIFICAR VOLTAJES DE ALIMENTACION	
		AJUSTAR TERMINALES ALIMENTACION DE BOMBA	
		VERIFICAR AJUSTE PLACAS Y RESISTENCIAS	
		VERIFICAR ESTADO DE BARRERA INFRARROJA	
		VERIFICAR EL ESTADO DE MICROSUICHES	
		LIMPIAR PARTE ELECTRICA GENERAL	
MANTENIMIENTO A SISTEMA MECANICO	MENSUAL	LIMPIEZA Y LUBRICACION DE COJINETES	1 HUR
		LIMPIEZA Y LUBRICACION PARTES MOVILES	
		LIMPIEZA Y LUBRICACION DE GUIA DESLIZANTE SUPERFICIE INFERIOR	
		DESLIZANTE SUPERFICIE INFERIOR	
	TRIMESTRAL	LIMPIEZA GENERAL	1,5 HUR
		VERIFICACION DE PLACA	
		RECTIFICAR ROSCAS PLACA DE SER NECESARIO	
		VERIFICACION ESTADO DEL MOTOR	
MANTENIMIENTO A SISTEMA HIDRAULICO	MENSUAL	INSPECCION VISUAL DE CONDUCTOS	0,5 HUR
		INSPECCION NIVEL DE ACEITE	
		VERIFICAR FILTRO DE ACEITE	
	TRIMESTRAL	VERIFICAR FUGAS EN PISTON	1 HUR
		VERIFICAR ESTADO DE EMPAQUES	
		VERIFICAR FUNCIONAMIENTO DE MANOMETROS	
		VERIFICAR FUNCIONAMIENTO DE REGULADORES	
	SEMESTRAL	SUSTITUCION DE ACEITE (SEGUN SU ESTADO)	2,5 HUR
AUTONOMO	DIARIO	Inspección de conductos hidráulicos y posibles fugas	
		Verificar funcionamiento de emergencias	

5.9. Cronograma de mantenimiento

Se definió un cronograma de mantenimientos preventivos separado por niveles de criticidad para la planta cinturones de acuerdo con la periodicidad planteada en cada hoja de ruta y se realizó una distribución balanceada de las operaciones con el fin de tener cargas similares en cada mes. Una vez definido el cronograma para la planta de cinturones (figura 2) se socializó con los coordinadores de mantenimiento y se procedió a realizar el cronograma a cada planta.

