



Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), septiembre-octubre 2024,
Volumen 8, Número 5.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5

**OPTIMIZACION DEL PLAN DE
MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA
EQUIPOS DE MECANIZADO POR ARRANQUE
DE VIRUTA MEDIANTE ANALISIS DE
FIABILIDAD Y COSTOS**

**OPTIMIZATION OF THE PREVENTIVE MAINTENANCE
PLAN FOR MACHINING EQUIPMENT BY CHIP REMOVAL
THROUGH RELIABILITY AND COSTS ANALYSIS**

Luis Alberto Pulido de León

Instituto Tecnológico de Matamoros, México

Irma Leticia García Treviño

Instituto Tecnológico de Matamoros, México

Miguel Angel Medina Álvarez

Instituto Tecnológico de Matamoros, México

Flor De Los Santos Méndez

Instituto Tecnológico de Matamoros, México

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.13929

Optimización del Plan de Mantenimiento Preventivo para Equipos de Mecanizado por Arranque de Viruta Mediante Análisis de Fiabilidad y Costos

Luis Alberto Pulido de León¹lpulido1789@itmatamoros.edu.mx<https://orcid.org/0009-0007-3774-0271>Instituto Tecnológico de Matamoros
México**Irma Leticia Garcia Treviño**irma.gt@matamoros.tecnm.mx<https://orcid.org/0000-0003-2631-0499>Instituto Tecnológico de Matamoros
Mexico**Miguel Angel Medina Alvarez**miguel.ma@matamoros.tecnm.mx<https://orcid.org/0000-0002-4526-5032>Insituto Tecnológico de Matamoros
México**Flor De Los Santos Mendez**flor.dsm@matamoros.tecnm.mxInsituto Tecnológico de Matamoros
México

RESUMEN

El artículo se centra en la optimización del mantenimiento preventivo en equipos de mecanizado por arranque de viruta, destacando la importancia de un enfoque basado en el análisis detallado de la fiabilidad y los costos asociados. Este tipo de mantenimiento busca prever y mitigar posibles fallos antes de que ocurran, permitiendo a las empresas operar de manera más eficiente y con menos interrupciones inesperadas. A través del uso de modelos matemáticos, el estudio examina cómo la frecuencia de las intervenciones de mantenimiento influye en la fiabilidad de los equipos y en los costos operativos, con el objetivo de maximizar la vida útil de los activos. En este sentido, la investigación revela que un mantenimiento planificado de manera óptima no solo prolonga la duración de los equipos, sino que también contribuye significativamente a la reducción de gastos innecesarios. El artículo también subraya que, al adoptar estrategias de mantenimiento más eficientes, las empresas pueden reducir considerablemente el riesgo de fallos inesperados, lo que resulta en un aumento de la eficiencia operativa. Este enfoque no solo mejora la productividad, sino que también asegura la sostenibilidad a largo plazo de los equipos industriales, lo cual es crucial para mantenerse competitivo en el mercado actual. Además, el estudio sugiere que la integración de tecnologías avanzadas, como el análisis de datos en tiempo real y el uso de sensores inteligentes, puede mejorar la planificación y ejecución de las intervenciones preventivas. Esto permite a las empresas no solo optimizar el rendimiento de sus activos, sino que también adaptarse a las demandas cambiantes de un mercado en constante evolución, manteniendo así la ventaja competitiva.

Palabras clave: mantenimiento, preventivo, fiabilidad, costos, optimización

¹ Autor principal

Correspondencia: lpulido1789@itmatamoros.edu.mx

Optimization of the Preventive Maintenance Plan for Machining Equipment by Chip Removal Through Reliability and Costs Analysis

ABSTRACT

The article focuses on the optimization of preventive maintenance in machining equipment with chip removal, highlighting the importance of an approach based on a detailed analysis of reliability and associated costs. This type of maintenance aims to foresee and mitigate potential failures before they occur, allowing companies to operate more efficiently and with fewer unexpected interruptions. Through the use of mathematical models, the study examines how the frequency of maintenance interventions influences the reliability of the equipment and operating costs, with the goal of maximizing the useful life of the assets. In this sense, the research reveals that optimally planned maintenance not only extends the lifespan of equipment but also significantly contributes to reducing unnecessary expenses. The article also emphasizes that by adopting more efficient maintenance strategies, companies can significantly reduce the risk of unexpected failures, which results in increased operational efficiency. This approach not only improves productivity but also ensures the long-term sustainability of industrial equipment, which is crucial for remaining competitive in today's market. Furthermore, the study suggests that the integration of advanced technologies, such as real-time data analysis and the use of smart sensors, can enhance the planning and execution of preventive interventions. This allows companies not only to optimize the performance of their assets but also to adapt to the changing demands of an ever-evolving market, thus maintaining a competitive advantage.

Keywords: maintenance, preventive, reliability, costs, optimization

Artículo recibido 08 agosto 2024

Aceptado para publicación: 10 septiembre 2024



INTRODUCCIÓN

El mantenimiento preventivo es una estrategia que busca prevenir fallos en los equipos mediante intervenciones programadas. Sin embargo, la frecuencia y el costo de estas intervenciones deben optimizarse para evitar gastos innecesarios. Este estudio se centra en equipos de mecanizado por arranque de viruta, donde la fiabilidad y el costo son factores críticos.

