

<https://doi.org/10.69639/arandu.v12i3.1613>

Diagnóstico de la gestión de mantenimiento y su impacto en la confiabilidad de máquinas críticas: un estudio de caso en la industria metalmecánica ecuatoriana

Diagnosis of maintenance management and its impact on the reliability of critical machines: a case study in the Ecuadorian metalworking industry

Kelvin Moposita Ortega

kmoposita@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-1032-8558>

Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Ecuador – Quevedo

Yohan Mateo Montenegro Espinoza

ymontenegroe@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0000-9353-4981>

Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Ecuador – Quevedo

Jose Navia Zamora

jnaviaz@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0009-2442-0513>

Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Ecuador – Quevedo

Manuel León Ganchozo

mleon@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-3265-1257>

Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Ecuador – Quevedo

Gianfranco Di Mattia Castro

gianfranco@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0001-1048-9554>

Universidad de Guayaquil
Ecuador – Guayas

Artículo recibido: 18 agosto 2025 - Aceptado para publicación: 28 septiembre 2025
Conflictos de intereses: Ninguno que declarar.

RESUMEN

Este estudio presenta el diagnóstico de la gestión de mantenimiento en la empresa metalmecánica FERROMAX, con el propósito de evaluar el impacto de las fallas en la confiabilidad de sus máquinas críticas. La investigación, de carácter descriptivo y cuantitativo, se centró en la roladora de láminas y la perfiladora de correas G, equipos fundamentales en la producción de techos y correas aluminizadas. Durante el año 2024 se registraron 170 fallas acumuladas, que ocasionaron 181,2 horas de inactividad no programada. La roladora de láminas presentó 94 fallas con 109,6 horas de paro, mientras que la perfiladora de correas G acumuló 76 fallas con 71,6 horas

detenidas. El análisis de Pareto reveló que en la roladora el cabezal de impresión y los rodamientos concentraron el 38 % del tiempo perdido, y en la perfiladora la desalineación de ejes y el bloqueo de rodamientos sumaron el 33,5 %. Los indicadores de desempeño confirman un nivel deficiente de gestión: disponibilidad de 58,42 %, rendimiento de 98,54 %, calidad de 95 %, y un OEE de 54,69 %. Asimismo, se determinaron valores de MTTF de 1,56 h, MTBF de 2,62 h y una confiabilidad del 67,03 %, lo que demuestra que, en promedio, las máquinas fallan cada tres horas de operación. Los resultados evidencian una dependencia del mantenimiento correctivo y resaltan la necesidad de migrar hacia un modelo preventivo basado en confiabilidad (RCM) para mejorar la disponibilidad, el OEE y la sostenibilidad productiva de la empresa.

Palabras claves: mantenimiento industrial, confiabilidad operacional, efectividad global de los equipos (oee), tiempo medio entre fallas (mtbf), paradas no programadas

ABSTRACT

This study presents the diagnosis of maintenance management at the metalworking company FERROMAX, with the aim of evaluating the impact of failures on the reliability of its critical machines. The descriptive and quantitative research focused on the sheet rolling machine and the G-belt profiling machine, which are essential equipment in the production of aluminized roofs and belts. During 2024, 170 cumulative failures were recorded, resulting in 181.2 hours of unscheduled downtime. The sheet rolling machine had 94 failures with 109.6 hours of downtime, while the G-belt profiling machine had 76 failures with 71.6 hours of downtime. Pareto analysis revealed that the print head and bearings accounted for 38% of the downtime on the rolling machine, while shaft misalignment and bearing blockage accounted for 33.5% on the profiling machine. The performance indicators confirm a poor level of management: availability of 58.42%, performance of 98.54%, quality of 95%, and an OEE of 54.69%. Likewise, MTTF values of 1.56 hours, MTBF of 2.62 hours, and reliability of 67.03% were determined, demonstrating that, on average, the machines fail every three hours of operation. The results show a dependence on corrective maintenance and highlight the need to migrate to a reliability-based preventive model (RCM) to improve the company's availability, OEE, and production sustainability.

Keywords: industrial maintenance, operational reliability, overall equipment effectiveness (oee), mean time between failures (mtbf), unplanned downtime

Todo el contenido de la Revista Científica Internacional Arandu UTIC publicado en este sitio está disponible bajo licencia Creative Commons Attribution 4.0 International. 

INTRODUCCIÓN

La competitividad industrial depende, en gran medida, de la gestión efectiva del mantenimiento y de la confiabilidad de los equipos críticos. A nivel global, diversos estudios han demostrado que hasta un 30 % de las pérdidas de productividad en la industria manufacturera se relacionan directamente con fallas recurrentes y estrategias de mantenimiento correctivo que no logran anticipar los eventos de fallo (Aguirre et al., 2022). Este panorama adquiere una especial relevancia en las industrias metalmecánicas latinoamericanas, donde la dependencia de maquinaria crítica de origen importado y la limitada implementación de metodologías modernas de mantenimiento representan un desafío significativo para la continuidad operacional y la sostenibilidad Empresarial (Condo-Palomino et al., 2022).

En el caso ecuatoriano, la industria metalmecánica constituye un pilar estratégico para el sector de la construcción y la infraestructura, ya que produce insumos esenciales como techos y correas de acero galvanizado. Sin embargo, muchas de estas empresas aún operan con un enfoque reactivo en el mantenimiento, priorizando la corrección de fallas sobre la prevención. Esta situación conlleva no solo altos costos de operación y reposición de repuestos, sino también una reducción considerable de la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, lo cual impacta directamente en los plazos de entrega, la satisfacción del cliente y la posición competitiva en el mercado regional (Ramos Ciprián & Salavert Fernández, 2020).

La literatura científica ha avanzado en propuestas de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) y en la aplicación de indicadores como el OEE (Overall Equipment Effectiveness), el MTBF (Mean Time Between Failures) y la confiabilidad operacional, considerados estándares internacionales para la evaluación del desempeño de activos críticos (Fuchs et al., 2020). No obstante, existe una brecha de investigación en el análisis empírico de los sistemas de mantenimiento en pequeñas y medianas empresas metalmecánicas de América Latina, donde la implementación de estrategias modernas sigue siendo limitada.