Ilustración 2

Cronograma de mantenimiento preventivo planta cinturones nivel 1 y 2

EQUIPO	PERIODICIDAD	NIVEL	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
10003855	T-S	Crítico			T			T-S			T			T-S
6000000037	M-T-S	Crítico	M-T-S	M	M	M-T	M	M	M-T-S	M	M	M-T	M	M
6000000039	M-T-S	Crítico	M-T-S	M	M	M-T	M	M	M-T-S	M	M	M-T	M	M
6000000192	M-T-S	Crítico	M-T-S	M	M	M-T	M	M	M-T-S	M	M	M-T	M	M
6000000328	M-T	Crítico	M-T	M	M	M-T	M	M	M-T	M	M	M-T	M	M
6000000484	M-T-S	Crítico	M-T-S	M	M	M-T	M	M	M-T-S	M	M	M-T	M	M
6000000485	M-T-S	Crítico	M-T-S	M	M	M-T	M	M	M-T-S	M	M	M-T	M	M
6000000666	M-T-S	Crítico	M-T-S	M	M	M-T	M	M	M-T-S	M	M	M-T	M	M
6000000773	M-S	Crítico	M-S	M	M	M	M	M	M-S	M	M	M	M	M
6000000777	M-T	Crítico	M-T	M	M	M-T	M	M	M-T	M	M	M-T	M	M
23000000747	T	Crítico			T			T			T			T
6000001054	T	Crítico			T			T			T			T
6000000851	S	Crítico			S						S			
6000000889	M-S	Crítico	M-S	M	M	M	M	M	M-S	M	M	M	M	M
6000000956	M-T	Crítico	M-T	M	M	M-T	M	M	M-T	M	M	M-T	M	M
6000001080	M-T-S	Semi crítico	M	M-T-S	M	M	M-T	M	M	M-T-S	M	M	M-T	M
6000001084	S	Semi crítico			S						S			
6000001404	M-T-S	Semi crítico	M	M-T-S	M	M	M-T	M	M	M-T-S	M	M	M-T	M
6000001594	T-S	Semi crítico		T-S			T-S			T-S			T-S	
23000000732	T-S	Semi crítico		T-S			T-S			T-S			T-S	
6000001673	M-T	Semi crítico	M	M-T	M	M	M-T	M		M-T	M		M-T	M
23000000199	M-T	Semi crítico	M	M-T	M	M	M-T	M		M-T	M		M-T	M
23000000254	M-T-S	Semi crítico	M	M-T-S	M	M	M-T	M	M	M-T-S	M	M	M-T	M
23000000626	M-T-S	Semi crítico	M	M-T-S	M	M	M-T	M	M	M-T-S	M	M	M-T	M
23000000649	M-T-S	Semi crítico	M	M-T-S	M	M	M-T	M	M	M-T-S	M	M	M-T	M
6000000353	T	Semi crítico			T			T			T			T
6000000474	T	Semi crítico			T			T			T			T
6000000673	T	Semi crítico			T			T			T			T
6000000850	S	Semi crítico			S						S			
6000000925	M-T-S	Semi crítico	M	M-T-S	M	M	M-T	M	M	M-T-S	M	M	M-T	M
6000000944	S	Semi crítico			S						S			
6000001123	S	Semi crítico			S						S			
23000000211	M-T-S	Semi crítico	M	M-T-S	M	M	M-T	M	M	M-T-S	M	M	M-T	M
23000000395	M-T	Semi crítico	M-T	M	M	M-T	M	M	M-T	M	M	M-T	M	M
23000000647	M-T	Semi crítico	M-T	M	M	M-T	M	M	M-T	M	M	M-T	M	M

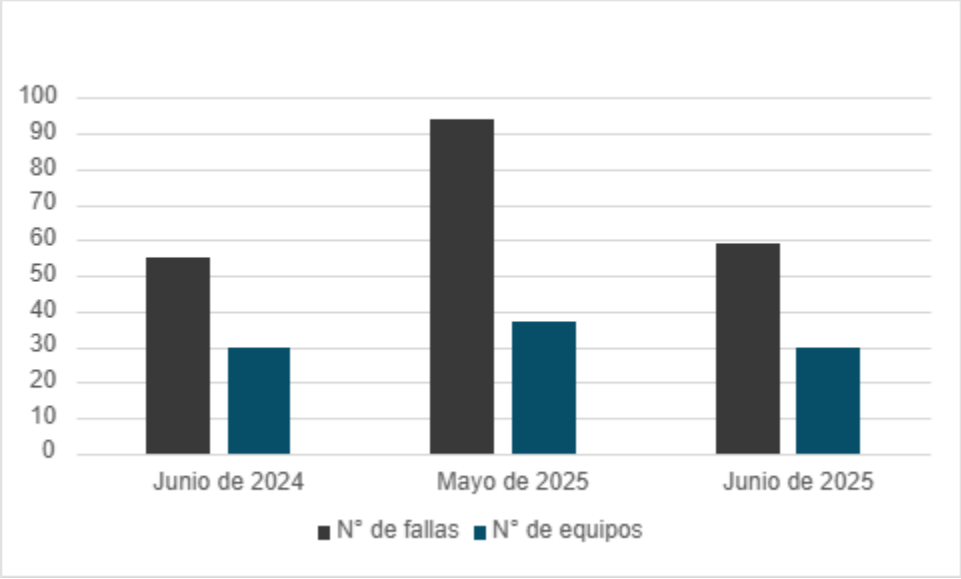
Antes de realizar el lanzamiento de la prueba piloto se convocó una reunión con los coordinadores de producción de la planta para socializar el cronograma y acordar una forma de coordinación conjunta. Se acordó el lanzamiento del piloto la primera semana del mes de Junio con una reunión semanal entre coordinador de mantenimiento encargado de la planta cinturones y el coordinador de producción de esta con el fin de programar la lista de máquinas a intervenir durante la semana.