El mantenimiento es el conjunto de acciones técnicas y administrativas realizadas para conservar o restablecer un equipo en un estado en el que pueda cumplir su función requerida. Smith y Hinchcliffe (2003) definen el mantenimiento como una función crítica en la gestión de activos, enfocándose en la prevención de fallos y la prolongación de la vida útil de los equipos. Moubray (1997) lo describe como un proceso sistemático para asegurar que los activos continúen desempeñando las funciones deseadas. Kelly (2006) enfatiza la importancia del mantenimiento en la reducción de costos operativos y el aumento de la eficiencia.

El mantenimiento preventivo se define como el conjunto de actividades programadas de inspección, detección y corrección de fallas incipientes, con el objetivo de prevenir averías y garantizar el funcionamiento óptimo de los equipos (Palmet Bechara & Vergara Guerra, 2008).

El mantenimiento correctivo se realiza después de que un equipo ha fallado o se ha deteriorado. Este tipo de mantenimiento se enfoca en la reparación o reemplazo de los componentes dañados (Valencia, 2020).

El mecanizado por arranque de viruta es un proceso de mecanizado que consiste en separar material de una pieza mediante herramientas con filos perfectamente definidos. Este proceso es ampliamente utilizado en la industria debido a su capacidad para producir piezas con precisión y acabados excelentes (Amestoy, 2006).

Un plan de mantenimiento preventivo es un tipo de cronograma o agenda que define una ruta de ejecución de mantenimiento para los activos de una empresa (Zambelli, 2023). Su objetivo es actuar de forma programada para prolongar el estado de conservación de la maquinaria y garantizar su correcto funcionamiento preservando la salud de las personas que los utilizan.

El mantenimiento es el conjunto de actividades que intentan compensar la degradación causada por el tiempo y el uso de un equipo o instalación. Su objetivo es garantizar el funcionamiento continuo y

eficiente de la maquinaria, los equipos y otros tipos de activos utilizados habitualmente en las empresas (Organizadores Graficos, 2022).

La optimización del mantenimiento preventivo es una estrategia que busca prevenir fallos en los equipos mediante intervenciones programadas. Sin embargo, la frecuencia y el costo de estas intervenciones deben optimizarse para evitar gastos innecesarios. Este estudio se centra en equipos de mecanizado por arranque de viruta, donde la fiabilidad y el costo son factores importantes.

La optimización del mantenimiento preventivo es un tema crucial en la gestión de equipos industriales, especialmente en el contexto del mecanizado por arranque de viruta. Este tipo de mantenimiento busca prevenir fallos y maximizar la vida útil de los equipos, asegurando así la eficiencia operativa y reduciendo costos a largo plazo (Control técnica, 2024). El mantenimiento preventivo implica la realización de actividades planificadas, como inspecciones regulares, limpiezas y reemplazos programados de componentes, con el objetivo de evitar fallos inesperados.

Además, al anticiparse a posibles problemas, las empresas pueden evitar costosas interrupciones en la producción, garantizando un funcionamiento óptimo de sus activos.

En un entorno industrial donde la competitividad es alta, implementar un programa de mantenimiento preventivo efectivo se convierte en una necesidad estratégica para cualquier empresa que desee mantener sus operaciones sin interrupciones (C. Rodríguez & C. Rodríguez, 2023). Este enfoque proactivo no solo ayuda a mantener la maquinaria en óptimas condiciones, sino que también reduce el tiempo de inactividad, optimiza el rendimiento y prolonga la vida útil de los equipos.

En el contexto actual, las tendencias tecnológicas están transformando el mantenimiento preventivo, integrando herramientas como inteligencia artificial y los sistemas de monitoreo automatizado para mejorar la eficiencia y la toma de decisiones (Evs Group, 2024). Estas tecnologías permiten predecir fallos antes de que ocurran, optimizar la programación de mantenimiento y mejorar la planificación de recursos, lo que resulta en una mayor eficiencia operativa y una reducción de costos. La digitalización y el uso de datos en tiempo real son clave para mantenerse competitivo en un mercado en constante evolución.

El mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) es otra estrategia que está ganando popularidad, ya que prioriza y optimiza los activos más importantes, utilizando la automatización para reemplazar

tareas costosas e interviniendo solo cuando es necesario (IBM, 2023). Este enfoque permite a las empresas alcanzar sus objetivos de sostenibilidad y eficiencia, evitando la necesidad de reemplazos prematuros de activos y reduciendo el impacto ambiental. La implementación exitosa de un programa de RCM puede evitar interrupciones costosas en la producción, lo que conduce a beneficios significativos para las empresas.

A pesar de los beneficios evidentes, las empresas enfrentan desafíos en la implementación de programas de mantenimiento preventivo, como la falta de personal calificado y la necesidad de capacitación continua en nuevas tecnologías. Para superar estos obstáculos, es fundamental desarrollar estrategias de reclutamiento efectivas y programas de formación que garanticen que el personal este debidamente cualificado y actualizado en las últimas técnicas de mantenimiento. Además, la inversión en tecnologías emergentes y la adopción de prácticas innovadoras son esenciales para mejorar la gestión del mantenimiento y asegurar la competitividad a largo plazo (Arribas, 2024).

El mantenimiento preventivo aporta varios beneficios específicos a la vida útil de los equipos:

1. Extensión de la vida útil: Al realizar intervenciones programadas, se previenen fallos prematuros, lo que prolonga la vida útil de los equipos.
2. Reducción de fallos: Mantener los equipos en condiciones óptimas disminuye la probabilidad de fallos inesperados, lo que mejora la fiabilidad general.
3. Optimización de costos: Aunque el mantenimiento preventivo tiene un costo inicial, a largo plazo reduce los gastos asociados con reparaciones de emergencia y tiempo de inactividad.
4. Mejora el rendimiento: Equipos bien mantenidos funcionan de manera más eficiente, lo que puede aumentar la productividad y la calidad del producto final.
5. Planificación eficiente: Permite a las empresas planificar mejor sus recursos y operaciones, evitando interrupciones inesperadas.