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo diagnosticar la gestión de mantenimiento y su impacto en la confiabilidad de las máquinas críticas en la empresa FERROMAX, ubicada en el cantón La Maná, Ecuador. A partir de un análisis detallado de los modos de fallo, la frecuencia de las averías, los tiempos de inactividad y los principales indicadores de desempeño, se busca evidenciar las debilidades del enfoque correctivo actual y generar insumos técnicos que respalden la migración hacia modelos de mantenimiento preventivo basados en confiabilidad. Con ello, este trabajo no solo contribuye al fortalecimiento de la literatura científica en mantenimiento industrial en economías emergentes, sino que también ofrece un modelo replicable de diagnóstico inicial aplicable a otras industrias de características similares.

METODOLOGÍA

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque descriptivo y cuantitativo, orientado a identificar y analizar las fallas recurrentes en las máquinas críticas del área de producción de la empresa FERROMAX. El propósito fue establecer un diagnóstico integral de la gestión de mantenimiento, evaluando su impacto en la confiabilidad de los activos productivos.

Diseño de Investigación

Se adoptó un diseño de estudio de caso aplicado en el contexto de una industria metalmecánica ecuatoriana, lo que permitió un análisis en profundidad de las prácticas actuales de mantenimiento. La investigación se sustentó en el levantamiento de datos primarios mediante observación directa de las operaciones y en el análisis de registros históricos de fallas y reparaciones. El enfoque cuantitativo posibilitó la construcción de indicadores de confiabilidad y productividad validados con estándares internacionales.

Recolección de datos

La recopilación de información se efectuó durante el año 2024, considerando las dos máquinas críticas del proceso productivo: la Roladora de láminas y la Perfiladora de correas G. Las técnicas empleadas fueron:

- Observación sistemática in situ: registro de fallas, tiempos de operación y paradas no programadas en cada equipo.
- Entrevistas estructuradas: aplicadas a los operarios y responsables de mantenimiento, para identificar prácticas habituales y procedimientos correctivos.
- Revisión documental: análisis de reportes internos de producción y mantenimiento, que sirvieron como base para la validación de la información recolectada.

Instrumento de Análisis

Para el diagnóstico se aplicaron herramientas de ingeniería de mantenimiento reconocidas en la literatura:

- Análisis de modos y efectos de falla (AMFE): identificación y clasificación de fallas por componente y su criticidad en el proceso.
- Diagrama de Pareto: priorización de fallas según frecuencia e impacto en la disponibilidad.
- Indicadores de gestión del mantenimiento: cálculo de métricas claves como:
- Disponibilidad (A)
- Rendimiento y Calidad
- Efectividad Global de los Equipos (OEE)
- Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF)
- Tiempo Medio para Fallar (MTTF)
- Confiabilidad (R(t))

Estas métricas permitieron cuantificar las pérdidas operativas, evaluar la magnitud de las interrupciones y medir la confiabilidad de los equipos críticos frente a los estándares de la industria manufacturera.

Procedimiento

El proceso metodológico se estructuró en cuatro fases:

- **Caracterización del área productiva:** identificación de las máquinas críticas, sus condiciones de operación y los principales componentes susceptibles de falla.
- **Registro y clasificación de fallas:** elaboración de bases de datos con la frecuencia de fallas, tiempos de reparación y horas de parada.
- **Cálculo de indicadores de gestión:** procesamiento de la información recolectada para determinar disponibilidad, OEE, MTBF, MTTF y confiabilidad de los equipos.
- **Análisis e interpretación:** comparación de los resultados obtenidos con estándares internacionales, identificando brechas de desempeño y evidenciando las limitaciones del modelo correctivo de mantenimiento vigente en FERROMAX.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Area de produccion de la industria metalica

El área de producción de la empresa FERROMAX en el cantón La Maná, desempeña un papel fundamental en el cumplimiento de la demanda de productos indispensables para proyectos de construcción, garantizando altos estándares de calidad y continuidad en el mercado de estructuras para techos. La responsabilidad empresarial que tiene el área de producción es muy significativa, debido a que sus operaciones inciden directamente en la satisfacción de los clientes y en el fortalecimiento de la planta industrial, con el objetivo de aumentar su competitividad frente a otras empresas del sector.

Figura 1

Área de producción



Maquinaria del área de producción

El área de producción cuenta con dos máquinas críticas que desempeñan un papel fundamental en la fabricación de techos y correas G aluminizadas en FERROMAX:

Tabla 1*Modos de fallo de las máquinas críticas*

Área	Máquina	Marca	Cantidad	Horas de funcionamiento al día	Año de adquisición	Años de funcionamiento	Velocidad de Producción (m/h)
Área de Producción	Roladora de láminas	Xiamen Liming	1	1	2021	4 años	360
	Perfiladora de correas	Xiamen Liming	1	0,5	2021	4 años	180

Fallas de las máquinas críticas en el proceso de productivo

Desde el inicio de sus operaciones en el año 2021, las máquinas críticas del área de producción de FERROMAX han presentado fallas recurrentes en sus componentes principales. Este deterioro ha provocado paradas no programadas que interrumpen la continuidad del proceso productivo, generando retrasos en la fabricación de techos y correas G aluminizados, los cuales son requeridos por una alta demanda por parte de los clientes. A continuación, se detallan los principales modos de fallo identificados sobre estos activos:

Tabla 2*Modos de fallo de las máquinas críticas*

Máquina	Componente	Modo de fallo
Roladora de láminas	Rodillos	Desgaste superficial, desalineación y corrosión.
	Motor reductor	Sobrecalentamiento y vibración excesiva.
	Engranajes	Desgaste por fricción, rotura de dientes y falta de alineación.
	Ejes	Fatiga del material y desalineación.
	Rodamientos	Desgaste, bloqueo por suciedad y ruido excesivo.
	Bloques de soporte	Fisuras por vibración, aflojamiento de tornillos y desgaste por fricción.
	Bomba hidráulica	Perdida de presión, fugas de aceite y sobrecalentamiento.
	Cuchilla de corte	Desgaste de filo, rotura de cuchilla y desalineación.
	Válvula de presión	Bloqueo por suciedad, fugas y pérdida de presión.
	Sensores de posición	Mal funcionamiento por suciedad, desajuste, falla intermitente.