5.10. Análisis de resultados

El piloto se ejecutó con éxito llevando a cabo el 100% de las operaciones programadas para el mes de junio y continuando con un porcentaje proporcional al terminadas las practicas.

Durante el periodo de ejecución, se registró una reducción del número de avisos correctivos de **94 a 59**, lo que representa una mejora del **37%**. Respecto al mes inmediatamente anterior (Figura 3). Asimismo, el número de máquinas intervenidas con reportes de fallas se redujo de **37 a 30**, indicando una mejora en la confiabilidad operativa.

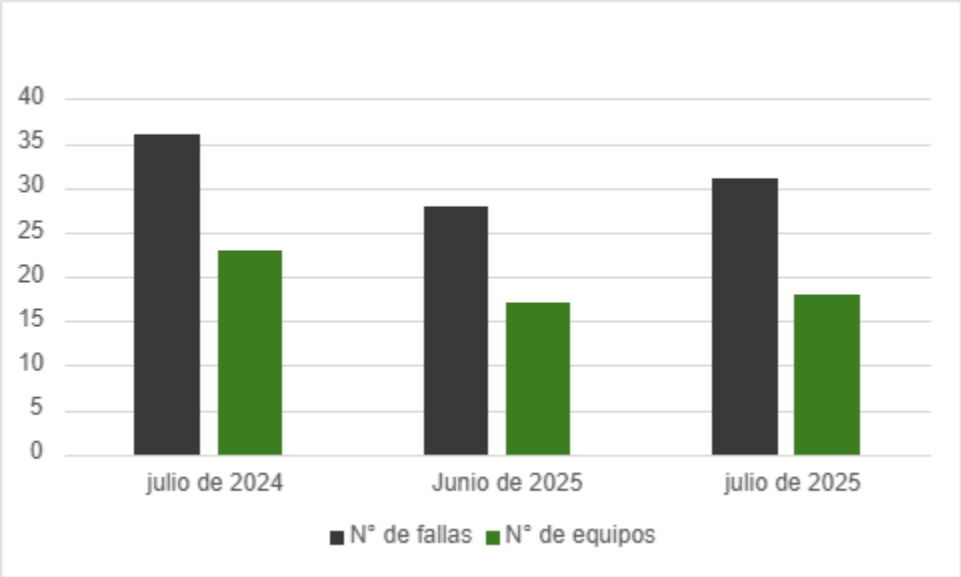
Ilustración 3
Comparativo de fallas mes de Junio.



Para la primera quincena del mes de Julio se registraron 31 avisos correctivos correspondientes a 18 equipos frente a 36 avisos correctivos correspondiente a 23 equipos en el año anterior sin embargo los valores aumentaron al compararlos con el mes anterior como se observa en la figura 4.

Ilustración 4

Comparativo de fallas mes de Julio.



De acuerdo con los indicadores proporcionados por el área de mantenimiento al terminar el mes de junio el tiempo medio entre fallas (MTBF) aumentó un 35% pasando de 3.85 horas a 5.20 horas y el tiempo medio de reparación (MTTR) aumentó alrededor de 3% de 1 hora a 1.2 horas. Sin embargo, el periodo de análisis es muy corto y se recomienda hacer un seguimiento a los diferentes indicadores para obtener datos más precisos del impacto en la producción.

Con base en los objetivos trazados al inicio del proyecto, se alcanzaron los objetivos planteados como se muestra en la Tabla 12

Tabla 12

Seguimiento de indicadores.