El mantenimiento preventivo es un factor clave que influye directamente en la eficiencia, calidad, costos y seguridad del mecanizado por arranque de viruta, lo que demuestra su relevancia en el contexto industrial.

El mecanizado por arranque de viruta es un proceso fundamental en la fabricación industrial que implica la eliminación de material de una pieza en bruto para darle la forma deseada. Este proceso se realiza

mediante herramientas de corte con filos bien definidos, que permiten separar pequeñas partículas de material, conocidas como virutas. Los puntos más importantes del mecanizado por arranque de viruta son:

1. Definición y proceso: El mecanizado por arranque de viruta consiste en eliminar trozos de material de una pieza fabricada previamente, utilizando herramientas que cortan el material. Este proceso genera un desperdicio en forma de viruta, de ahí su nombre (Kuzu, S.L., 2023).
2. Tipos de procesos: Existen varios procesos dentro del mecanizado por arranque de viruta que se pueden clasificar en:
 - Desbaste: Se elimina una gran cantidad de material con menor precisión, acercándose a las dimensiones finales de la pieza de manera rápida.
 - Acabado: Se realiza la eliminación de poco material con alta precisión, buscando un acabado superficial óptimo.
 - Rectificando o superacabado: Se utiliza para obtener medidas muy precisas y un excelente acabado superficial (Campus, 2022).
3. Herramientas utilizadas: Las herramientas de corte pueden ser de diferentes tipos, incluyendo fresadoras tornos y brochas, cada una diseñada para realizar cortes específicos en diferentes tipos de materiales (Umesal 2020).
4. Aplicaciones: Este tipo de mecanizado es ampliamente utilizado en la fabricación de piezas para diversas industrias, incluyendo la automotriz, aeronáutica y de electrodomésticos, donde se requiere alta precisión y calidad en los acabados (Planes, 2023).
5. Ventajas y desventajas: Entre las ventajas se encuentran la alta precisión dimensional y la posibilidad de obtener acabados superficiales excelentes. Sin embargo, también presenta desventajas, como la limitación física en la cantidad de material que se puede eliminar en una sola operación (Slu, 2023).

Las principales herramientas utilizadas en el mecanizado por arranque de viruta son:

- Fresas: Estas herramientas rotativas se utilizan para realizar cortes en diversas direcciones y son esenciales en el proceso de fresado. Pueden tener varios filos y se utilizan para dar forma a la pieza o para realizar cortes en superficies planas y contornos complejos (Seo, 2023).

- Brocas: Utilizadas principalmente en el proceso de taladrado, las brocas permiten realizar agujeros en las piezas. Existen diferentes tipos de brocas, como las de punta, helicoidales y de palas, cada una diseñada para aplicaciones específicas.
- Cuchillas: Estas herramientas se utilizan en procesos como el torneado y el limado. Las cuchillas están diseñadas para cortar con precisión y son fundamentales en la eliminación de material en forma de viruta (Kuzu, S.L., 2023).
- Limas: Aunque son herramientas manuales, las limas se utilizan para realizar ajustes finos y acabados en las piezas. Varía en tamaño y forma, dependiendo del tipo de acabado requerido (JRC, 2021).
- Tornos: Aunque no son herramientas de corte en sí, los tornos son máquinas que sostienen la pieza mientras una herramienta de corte, como un buril, gira alrededor de ella para eliminar material. Este proceso es esencial en la fabricación de piezas cilíndricas.
- Rectificadoras: Utilizadas para el rectificado, estas máquinas emplean ruedas abrasivas para obtener acabados de alta precisión en las superficies de las piezas.

El mecanizado por arranque de viruta se utiliza para fabricar una amplia variedad de piezas en diversas industrias. Algunas de las piezas más comunes que se producen mediante este proceso incluyen:

- Tornillos: Elementos de fijación que requieren alta precisión en sus dimensiones y roscas, siendo fundamentales en casi todas las aplicaciones industriales.
- Ejes: Componentes que transmiten movimiento y potencia en maquinaria, donde la precisión y la resistencia son cruciales.
- Bridas: Piezas utilizadas para unir tuberías o componentes en sistemas de transporte de fluidos, que deben cumplir con especificaciones dimensionales estrictas.
- Bujes: Elementos de soporte que permiten el movimiento rotativo de ejes y otros componentes, donde se requiere un ajuste preciso para evitar el desgaste prematuro.
- Engranajes: Piezas que transmiten fuerza y movimiento entre ejes, donde la precisión en mecanizado es esencial para el correcto funcionamiento.

El mecanizado por arranque de viruta se utiliza ampliamente en diversas industrias debido a su versatilidad y capacidad para producir piezas con alta precisión y acabado. Algunas de las principales industrias que emplean este proceso son:

- **Industria automotriz:** Se utiliza para fabricar componentes como ejes, cigüeñales, culatas de motor, discos de freno, etc.
- **Industria maquinaria:** Fabricación de herramientas, moldes, troqueles y piezas de maquinaria industrial en general.
- **Industria electrónica:** Componentes electrónicos, conectores y piezas de precisión para dispositivos electrónicos.
- **Industria médica:** Implantes, prótesis y dispositivos médicos que requieren alta precisión y acabado.
- **Industria energética:** Componentes para turbinas eólicas, bombas, compresores y otras máquinas utilizadas en la generación y distribución de energía.
- **Industria aeroespacial:** Piezas de aviones y cohetes como cajas de engranajes, discos de turbinas y componentes estructurales se producen mediante mecanizado por arranque de viruta.
- **Industria de electrodomésticos:** Piezas para lavadoras, refrigeradores, cocinas, etc.
- **Industria de defensa:** Armas, vehículos blindados y otros equipos militares.