Perfiladora de correas	Pantalla táctil	Pérdida de sensibilidad, desgaste de pantalla y mal funcionamiento del conector.
	Interruptor de parada	Desgaste mecánico, bloqueo por suciedad y rotura del resorte.
	Cabezal de impresión	Obstrucción de boquillas y desgaste de boquillas por fricción.
	Bomba de tinta	Fugas de tinta, pérdida de presión y bloqueo por impurezas.
	Filtros de tinta	Obstrucción por residuos y desgaste de filtro.
	Rodillos	Desgaste superficial, desalineación y corrosión.
	Motor reductor	Sobrecalentamiento y vibración excesiva.
	Engranajes	Desgaste por fricción, rotura de dientes y falta de alineación.
	Ejes	Fatiga del material y desalineación.
	Rodamientos	Desgaste, bloqueo por suciedad y ruido excesivo.
	Bloques de soporte	Fisuras por vibración, aflojamiento de tornillos y desgaste por fricción.
	Bomba hidráulica	Pérdida de presión, fugas de aceite y sobrecalentamiento.
	Cuchilla de corte	Desgaste de filo, rotura de cuchilla y desalineación.
	Válvula de presión	Bloqueo por suciedad, fugas y pérdida de presión.
	Sensores de posición	Mal funcionamiento por suciedad, desajuste del sensor, falla intermitente.
	Pantalla táctil	Pérdida de sensibilidad, desgaste y mal funcionamiento del conector.
	Interruptor de parada	Desgaste mecánico, bloqueo por suciedad y rotura del resorte.
	Cabezal de impresión	Obstrucción de boquillas y desgaste de boquillas por fricción.
	Bomba de tinta	Fugas de tinta, pérdida de presión y bloqueo por impurezas.
	Filtros de tinta	Obstrucción por residuos y desgaste de filtro.

Fallas identificadas en las máquinas críticas

Durante el año 2024, las máquinas críticas del área de producción han presentado fallas con una frecuencia específica de aparición. Estas fallas han sido atendidas por los operarios mediante la aplicación de procedimientos de mantenimiento correctivo, para la reparación o el reemplazo de los componentes dañados o averiados cuando resulte necesario. Cabe destacar, que la frecuencia de aparición de estos modos de fallo posee una relación directa con el efecto o impacto que generan en el funcionamiento de las máquinas críticas.

Tabla 3
Frecuencia de las fallas identificadas en el año 2024

Máquina	Componente	Modo de fallo	Frecuencia
Roladora de láminas	Rodillos	Desalineación de rodillos	Quincenal
	Motor reductor	Vibración excesiva	Mensual
	Engranajes	Rotura de dientes	Semestral
	Rodamientos	Desgaste de rodamientos	Mensual
	Bloques de soporte	Fisuras por vibración	Trimestral
	Bomba hidráulica	Pérdida de presión	Mensual
	Cuchilla de corte	Rotura de cuchilla	Trimestral
	Cabezal de impresión	Obstrucción de boquillas	Mensual
	Filtros de tinta	Desgaste de filtro	Mensual
Perfiladora de correas	Rodillos	Desgaste superficial	Trimestral
	Engranajes	Desgaste por fricción	Semestral
	Ejes	Desalineación de ejes	Quincenal
	Rodamientos	Bloqueo por suciedad	Mensual
	Cuchilla de corte	Desgaste de filo	Bimestral
	Sensores de posición	Desajuste de sensores	Mensual
	Pantalla táctil	Pérdida de sensibilidad	Trimestral
	Bomba de tinta	Fugas de tinta	Bimestral
	Filtros de tinta	Obstrucción por residuos	Bimestral

Fuente: Investigacion de Campo

Elaborado: Autores (2024)

Fallas identificadas en la Roladora de láminas para techos

El número de fallas detectadas en los componentes principales y el tiempo de reparación requerido por los operarios para atender cada una de las fallas en la Roladora de láminas para techos se detallan a continuación:

Tabla 4
Fallas de la roladora de láminas para techos en el año 2024

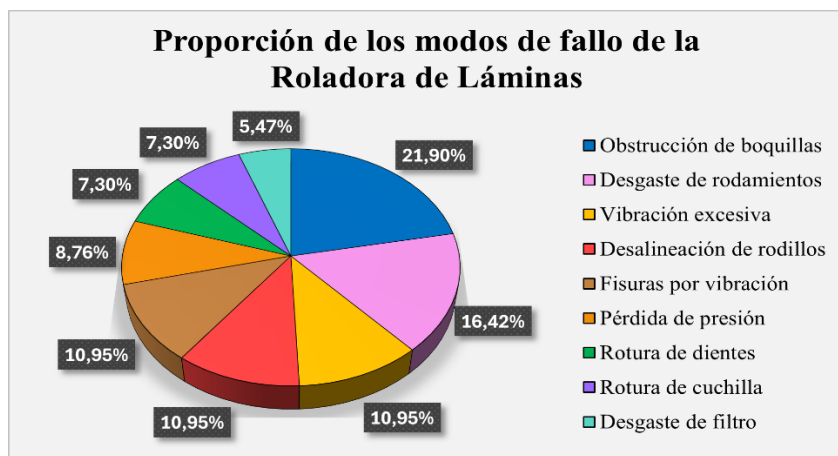
Máquina	Componente	Modo de fallo	Nº de fallas	Tiempo de reparación (h)	Tiempo total (h)	Tiempo acumulado (h)	Porcentaje (%)	Porcentaje acumulado (%)
Roladora de láminas	Cabezal de impresión	Obstrucción de boquillas	12	2	24	24	21,90%	21,90%