Indicador	Situación Inicial (2024)	Resultado (2025)	Mejora
% de mantenimiento correctivo	88%	60%	↓ 28%
% de mantenimiento preventivo	12%	40%	↑ 28%
Tiempo total de paradas no programadas	95.96 días	70 días	↓ 27%
Programación optimizada de mantenimientos preventivos	10%	41%	↑31%

Estos resultados indican una clara efectividad del mantenimiento preventivo planificado, lo cual contribuye no solo a la disponibilidad de equipos, sino también a la calidad del producto y a la seguridad operativa. Se observó la viabilidad del proyecto y se decidió implementar en las otras plantas iniciando con la ejecución de la programación de mantenimiento preventivo de nivel crítico.

6. Conclusiones y recomendaciones

La transición de un esquema de mantenimiento correctivo hacia un modelo preventivo-predictivo generó una reducción del 28 % en las intervenciones correctivas, lo que se tradujo en un incremento de la disponibilidad operativa y en una mejora sustancial de indicadores clave como el Mean Time Between Failures (MTBF).

El análisis sistemático de los factores de criticidad permitió identificar discrepancias entre la perspectiva del personal operativo y la del equipo técnico, lo que resalta la importancia de aplicar criterios homogéneos y medibles para priorizar las intervenciones de mantenimiento.

La ejecución de una prueba piloto en la planta de producción de cinturones validó la viabilidad técnica y operativa del modelo propuesto, reflejada en la reducción de los tiempos de parada no programada y en una programación más eficiente de las tareas preventivas.

La integración de metodologías como Total Productive Maintenance (TPM) y Reliability-Centered Maintenance (RCM), complementadas con principios Lean Manufacturing, permitió optimizar procesos, incrementar la confiabilidad de los activos y fortalecer tanto la calidad del producto final como la seguridad en el entorno laboral.

El cambio hacia un mantenimiento preventivo-predictivo, apoyado en metodologías TPM, RCM y principios Lean, redujo paradas no programadas, optimizó la gestión de recursos y elevó la confiabilidad de los equipos. Esto se tradujo en mayor productividad, calidad constante y un entorno laboral más seguro, fortaleciendo la competitividad y la satisfacción de los clientes por lo que se recomienda continuar con el cambio de enfoque en el resto de plantas productivas de la compañía.

Durante la práctica se aplicaron conocimientos en mantenimiento, confiabilidad (RCM), conformado y diseño, complementados con el uso de Excel, herramientas de inteligencia artificial y organizadores de tareas. Estas competencias resultaron fundamentales para el análisis de datos, la resolución de problemas y la formulación de estrategias de mantenimiento con impacto positivo en la organización.

Se evidenció la necesidad de fortalecer en el programa académico un enfoque más transversal y orientado a la industria, que brinde al estudiante mayor contacto con ambientes reales desde etapas tempranas de la formación. Este acercamiento permitiría consolidar la capacidad de los futuros ingenieros para enfrentar situaciones complejas y adaptarse a la diversidad de contextos en los que puede intervenir la Ingeniería Mecánica.

La práctica favoreció el desarrollo de habilidades para el trabajo en equipos multidisciplinarios, la comunicación efectiva con técnicos y la capacidad de liderazgo en procesos de cambio. Dichas competencias blandas, sumadas a la formación técnica, consolidaron la confianza profesional y reafirmaron el potencial de la carrera para generar aportes significativos en diferentes sectores productivos.

Referencias

García, M. (2015). *Métricas y Análisis en la Gestión del Mantenimiento Industrial*. Revista Ingeniería y Desarrollo.

Nakajima, S. (1988). *Total Productive Maintenance*. Productivity Press.

Nowlan, F. S. & Heap, H. F. (1978). *Reliability-Centered Maintenance*. Industrial Press Inc.

Rodríguez, L. (2017). *Optimización de Procesos en la Industria Manufacturera*. Editorial Técnica Industrial.

Womack, J.P., & Jones, D.T. (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation.* Free Press.