La tecnología desempeña un papel crucial en la optimización del mantenimiento preventivo, transformando la forma en que las empresas gestionan sus activos y garantizan la fiabilidad de sus equipos. A continuación, se describen los aspectos más relevantes sobre como la tecnología impacta en este ámbito:

Monitoreo y análisis en tiempo real

La implementación de tecnologías como el internet industrial de las cosas (IIoT) permite la instalación de sensores en equipos que recopilan datos sobre su rendimiento en tiempo real. Esto incluye variables como temperatura, vibración, presión y otros indicadores críticos. Al analizar estos datos, las empresas pueden identificar patrones y tendencias que indican el estado de salud del equipo, lo que facilita la planificación del mantenimiento preventivo antes de que ocurran fallos.

Mantenimiento predictivo

La tecnología ha permitido el avance hacia el mantenimiento predictivo, que va mas allá del mantenimiento preventivo tradicional. Utilizando algoritmos y técnicas de inteligencia artificial, es posible predecir cuando es probable que ocurra un fallo basándose en datos históricos y condiciones actuales. Esto permite a las empresas programar intervenciones específicas en momentos óptimos, minimizando el tiempo de inactividad y los costos asociados a reparaciones no planificadas.

Automatización de procesos

Las soluciones tecnológicas automatizan muchas tareas relacionadas con el mantenimiento. Por ejemplo, los sistemas de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS) permiten generar ordenes de trabajo automáticamente basadas en los datos recopilados por los sensores. Esto no solo ahorra tiempo, sino que también reduce errores humanos y mejora la eficiencia operativa.

Diagnóstico remoto

La capacidad de realizar diagnósticos a distancia es otra ventaja significativa que ofrece la tecnología. Los técnicos pueden acceder a datos sobre el estado del equipo desde cualquier lugar, lo que les permite diagnosticar problemas rápidamente sin necesidad de desplazamientos físicos. Esto mejora los tiempos de respuesta y permite a los técnicos gestionar más ordenes de servicio al día.

Optimización de recursos

La tecnología también ayuda a optimizar la planificación y asignación de recursos para el mantenimiento. Al tener acceso a información precisa sobre el estado del equipo y las necesidades de mantenimiento, las empresas pueden programar mejor los desplazamientos de los técnicos, la provisión de piezas y materiales, y minimizar el tiempo ocioso tanto del personal como del equipo.

El objetivo principal de este artículo es desarrollar un enfoque sistemático para optimizar el plan de mantenimiento preventivo de los equipos de mecanizado por arranque de viruta, utilizando análisis de fiabilidad y costos. Se busca identificar las mejores prácticas y estrategias que permitan maximizar la disponibilidad y eficiencia de los equipos, reducir costos operativos y mejorar la calidad del producto final. A través de la recopilación y análisis de datos relevantes, se pretende establecer un modelo que permita a las empresas del sector manufacturero implementar un mantenimiento más efectivo y proactivo, alineado con las necesidades específicas de sus operaciones.

METODOLOGÍA

Este estudio adoptara un enfoque cuantitativo y descriptivo, con el objetivo de analizar la relacion entre el costo de mantenimiento y la fiabilidad de los equipos de mecanizado por arranque de viruta como lo son el torno, rectificadora, fresadora y taladradora. Se llevara a cabo un analisis de los datos historicos de mantenimiento, asi como simulaciones para evaluar diferentes escenarios de costos y fiabilidad.

La poblacion del estudio estara compuesta por equipos de mecanizado utilizados en la planta de manufactura. Se seleccionara una muestra representativa de al menos cuatro tipos de equipos: un torno, una rectificadora, una fresadora y una taladradora. Se recopilaran datos sobre su rendimiento, costos de mantenimiento y registros de fallos durante un periodo de un año.

Los datos se recopilaran a traves de los siguientes metodos:

- **Registros Historicos:** Se revisaran los registros de mantenimiento preventivo y correctivo, asi como los informes de fallos y tiempos de inactividad de los equipos.
- **Encuestas:** Se diseñaran encuestas estructuradas para ser aplicadas a los operadores y tecnicos de mantenimiento, con el fin de obtener informacion sobre las practicas de mantenimiento y su percepcion sobre la fiabilidad de los equipos.

Analisis de Datos

El analisis de datos se realizara en varias etapas:

Calculo de la tasa de fallo (λ): Se calculara la tasa de fallos para cada equipo utilizando la formula:

$$\lambda = \frac{N_f}{T}$$

donde N_f es el numero de fallos y T es el tiempo total de operación en horas.

Calculo de fiabilidad $R(t)$: Se calculara la fiabilidad del equipo a diferentes intervalos de tiempo utilizando la funcion de fiabilidad:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Calculo de costos de mantenimiento C_m : Se calculara los costos totales de mantenimiento utilizando la formula:

$$C_m = C_{m,p} + C_{m,c} + C_f$$

donde $C_{m,p}$ es el costo de mantenimiento preventivo, $C_{m,c}$ es el costo de mantenimiento correctivo y C_f es el costo asociado a fallos.