	Desgaste						
Rodamientos	de rodamientos	12	1,5	18	42	16,42%	38,32%
Motor reductor	Vibración excesiva	12	1	12	54	10,95%	49,27%
Rodillos	Desalineación de rodillos	24	0,5	12	66	10,95%	60,22%
Bloques de soporte	Fisuras por vibración	4	3	12	78	10,95%	71,17%
Bomba hidráulica	Pérdida de presión	12	0,8	9,6	87,6	8,76%	79,93%
Engranajes	Rotura de dientes	2	4	8	95,6	7,30%	87,23%
Cuchilla de corte	Rotura de cuchilla	4	2	8	103,6	7,30%	94,53%
Filtros de tinta	Desgaste de filtro	12	0,5	6	109,6	5,47%	100,00%
		94		109,6		100,00%	

La Roladora de láminas para techos registró un total de 94 fallas y un tiempo total acumulado de 109,6 horas de paradas no programadas durante el año 2024. Como se detalla en la tabla, el tiempo de reparación varía según el modo de fallo detectado, además, posee una relación directa con el impacto de la falla sobre el componente afectado. Es decir, cuanto mayor es el tiempo para la reparación, mayor es el deterioro que ha sufrido el componente de la máquina. A continuación, se presenta un gráfico circular con la proporción del tiempo correspondiente a los modos de fallo de la Roladora de láminas para techos:

Figura 2

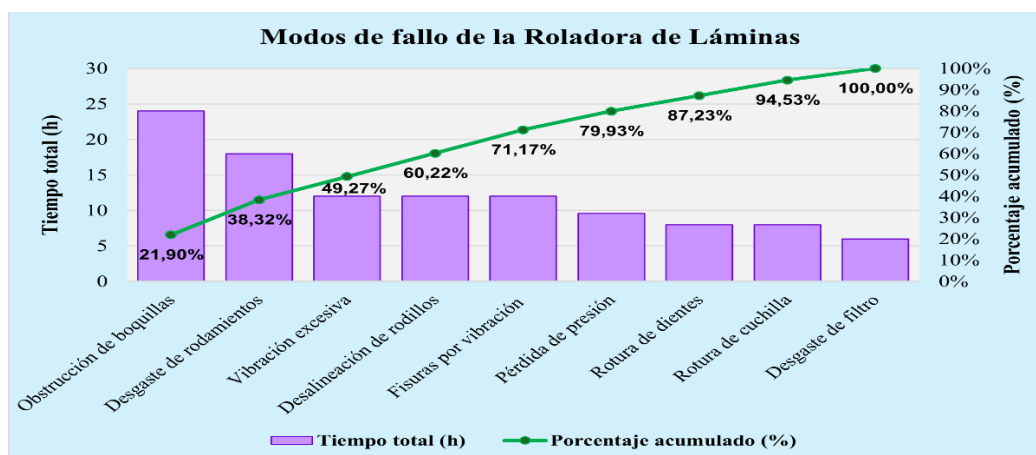
Proporción de los modos de fallo de la roladora de láminas para techos



El gráfico circular muestra que la obstrucción de boquillas del cabezal de impresión representa el 21,90% del tiempo total de paradas no programadas de la Roladora de láminas para techos, considerándose como el modo de fallo más crítico y el que mayor impacto genera sobre el funcionamiento y disponibilidad de la máquina. Por otro lado, el desgaste de los filtros de tinta representa el 5,47% del tiempo de paradas no programadas, siendo el modo de fallo de menor relevancia o impacto, al ocasionar la menor cantidad de tiempo de inactividad de la máquina durante el proceso productivo. A continuación, se presenta un gráfico de Pareto que permite identificar y priorizar los modos de fallo más relevantes de la Roladora de láminas para techos:

Figura 3

Gráfico de Pareto de los modos de fallo de la roladora de láminas para techos



Fallas identificadas en la Perfiladora de correas G

El número de fallas detectadas en los componentes principales y el tiempo de reparación requerido por los operarios para atender cada una de las fallas en la Perfiladora de correas G se detallan a continuación:

Tabla 5

Fallas de la perfiladora de correas G en el año 2024

Máquina	Componente	Modo de fallo	Nº de fallas	Tiempo de reparación (h)	Tiempo total (h)	Tiempo acumulado (h)	Porcentaje (%)	Porcentaje acumulado (%)
Perfiladora de correas	Ejes	Desalineación de ejes	24	0,5	12	12	16,76%	16,76%
	Rodamientos	Bloqueo por suciedad	12	1	12	24	16,76%	33,52%
	Sensores de posición	Desajuste de sensores	12	0,8	9,6	33,6	13,41%	46,93%
	Bomba de tinta	Fugas de tinta	6	1,5	9	42,6	12,57%	59,50%
	Pantalla táctil	Pérdida de sensibilidad	4	2	8	50,6	11,17%	70,67%
	Rodillos	Desgaste superficial	4	1,5	6	56,6	8,38%	79,05%
	Engranajes	Desgaste por fricción	2	3	6	62,6	8,38%	87,43%
	Filtros de tinta	Obstrucción por residuos	6	0,9	5,4	68	7,54%	94,97%
	Cuchilla de corte	Desgaste de filo	6	0,6	3,6	71,6	5,03%	100,00%
			76		71,6		100,00	%

Fuente: Investigación de Campo

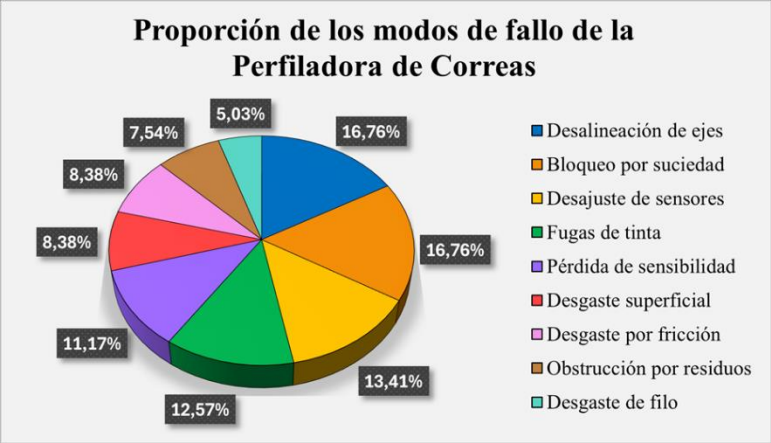
Elaborado: Autores (2024)

La Perfiladora de correas G registró un total de 76 fallas y un tiempo total acumulado de 71,6 horas de paradas no programadas durante el año 2024. Como se detalla en la tabla, el tiempo de reparación varía según el modo de fallo detectado, además, posee una relación directa con el impacto de la falla sobre el componente afectado. Es decir, cuanto mayor es el tiempo para la

reparación, mayor es el deterioro que ha sufrido el componente de la máquina. A continuación, se presenta un gráfico circular con la proporción del tiempo correspondiente a los modos de fallo de la Perfiladora de correas G:

Figura 4

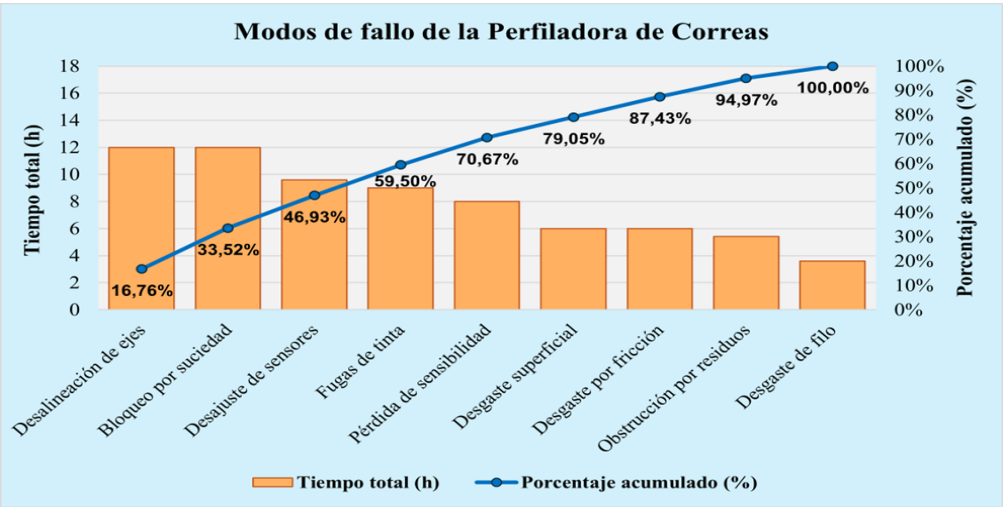
Proporción de los modos de fallo de la perfiladora de correas G



El gráfico circular muestra que la desalineación de ejes y el bloqueo por suciedad de los rodamientos representan cada uno el 16,76% del tiempo total de paradas no programadas de la Perfiladora de correas G, considerándose como los modos de fallo más críticos y los que mayor impacto generan sobre el funcionamiento y disponibilidad de la máquina. Por otro lado, el desgaste de filo de la cuchilla de corte representa el 5,03% del tiempo de paradas no programadas, siendo el modo de fallo de menor relevancia o impacto, al ocasionar la menor cantidad de tiempo de inactividad de la máquina durante el proceso productivo. A continuación, se presenta un gráfico de Pareto que permite identificar y priorizar los modos de fallo más relevantes de la Perfiladora de correas G:

Figura 5

Gráfico de Pareto de los modos de fallo de la perfiladora de correas G



Número de fallas de las máquinas críticas

Tabla 6

Número de fallas de la roladora de láminas para techos en el año 2024

Máquina	Componente	Modo de fallo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL
Roladora de láminas	Rodillos	Desalinación de rodillos	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24
	Motor reductor	Vibración excesiva	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
	Engranajes	Rotura de dientes	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2
	Rodamientos	Desgaste de rodamientos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
	Bloques de soporte	Fisuras por vibración	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	4
	Bomba hidráulica	Pérdida de presión	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
	Cuchilla de corte	Rotura de cuchilla	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	4
	Cabezal de impresión	Obstrucción de boquillas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12

Filtros de tinta	Desgast														
	e	de	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
		filtro													
TOTAL			8	9	7	8	8	7	8	9	7	8	8	7	94

Tabla 7

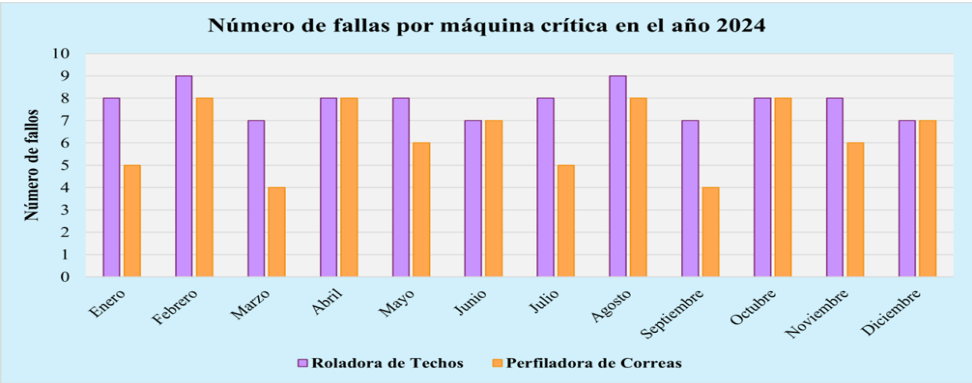
Número de fallas de la perfiladora de correas G en el año 2024