Simulaciones: Se realizaran simulaciones para evaluar diferentes escenarios de costos de mantenimiento preventivo y su impacto en la fiabilidad y costos totales.

Los resultados obtenidos se interpretaran en funcion de la relacion entre el costo de mantenimiento y fiabilidad de los equipos. Se analizara como las inversiones en mantenimiento preventivo pueden influir en la reduccion de fallos y costos asociados, proporcionando recomendaciones para la optimizacion del plan de mantenimiento.

Se garantizara la confidencialidad de la informacion recopilada y se obtendra el consentimiento informado de los participantes en las encuestas. Los datos se utilizaran exclusivamente para fines de investigacion.

Se reconoceran las limitaciones del estudio, como la posibilidad de que los datos historicos no reflejen completamente el rendimiento actual de los equipos y la variabilidad en las practicas de mantenimiento entre diferentes operadores.

Escenario 1:

Estamos analizando un torno utilizado en una planta de manufactura. Queremos entender como los costos de mantenimiento preventivo y correctivo afectan la fiabilidad del torno a lo largo de un periodo de operación en un año.

- Tiempo total de operación (T): 1 año (aproximadamente 8,760 horas).
- Numero de fallos (N_f): 5 fallos esperados durante el año.
- Costo por fallo (C_f): \$2,000 (incluye tiempo de inactividad y reparaciones).
- Costo de mantenimiento preventivo ($C_{m,p}$): \$5,000 (anual).
- Costo de mantenimiento correctivo $C_{m,c}$: Se calculara en funcion de los fallos.
- Tasa de fallo (λ): Se calculara como $\lambda = \frac{N_f}{T}$

1. Calculo de la tasa de fallo (λ):

$$\lambda = \frac{N_f}{T} = \frac{5}{8760} \approx 0.00057 \text{ por hora}$$

2. Calculo de la fiabilidad del torno ($R(t)$):

La fiabilidad se puede calcular para diferentes intervalos de tiempo. Por ejemplo, para $t = 1000$ horas:

$$R(1000) = e^{-\lambda t} = e^{-0.00057 \times 1000} \approx e^{-0.57} \approx 0.566$$

Esto quiere decir que hay aproximadamente un 56.6% de probabilidad de que el torno funcione sin fallos durante las primeras 1,000 horas.

3. Cálculo del costo asociado a fallos (C_f):

$$C_f = N_f \cdot C_{f,unitario} = 5 \cdot 2,000 = 10,000$$

4. Cálculo del costo total de mantenimiento (C_m):

$$C_m = C_{m,p} + C_{m,c} + C_f$$

Asumiendo que no hay costos adicionales de mantenimiento correctivo (ya que todos los fallos son cubiertos por el costo de fallos):

$$C_m = 5,000 + 0 + 10,000 = 15,000$$

Ahora, podemos simular como varían los costos y la fiabilidad al modificar la frecuencia del mantenimiento preventivo.

Simulación 1:

Supongamos que decidimos aumentar el costo de mantenimiento preventivo a \$10,000 para ver cómo afecta la fiabilidad y los costos totales.

1. Nuevo costo de mantenimiento preventivo ($C_{m,p}$) = \$10,000

2. Cálculo del costo total de mantenimiento (C_m):

$$C_m = 10,000 + 0 + 10,000 = 20,000$$

3. Reevaluación de la fiabilidad: Si el aumento del mantenimiento preventivo reduce la tasa de fallos a 3 fallos por año:

$$N_f = 3$$

$$\lambda = \frac{3}{8760} \approx 0.00034$$

$$R(1000) = e^{-0.00034 \times 1000} \approx e^{-0.34} \approx 0.712$$

Ahora, la fiabilidad durante las primeras 1,000 horas es aproximadamente del 71.2%

Escenario 2:

Vamos analizar una fresadora utilizada en la misma planta manufacturera. Queremos entender cómo los costos de mantenimiento preventivo y correctivo afectan la fiabilidad de la fresadora a lo largo de



un periodo de operación de un año.

- Tiempo total de operación (T): 1 año (aproximadamente 8,760 horas).
- Numero de fallos (N_f): 6 fallos esperados durante el año.
- Costo por fallo (C_f): \$2,500 (incluye tiempo de inactividad y reparaciones).
- Costo de mantenimiento preventivo ($C_{m,p}$): \$7,000 (anual).
- Costo de mantenimiento correctivo ($C_{m,c}$): Se calculara en funcion de los fallos.

1. Calculo de la Tasa de fallo (λ)

$$\lambda = \frac{N_f}{T} = \frac{6}{8760} \approx 0.000685 \text{ fallos por hora}$$

2. Calculo de la fiabilidad de la fresadora ($R(T)$):

Para $t = 1,000$ horas:

$$R(1000) = e^{-\lambda t} = e^{-0.000685 \times 1000} \approx e^{-0.685} \approx 0.503$$

Esto significa que hay aproximadamente un 50.3% de probabilidad de que la fresadora funcione sin fallos durante las primeras 1,000 horas.

3. Calculo del costo asociado a fallos (C_f):

$$C_f = N_f \cdot C_{f,unitario} = 6 \cdot 2,500 = 15,000$$

4. Calculo del costo total de mantenimiento (C_m):

$$C_m = C_{m,p} + C_{m,c} + C_f$$

Asumiendo que no hay costos adicionales de mantenimiento correctivo:

$$C_m = 7,000 + 0 + 15,000 = 22,000$$

Simulacion 2:

Supongamos que decidimos aumentar el costo de mantenimiento preventivo a \$10,000 para ver como afecta la fiabilidad y los costos totales.

1. Nuevo costo de mantenimiento preventivo ($C_{m,p}$): \$10,000
2. Calculo del costo total de mantenimiento (C_m): $C_m = 10,000 + 0 + 15,000 = 25,000$
3. Reevaluacion de la fiabilidad: Si el aumento del mantenimiento preventivo reduce la tasa de fallos a 4 fallos por año:



$$N_f = 4$$

$$\lambda = \frac{N_f}{T} = \frac{4}{8760} \approx 0.000456 \text{ fallos por hora}$$

$$R(1000) = e^{-\lambda t} = e^{-0.000456 \times 1000} \approx e^{-0.456} \approx 0.634$$

Ahora, la fiabilidad durante las primeras 1,000 horas es aproximadamente del 63.4%.

Esenario 3:

Ahora analizamos una taladradora utilizada en la misma planta manufacturera. Queremos entender como los costos de mantenimiento preventivo y correctivo afectan la fiabilidad de la taladradora a lo largo de un periodo de operación de un año.

- Tiempo total de operación (T): 1 año (aproximadamente 8,760 horas).
- Numero de fallos (N_f): 10 fallos esperados durante el año.
- Costo por fallo (C_f): \$1,800 (incluye tiempo de inactividad y reparaciones).
- Costo de mantenimiento preventivo ($C_{m,p}$): \$5,500 (anual).
- Costo de mantenimiento correctivo ($C_{m,c}$): Se calculara en funcion de los fallos.

1. Calculo de la tasa de fallo (λ):

$$\lambda = \frac{N_f}{T} = \frac{10}{8760} \approx 0.001141 \text{ por hora}$$

2. Calculo de la fiabilidad de la taladradora ($R(t)$):

Para $t = 1,000$ horas:

$$R(1000) = e^{-\lambda t} = e^{-0.001141 \times 1000} \approx e^{-1.141} \approx 0.319$$

Esto significa que hay aproximadamente un 31.9% de probabilidad de que la taladradora funcione sin fallos durante las primeras 1,000 horas.

3. Calculo del costo asociado a fallos (C_f):

$$C_f = N_f \cdot C_{f,unitario} = 10 \cdot 1,800 = 18,000$$

4. Calculo del costo total de mantenimiento (C_m):

$$C_m = C_{m,p} + C_{m,c} + C_f$$

Asumiendo que no hay costos adicionales de mantenimiento correctivo:

$$C_m = 5,500 + 0 + 18,000 = 23,500$$



Simulacion 3:

Supongamos que decidimos aumentar el costo de mantenimiento preventivo para ver como afecta la fiabilidad y los costos totales.

1. Nuevo costo de mantenimiento preventivo ($C_{m,p}$): \$8,000

2. Calculo del costo total de mantenimiento (C_m):

$$C_m = 8,000 + 0 + 18,000 = 26,000$$

3. Reevaluacion de la fiabilidad: Si el aumento del mantenimiento preventivo reduce la tasa de fallos a 6 fallos por año:

$$N_f = 6$$

$$\lambda = \frac{N_f}{T} = \frac{6}{8760} \approx 0.000685 \text{ fallos por hora}$$

$$R(1000) = e^{-\lambda t} = e^{-0.000685 \times 1000} \approx e^{-0.685} \approx 0.503$$

Ahora, la fiabilidad durante las primeras 1,000 horas es aproximadamente del 50.3%.

Escenario 4:

En esta ocasión estamos analizando una rectificadora utilizada en la misma planta de manufactura. Queremos entender como los costos de mantenimiento preventivo y correctivo afectan la fiabilidad de la rectificadora a lo largo de un periodo de operación de un año.

- Tiempo total de operación (T): 1 año (aproximadamente 8,760 horas).
- Numero de fallos (N_f): 4 fallos esperados durante el año.
- Costo por fallo (C_f): \$4,000 (incluye tiempo de inactividad y reparaciones).
- Costo de mantenimiento preventivo ($C_{m,p}$): \$6,000 (anual).
- Costo de mantenimiento correctivo ($C_{m,c}$): Se calculara en funcion de los fallos.

1. Calculo de la tasa de fallo (λ):

$$\lambda = \frac{N_f}{T} = \frac{4}{8760} \approx 0.000457 \text{ por hora}$$

2. Calculo de la fiabilidad de la rectificadora ($R(t)$):

Para $t = 1,000$ horas:

$$R(1000) = e^{-\lambda t} = e^{-0.000457 \times 1000} \approx e^{-0.457} \approx 0.633$$



Esto significa que hay aproximadamente un 63.3% de probabilidad de que la rectificadora funcione sin fallos durante las primeras 1,000 horas.

3. Cálculo del costo asociado a fallos (C_f):

$$C_f = N_f \cdot C_{f,unitario} = 4 \cdot 4,000 = 16,000$$

4. Cálculo del costo total de mantenimiento (C_m):

$$C_m = C_{m,p} + C_{m,c} + C_f$$

Asumiendo que no hay costos adicionales de mantenimiento correctivo:

$$C_m = 6,000 + 0 + 16,000 = 22,000$$

Simulación 4:

Supongamos que decidimos aumentar el costo de mantenimiento preventivo en \$9,000 para ver como afecta la fiabilidad y los costos totales.