Máquina	Componente	Modo de fallo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL
Perfiladora de correas	Rodillos	Desgaste superficial	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	4
	Engranajes	Desgaste por fricción	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	2
	Ejes	Desalineación de ejes	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24
	Rodamientos	Bloqueo por suciedad	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
	Cuchilla de corte	Desgaste de filo	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	6
	Sensores de posición	Desajuste de sensores	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
	Pantalla táctil	Pérdida de sensibilidad	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	4
	Bomba de tinta	Fugas de tinta	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	6
	Filtros de tinta	Obstrucción por residuos	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	6
TOTAL			5	8	4	8	6	7	5	8	4	8	6	7	76

El número total de fallas identificadas por cada mes de operación de las máquinas críticas se puede representar gráficamente en el siguiente diagrama de barras:

Figura 6

Gráfico de barras del número de fallas por máquina crítica en el año 2024



Los datos presentados en el gráfico muestran que los meses de febrero y agosto son los periodos con la mayor cantidad de fallas en las máquinas críticas, es decir, de las 170 fallas anuales identificadas sobre las máquinas críticas, 17 fallas corresponden al mes de febrero y 17 al mes de agosto.

Tiempos de parada no programadas de las máquinas críticas

Tabla 8

Tiempo de paradas no programadas de la roladora de láminas para techos en el año 2024

Máquina	Componente	Modo de fallo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL (h)
Roladora de láminas	Rodillos	Desalinación de rodillos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
		Vibración excesiva	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
		Rotura de dientes	0	4	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	8
		Desgaste de rodamientos	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	18

Bloques de soporte	Fisuras por vibración	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	3	0	12
Bomba hidráulica	Pérdida de presión	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	9,6
Cuchilla de corte	Rotura de cuchilla	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	8
Cabeza de impresión	Obstrucción de boquillas	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24
Filtros de tinta	Desgaste de filtro	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	6
TOTAL (h)		8,8	13,8	6,8	8,8	9,8	6,8	8,8	13,8	6,8	8,8	9,8	6,8	109,6

Tabla 9

Tiempo de paradas no programadas de la perfiladora de correas G en el año 2024

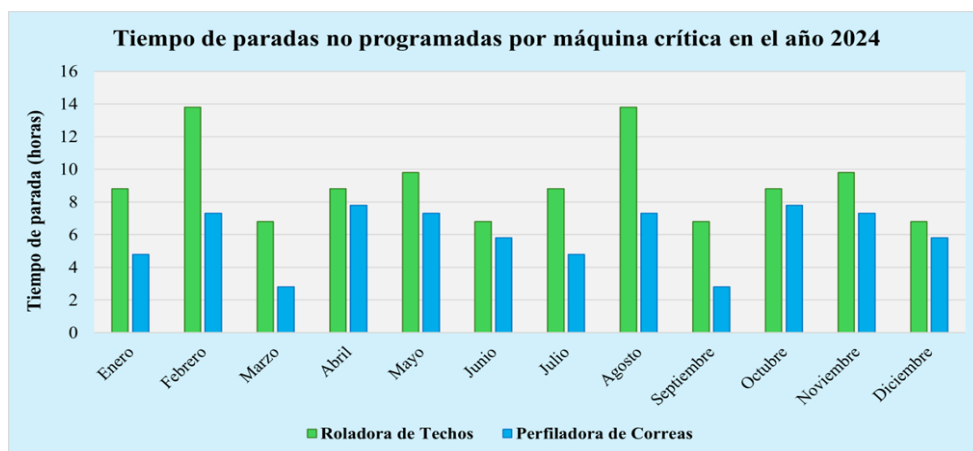
Máquina	Componente	Modo de fallo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL (h)
Perfiladora de correas	Rodillos	Desgaste superficial	0	1,5	0	0	1,5	0	0	1,5	0	0	1,5	0	6
	Engranajes	Desgaste por fricción	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	6
	Ejes	Desalineación de ejes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
	Rodamientos	Bloqueo por suciedad	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12

Cuchilla de corte	Desgaste de filo	0	0,6	0	0,6	0	0,6	0	0,6	0	0,6	0	0,6	3,6
Sensores de posición	Desajuste de sensores	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	9,6
Pantalla táctil	Pérdida de sensibilidad	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	8
Bomba de tinta	Fugas de tinta	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	9
Filtros de tinta	Obstrucción por residuos	0	0,9	0	0,9	0	0,9	0	0,9	0	0,9	0	0,9	5,4
TOTAL (h)		4,8	7,3	2,8	7,8	7,3	5,8	4,8	7,3	2,8	7,8	7,3	5,8	71,6

El tiempo total de paradas no programadas por cada mes de operación de las máquinas críticas se puede representar gráficamente en el siguiente diagrama de barras:

Figura 7

Gráfico de barras del tiempo de paradas no programadas por máquina crítica en el año 2024



Los datos presentados en el gráfico muestran que los meses de febrero y agosto son los periodos con el mayor tiempo de inactividad o paradas no programadas ocasionadas por las fallas sobre las máquinas críticas, es decir, de las 181,2 horas anuales de paradas no programadas en las máquinas críticas, 21,1 horas corresponden al mes de febrero y 21,1 horas al mes de agosto.

Indicadores de gestión del mantenimiento

Disponibilidad

La disponibilidad que presentaron las máquinas críticas durante el año 2024 es la siguiente:

Tabla 10*Disponibilidad de las máquinas críticas*

Máquina	Tiempo total disponible (horas)	Tiempo de operación (horas)	Disponibilidad A (%)
Roladora	304	194,4	63,95 %
Perfiladora	152	80,4	52,89 %
TOTAL	456	274,8	58,42 %

Fuente: Investigación de Campo

Elaborado: Autores (2024)

La disponibilidad de las máquinas críticas en el proceso productivo fue del 58,42 %, es decir, es el porcentaje del tiempo anual en que estas se encontraron en funcionamiento, considerando los tiempos de paradas no programadas provocadas por las fallas.

Rendimiento

El rendimiento que presentaron las máquinas críticas durante el año 2024 es el siguiente:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Producción real}}{\text{Producción prevista}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{83221,4 \text{ m}}{84456 \text{ m}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 0,9854 * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 98,54 \%$$

El rendimiento de las máquinas críticas en el proceso productivo fue del 98,54 %, es decir, es la eficiencia anual de las máquinas durante su funcionamiento, considerando las pérdidas de producción ocasionadas por los tiempos de paradas no programadas, la reducción de la velocidad de producción y las microparadas.