1. Nuevo costo de mantenimiento preventivo ($C_{m,p}$): \$9,000

2. Cálculo del costo total de mantenimiento (C_m):

$$C_m = 9,000 + 0 + 16,000 = 25,000$$

3. Reevaluación de la fiabilidad: Si el aumento del mantenimiento preventivo reduce la tasa de fallos a 2 fallos por año:

$$N_f = 2$$

$$\lambda = \frac{N_f}{T} = \frac{2}{8760} \approx 0.000228 \text{ fallos por hora}$$

$$R(1000) = e^{-\lambda t} = e^{-0.000228 \times 1000} \approx e^{-0.228} \approx 0.796$$

Ahora, la fiabilidad durante las primeras 1,000 horas es aproximadamente del 79.6%.

RESULTADOS

Escenario 1 (Torno)

Costo total de mantenimiento: \$15,000

Fiabilidad (1,000 horas): 56.6%

Simulación 1 (Torno)

Costo total de mantenimiento: \$20,000

Fiabilidad (1,000 horas): 71.2%



El torno cuenta con un costo total de mantenimiento de \$15,000, y una fiabilidad del 56.6% durante las primeras 1,000 horas de operación. Esto quiere decir que tiene aproximadamente un 57% de probabilidad de que la maquina pueda operar sin fallos en ese periodo de tiempo.

La inversion en mantenimiento preventivo puede influir en la fiabilidad del equipo y, a su vez, en los costos totales de mantenimiento. Aunque el costo total de mantenimiento aumento en la simulacion, la mejora en la fiabilidad puede justificar la inversion, ya que reduce el riesgo de fallos y costos asociados.

Escenario 2 (Fresadora)

Costo total de mantenimiento: \$22,000

Fiabilidad (1,000 horas): 50.3%

Simulacion 2 (Fresadora)

Costo total de mantenimiento: \$25,000

Fiabilidad (1,000 horas): 63.4%

La fresadora presenta un costo total de mantenimiento de \$22,000, con una fiabilidad del 50.3% durante las primeras 1,000 horas de operación. Esto indica que hay aproximadamente un 50% de probabilidad de que la maquina funcione sin fallos en ese periodo. Este nivel de fiabilidad puede resultar en costos adicionales debido a interrupciones inesperadas en la produccion y reparaciones no planificadas.

En la simulacion al aumentar el costo de mantenimiento preventivo a \$10,000, el costo total de mantenimiento incrementa a \$25,000. Sin embargo, la fiabilidad mejora significativamente al 63.4%. Este aumento en la fiabilidad sugiere que las inversiones en mantenimiento preventivo pueden reducir el riesgo de fallos y mejorar el rendimiento operativo.

Escenario 3 (Taladradora)

Costo total de mantenimiento: \$23,500

Fiabilidad (1,000 horas): 31.9%

Simulacion 3 (Taladradora)

Costo total de mantenimiento: \$26,000

Fiabilidad (1,000 horas): 50.3%

En la taladradora, el costo total de mantenimiento es de \$23,500 con una fiabilidad del 31.9%. Esto indica que hay menos del 32% de probabilidad de que la taladradora funcione sin fallos durante las

primeras 1,000 horas. Este bajo nivel de fiabilidad puede resultar en un alto costo indirecto debido a tiempos de inactividad y reparaciones frecuentes.

Al aumentar el costo del mantenimiento preventivo a \$8,000 en la simulación, el costo total se eleva a \$26,000, pero la fiabilidad mejora notablemente al 50.3%. Este incremento en la fiabilidad sugiere que una mayor inversión en mantenimiento preventivo puede resultar en menos fallos y una operación más continua.

Escenario 4 (Rectificadora)

Costo total de mantenimiento: \$22,000

Fiabilidad (1,000 horas): 63.3%

Simulación 4 (Rectificadora)

Costo total de mantenimiento: \$25,000

Fiabilidad (1,000 horas): 79.6%

Para la rectificadora muestra un costo total de mantenimiento de \$22,000 con una fiabilidad del 63.3%. Esto implica que hay una probabilidad razonable de que el equipo funcione sin fallos durante las primeras 1,000 horas; sin embargo, aun existe un riesgo considerable.

En la simulación al aumentar el costo de mantenimiento preventivo a \$9,000, el costo total asciende a \$25,000 y la fiabilidad mejora significativamente al 79.6%. Este aumento considerable en la fiabilidad indica que las inversiones adicionales en mantenimiento preventivo están efectivamente reduciendo los riesgos asociados a fallos.

Los resultados obtenidos en estos escenarios y simulaciones reflejan una tendencia clara, invertir más en mantenimiento preventivo y generalmente conduce a una mayor fiabilidad del equipo y puede justificar el aumento en costos totales de mantenimiento. Esto es crucial para las empresas que buscan optimizar sus operaciones y reducir costos asociados a fallos.

- **Relación Costo-Fiabilidad:** Los análisis demuestran que existe una relación inversa entre el número esperado de fallos y los costos asociados a ellos cuando se incrementa el gasto en mantenimiento preventivo.
- **Decisiones estratégicas:** Estos hallazgos proporcionan información valiosa para los responsables de tomar decisiones sobre inversiones en mantenimiento y gestión operativa.



Este análisis no solo ayuda a entender como optimizar los planes de mantenimiento preventivo para equipos específicos como fresadoras, taladradoras, torno y rectificadoras, sino que también proporciona un marco para futuras investigaciones sobre como maximizar la eficiencia operativa mediante estrategias efectivas de gestión del mantenimiento.

CONCLUSIONES

En conclusión los resultados muestran que a medida que se incrementa el costo del mantenimiento preventivo, también mejora la fiabilidad del equipo. Por ejemplo, en el caso de la fresadora, aumentar el costo del mantenimiento preventivo de \$7,000 a \$10,000 llevo a un aumento en la fiabilidad del 50.3% al 63.4%. Esto sugiere que las inversiones en mantenimiento preventivo son efectivas para reducir el número de fallos.

Aunque el costo total del mantenimiento aumenta con las inversiones en mantenimiento preventivo, los beneficios derivados de una mayor fiabilidad pueden justificar estos costos adicionales. En el caso de la taladradora, el aumento del costo de mantenimiento preventivo a \$8,000 resulto en una mejora en la fiabilidad del 31.9% al 50.3%, lo que puede traducirse en menores costos asociados a fallos y menor interrupciones en la producción.

Los diferentes tipos de equipos presentan variaciones en su fiabilidad y costos asociados. La rectificadora mostro una probabilidad del 63.3% de operar sin fallos inicialmente, que mejoro al 79.6% tras aumentar el mantenimiento preventivo. Esto indica que cada tipo de maquina puede requerir un enfoque específico para optimizar su rendimiento y fiabilidad.

Para finalizar, los resultados obtenidos indican que existe una relación directa entre el costo del mantenimiento preventivo y la fiabilidad de los equipos de mecanizado. Invertir en mantenimiento preventivo no solo mejora la probabilidad de funcionamiento sin fallos, sino que también puede resultar en ahorros significativos al reducir interrupciones y costos asociados a fallos. Estas conclusiones proporcionan un marco valioso para futuras investigaciones y prácticas industriales orientadas a optimizar el rendimiento y la eficiencia operativa de los equipos de mecanizado por arranque de viruta.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Arribas. (2024, January 23). Tendencias Innovadoras en Tecnología de Mantenimiento Industrial. Arribas Mantenimiento. <https://arribasmantenimiento.es/tendencias-innovadoras-en-tecnologia-de-mantenimiento-industrial/>
- Campus, I. (2022). Mecanizado por arranque de viruta. IMH. <https://www.imh.eus/es/imh/comunicacion/docu-libre/procesos-fabricacion/mecanizado/arranque-de-viruta>
- Controltecnica. (2024, July 18). Importancia del mantenimiento preventivo en equipos industriales - CONTROLTECNICA. CONTROLTECNICA. <https://www.controltecnica.com/importancia-del-mantenimiento-preventivo-en-equipos-industriales/>
- Crodriguez, & Crodriguez. (2023, May 29). ¿Cuál es importancia del mantenimiento preventivo y cómo hacerlo? SDI. <https://sdindustrial.com.mx/blog/que-es-mantenimiento-preventivo/>
- Daniel. (2024, January 30). Tecnologías aplicadas al Mantenimiento Preventivo en el Entorno Industrial. Venco Electrónica. <https://www.vencoel.com/tecnologias-aplicadas-al-mantenimiento-preventivo-en-el-entorno-industrial/>
- Evsag Group. (2024, January 16). 5 tendencias para 2024 en mantenimiento de instalaciones. EVSA Group. <https://evsagroup.com/5-tendencias-para-2024-en-mantenimiento-de-instalaciones/>
- JRC, F. (2021, August 23). Mecanizado por arranque de viruta – Ferretería JRC News. <https://ferreteriajrc.com/blog/arranque-de-viruta/>
- Kuzu, S.L. (2023, August 21). ¿Qué es el mecanizado por arranque de viruta? Kuzu Decoletaje - Mecanizados CNC. <https://kuzudecoletaje.es/mecanizado-arranque-viruta/>
- Mkt. (2022, June 1). Mantenimiento Prescriptivo: la evolución de la tecnología a favor del éxito de su empresa. Blog Engeman® Software De Mantenimiento GMAO/CMMS. <https://blog.engeman.com/es/mantenimiento-prescriptivo/>
- Nishiyuki, H. (2020). Optimización de las operaciones de mantenimiento

- Blog de MitsubishiElectric.
<https://mx.mitsubishielectric.com/fa/es/resources/blog/assets/streamlining-maintenance-operations/>
- Planes, F. (2023, October 28). Mecanizado por arranque de viruta: ¿cuáles son los más habituales? - ferrosplanes. Ferrosplanes. <https://ferrosplanes.com/mecanizado-por-arranque-de-viruta/>
- Seo. (2023, May 18). Mecanizado por arranque de viruta. Empresa De Mecanizado En Barcelona - Grumeber. <https://grumeber.com/mecanizado-por-arranque-de-viruta/>
- Slu, M. I. (2023, January 4). TIPOS DE MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA. inter2000mecanizados. <https://www.inter2000mecanizados.com/post/tipos-de-mecanizado-por-arranque-de-viruta>
- Suazo, L. (2021). 8 indicadores de mantenimiento para la gestión de activos.
TRACTIAN. <https://traction.com/es/blog/8-indicadores-indispensables-para-la-gestion-del-mantenimiento>
- Tendencias y retos para empresas de servicios técnicos y mantenimiento en 2024. (n.d.).
<https://www.movertis.com/blog/tendencias-y-retos-para-empresas-de-servicios-tecnicos-y-mantenimiento-en-2024>
- Umesal. (2020, June 11). Mecanizado por arranque de viruta. Umesal. <https://umesal.com/mecanizado-por-arranque-de-viruta/>
- Web, I. (2023). ¿Qué es el mantenimiento centrado en la confiabilidad? | IBM.
<https://www.ibm.com/mx-es/topics/reliability-centered-maintenance>