Calidad

La calidad que presentaron los techos y correas G aluminizadas producidos durante el año 2024 es la siguiente:

$$\text{Calidad} = \frac{\text{Piezas buenas}}{\text{Producción real}} * 100$$

$$\text{Calidad} = \frac{79060,3 \text{ m}}{83221,4 \text{ m}} * 100$$

$$\text{Calidad} = 95,00 \%$$

La calidad de los techos y correas G aluminizadas producidos fue del 95,00 %, es decir, es el porcentaje de la producción que cumplió con las normas de calidad establecidas por FERROMAX, considerando la cantidad de piezas que fueron rechazadas por defectos o deterioros.

OEE (Efectividad General de los Equipos)

La efectividad general que presentaron las máquinas críticas del proceso productivo durante el año 2024 es la siguiente:

$$OEE = Disponibilidad \times Rendimiento \times Calidad$$

$$OEE = 58,42 \% \times 98,54 \% \times 95,00 \%$$

$$OEE = 54,69 \%$$

La efectividad general de las máquinas críticas en el proceso productivo fue del 54,69 %, es decir, es la eficiencia con que las máquinas desempeñaron sus funciones para la producción de techos y correas G aluminizadas de calidad, en el menor tiempo posible y sin paradas no programadas en el proceso productivo. Este porcentaje se considera un OEE bajo o deficiente, lo cual indica que se han generado pérdidas económicas significativas y un impacto considerable en la competitividad de FERROMAX.

Tiempo medio entre fallas (MTBF) y Tiempo medio para fallar (MTTF)

El tiempo medio entre fallas y el tiempo medio para fallar que presentaron las máquinas críticas durante el año 2024 son los siguientes:

Tabla 11

Disponibilidad de las máquinas críticas

Máquina	Tiempo total disponible (h)	Tiempo de operación (h)	Tiempo de reparación (h)	Nº de fallos	MTTF (h)	MTBF (h)
Roladora	304	194,4	109,6	94	2,07	3,23
Perfiladora	152	80,4	71,6	76	1,06	2,00
TOTAL	456	274,8	181,2	170	1,56	2,62

Fuente: Investigacion de Campo

Elaborado: Autores (2024)

Los datos obtenidos en la tabla revelan que las fallas ocurren cada 2,62 horas en promedio. Es decir, aproximadamente cada 3 horas de operación de las máquinas críticas se presenta una falla que provoca una parada no programada o detiene el proceso productivo.

Tasa de fallos

La tasa de fallos que presentaron las máquinas críticas durante el año 2024 es la siguiente:

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

$$\lambda = \frac{1}{2,62 \frac{\text{horas}}{\text{falla}}}$$

$$\lambda = 0,38 \frac{\text{fallas}}{\text{hora}}$$

Por lo tanto, la tasa de fallos de las máquinas críticas en el proceso productivo fue de 0,38 fallas por hora, es decir, las máquinas experimentaron un promedio de 0,38 fallas por cada hora de operación durante la producción de techos y correas G aluminizadas.

Confiabilidad

La confiabilidad que presentaron las máquinas críticas durante el año 2024 es la siguiente:

$$R = e^{\frac{-t}{MTBF}} \qquad R = e^{\frac{-1,048}{2,62}} \qquad R = 0,6703$$

$$R = 67,03 \%$$

Por lo tanto, la confiabilidad de las máquinas críticas que forman parte del proceso productivo es del 67,03 %. Es decir, la probabilidad de que estas máquinas puedan desempeñar sus funciones operativas, considerando las fallas identificadas es del 67,03 %. Este porcentaje representa una confiabilidad baja o deficiente, debido a que las máquinas críticas presentan fallos recurrentes que provocan elevados tiempos de paradas no programadas, afectando su funcionamiento y disponibilidad en la producción de techos y correas G aluminizadas.

Tabla 12

Confiabilidad de las máquinas críticas

Área	Máquinas críticas	t (h)	MTBF (h)	Confiabilidad (%)
Producción	Roladora de láminas y Perfiladora de correas	1,048	2,62	67,03 %

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la empresa FERROMAX evidencian una situación crítica en la gestión del mantenimiento, caracterizada por una elevada frecuencia de fallas y paradas no

programadas que afectan directamente la continuidad del proceso productivo. El análisis de datos mostró que las dos máquinas críticas, la roladora de láminas y la perfiladora de correas G, registraron un total de 170 fallas en un año, con 181,2 horas acumuladas de inactividad. Este escenario se refleja en indicadores claves de desempeño: una disponibilidad global de 58,42 %, un OEE de 54,69 % y una confiabilidad de apenas 67,03 %.

Estos valores se encuentran muy por debajo de los estándares industriales internacionales, donde el OEE de clase mundial debe superar el 85 % y la confiabilidad debe mantenerse por encima del 90 % para garantizar la competitividad en mercados dinámicos (Celmi et al., 2024). En concordancia con investigaciones recientes, la dependencia de estrategias correctivas incrementa la tasa de fallas, eleva los costos de operación y reduce la vida útil de los activos (Lemache-Caiza et al., 2023).

El análisis de Pareto aplicado en la roladora de láminas reveló que las fallas asociadas al cabezal de impresión y los rodamientos concentraron más del 38 % del tiempo de inactividad total. De manera similar, en la perfiladora de correas G, la desalineación de ejes y el bloqueo de rodamientos representaron el 33,5 % de las horas perdidas. Estos hallazgos son consistentes con estudios de confiabilidad en industrias metalmecánicas, que identifican a los sistemas de transmisión y los elementos de soporte como los componentes más vulnerables a desgastes acelerados y vibraciones (Valdivia et al., 2023).

El bajo desempeño en disponibilidad y confiabilidad no solo compromete la eficiencia operativa, sino que también tiene un impacto directo en la competitividad empresarial. En este sentido, los resultados confirman lo planteado por Molvar et al. (2025), quien señala que los sistemas basados en mantenimiento correctivo limitan la capacidad de respuesta de las organizaciones frente a la demanda y generan pérdidas económicas recurrentes. La situación de FERROMAX refleja esta problemática, donde la falta de un plan preventivo estructurado incrementa la vulnerabilidad del sistema productivo.

Asimismo, los indicadores de MTTF (1,56 horas) y MTBF (2,62 horas) demuestran que, en promedio, las máquinas fallan cada tres horas de operación, lo cual es insostenible para un proceso continuo. Este hallazgo coincide con estudios de benchmarking en empresas manufactureras de países emergentes, donde la ausencia de monitoreo predictivo y sistemas de mantenimiento basados en confiabilidad ocasiona caídas en la productividad superiores al 20 % anual (Hidalgo et al., 2022).

CONCLUSIONES

El diagnóstico de la gestión de mantenimiento en la empresa FERROMAX permitió identificar con claridad las limitaciones de un modelo basado en correctivos y la urgencia de evolucionar hacia estrategias preventivas y de confiabilidad. Los resultados obtenidos constituyen

un aporte significativo tanto a la práctica industrial como a la literatura científica en mantenimiento.

En primer lugar, se evidenció que el enfoque actual, centrado en la atención de fallas una vez ocurridas, genera una carga operacional considerable. Durante el período de estudio, las dos máquinas críticas que es la roladora de láminas y la perfiladora de correas G. En el cual se registraron un total de 170 fallas, con más de 181 horas acumuladas de inactividad. Esta situación no solo afecta la continuidad productiva, sino que también incrementa los costos asociados a repuestos, mano de obra y pérdidas por incumplimiento de plazos de entrega.

En segundo lugar, los indicadores técnicos calculados ofrecen una visión cuantitativa de la problemática. La disponibilidad promedio del 58,42 %, la efectividad global de los equipos (OEE) de 54,69 % y la confiabilidad de apenas 67,03 % se encuentran muy por debajo de los parámetros internacionales, donde el OEE de clase mundial debe superar el 85 % y la confiabilidad operacional alcanzar valores superiores al 90 %. Estos resultados reflejan no solo un bajo desempeño interno, sino también una amenaza para la competitividad empresarial frente a mercados cada vez más exigentes.

En tercer lugar, el análisis de modos de falla y criticidad identificó a los rodamientos, ejes y cabezales como los principales responsables de los tiempos de inactividad, confirmando patrones reportados en investigaciones previas en industrias metalmecánicas. La reiteración de fallas en componentes básicos del sistema productivo evidencia la ausencia de políticas estructuradas de mantenimiento preventivo y predictivo, así como la carencia de registros históricos confiables que permitan una gestión basada en datos.

En cuarto lugar, los hallazgos del estudio resaltan la importancia de transitar hacia un plan de mantenimiento preventivo basado en confiabilidad (RCM). La implementación de esta metodología no solo permitiría reducir la frecuencia de fallas y los tiempos de inactividad, sino también mejorar indicadores estratégicos como el MTBF, el MTTF, la disponibilidad y la confiabilidad. A largo plazo, el RCM contribuiría a extender la vida útil de los activos, optimizar la planificación de recursos y fortalecer la sostenibilidad económica de la empresa.

REFERENCIAS

- Aguirre, A. N. P., Carranza, R. D. T. H., Adrianzén, M. E. A., & Cabello, M. A. A. (2022). Proposal For Improvement In Production And Maintenance Processes According To Six Sigma Theory To Increase The Quality Of Ecopacking Cartones S.A. Chao 2021. Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology,
- Celmi, R. S. A., Albuja, N. M. A., & Del Milagro Lucano Cachay, C. L. (2024). Design of a maintenance plan improvement to reduce costs in the plating area of an industrial plastics SME. Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology,
- Condo-Palomino, R., Cruz-Barreto, L., & Quiroz-Flores, J. (2022). Increased equipment performance in agro-industrial companies through a maintenance model based on the TPM approach. Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology,
- Fuchs, M. V., Rodríguez-Cáceres, A., Altamirano-Flores, E., Marcelo Lastra, G. E., & Álvarez Merino, J. C. (2020). Proposal to improve the maintenance management plan based on rcm and lean office in the polymer injection process [Article]. *RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao*, 2020(E37), 41-51.
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85101608464&partnerID=40&md5=1b2eebf0ff7c9bbd311fa81870688fa5>
- Hidalgo, B. L. F., Moreno, J. J. H., & Cordova, M. E. C. J. M. G. (2022). Impact of industrial maintenance on the supply chain in a textile company in times of pandemic. Proceedings - 2022 8th International Engineering, Sciences and Technology Conference, IESTEC 2022,
- Lemache-Caiza, K., García-Mora, F., Valverde-González, V., & Velastegui López, E. (2023). MACHINE LEARNING APPROACH TO INDUSTRIAL MAINTENANCE MANAGEMENT [Article]. *Universidad y Sociedad*, 15(3), 628-637.
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85162931970&partnerID=40&md5=8643b78094e68883ec4500d1cb20e1cc>
- Molvar, J., Moubray, A., Mathew, N., & Danker, J. (2025). Availability Risk Management for Systems with Multiple Configurations. Proceedings - Annual Reliability and Maintainability Symposium,
- Ramos Ciprián, R. D., & Salavert Fernández, J. M. (2020). EFFECT OF DOCUMENTATION, RECORDS AND INDICATORS ON THE IMPROVEMENT OF MAINTENANCE IN THE PROCESSING OF SUGARCANE. Proceedings from the International Congress on Project Management and Engineering,

Valdivia, G., Zegarra, M., Ramos, J., & Aguilar, K. (2023). PREVENTIVE MAINTENANCE MODEL TO IMPROVE MAINTENANCE MANAGEMENT IN A LABORATORY CENTER OF A SCHOOL OF ENGINEERING. Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology,