



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“APLICACIÓN DE INGENIERÍA DE CONFIABILIDAD EN LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTO BALANCEADO. 2024”

**Trabajo de suficiencia profesional para optar el título
profesional de:**

Ingeniero Industrial

Autor:

Franklin Altobelli Cruz Patricio

Asesor:

M.Sc. Walter Edwin Yasuda Goicochea

<https://orcid.org/0000-0001-5919-5955>

Trujillo - Perú

2025

Informe de Similitud



Página 2 of 85 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trnoid::1:3300587217

7% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...




Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Exclusiones


- N.º de fuente excluida
- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 7%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 2%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
91 caracteres sospechosos en N.º de página
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitan distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Dedicatoria

Este trabajo lo dedico a Dios, por brindarme la sabiduría y la fortaleza necesarias que me permitieron superar cada etapa del camino.

A mis padres, cuyo esfuerzo, constancia y amor sin límites han sido el pilar fundamental de cada uno de mis logros. Gracias por enseñarme a nunca rendirme.

A mis hermanos, por sus palabras de ánimo y por estar siempre presentes, incluso en silencio, acompañándome con su cariño.

Y a quienes compartieron conmigo esta etapa, por su amistad, su apoyo sincero y por ser parte de este logro.

Agradecimiento

A Dios, por haber estado conmigo en cada momento de duda, dándome fuerzas para continuar. Además, quiero expresar mi sincero agradecimiento a todas aquellas personas que hicieron posible la culminación de este trabajo académico.

A mis padres y hermanos, por ser mi principal fuente de motivación, por creer en mí incluso cuando las circunstancias fueron difíciles.

A mis compañeros y amigos que de forma directa o indirectamente, aportaron con su apoyo, su tiempo o su ejemplo.

A mis docentes, por compartir sus conocimientos y experiencias que enriquecieron mi formación profesional.

A mi asesor Eng.D. Walter Yasuda, por su orientación clara, su compromiso y sus aportes fundamentales en cada etapa de esta investigación.

Tabla de contenido

Índice de tablas	6
Índice de Figuras.....	8
Índice de ecuaciones	9
RESUMEN EJECUTIVO.....	10
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	11
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	19
CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA	36
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	59
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	63
REFERENCIAS	69
ANEXOS	75

Índice de tablas

Tabla 1: Cumplimiento de mantenimiento programado y ejecución de mantenimiento correctivo antes de aplicar ingeniería de confiabilidad.	38
Tabla 2: Porcentaje de cumplimiento de mantenimiento programado y ejecución de mantenimiento correctivo antes de aplicar ingeniería de confiabilidad.	38
Tabla 3: Costos de mantenimiento y producción de planta antes de aplicar ingeniería de confiabilidad.	39
Tabla 4: Cronograma del proyecto por implementar en planta molino.	40
Tabla 5: Cuadro de personal que labora en el área de producción.	41
Tabla 6: Cuadro de personal que trabaja en el área de almacén.	42
Tabla 7: Cuadro de personal que trabaja en el área de logística.	42
Tabla 8: Cuadro de personal que trabaja en el área de finanzas.	43
Tabla 9: Cuadro de personal que trabaja en el área de seguridad y salud ocupacional y medio ambiente (SSOMA)	43
Tabla 10: Cuadro de personal que labora en el área de mantenimiento.	44
Tabla 11: Cuadro de procesos existentes dentro de la planta molino.	45
Tabla 12: Cuadro de equipos existente dentro de la planta molino.	45
Tabla 13: Cuadro de procesos y principales equipos utilizados para la unidad de estudio.	46
Tabla 14: Egresos después de aplicar ingeniería de confiabilidad.	50
Tabla 15: Registro de indicadores de gestión de mantenimiento.	51
Tabla 16: Registro de indicadores de ingeniería de confiabilidad.	51
Tabla 17: Indicadores de ingeniería de confiabilidad vs la gestión de mantenimiento. .	52

Tabla 18: Cronograma de implementación programada.	53
Tabla 19: Costo de mantenimiento por producción.....	54
Tabla 20: Detalle de conceptos de inversión del proyecto	54
Tabla 21: Detalle de flujo de caja de los 6 meses de implementación.	55
Tabla 22: Indicadores financieros.....	56
Tabla 23: Actualización y mejora de costo de mantenimiento.....	56
Tabla 24: Detalle de herramientas adquiridas para implementar el proyecto.	57
Tabla 25: Actividades de mejoras de gestión de mejoras del proyecto.....	57
Tabla 26: Detalle de costo de recurso humano.....	58
Tabla 27: Medición de la aplicación de Ingeniería de Confiabilidad en la Gestión de Mantenimiento por procesos de planta molino.....	59
Tabla 28: Análisis del MTBF en la gestión de mantenimiento por proceso de planta molino.....	60
Tabla 29: Análisis del MTTR en la gestión de mantenimiento por proceso de planta molino.....	61
Tabla 30: Análisis de la Disponibilidad de Equipos en la gestión de mantenimiento por proceso de planta molino.....	62
Tabla 31: Cuadro comparativo del gasto, producción y costo de mantenimiento de la planta molino antes y después de la investigación.	64

Índice de Figuras

Figura 1: Atoro en válvula alimentadora de maíz por ingreso de material extraño.	37
Figura 2: Eje de Mezcladora no gira, se dañó por sobrecarga y malogró al motorreductor.	37
Figura 3: Diagrama de causa efecto sobre la gestión del mantenimiento en la planta molino.....	48

Índice de ecuaciones

Ecuación 1: Ecuación de MTBF.....	23
Ecuación 2: Ecuación de MTTR	24
Ecuación 3: Ecuación de Disponibilidad de Equipos.....	24
Ecuación 4: Ecuación de Atención de Avisos	29
Ecuación 5: Ecuación de Cumplimiento del Programa de Mantenimiento.....	30
Ecuación 6: Ecuación de Costo de Mantenimiento	31

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación se realizó en una planta de alimento balanceado del sector avícola, bajo un enfoque cuantitativo y metodología experimental, aplicando los principios del kaizen para la continua mejora en la gestión de mantenimiento. Se implementó la ingeniería de confiabilidad como estrategia para incrementar la disponibilidad operativa y reducir fallas en equipos críticos mediante los indicadores MTBF, MTTR y disponibilidad de equipos, integrados con indicadores de gestión como atención de avisos, cumplimiento de programa preventivo y costo de mantenimiento por tonelada producida. Se utilizó el sistema SAP PM para la trazabilidad de datos y la ejecución del ciclo PDCA, y se aplicaron técnicas estadísticas como la prueba de Chi-cuadrado, evidenciando una relación significativa entre los indicadores de confiabilidad y el desempeño del mantenimiento. El proceso de despacho evidenció el mayor rendimiento, con un MTBF de 3,767.25 h, MTTR de 0.75 h, y disponibilidad del 99.98 %, reflejando una reducción del costo a 0.68 \$/Tm. Los resultados validan que la integración de confiabilidad con mejora continua permite optimizar recursos, garantizar la continuidad operativa y reducir riesgos. Se emplearon competencias profesionales como análisis técnico, gestión de activos, evaluación estadística, liderazgo operativo y control de procesos bajo enfoque lean.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

¿Porque es importante la ingeniería de confiabilidad?

La ingeniería de confiabilidad se ha consolidado como una herramienta esencial dentro de la gestión de activos industriales, ya que permite asegurar que los equipos y sistemas funcionen de manera continua, eficiente y segura a lo largo del tiempo operativo. En entornos productivos cada vez más exigentes, donde se requiere alta disponibilidad de los activos, minimizar las fallas y reducir costos operativos, la confiabilidad adquiere un papel estratégico en la planificación del mantenimiento industrial, Wireman (2010, pág. 12). Esta disciplina se enfoca en la prevención de fallos mediante el análisis sistemático de datos históricos, la evaluación de modos de falla y la implementación de estrategias como el mantenimiento centrado en la confiabilidad o el análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad. Según Moubray (2001, pág. 5), aplicar principios de confiabilidad permite alinear los objetivos del mantenimiento con las necesidades del negocio, reduciendo riesgos operativos y mejorando la eficiencia general de los sistemas.

En la industria avícola, la producción continua y eficiente de alimento balanceado es un factor crítico para asegurar el rendimiento zootécnico de las aves y la rentabilidad del negocio. En este contexto, la ingeniería de confiabilidad se convierte en un eje estratégico para la gestión de mantenimiento, debido a que permite asegurar el funcionamiento sostenido y libre de fallas de los equipos en el proceso de almacenamiento, molienda, peletizado y mezclado de materias primas como maíz, soya y harina de pollo. La confiabilidad se enfoca en identificar, prevenir y mitigar las fallas mediante el análisis de datos históricos, la aplicación de indicadores como el Tiempo medio entre fallas (MTBF) y el Tiempo medio de reparación (MTTR), así como el

desarrollo de estrategias de mantenimiento preventivo, predictivo o centrado en la confiabilidad (RCM). De acuerdo con Moubrey (2001, pág. 5), el enfoque confiable en el mantenimiento no solo reduce el número de averías, sino que también alinea los objetivos operativos con las necesidades del proceso productivo.

En una planta de alimento balanceado, donde los equipos críticos como molinos, mezcladoras, transportadores y sistemas de ensacado operan en jornadas intensivas, una sola falla puede generar retrasos en la producción, pérdida de calidad en la formulación y comprometer el suministro a las granjas. Como señala Wireman (2010, pág. 15), mejorar la confiabilidad de los activos no solo incrementa su disponibilidad, sino que también reduce costos operativos y mejora la planificación de recursos. Por su parte, Modarres (2017, pág. 105) destaca que la confiabilidad no debe entenderse únicamente desde una perspectiva técnica, sino como una herramienta para la toma de decisiones gerenciales, al integrar el análisis de riesgos, la priorización de equipos críticos y la optimización de los recursos de mantenimiento. Así, una gestión basada en confiabilidad permite a las plantas avícolas mantener su competitividad y garantizar la calidad nutricional del alimento entregado.

En consecuencia, implementar un enfoque estructurado de ingeniería de confiabilidad en una planta de alimento balanceado no solo mejora los indicadores operativos, sino que también fortalece la sostenibilidad productiva, la seguridad alimentaria y la eficiencia en toda la cadena de valor avícola.

¿Hay otras maneras de resolver gestión de mantenimiento?

Aunque la ingeniería de confiabilidad proporciona un enfoque estructurado para optimizar la gestión del mantenimiento, existen otras estrategias prácticas y comprobadas

que permiten mejorar el desempeño de los activos físicos sin aplicar modelos matemáticos avanzados. Estas estrategias, adaptadas a distintos sectores industriales, priorizan la organización, el control operativo y la participación del personal, lo que las hace eficaces y sostenibles incluso en contextos con recursos limitados.

En el sector metalmecánico, donde se emplean máquinas de mecanizado, conformado y soldadura, el mantenimiento preventivo periódico sigue siendo una herramienta eficaz para mejorar la disponibilidad y reducir averías sin aplicar formalmente análisis de confiabilidad. Kelly (2006, pág. 41) sostiene que entre un 50 % y 60 % de las fallas operativas pueden prevenirse mediante inspecciones, ajustes y lubricaciones rutinarias bien organizadas. Además, la elaboración de instructivos estandarizados, listas de chequeo, y un sistema básico de registro de fallas permite identificar tendencias y tomar decisiones oportunas. Por otro lado, involucrar al personal técnico en el control visual y en la detección temprana de anomalías (vibraciones inusuales, ruidos o fugas) puede evitar paradas imprevistas sin necesidad de aplicar metodologías como RCM o FMEA.

La industria automotriz ha adoptado ampliamente el modelo de Mantenimiento Productivo Total (TPM), que permite optimizar el mantenimiento sin depender del análisis estadístico de confiabilidad. Según Nakajima (1988, pág. 34), una de las claves del TPM es empoderar a los operarios de producción para que asuman tareas básicas de mantenimiento diario, lo cual reduce significativamente los tiempos de parada no planificado. Además, este enfoque fomenta la mejora continua, ya que los trabajadores son responsables del buen estado de sus máquinas, lo que incrementa la disponibilidad y eficiencia del sistema, Nakajima (1988, pág. 42). Al eliminar las grandes pérdidas en producción (fallas inesperadas, tiempos muertos, defectos y ajustes), el TPM se convierte

en una estrategia de alto impacto sin depender de modelos cuantitativos complejos.

En plantas de generación de energía, muchas mejoras en la gestión del mantenimiento se logran mediante la digitalización de procesos usando un software CMMS (Sistemas informatizados de gestión de mantenimiento). Wireman (2010, pág. 118) indica que la implementación adecuada de un CMMS permite optimizar la eficiencia en la gestión de órdenes de trabajo de mantenimiento, la programación de tareas preventivas y el seguimiento del inventario de repuestos. Incluso sin aplicar métricas avanzadas de confiabilidad, los informes que genera un CMMS sobre tiempos de parada, frecuencia de fallas y cumplimiento de mantenimiento programado permiten a los responsables tomar decisiones basadas en datos simples pero relevantes. Según el autor, estas herramientas elevan el nivel de control operativo, reducen significativamente las intervenciones de emergencia y mejoran la disponibilidad general de la planta, Wireman (2010, pág. 121).

En minería, donde los activos son altamente críticos y el entorno es severo, muchas operaciones han adoptado la gestión del Mantenimiento Basado en Riesgos (RBM) como alternativa pragmática a los modelos de confiabilidad. Rausand (2014, pág. 263) explica que el RBM permite clasificar los equipos según la gravedad de las consecuencias en caso de falla, lo que facilita la priorización de tareas sin necesidad de análisis probabilísticos complejos. Con esta estrategia, se asignan mayores recursos a los equipos que podrían afectar la producción, la seguridad del personal o el medio ambiente. Por ejemplo, un sistema de chancado primario o una faja transportadora principal recibirá inspecciones más frecuentes y mantenimiento reforzado, mientras que un sistema secundario de menor impacto puede tener intervalos más largos, Rausand (2014, pág. 270). Esta gestión selectiva permite optimizar recursos y mejorar la disponibilidad, sin la

necesidad de aplicar software avanzado o análisis cuantitativo.

En obras civiles o proyectos de infraestructura, donde el uso intensivo de maquinaria pesada como excavadoras, retroexcavadoras, compactadoras y mezcladoras es constante, una de las estrategias más efectivas de mantenimiento es el control por horas de uso. Kelly (2006, pág. 109) explica que, en este tipo de entornos, el mantenimiento basado en el conteo de ciclos operativos (horas de motor, distancia recorrida o número de ciclos hidráulicos) permite programar mantenimientos preventivos sin necesidad de cálculos de confiabilidad. El seguimiento puede hacerse con sistemas simples como bitácoras manuales o dispositivos GPS básicos que reportan uso diario. Este modelo también permite prevenir averías mediante la reposición oportuna de filtros, aceite, neumáticos y componentes de desgaste, con base en las recomendaciones del fabricante.

En la industria alimentaria, donde la higiene, la seguridad y la continuidad del proceso son esenciales, una forma de fortalecer el mantenimiento sin aplicar confiabilidad avanzada es mediante el enfoque del Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP). Según Rausand (2014, pág. 221), el mantenimiento preventivo programado de equipos relacionados con la seguridad alimentaria (válvulas, tanques, bandas transportadoras o sistemas de envasado) es clave para cumplir normas de inocuidad sin necesidad de modelos de confiabilidad. El mantenimiento higiénico y preventivo basado en planes diarios, semanales y mensuales, combinados con auditorías internas, permite mantener los equipos en óptimas condiciones. Además, el uso de tecnología básica como sensores de temperatura o presión, y registros manuales o digitales de fallas repetitivas, es suficiente para anticipar muchas averías. Wireman (2010, pág. 132) también sugiere que indicadores simples como número de paradas por turno, cumplimiento del plan semanal de mantenimiento y consumo de repuestos pueden utilizarse para tomar

decisiones acertadas en ambientes alimentarios.

La experiencia en diferentes industrias muestra que es posible lograr mejoras significativas en la gestión de mantenimiento sin recurrir directamente a la ingeniería de confiabilidad. Prácticas como el mantenimiento preventivo rutinario, la implementación del TPM, el uso de CMMS, la gestión basada en riesgos y la programación preventiva ofrecen resultados tangibles cuando se aplican con disciplina y enfoque técnico. Estas estrategias, accesibles y adaptables, no solo optimizan recursos y disponibilidad, sino que también fortalecen la cultura organizacional hacia la mejora continua.

¿Por qué es relevante esta investigación a nivel internacional?

La presente investigación posee una relevancia internacional significativa, ya que aborda una problemática transversal en la industria alimentaria para animales: la necesidad de mantener una operación continua, eficiente y confiable en los procesos de producción de alimento balanceado para animales, especialmente en un contexto global de creciente demanda de proteínas, presión sobre la seguridad alimentaria y aumento de los costos operativos.

En múltiples países, tanto desarrollados como en vías de desarrollo, las plantas productoras de alimento balanceado enfrentan desafíos similares: frecuentes fallas mecánicas, inadecuada planificación de mantenimiento, poca trazabilidad de las intervenciones técnicas y ausencia de indicadores confiables de desempeño. Frente a ello, esta investigación propone la aplicación de la ingeniería de confiabilidad, mediante indicadores clave como el MTBF, el MTTR y la Disponibilidad de equipos, integrados con indicadores de gestión como la atención de avisos de mantenimiento, el cumplimiento del programa preventivo y el costo de mantenimiento por unidad de producción.

Estos indicadores son reconocidos internacionalmente como pilares fundamentales para una gestión técnica moderna y son aplicables en distintos sectores industriales. Según Moubray (2001, pág. 12), la ingeniería de confiabilidad permite tomar decisiones sustentadas en el riesgo y en el desempeño histórico de los activos físicos, mientras que Wireman (2010, pág. 102) señala que la integración con indicadores de gestión mejora la alineación entre el mantenimiento y los objetivos productivos.

Además, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2023) ha señalado que mejorar la eficiencia y confiabilidad de las plantas procesadoras de alimento balanceado es clave para garantizar la competitividad del sector avícola y pecuario, no solo en América Latina, sino también en regiones como el sudeste asiático, África y Europa oriental, donde el crecimiento de la demanda de alimentos obliga a fortalecer la infraestructura productiva con base en buenas prácticas técnicas.

Por tanto, los resultados de esta investigación pueden ser replicables y adaptables en diversas realidades internacionales, especialmente en países que buscan fortalecer su autosuficiencia alimentaria o mejorar la sostenibilidad de su cadena agroindustrial. Asimismo, este estudio aporta evidencia sobre cómo la combinación de indicadores técnicos y de gestión puede mejorar significativamente la toma de decisiones en mantenimiento industrial, lo que representa un aporte valioso al cuerpo de conocimiento en ingeniería de mantenimiento y confiabilidad a nivel global.

En cuanto a mi investigación, el problema general estudia y busca resolver un problema crítico en la producción de alimento balanceado: las constantes fallas en los equipos que generan paradas costosas y afectan la productividad. La investigación se

centrará en demostrar cómo la ingeniería de confiabilidad puede optimizar la gestión de mantenimiento durante 2024, analizando específicamente tres indicadores fundamentales.

Primero, examinaremos cómo el tiempo medio entre fallas (MTBF) influye en la planificación del mantenimiento, ya que un MTBF bajo indica fallas frecuentes que aumentan los costos operativos. Segundo, investigaremos la relación entre el tiempo medio de reparación (MTTR) y la eficiencia del mantenimiento, pues reparaciones prolongadas generan mayores pérdidas por paradas no programadas. Tercero, evaluaremos cómo la disponibilidad de los equipos impacta en los resultados del mantenimiento, considerando que una baja disponibilidad afecta directamente la producción. Ante esto plantearemos nuestro problema general:

Para enfocar mejor el estudio tomo como objetivo principal medir la aplicación de la ingeniería de confiabilidad en la gestión de mantenimiento. Esto se logrará mediante tres objetivos específicos: (1) implementar estrategias para aumentar (optimizar) el MTBF y reducir la frecuencia de fallas (gestión de mantenimiento), (2) optimizar (procesos para disminuir) el MTTR mediante mejoras en (diagnósticos y gestión de repuestos) gestión de mantenimiento), y (3) analizar (cómo incrementar) la disponibilidad de equipos para (lograr una operación más estable) gestión de mantenimiento. Los resultados demostrarán cómo estas mejoras pueden hacer el mantenimiento más eficiente, reducir costos y aumentar la productividad en las plantas de alimento balanceado durante 2024.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

Ingeniería de confiabilidad

Para mi investigación la ingeniería de confiabilidad se enfoca en el mantenimiento del molino para garantizar que los sistemas, productos o componentes funcionen de manera correcta durante un período de tiempo determinado bajo condiciones específicas. Su propósito está basado en la identificación para la minimización de fallas, mejorando a través de la optimización el aseguramiento de mis activos, disponibilidad de equipos y personal para el mantenimiento a bajo costo.

Según Modorres (2016), la confiabilidad puede definirse como “la probabilidad de que un sistema desempeñe su función prevista, sin fallos, durante un intervalo de tiempo determinado y bajo condiciones operativas específicas”. Este enfoque permite evaluar el comportamiento del sistema a lo largo de su ciclo de vida (pág. 11).

Así mismo, la confiabilidad se entiende como el grado de certeza o seguridad de que un componente, equipo o sistema cumplirá con su función principal durante un tiempo determinado y bajo condiciones normales de operación. Del mismo modo la confiabilidad puede describirse como la probabilidad de que un elemento funcione correctamente dentro de un periodo específico y bajo parámetros de uso previamente definidos, Juárez (2020, pág. 2).

La ingeniería de confiabilidad aplica principios de ingeniería y análisis estadístico para diseñar, predecir, analizar y mejorar la confiabilidad de sistemas. Esta definición enfatiza la naturaleza interdisciplinaria de la confiabilidad, que integra conocimientos de estadística, ingeniería de sistemas y gestión del ciclo de vida, Ebeling (1997, pág. 6).

Del mismo modo para Páez (2022), la ingeniería de confiabilidad ofrece la posibilidad de proponer, desarrollar y aplicar métodos que aseguren altos estándares de calidad y un funcionamiento eficiente dentro de las organizaciones. Además, busca identificar soluciones eficaces que permitan ejecutar las tareas dentro del tiempo establecido, minimizando errores y evitando fallas, (pág. 137).

De manera complementaria, O'Connor & Kleyner (2012) destacan que la confiabilidad no solo se refiere a evitar fallas, sino también a la capacidad del producto o sistema para cumplir con su función durante un periodo determinado, bajo condiciones operativas específicas. Esto implica que la confiabilidad debe ser considerada desde las primeras etapas del diseño y desarrollo (pág. 4).

Blanchard y Fabrycky (2011) amplían el enfoque al incorporar elementos del entorno operativo, al señalar que la ingeniería de confiabilidad busca asegurar el correcto funcionamiento del sistema dentro de condiciones específicas de uso. Esta visión es coherente con el enfoque sistémico que caracteriza a la ingeniería moderna (pág. 777).

Finalmente, Dhillon (2006) subraya que esta disciplina está estrechamente relacionada con la disponibilidad y el mantenimiento, por lo que su alcance se extiende más allá del diseño inicial, abarcando también estrategias para reducir el tiempo fuera de servicio y los costos asociados a las fallas (pág. 137).

Por lo tanto, la ingeniería de confiabilidad es una herramienta clave para garantizar la funcionalidad, seguridad y rentabilidad de los sistemas técnicos, siendo esencial en sectores como la industria manufactura y en ello tenemos para la formación de energía, la logística de transporte, la atención de la salud, protección y defensa nacional, y desarrollo de tecnología e información en telecomunicaciones.

Objetivos de la ingeniería de confiabilidad

La ingeniería de confiabilidad tiene como objetivo principal garantizar que un sistema, producto o componente funcione sin fallas durante un periodo de tiempo determinado y bajo condiciones específicas.

Los objetivos principales de la ingeniería de confiabilidad son:

- Aumentar la confiabilidad del producto o sistema.
- Reducir los costos del ciclo de vida.
- Prevenir fallas antes de que ocurran.
- Mejorar la mantenibilidad.
- Optimizar la disponibilidad operativa de los sistemas, equipos, etc.
- Cumplir normativas y estándares.
- Mejorar la satisfacción del cliente.
- Diseñar estrategias de mantenimiento efectivas.

Indicadores de la ingeniería de confiabilidad

Los indicadores de la ingeniería de confiabilidad son utilizados para medir, monitorear y mejorar la confiabilidad de activos, sistemas o procesos en industrias como la manufactura, energía, petróleo y gas, entre otras, Ebeling (1997, pág. 292). Estos indicadores ayudan a evaluar el desempeño de los equipos y a tomar decisiones basadas en datos para reducir fallas, aumentar la disponibilidad y optimizar el mantenimiento.

Los indicadores sirven para evaluar el desempeño confiable de sistemas y componentes, para cuantificar la probabilidad de fallas durante el tiempo de operación. Son esenciales para gestionar riesgos operativos e implementar estrategias de

mantenimiento adecuadas, Modorres (2016, pág. 81). Estos indicadores son importantes porque permiten hacer análisis predictivo y tomar decisiones informadas en diseño, operación y mantenimiento.

Entre los indicadores más comunes se encuentran:

- MTBF - Tiempo Medio entre Fallas
- MTTR - Tiempo Medio para Reparar
- Disponibilidad de Equipos

Eficiencia Operativa en la ingeniería de confiabilidad

Los indicadores de mantenimiento tienen un impacto directo en la eficiencia operativa de una empresa. La reducción del MTTR y el aumento del MTBF resultan en una mayor disponibilidad de los equipos, lo cual es crucial para minimizar tiempos de inactividad y optimizar el rendimiento de la planta o el sistema productivo. Esta eficiencia está directamente relacionada con la confiabilidad de los activos, ya que un sistema confiable reduce interrupciones no planificadas y mejora el rendimiento continuo.

Tiempo Medio entre Fallas (Mean Time Between Failures – MTBF)

El MTBF es una medida estadística usada para cuantificar la confiabilidad de sistemas reparables. Representa el tiempo promedio de operación de un sistema o componente entre una falla y la siguiente, Mohammad Modorres (2016, pág. 83).

Para Ebeling (1997), el MTBF es una medida de confiabilidad usada para describir el tiempo promedio de funcionamiento de un sistema reparable entre dos fallas consecutivas (pág. 302). De manera complementaria, el MTBF representa el promedio

estadístico del tiempo de operación entre fallas para un sistema o componente que puede ser reparado, O'Connor & Kleyner (2012, pág. 145).

Finalmente, para Dhillon (2006), el MTBF es el tiempo promedio que un sistema reparable opera correctamente entre una falla y la siguiente, es decir, entre una reparación completa y la próxima falla del sistema (pág. 156). Por lo que deducimos que el MTBF es un indicador muy importante en la ingeniería de confiabilidad y que su valor mientras mayor sea significa que el equipo o proceso es más confiable.

Ecuación 1: Ecuación de MTBF

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo disponible deseado} - \textit{Tiempo total de paradas}}{\textit{Número de paradas}}$$

Tiempo Medio para Reparar (Mean Time To Repair – MTTR)

El MTTR es el valor esperado (promedio) del tiempo necesario para reparar un sistema después de una falla y devolverlo a su funcionamiento normal, Modorres (2016, pág. 85). Así mismo, Ebeling (1997, pág. 303), define el MTTR como el tiempo promedio que se requiere para realizar el mantenimiento correctivo de un sistema o equipo que ha fallado.

Reafirmando, el MTTR es el tiempo promedio necesario para restaurar un sistema o componente a su estado operativo después de una falla, O'Connor & Kleyner (2012, pág. 147). Y finalmente, el MTTR es el tiempo promedio necesario para reparar un componente o sistema que ha fallado y devolverlo a su condición operativa normal, Dhillon (2006, pág. 157). Por lo que se concluye que el MTTR es un indicador clave en la ingeniería de confiabilidad y que su valor mientras menor sea implica que se tiene una mejor capacidad de respuesta y mantenimiento.

Ecuación 2: Ecuación de MTTR

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total de paradas}}{\textit{Número de paradas}}$$

Disponibilidad de equipos (Disponibilidad operacional)

Modorres (2016), define a la disponibilidad de equipos como la probabilidad de que un sistema esté operativo en un momento dado, cuando se utiliza bajo condiciones establecidas, (pág. 286).

Del mismo modo, para Ebeling (1997), la disponibilidad de equipos es la probabilidad de que un equipo esté en estado operable y listo para su uso al inicio de una misión cuando se lo requiere, (pág. 305). Sumándose a estas definiciones, O'Connor & Kleyner (2012, pág. 148), define a la disponibilidad de equipos como la proporción del tiempo en que un sistema está en condiciones de funcionamiento, influida tanto por la confiabilidad como por la mantenibilidad.

Finalmente, Dhillon (2006), menciona a la disponibilidad de equipos como la probabilidad de que un sistema o componente esté funcionando satisfactoriamente en un momento dado, cuando se necesita que esté operativo, (pág. 243). Además, la disponibilidad de equipos es un indicador fundamental en la ingeniería de confiabilidad, Una disponibilidad del 100% implica que el sistema o equipo siempre ha estado disponible para su uso cuando ha sido requerido por lo que se busca que su valor sea el más cercano al 100%.

Ecuación 3: Ecuación de Disponibilidad de Equipos

$$\textit{Disponibilidad de Equipos} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100\%$$

Gestión de Mantenimiento

Mobley (2002) enfoca el concepto desde una perspectiva técnica-operativa, al definir la gestión de mantenimiento como la “aplicación de técnicas y metodologías para asegurar la disponibilidad, confiabilidad y vida útil de los equipos”. Esto abarca la implementación de estrategias como el mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo, (pág. 2).

De la misma manera Wireman (2004), propone una perspectiva integral, al afirmar que la gestión del mantenimiento consiste en coordinar y administrar de manera efectiva los recursos disponibles con el fin de garantizar que los activos físicos operen conforme a lo esperado, minimizando tanto los costos totales como los riesgos asociados, (pág. 15). Aquí, se destaca la necesidad de integrar criterios técnicos, económicos y de riesgo, como también está definido en la serie ISO como "documentación que detalla las acciones, recursos, presupuestos y plazos requeridos para que un activo, ya sea individual o en conjunto con otros, contribuya al cumplimiento de los objetivos establecidos en la gestión de activos de una organización" (ISO 55000 del 2024, plan de gestión de activos), enfatizando el rol estructurado de gestión de mantenimiento dentro de gestión de activos.

Desde un enfoque estratégico, Al-Najjar & Alsyouf (2004) argumentan que "la gestión de mantenimiento moderna se orienta a la integración con la estrategia global de la empresa, optimizando la utilización de activos físicos para maximizar la rentabilidad" (pág. 10). Esto representa una transición del mantenimiento tradicional hacia un enfoque centrado en la competitividad y sostenibilidad empresarial, donde, según la serie ISO, se requiere documentar y alinear la política de gestión de activo, objetivos, estrategias y enfoques para desarrollar y gestionar el portafolio de activos y el sistema de gestión de activos. (ISO 55000 del 2024, plan estratégico de gestión de activos).

Finalmente, para Puentes, Reyes & Rivas (2021) el mantenimiento desempeña un papel esencial en las organizaciones a nivel global, razón por la cual, en su afán por alcanzar la excelencia operativa, las empresas implementan estrategias de gestión orientadas a mejorar el desempeño de sus activos, aumentar su confiabilidad y, al mismo tiempo, lograr un uso más eficiente de los recursos disponibles, (pág. 17).

Entonces la gestión de mantenimiento lo puedo entender como un campo multidisciplinario que combina aspectos técnicos, económicos, estratégicos y normativos, que, con su adecuada implementación, no sólo prolonga la vida útil de los activos, sino que también contribuye significativamente al desempeño general de la organización.

Objetivos de la gestión de mantenimiento

La gestión de mantenimiento no se limita únicamente a reparar averías o conservar equipos, sino que persigue una serie de objetivos estratégicos, técnicos y económicos que contribuyen al funcionamiento eficiente y sostenible de una organización. Estos objetivos están alineados con la necesidad de garantizar la disponibilidad, confiabilidad y seguridad de los activos físicos, al menor costo posible y sin afectar la calidad del servicio o la producción, Fernández (2018, pág. 19). Entre ellos tenemos:

- Garantizar disponibilidad y confiabilidad de los activos.
- Reducir costos operativos y de mantenimiento.
- Prevenir fallos y prolongar la vida útil de los equipos.
- Asegurar la seguridad de las personas y la operación.
- Contribuir a la sostenibilidad energética y ambiental.
- Alinear el mantenimiento con los objetivos estratégicos de la empresa.

Indicadores de la gestión de mantenimiento

Los indicadores de gestión de mantenimiento son herramientas clave que permiten medir, analizar y controlar el desempeño del mantenimiento en una organización. A través de estos indicadores, es posible tomar decisiones informadas, mejorar procesos, optimizar recursos y alinear las actividades de mantenimiento con los objetivos estratégicos de la empresa.

Según Mobley (2002), los indicadores permiten “evaluar la eficacia de los programas de mantenimiento y su contribución a la disponibilidad, confiabilidad y eficiencia operacional”, (pág. 5).

Del mismo modo, Wireman (2004), menciona que, para una gestión efectiva del mantenimiento, los indicadores deben ser limitados, pero que reflejen el estado real del proceso, deben estar estén integrados, ser independientes y conectados a los objetivos estratégicos y sirven para detectar problemas rápidamente, reducir tiempos muertos, y mejorar eficiencia, (pág. 176).

Finalmente, Al-Najjar & Alsyouf (2004), afirma que los indicadores deben mostrar cómo el mantenimiento influye directamente en la rentabilidad, productividad y calidad. Estos no solo deben centrarse en los aspectos técnicos (fallas de equipos) sino que deben conectar con el desempeño financiero y la satisfacción del cliente, (pág. 649).

Entre los indicadores que usamos están:

- Atención de Avisos
- Cumplimiento del Programa de Mantenimiento
- Costo de Mantenimiento

Atención de Avisos

Para Mobley (2011), el sistema de gestión de mantenimiento debe incluir un proceso formalizado para reportar fallas, anomalías o necesidades de mantenimiento, estos reportes (avisos) pueden provenir de operadores, supervisores o sistemas de monitoreo. Estos avisos deben atenderse de acuerdo con un sistema de prioridades el cual permita atender primero los avisos críticos que afectan la seguridad, producción o integridad de los equipos, (pág. 55). Los avisos son el punto de partida del ciclo de mantenimiento, el registro y respuesta oportuna a los avisos (solicitudes o reportes de fallas) es esencial para garantizar un flujo de trabajo controlado y una operación confiable. El sistema de avisos permite identificar necesidades de mantenimiento correctivo, preventivo o emergente, Wireman (2004, pág. 178).

La detección y documentación temprana de fallas o síntomas (avisos) es clave para tomar decisiones correctas como un sistema eficaz de registro de incidentes que nos permite priorizar adecuadamente, y reducir el impacto operativo. Esto implica tener procedimientos formales de comunicación y respuesta técnica para priorizar y atender los avisos generados por las áreas a las cuales se dan soporte, Smith (1993, pág. 151).

Por lo tanto, se concluye que el indicador de atención de avisos de mantenimiento es una métrica clave en la gestión del mantenimiento, debido a que mide la eficiencia y la capacidad de respuesta del equipo de mantenimiento frente a las solicitudes o avisos generados por fallos, inspecciones o requerimientos de los usuarios (ver anexo 1). En resumen, todos los autores que se ha mencionado presentan un valor que se calcula como el porcentaje de avisos de mantenimiento que han sido atendidos (resueltos o cerrados) en relación con el total de avisos generados en un periodo determinado.

Ecuación 4: Ecuación de Atención de Avisos

$$\text{Atención de Avisos} = \frac{\text{Total de avisos atendidos}}{\text{Total de avisos creados}} * 100\%$$

Cumplimiento del Programa de Mantenimiento

El programa de mantenimiento debe incluir un plan detallado de actividades preventivas y predictivas, la programación debe ser semanal o mensual y esta debe ser disciplinada u ejecutarse rigurosamente. Cuando el cumplimiento de este programa es bajo se puede derivar en fallas inesperadas, incremento de costos y reducción en la confiabilidad de los activos. El cumplimiento del programa es esencial para reducir el mantenimiento correctivo no planificado y para alcanzar una gestión de mantenimiento de clase mundial, Mobley (2011, pág. 57).

El cumplimiento del programa es uno de los indicadores más importantes de gestión, mide que tan eficaz es la organización en ejecutar lo que se ha planificado, es decir, cuánto del mantenimiento preventivo programado se realiza realmente en el período previsto. Un alto cumplimiento indica una buena planificación, programación y ejecución por el contrario un bajo cumplimiento puede señalar problemas como: falta de recursos, mala priorización, interrupciones por emergencias o trabajos no planificados, ausencia de disciplina operativa, Wireman (2004, pág. 182).

Así mismo, el cumplimiento de las tareas de mantenimiento programadas asegura que se mantenga la confiabilidad funcional y se eviten fallas que impacten la seguridad o disponibilidad. Se debe Monitorear regularmente cuántas tareas programadas fueron completadas en tiempo y forma y utilizar este indicador para identificar problemas en planificación, disponibilidad de recursos o ejecución, Smith (1993, pág. 155).

Por lo que deducimos de las lecturas anteriores que el programa de mantenimiento es un conjunto planificado de ordenes de mantenimiento diseñadas para asegurar que los procesos y equipos de una organización funcionen de manera eficiente, segura y con el mínimo de interrupciones no deseadas (ver anexo 2), y su valor es calculado mediante el porcentaje de órdenes de trabajo de mantenimiento planificadas que fueron efectivamente ejecutadas dentro del período programado.

Ecuación 5: Ecuación de Cumplimiento del Programa de Mantenimiento

$$\text{Cumplimiento Programa Mantenimiento} = \frac{\text{Total ordenes ejecutadas}}{\text{Total ordenes programadas}} * 100\%$$

Costo de Mantenimiento

El costo de mantenimiento es un indicador clave para evaluar la eficiencia y la efectividad de la gestión de mantenimiento, dependiendo del sector industrial los costos pueden ser hasta el 60 % del costo de producción por lo que estos deben ser monitoreados y analizados continuamente, no solo para reducir gastos, sino para asegurar la sostenibilidad del desempeño de los activos, Mobley (2011, pág. 62).

Para Wireman (2004), el mantenimiento no es un gasto aislado, sino una inversión que afecta directamente la vida útil, la confiabilidad y el costo total del activo, una parte esencial del análisis de costos es comparar cuánto se gasta en tareas preventivas frente a las correctivas, (pág. 190), y su indicador de costo de mantenimiento es representado como uno de los pilares esenciales para evaluar la eficiencia económica del área de mantenimiento, controlar y analizar estos costos permite mejorar la toma de decisiones, justificar inversiones y alinear el mantenimiento con los objetivos financieros de la empresa, (pág. 195).

De esta manera para mi investigación resumo que el indicador que necesito se basa como costo de mantenimiento, siendo clave para evaluar la eficiencia económica del área de mantenimiento en relación con la producción, que es directamente relacionado al gasto de mantenimiento con la cantidad de producto generado, permitiendo conocer si el mantenimiento está siendo rentable y sustentable. Por consiguiente, la ecuación se muestra cómo se mide, y cuánto cuesta el mantenimiento por cada unidad de producto fabricado en un período determinado.

Ecuación 6: Ecuación de Costo de Mantenimiento

$$\text{Costo de Mantenimiento} = \frac{\text{Gasto de Mantenimiento (S/)}}{\text{Producción de Molino (Tm)}}$$

Tipos de Mantenimiento

Según Moubray (2001), el mantenimiento se puede clasificar en distintas categorías según el enfoque y momento de ejecución. Entre los más comunes se encuentran, (pág. 52).

- Mantenimiento Predictivo
- Mantenimiento Preventivo
- Mantenimiento Correctivo
- Mantenimiento Centrado en Confiabilidad
- Mantenimiento Autónomo

Mantenimiento Predictivo

Este tipo de mantenimiento usa técnicas de monitoreo y diagnóstico de condiciones para anticipar fallas antes de que se presenten. Smith & Hawkins (2004, pág. 55) explican que se basa en la evaluación del estado real de los activos a través de análisis como

vibraciones, termografía, lubricantes y ultrasonido. Este enfoque permite maximizar el uso de los activos sin comprometer su confiabilidad. Así mismo, Wireman (2005, pág. 44) señala que el mantenimiento predictivo minimiza las intervenciones innecesarias y permite una respuesta precisa ante condiciones anormales.

Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo consiste en realizar actividades programadas de manera regular con el objetivo de reducir la probabilidad de fallas. De acuerdo con Levitt (2009, pág. 78), este tipo de mantenimiento se realiza en función del tiempo o uso del equipo, y está diseñado para evitar averías antes de que ocurran. Del mismo modo, Smith & Hawkins (2004, pág. 50) indican que una correcta planificación del mantenimiento preventivo contribuye significativamente a la prolongación de la vida útil de los equipos y a la reducción del mantenimiento correctivo.

Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo interviene un equipo o sistema después de que ha fallado, con el objetivo de restaurar su funcionalidad. Según Wireman (2005, pág. 37), este tipo de mantenimiento se ejecuta solo cuando un activo ha dejado de funcionar o su desempeño se ha visto comprometido. Aunque es necesario en ciertas situaciones, su uso excesivo puede generar costos altos y tiempos de inactividad prolongados. Así mismo, Kelly (2006, pág. 41), afirma que el mantenimiento correctivo es generalmente el más costoso, debido al carácter no planificado de la intervención y las posibles consecuencias en la producción.

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

El mantenimiento centrado en confiabilidad es un enfoque que estudia las funciones de los equipos, identifica las fallas potenciales y evalúa sus impactos, con el propósito de establecer estrategias de mantenimiento efectivas y apropiadas, que según Kelly (2006, pág. 112), el mantenimiento centrado en confiabilidad permite priorizar recursos en función de la criticidad de cada componente, mejorando la seguridad, disponibilidad y costos del sistema. Del mismo modo, Smith & Hawkins (2004, pág. 98) destacan que el mantenimiento centrado en confiabilidad integra conocimientos de ingeniería, operación y mantenimiento para desarrollar programas específicos que optimicen el desempeño del activo.

Mantenimiento Autónomo

El mantenimiento autónomo forma parte del enfoque de Mantenimiento Productivo Total y se basa en la participación directa de los operadores en tareas básicas como inspección, limpieza, lubricación y ajustes menores. Wireman (2005, pág. 129) indica que esta estrategia empodera a los operarios, mejora su conocimiento de los equipos y reduce la dependencia del personal de mantenimiento. También, Levitt (2009, pág. 145) añade que el mantenimiento autónomo contribuye a mejorar la cultura organizacional y la responsabilidad compartida por el estado de los activos.

Importancia de la Gestión de Mantenimiento

De acuerdo con Wireman (2005), una adecuada gestión del mantenimiento no solo cumple una función operativa, sino que puede convertirse en un factor estratégico y una ventaja competitiva, pues contribuye directamente a reducir costos operativos e

incrementa la eficiencia en los procesos productivos, (pág. 8). De hecho, organizaciones con una gestión de mantenimiento optimizada presentan menores tiempos de parada, mayor calidad en sus productos y una operación más segura, lo cual se traduce en una mayor confiabilidad operativa y sostenibilidad a largo plazo.

Por su parte, Smith & Hawkins (2004) afirman que la función de mantenimiento ya no es simplemente reparar equipos; se ha convertido en una función que debe apoyar activamente los objetivos corporativos, (pág. 2). Esto incluye alinearse con la estrategia empresarial, participar en decisiones de inversión de activos y garantizar la continuidad operacional. Del mismo modo, Levitt (2009) resalta que una buena gestión de mantenimiento permite prolongar la vida útil de los activos, asegurar el cumplimiento de normas regulatorias, y reducir riesgos de fallas catastróficas, (pág. 17), lo cual repercute en la sostenibilidad económica y ambiental de la organización.

Así mismo, Kelly (2006) también enfatiza la importancia de esta función al afirmar que la gestión de mantenimiento efectiva permite a las organizaciones adaptarse rápidamente a los cambios del entorno, mejorar su desempeño operativo y reducir costos ocultos asociados a fallas imprevistas, (pág. 9), con ello se afirma que una gestión de mantenimiento sólida no solo contribuye al funcionamiento técnico de los equipos, sino que también es un elemento clave para alcanzar la excelencia operacional y la competitividad sostenida.

Ingeniería de Confiabilidad en Gestión de Mantenimiento

Akpan, Orazulume & Essien (2024) indican en su trabajo “Reliability engineering principles and maintenance scheduling for plant recovery”, bajo la metodología científica donde se analizaron datos operativos de una planta cervecera mediante principios de

ingeniería de confiabilidad para evaluar el estado y desempeño de la planta lograron una recuperación eficiente de esta, concluyendo que los principios de confiabilidad son efectivos para determinar la salud y el rendimiento de plantas industriales, recomendándose su adopción.

Del mismo modo Valverde & Arestegui (2019) señalan en su investigación “Propuesta de mejora basada en confiabilidad del plan de mantenimiento de los equipos de la planta de chancado de una unidad minera” donde analizaron registros de fallas desde 2016 en equipos críticos de chancado y diseñaron sistemas de reporte de fallas y evaluación de criticidad, identificando modos, causas y efectos de fallo. Se calcularon indicadores como MTBF, MTTR, índices de disponibilidad, confiabilidad y tasa de fallos. Con esos datos, se estableció un ciclo óptimo de mantenimiento. Concluyendo e implementando un nuevo plan en los años 2018 y 2019 redujo significativamente las paradas de planta y redujo los costos de mantenimiento en un 10% lo que llevó a incrementar la producción.

Así mismo, Chinchay & Espinoza (2020) evidenciaron en su trabajo “La confiabilidad para mejorar la gestión del mantenimiento preventivo de la línea de envasado de una planta de cemento” aplicó una evaluación cualitativa y cuantitativa de confiabilidad en equipos críticos del área de envasado usando datos históricos del 2014. Con herramientas DISMA y RELEST se ajustaron distribuciones de probabilidad y se calcularon MTBF, MTTR, confiabilidad, disponibilidad y tasa de fallos. Se identificaron modos y efectos de falla, se priorizó criticidad y se diseñaron ciclos preventivos óptimos. Y llegando a la conclusión que la integración de análisis de datos históricos con modelado estadístico y RCM mejora sustancialmente la eficiencia del mantenimiento preventivo.

CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

Mi investigación engloba un estudio de tipo experimental y de enfoque cuantitativo, se usó la recolección de datos de los equipos que se dan mantenimiento. Se decidió usar la metodología cuantitativa ya que es la que mejor se adapta a la investigación que realicé, tal como lo destaca Páez (2022, pág. 142), esta metodología permite realizar un análisis y diagnóstico con enfoque en los equipos de una empresa. Así mismo al utilizar la metodología cuantitativa se abarcan estrategias para reducir el tiempo fuera de servicio y los costos asociados a las fallas de los equipos Dhillon (2006 pág. 137).

Mi estudio se desarrolla en la planta molino de una importante empresa del sector agropecuario, el rubro de esta empresa es la venta de pollo vivo y pollo beneficiado en el norte del país, la empresa cuenta con varias áreas las cuales trabajan en conjunto para lograr los objetivos y metas de la empresa. Una de estas áreas es la planta molino la cual se dedica a la producción de alimento balanceado para aves, esta satisface la demanda de alimento para las aves criadas en los centros de producción.

Resumen del Proyecto

a. Descripción de la problemática

La problemática surge cuando la falla de un equipo (ver figura 1 y 2) originaba paradas al proceso productivo y por consiguiente no se cumplía con el plan semanal de producción de alimento, esto ocasionaba también que aumentaran los costos de mantenimiento correctivo lo cual no es una buena imagen del área de mantenimiento ya que más se enfocaba en atender fallas del día a día en vez de atender los mantenimientos programados. Es ampliamente reconocido que el mantenimiento desempeña un papel

clave en el funcionamiento de las organizaciones a nivel global. Por esta razón, en su constante esfuerzo por alcanzar altos niveles de eficiencia, las empresas implementan estrategias de gestión del mantenimiento orientadas a mejorar el desempeño de sus activos, aumentar su confiabilidad y hacer un uso más eficiente de los recursos disponibles, Puentes, Reyes & Rivas (2021, pág. 17).

Figura 1: Atoro en válvula alimentadora de maíz por ingreso de material extraño.



Nota: (a) Granos de maíz sin moler, (b) hélice doblada de válvula de maíz, (c) harina de maíz molido.

Figura 2: Eje de Mezcladora no gira, se dañó por sobrecarga y malogró al motorreductor.



Nota: (a) Eje de mezcladora, (b) carcasa de mezcladora, (c) chumacera de mezcladora.

b. Diagnostico situacional

Con el fin de mejorar la gestión de mantenimiento de la planta molino de alimento balanceado (ver tabla 1 y tabla 2), se decidió aplicar ingeniería de confiabilidad la cual permite minimizar fallas que ocurren en los procesos o equipos, Juárez (2020, pág. 14), lo cual implicaba implementar, analizar y optimizar los indicadores de confiabilidad: MTBF (Tiempo medio entre fallas), MTTR (Tiempo medio de reparación) y Disponibilidad de equipos, que conlleve a evaluar los riesgos operacionales al prever posibles fallos en los equipos clave de producción (caldera, prensa, mezcladora, entre otros), así mismo mejorar la programación de mantenimiento predictivo y correctivo de los diferentes equipos (caldera, molinos, entre otros) que intervienen en el proceso productivo, Mobley (2002, pág. 2).

Tabla 1: Cumplimiento de mantenimiento programado y ejecución de mantenimiento correctivo antes de aplicar ingeniería de confiabilidad.

Planta Molino	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Total
Mantenimiento Programado	91	71	91	84	105	89	531
Mantenimiento Ejecutado	77	50	77	77	85	66	432
Mant. Correctivo No Programado	24	30	24	15	20	6	119

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2: Porcentaje de cumplimiento de mantenimiento programado y ejecución de mantenimiento correctivo antes de aplicar ingeniería de confiabilidad.

Planta Molino	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Total
Cumplimiento Mantenimiento Programado	84.62%	70.42%	84.62%	91.67%	80.95%	74.16%	81.36%
Ejecución Mantenimiento Correctivo No Programado	23.76%	37.50%	23.76%	16.30%	19.05%	8.33%	21.60%

Fuente: Elaboración propia

c. Diagnostico económico

Al evaluar los costos de mantenimiento preventivo, correctivo así mismo el costo total de mantenimiento por tonelada de alimento balanceado producida en la planta se determinó que estos eran elevados (ver tabla 3) por lo que uno de los principales objetivos de aplicar ingeniería de confiabilidad era para mejorar la gestión de mantenimiento buscando la reducción de estos costos sin poner en riesgo los activos físicos, Wireman (2004, pág. 15).

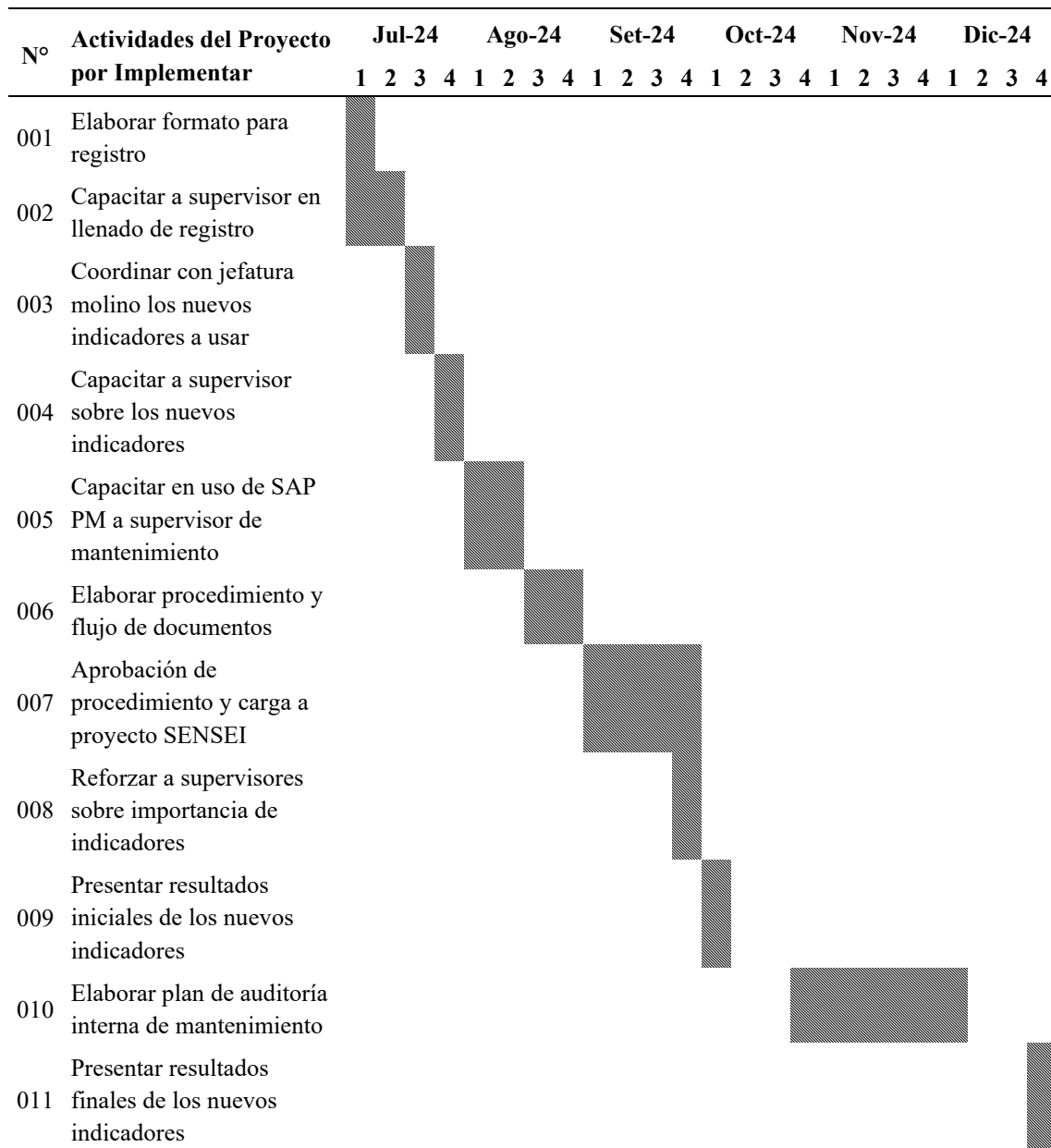
Tabla 3: Costos de mantenimiento y producción de planta antes de aplicar ingeniería de confiabilidad.

Planta Molino	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Total
Costo Mantenimiento (Miles S/)	277.47	213.67	312.17	264.45	276.86	145.53	1,490.15
Mant. Preventivo (Miles S/)	93.19	90.63	167.74	135.17	154.68	66.13	707.54
Mant. Correctivo (Miles S/)	184.29	123.03	144.42	129.29	122.18	79.40	782.61
Producción (Miles Tm)	15.41	13.93	15.43	16.59	18.20	17.12	96.67
Costo Mant. Prevent./Prod. (S/ /Tm)	6.05	6.51	10.87	8.15	8.50	3.86	7.32
Costo Mant. Correct./Prod. (S/ /Tm)	11.96	8.83	9.36	7.79	6.71	4.64	8.10
Costo Mant. / Producción (S/ /Tm)	18.01	15.34	20.24	15.94	15.21	8.50	15.41

Fuente: Elaboración propia

Con el fin de mejorar el cuadro de costos de mantenimiento y producción de alimento balanceado de planta (ver tabla 3), en la tabla 4 indicamos el cronograma establecido a emplear para la ejecución de este proyecto (aplicación de ingeniería de confiabilidad en la gestión de mantenimiento en la producción de alimento balanceado. 2024), también está codificado para mejorar las actividades a implementar de manera más específica en los manuales de planta, mantenimiento, calidad, administrativa.

Tabla 4: Cronograma del proyecto por implementar en planta molino.



Nota: SENSEI es el nombre del proyecto encargado de la codificación y publicación de instructivos y procedimientos de la empresa (ver anexo 3).

Identificación operativa

a. Descripción de la población implicada en la planta molino

Incluyo dentro de la población de estudio tal como indica González (2007) para el caso de procesos con molinos para alimentos balanceados las siguientes 6 áreas:

Producción: Es el área que se encarga de la elaboración del alimento balanceado para las aves de los diferentes centros de crianza. Tiene una capacidad de producción de 25 tm/hr y cuenta con 3 turnos de trabajo, tiene una capacidad laboral de 34 personas (ver tabla 5) empezando el domingo a las 11:00 pm y terminando el sábado a las 11:00 pm. Esta planta actualmente se divide en 6 procesos los cuales son: almacenamiento, molienda, harina, peletizado, despacho y periféricos. La planta produce diferentes tipos de alimento dependiendo para qué tipo de ave será destinado el alimento (pollito recién nacido, pollo joven, pollo adulto, gallina y gallo) y para cada tipo de alimento hay numerosas composiciones de mezclas, a menudo dependiendo de tradiciones y de materias primas disponibles en el área o el país determinado, Vinther, (2006, pág. 5).

Tabla 5: Cuadro de personal que labora en el área de producción.

Producción	Cantidad	Observaciones
Operador de Insumos	9	3 operadores/turno
Operador de Maquinaria	3	1 operador/turno
Operador de Mezclado	3	1 operador/turno
Operador de Premix	3	1 operador/turno
Operador de Cabina de Control	3	1 operador/turno
Operador de Peletizado	3	1 operador/turno
Operador de Caldera	3	1 operador/turno
Capataz de Producción	3	1 capataz/turno
Ingeniero de Turno	2	Turno 2 y turno 3
Planner de Producción	1	Horario de oficina
Jefatura de Planta Molino	1	Horario de oficina

Nota: Turno 1: 11:00 pm a 7:00 am, turno 2: 7:00 am a 3:00 pm y turno 3: 3:00 pm a 11:00 pm.

Almacén: Es el área con 7 personas (ver tabla 6) están encargadas de recepcionar, almacenar y despachar los diferentes materiales que son comprados por el área logística, como este almacén está dentro de la planta molino almacena principalmente insumos que

usarán en producción como maíz, soya, entre otros, así mismo repuestos y suministros utilizados por el área de mantenimiento para dar soporte al correcto funcionamiento de la planta en el proceso de producción.

Tabla 6: Cuadro de personal que trabaja en el área de almacén.

Almacén	Cantidad	Observaciones
Auxiliar de Almacén	3	1 auxiliar/turno
Operador de Balanza	3	1 operador/turno
Supervisor de Almacén	1	Horario de oficina

Fuente: Elaboración propia.

Logística: Está área con 5 personas (ver tabla 7) es la encargada de cotizar y posterior compra de todas las necesidades (insumos, materia prima, materiales, servicios, entre otras) de las diferentes áreas de la empresa, ellos manejan una amplia cartera de proveedores con los cuales cotizan y deciden hacer las compras con el proveedor que mejor se adecua a las necesidades de la empresa teniendo en cuenta precio, calidad y tiempos de atención.

Tabla 7: Cuadro de personal que trabaja en el área de logística.

Logística	Cantidad	Observaciones
Asistente de Compras - Materia Prima	1	Horario de oficina
Asistente de Compras - Materiales	1	Horario de oficina
Asistente de Compras - Servicios	1	Horario de oficina
Coordinador de Compras	1	Horario de oficina
Jefatura de Logística	1	Horario de oficina

Nota: Personal involucrado de manera directa con el área de investigación.

Finanzas: Esta área con 3 personas (ver tabla 8) se encarga de administrar y gestionar los recursos económicos de la empresa. Cada año esta área asigna un presupuesto anual para cada área de la planta molino, se debe respetar este presupuesto asegurando el

correcto funcionamiento de la planta, en caso faltase presupuesto se debe gestionar un suplemento por única vez a la gerencia de esta.

Tabla 8: Cuadro de personal que trabaja en el área de finanzas.

Finanzas	Cantidad	Observaciones
Analista Financiero	1	Horario de oficina
Coordinador de Presupuestos	1	Horario de oficina
Jefatura de Finanzas	1	Horario de oficina

Nota: Personal involucrado de manera directa con el área de investigación.

Seguridad y Salud Ocupacional y Medio Ambiente (SSOMA): Es el área con 4 personas (ver tabla 9) encargada de analizar los accidentes y minimizan las enfermedades creadas por material biológico, químico, físico dentro de la planta, garantizando el bienestar de los trabajadores dentro de su lugar de trabajo. Esto implica identificar, evaluar y controlar los riesgos presentes en el trabajo para reducir o eliminar los peligros. La seguridad y salud en el trabajo busca crear un ambiente laboral seguro y saludable, promoviendo la prevención de riesgos a través de políticas, normativas y procedimientos. Realiza capacitaciones internas y externas de manera anual para capacitar a todo trabajador de la empresa.

Tabla 9: Cuadro de personal que trabaja en el área de seguridad y salud ocupacional y medio ambiente (SSOMA)

Seguridad y Salud Ocupacional y Medio Ambiente	Cantidad	Observaciones
Supervisor SSOMA	1	Horario de oficina
Analista de Procesos	1	Horario de oficina
Coordinador de Seguridad	1	Horario de oficina
Jefatura de SSOMA	1	Horario de oficina

Nota: Personal involucrado de manera directa con el área de investigación, durante el turno de noche solo trabajan el ingeniero de turno y el capataz del área de producción.

Mantenimiento: Esta área con 13 personas (ver tabla 10) se encarga de asegurar el correcto funcionamiento y vida útil de los diferentes activos tangibles asegurados (instalaciones, equipos y maquinarias). El objetivo de esta área dentro de la planta molino es asegurar y minimizar los cuellos de botella dentro de la operatividad de los equipos involucrados en el proceso productivo minimizando las restricciones y fallas que ocasionan paradas de estos, así mismo también disminuir los costos de reparación asociados a los equipos.

Tabla 10: Cuadro de personal que labora en el área de mantenimiento.

Mantenimiento	Cantidad	Observaciones
Técnico Electricista	3	1 técnico/turno
Técnico Mecánico	3	1 técnico/turno
Auxiliar Técnico	1	Horario de oficina
Supervisor de Mantenimiento	1	Horario de oficina
Asistente de Mantenimiento	1	Horario de oficina
Controller de Mantenimiento	1	Horario de oficina
Ingeniero de Mantenimiento	1	Horario de oficina
Técnico de Confiabilidad	1	Horario de oficina
Coordinador de Mantenimiento	1	Horario de oficina

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de mi investigación la población muestral serán los equipos que operan en la planta molino.

Equipos de Planta Molino: Para mi investigación usaré como población todos los procesos (ver tabla 11) y equipos (ver tabla 12) que intervienen dentro de la planta molino en el proceso de producción de alimento balanceado, la suma total de estos es de 6 procesos y 272 equipos.

Tabla 11: Cuadro de procesos existentes dentro de la planta molino.

Descripción del Proceso	Observaciones
1. Proceso de Almacenamiento	Abarca la recepción de insumos como maíz, soya hasta la etapa de transporte hacia la zona de limpieza.
2. Proceso de Molienda	Abarca la limpieza del maíz, transporte y molienda de maíz y soya hacia las tolvas de almacenamiento para mezclado.
3. Proceso de Harina	Abarca el mezclado de los macros, micro insumos y adición de líquidos hasta el transporte hacia la torre de peletizado.
4. Proceso de Peletizado	Abarca el acondicionamiento, prensado, enfriado, transporte y post dosificación de aceite
5. Proceso de Despacho	Abarca el transporte y almacenamiento de producto terminado para su despacho.
6. Proceso de Periférico	Compuesto por equipos que no intervienen directamente en la producción pero que son necesarios en planta.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12: Cuadro de equipos existente dentro de la planta molino.

Descripción de Equipo	Cantidad	Descripción de Equipo	Cantidad
Ablandador De Agua	3	Limpiador De Granos	5
Acondicionador	2	Mezcladora	4
Aire Acondicionado	20	Molino De Martillo	5
Arco De Desinfección	1	Motorreductor	1
Balanza Camionera	2	Prensa Peletizadora	2
Balanza Gramera	7	Quebrantador	2
Balanza De Plataforma	15	Separador De Ciclón	2
Balanza De Tolva	2	Silo De Alimento Balanceado	19
Caldera	2	Tablero De Condensadores	2
Cerradora De Sacos	4	Tablero De Fuerza	20
Compresor De Aire	4	Tablero De Transformador Manual	1
Desmoronador	2	Tolva Prismática	24
Distribuidor De Vías	8	Transformador De Voltaje	6
Dosificador De Aceite	4	Transportador De Cangilones	17
Electrobomba	11	Transportador De Faja	4
Enfriador Contraflujo	2	Transportador Helicoidal	24
Exhaustor	1	Transportador De Paletas	26
Expander	2	Transpaleta	1
Filtro De Manga	10	Válvula Alimentadora	3
Limpiador De Alimento	2		

Fuente: Elaboración propia.

Para mi investigación utilizaré como muestra los equipos y procesos de la planta molino. De la tabla 12, la tabla 13 nos indica más específicamente la variabilidad de equipos en la planta molino dentro del proceso de producción de alimento para los 272 equipos.

Tabla 13: Cuadro de procesos y principales equipos utilizados para la unidad de estudio.

Proceso	Descripción de Equipo	Cantidad
1. Proceso Almacenamiento	1. Silo de Alimento Balanceado	6
	2. Transportador de Cangilones	4
	3. Transportador Helicoidal	5
	4. Transportador de Paletas	17
	5. Otros Equipos Menores	7
2. Proceso Molienda	1. Limpiador de Granos	4
	2. Molino de Martillo	5
	3. Transportador de Cangilones	3
	4. Transportador Helicoidal	6
	5. Otros Equipos Menores	9
3. Proceso Harina	1. Balanza de Plataforma	7
	2. Distribuidor de Vías	8
	3. Mezcladora	3
	4. Transportador Cangilones	6
	5. Otros Equipos Menores	39
4. Proceso Peletizado	1. Acondicionador	2
	2. Caldera	1
	3. Prensa Peletizadora	2
	4. Transportador Cangilones	2
	5. Otros Equipos Menores	54
5. Proceso Despacho	1. Silo de Alimento Balanceado	9
	2. Tolva Prismática	10
	3. Transportador de Faja	4
	4. Transportador de Paletas	1
	5. Otros Equipos Menores	6
6. Proceso Periférico	1. Ablandador de Agua	3
	2. Balanza Camionera	2
	3. Generador Eléctrico	2
	4. Compresor de Aire	4
	5. Otros Equipos Menores	41

Fuente: Elaboración propia

b. Análisis situacional del problema de investigación

La planta molino contaba con indicadores básicos de gestión de mantenimiento, los cuales son: Atención de Avisos (ver ecuación 4), Cumplimiento del Programa de Mantenimiento (ver ecuación 5) y Costo de Mantenimiento (ver ecuación 6), indicadores muy usados en diversas industrias, así mismo son descritos por Mobley (2011, pág. 52) y Wireman (2004, pág. 175), estos indicadores se enfocan más en el cumplimiento de actividades de los diversos equipos de la planta molino y registro de costos de los mismos en vez de analizar el correcto funcionamiento de los equipos eliminando el número y tiempo de paradas. En la práctica, estos indicadores de la planta molino no tomaban en cuenta la visión del cliente (área de producción) para asegurar la continuidad del proceso representado en las siguientes ecuaciones que darán forma a los formatos que mejorarán la administración.

Con la aplicación de ingeniería de confiabilidad y sus indicadores (ver ecuación 1, 2 y 3) se busca mejorar la gestión de mantenimiento y tener una mejor lectura de sus indicadores, mejorar la atención de avisos, desde su creación hasta su posterior cierre, hacer una mejor planificación y programación de las ordenes de mantenimiento incluyendo los avisos programables, Guevara (2019, pág. 134); la cual se contempla usando datos registrados en las matrices de paradas del área de mantenimiento (tiempo disponible deseado del equipo, tiempo de reparación y cantidad de paradas).

c. Características críticas hacia la calidad

En la planta molino se producen constantes paradas en el proceso productivo, esto conlleva a que no se cuenta con una eficiente gestión del mantenimiento (ver figura 3) lo cual no es una buena imagen para el área de mantenimiento, García (2018, pág. 15).

Figura 3: Diagrama de causa efecto sobre la gestión del mantenimiento en la planta molino.



Fuente: Adaptación de la teoría del diagrama causa efecto de Ishikawa.

En esta etapa de la mejora continua descrito desde el año 1980 por Deming, nos da una orientación de como la planta molino busca mejorar la gestión de mantenimiento para optimizar los procesos que intervienen en la producción, por lo que se usará el ciclo PDCA (Planificar, Hacer, Revisar y Actuar.) para lograrlo (Shewhart, 1939, pág. 41).

La primera etapa de esta gestión de mantenimiento según Al-Najjar y Alsyouf (2004, pág. 10) tiene como meta:

1. Implementar indicadores de ingeniería de confiabilidad, los cuales nos ayudarán a conocer los tiempos de fallas y la disponibilidad de los equipos (MTBF, MTTR).
2. Realizar un plan de mantenimiento mensual el cual se ajuste semanalmente con el área de producción para coordinar y ejecutar la reducción de fallas de mantenimiento por falta de un cronograma de producción.
3. Capacitar personal de producción por un uso adecuado de los equipos por parte

de los operarios, y evitar fallas por falta de procedimientos e inadecuados instructivos por el personal técnico.

La segunda etapa vinculada con el hacer de la gestión de mantenimiento de los procesos que según Mobley (2002, pág. 2) tenemos:

1. Registrar una bitácora de paradas a causa de fallas por una inadecuada operación de revisión o inspección por el personal técnico sin capacitación y el operativo de producción.
2. Supervisar los registros administrativos con la matriz de paradas (ver anexo 4) para los cálculos de los indicadores de ingeniería de confiabilidad.
3. Introducir el plan semanal por parte del supervisor y asistente de mantenimiento para crear los cuadros de los indicadores de gestión de mantenimiento (ver anexo 5), este plan está basado en lo que recomienda el fabricante y en la experiencia del supervisor.
4. Capacitar al personal de mantenimiento sobre el correcto uso, operación y disposición de los equipos que los involucre directa o indirectamente.

La tercera fase está vinculada a la verificación del sistema de gestión que podemos considerar a Wireman (2004, pág. 15):

1. Semanalmente verificar las bitácoras y matrices con las paradas ingresadas en la supervisión por errores tipográficos y/o comunicación levantando las observaciones anteriores.
2. Reunión semanal del grupo de calidad de mantenimiento y la jefatura de planta molino para ajustar los indicadores del estudio de ingeniería de confiabilidad y mantener la actividad en los pronósticos acordados para el área de producción.

La fase cuatro accionamos in situ a través de la teoría de Al-Najjar y Alsyouf (2004, pág. 10) para las 2 primeras, y a Mobley (2002, pág. 2) para el tercer punto:

1. Calcular los indicadores de ingeniería de confiabilidad semanalmente.
2. Analizar prioritariamente los valores que salen de la desviación estándar del plan mantenimiento mensual.
3. Inspeccionar equipos y procesos de acorde al énfasis o probabilidades de alteración por mantenimiento correctivo de acuerdo con los resultados mejorados.

La fase cinco corresponde a la verificación económica de la planificación propuesta semanal y mensualmente (ver tabla 14), la cual nos muestra los egresos por mes de la planta molino después de aplicar las mejoras descritas en los pasos anteriores.

Tabla 14: Egresos después de aplicar ingeniería de confiabilidad.

Concepto	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Total de Egresos (Miles S/)	0.00	267.43	205.22	259.09	222.33	238.86	106.49

Fuente: Collazos Cerrón, Jesus (2011), “Evaluación empresarial de proyectos”.

d. Propuestas de alternativas

Actualmente en la planta molino de alimento balanceado para la gestión de mantenimiento se usa el software SAP Plant Maintenance (SAP-PM), este software nos permite planificar, programar y controlar las ordenes de mantenimiento a ejecutar, con estos datos (cantidad de avisos registrados y atendidos, cantidad de ordenes de mantenimiento programadas y ejecutadas, gasto de mantenimiento (incluye el gasto de mano de obra, materiales y servicios) y producción de planta molino (cantidad total de

alimento balanceado producido así sean para diferentes tipos de aves)) aplicamos los cálculos de las ecuaciones (1, 2 y 3) para calcular los indicadores de gestión de mantenimiento como se observa en la tabla 15.

Tabla 15: Registro de indicadores de gestión de mantenimiento.

Planta Molino	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Total
Total Avisos Creados							
Total Avisos Atendidos							
Atención de Avisos (%)							
Total Ordenes Programadas							
Total Ordenes Ejecutadas							
Cumplimiento Programa Mantenimiento (%)							
Gasto de Mantenimiento (S/)							
Producción de Molino (Tm)							
Costo de Mantenimiento (S/ / Tm)							

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso del cálculo de indicadores de ingeniería de confiabilidad, utilizaremos las bitácoras implementadas con el registro de número de paradas y tiempo de cada parada por proceso de la planta molino, a continuación usaremos las ecuaciones (4, 5 y 6) que nos determina lo descrito en la tabla 16.

Tabla 16: Registro de indicadores de ingeniería de confiabilidad.

Planta Molino	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Total
Tiempo disponible deseado del equipo (Hr)							
Tiempo de reparación (Hr)							
Número de Paradas							
MTBF Tiempo medio entre fallas (Hr)							
MTTR Tiempo medio de reparación (Hr)							
Disponibilidad de equipos (%)							

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 17 observamos la comparación entre los indicadores obtenidos de gestión de mantenimiento y de ingeniería de confiabilidad, acá realizamos el análisis de cada indicador obtenido por proceso y de acuerdo con esto se tomarán las medidas correspondientes para mejorarlos.

Tabla 17: Indicadores de ingeniería de confiabilidad vs la gestión de mantenimiento.

PLANTA MOLINO	INGENIERIA DE CONFIABILIDAD			GESTION DE MANTENIMIENTO		
	MTBF (Hr)	MTTR (Hr)	Disponibilida d (%)	Atención Avisos (%)	Cumplimiento de Programa (%)	Costo de Mtto (S/ /TM)
1. Proceso de Almacenamiento						
2. Proceso de Molienda						
3. Proceso de Harina						
4. Proceso de Peletizado						
5. Proceso de Despacho						
6. Proceso de Periférico						

Fuente: Elaboración propia.

e. Propuesta del proyecto

Al implementar los indicadores de ingeniería confiabilidad, Ebeling (1997, pág. 292), se estableció un cronograma con fechas planificadas (ver tabla 18), donde mostramos las fechas reales de esta implementación la cual se ajustan al tiempo planificado de 6 meses.

Tabla 18: Cronograma de implementación programada.

N°	Actividades del Proyecto por Implementar	Jul-24				Ago-24				Set-24				Oct-24				Nov-24				Dic-24			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
001	Elaborar formato para registro	█	█	█	█																				
002	Capacitar a supervisor en llenado de registro			█	█	█	█	█	█																
003	Coordinar con jefatura molino los nuevos indicadores a usar			█	█	█	█	█	█																
004	Capacitar a supervisor sobre los nuevos indicadores			█	█	█	█	█	█																
005	Capacitar en uso de SAP PM a supervisor de mantenimiento			█	█	█	█	█	█																
006	Elaborar procedimiento y flujo de documentos									█	█	█	█												
007	Aprobación de procedimiento y carga a proyecto SENSEI									█	█	█	█												
008	Reforzar a supervisores sobre importancia de indicadores													█	█	█	█								
009	Presentar resultados iniciales de los nuevos indicadores																	█	█	█	█				
010	Elaborar plan de auditoría interna de mantenimiento																					█	█	█	█
011	Presentar resultados finales de los nuevos indicadores																								█

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la tabla 19 observamos los costos de mantenimiento, Mobley (2011, pág. 62), antes de implementar la ingeniería de confiabilidad con los cuales se compara a posteriori las ventajas o desventajas de esta investigación determinadas por la ecuación [3].

Tabla 19: Costo de mantenimiento por producción.

Planta Molino	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Total
Costo de mantenimiento							
Preventivo/Producción (S/ /Tm)	6.05	6.51	10.87	8.15	8.50	3.86	7.32
Correctivo/Producción (S/ /Tm)	11.96	8.83	9.36	7.79	6.71	4.64	8.10
Costos Totales (S/ /Tm)	18.01	15.34	20.24	15.94	15.21	8.50	15.41

Fuente: Elaboración propia.

f. Diagrama de propuesta de inversión

Los componentes principales del diagrama están basados en modelos y guías para la formulación de proyectos de inversión (Collazos, 2011, pág. 181-224), la tabla 20 nos muestra la identificación de la necesidad que delimita el área de mantenimiento.

Tabla 20: Detalle de conceptos de inversión del proyecto

Detalle de Inversión	Costo	Cantidad	Total
Personal a capacitar			
Sueldo de ingeniero de mantenimiento (Miles S/)	4.00	7.00	28.00
Sueldo de técnico de confiabilidad (Miles S/)	2.00	7.00	14.00
Compra de equipos			
2 cámaras termográfica (Miles S/)	12.25	2.00	24.50
1 alineador de ejes (Miles S/)	19.50	1.00	19.50
Total Inversión (Miles S/)	-	-	86.00

Fuente: Elaboración propia.

Resultados del proyecto a implementar

a. Comparación y análisis económico-financiero

De acuerdo al cronograma del proyecto (ver tabla 18), a continuación, describiremos las actividades de las inversiones sin proyecto y con proyecto, presupuesto estimado, forma de financiamiento con los costos detallado en el diagrama flujo de caja (ver tabla 21), donde trataré de analizar la viabilidad y rentabilidad de una evaluación técnica, financiera, (Collazos 2011, pág. 121-138) incluyendo riesgos y beneficios esperados trabajados en una estrategia para la operación del mantenimiento que garantice su sostenibilidad a largo plazo.

Tabla 21: Detalle de flujo de caja de los 6 meses de implementación.

Concepto	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Sin proyecto							
Total de Egresos (Miles S/)	0.00	277.47	213.67	312.17	264.45	276.86	145.53
Con proyecto							
Inversión inicial (Miles S/)	-86.00						
Total de Ingresos (Miles S/)	0.00	277.47	213.67	312.17	264.45	276.86	145.53
Total de Egresos (Miles S/)	0.00	267.43	205.22	259.09	222.33	238.86	106.49
Saldo efectivo (Miles S/)	-86.00	10.05	8.45	53.08	42.12	38.00	39.04

Fuente: Elaboración propia.

Para asegurar que el proyecto a implementar sea rentable calcularemos los indicadores financieros VAN (Valor Actual Neto), TIR (Tasa Interna de Retorno) y B/C (Relación Beneficio-Costo) (ver tabla 22), (Collazos 2011, pág. 127-131).

c. Cambios tecnológicos

Para la implementación del proyecto es necesario la adquisición de equipos de medición (ver tabla 24) los cuales aseguren el buen funcionamiento de los procesos y equipos de la planta.

Tabla 24: Detalle de herramientas adquiridas para implementar el proyecto.

Detalle de Inversión	Modelo	Marca	Costo	Cantidad	Total
Cámara Termográfica (Miles S/)	M30	HIKMICRO	12.25	2.00	24.50
Alineador de ejes (Miles S/)	FLUKE 831	PRUFTECHNIK	19.50	1.00	19.50
Total (Miles S/)			-	-	44.00

Fuente: Elaboración propia.

d. Optimización de demandas

Siguiendo con el cronograma (ver tabla 18), se muestra las actividades de capacitación del proyecto a implementar (ver tabla 25).

Tabla 25: Actividades de mejoras de gestión de mejoras del proyecto

N°	Actividades del Proyecto por Implementar
001	Elaborar formato para registro
002	Capacitar a supervisor en llenado de registro
003	Capacitar a supervisor sobre indicadores a implementar
004	Capacitar en uso de SAP PM a supervisor de mantenimiento

Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo con la implementación del proyecto, también se necesita contratar a 2 profesionales (Chiavenato, 2009, pág. 188-205) (ver tabla 26) que capaciten al personal de mantenimiento para que se replique y asegure el correcto funcionamiento de procesos

y equipos existentes.

Tabla 26: Detalle de costo de recurso humano

Detalle de Inversión	Costo	Meses	Total
Sueldo de ingeniero de mantenimiento (Miles S/)	4.00	7.00	28.00
Sueldo de técnico de confiabilidad (Miles S/)	2.00	7.00	14.00
Total Inversión (Miles S/)	-	-	42.00

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

Objetivo general de la investigación se basa en medir la aplicación de Ingeniería de Confiabilidad en la Gestión de Mantenimiento en la producción de Alimento Balanceado. 2024, por ende, el mejor y más alto MTBF (Tiempo Medio entre Fallas) es de 3,767.25 Hr y pertenece al proceso de Despacho, este valor es el acumulado de 6 meses lo cual se refleja en los indicadores de gestión de mantenimiento, una alta atención de avisos del 97.30%, un cumplimiento del programa de mantenimiento del 94.44%, y una baja en el costo del mantenimiento del 0.68 S/ / TM.

Tabla 27: Medición de la aplicación de Ingeniería de Confiabilidad en la Gestión de Mantenimiento por procesos de planta molino.

PLANTA MOLINO	INGENIERIA DE CONFIABILIDAD			GESTION DE MANTENIMIENTO		
	Descripción de Proceso	MTBF (Hr)	MTTR (Hr)	Disponibilidad (%)	Atención de Avisos (%)	Cumplimiento de Programa (%)
1. Almacenamiento	341.74	0.80	99.77%	91.85%	96.24%	1.17
2. Molienda	141.03	3.89	97.32%	85.53%	92.80%	1.64
3. Harina	339.48	3.06	99.11%	90.63%	96.30%	2.19
4. Peletizado	177.77	1.65	99.08%	85.53%	93.10%	4.02
5. Despacho	3,767.25	0.75	99.98%	97.30%	94.44%	0.68
6. Periférico	288.29	1.56	99.46%	83.96%	91.30%	3.32

Fuente: Elaboración propia.

El mejor MTTR (Tiempo Medio de Reparación) es de 0.75 Hr y la mejor Disponibilidad de equipos es de 99.98%, ambos indicadores pertenecen al Proceso de Despacho, lo cual se refleja en los indicadores de gestión de mantenimiento de este proceso: una alta atención de avisos del 97.30%, un buen cumplimiento del programa de mantenimiento del 94.44% y un bajo costo del mantenimiento del 0.68 S/ / TM.

Para el objetivo específico, optimizar el MTBF en la Gestión de Mantenimiento tenemos los sgtes resultados.

Tabla 28: Análisis del MTBF en la gestión de mantenimiento por proceso de planta molino.

PLANTA MOLINO	INGENIERIA DE CONFIABILIDAD	GESTION DE MANTENIMIENTO		
		Descripción de Proceso	MTBF (Hr)	Atención de Avisos (%)
1. Almacenamiento	341.74	91.85%	96.24%	1.17
2. Molienda	141.03	85.53%	92.80%	1.64
3. Harina	339.48	90.63%	96.30%	2.19
4. Peletizado	177.77	85.53%	93.10%	4.02
5. Despacho	3,767.25	97.30%	94.44%	0.68
6. Periférico	288.29	83.96%	91.30%	3.32

Fuente: Elaboración propia.

El mejor MTBF (Tiempo Medio entre Fallas) lo registra el Proceso Despacho con un valor de 3,767.25 Hr, esto se ve reflejado en los indicadores de gestión de mantenimiento que obtiene dicho proceso, ya que presenta una alta atención de avisos del 97.30%, un cumplimiento del programa de mantenimiento del 94.44%, y un bajo costo de mantenimiento del 0.68 S/ / TM.

El peor y más bajo MTBF pertenece al Proceso Molienda con un valor de 141.03 Hr, lo cual se refleja en los indicadores de gestión de mantenimiento ya que presenta una baja atención de avisos del 85.53%, un bajo cumplimiento del programa de mantenimiento del 92.80% y un costo del mantenimiento del 1.64 S/ / TM.

El siguiente objetivo específico, optimizar el MTTR en la Gestión de Mantenimiento, se describe en la tabla 29.

Tabla 29: Análisis del MTTR en la gestión de mantenimiento por proceso de planta molino.

PLANTA MOLINO	INGENIERIA DE CONFIABILIDAD	GESTION DE MANTENIMIENTO			
		Descripción de Proceso	MTTR (Hr)	Atención de Avisos (%)	Cumplimiento de Programa (%)
1.	Almacenamiento	0.80	91.85%	96.24%	1.17
2.	Molienda	3.89	85.53%	92.80%	1.64
3.	Harina	3.06	90.63%	96.30%	2.19
4.	Peletizado	1.65	85.53%	93.10%	4.02
5.	Despacho	0.75	97.30%	94.44%	0.68
6.	Periférico	1.56	83.96%	91.30%	3.32

Fuente: Elaboración propia.

El mejor y más bajo MTTR (Tiempo Medio de Reparación) corresponde al proceso de Despacho con un valor de 0.75 Hr, esto se ve reflejado en los indicadores de gestión de mantenimiento, una alta atención de avisos del 97.30%, un cumplimiento del programa de mantenimiento del 94.44%, y una baja en el costo del mantenimiento del 0.68 S/ / Tm.

El MTTR más alto lo registra el Proceso de Molienda con un valor de 3.89 Hr, esto se refleja en los indicadores de gestión de mantenimiento, una baja atención de avisos del 85.53%, un bajo cumplimiento del programa de mantenimiento del 92.80% y un costo del mantenimiento del 1.64 S/ / Tm.

Como tercer objetivo específico propuesto, analizamos la disponibilidad de equipos que influye en la Gestión de Mantenimiento que durante el proceso, se presenta

la mejor y más alta Disponibilidad corresponde al Proceso de Despacho con un valor de 99.98%, esto se ve reflejado en los indicadores de gestión de mantenimiento que presenta dicho proceso, una alta atención de avisos del 97.30%, un buen cumplimiento del programa de mantenimiento del 94.44%, y un bajo costo del mantenimiento del 0.68 S/ / TM.

Tabla 30: Análisis de la Disponibilidad de Equipos en la gestión de mantenimiento por proceso de planta molino.

PLANTA MOLINO	INGENIERIA DE CONFIABILIDAD		GESTION DE MANTENIMIENTO	
	Descripción de Proceso	Disponibilidad (%)	Atención de Avisos (%)	Cumplimiento de Programa (%)
1. Almacenamiento	99.77%	91.85%	96.24%	1.17
2. Molienda	97.32%	85.53%	92.80%	1.64
3. Harina	99.11%	90.63%	96.30%	2.19
4. Peletizado	99.08%	85.53%	93.10%	4.02
5. Despacho	99.98%	97.30%	94.44%	0.68
6. Periférico	99.46%	83.96%	91.30%	3.32

Fuente: Elaboración propia.

El Proceso Molienda tiene la peor y más baja Disponibilidad con un valor de 97.32%, esto se refleja en los indicadores de gestión de mantenimiento que presenta, una baja atención de avisos del 85.53%, un bajo cumplimiento del programa de mantenimiento del 92.80% y un costo del mantenimiento del 1.64 S/ / TM.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. La primera conclusión a la que llegamos por aplicación de ingeniería de confiabilidad en la gestión de mantenimiento en la producción de alimento balanceado como lo indica Akpan, Orazulume, & Essien (2024) mediante principios de ingeniería de confiabilidad para evaluar el estado y desempeño de la planta que los principios de confiabilidad son efectivos para determinar la salud y el rendimiento de plantas industriales, recomendándose su adopción. Para el caso nuestro, los valores obtenidos de indicadores de ingeniería de confiabilidad y gestión de mantenimiento nos indica que hay influencia entre las variables para la solución del enfoque que hemos presentado. De esta manera al enfrentar la medición de estas variables obtengo costos de 0.68 S/. /TM para el proceso de despacho donde la disponibilidad es la mayor al 99.98%, el tiempo medio entre fallas es el más alto de 3,767.25 Hr y el tiempo medio de reparación es el más bajo de 0.75 Hr. Y los procesos más costosos fueron el de peletizado y el de periférico de 4.02 S/. /TM y 3.32 S/. /TM respectivamente.

Por lo que evidenciamos que la aplicación de ingeniería de confiabilidad influye directamente en la gestión de mantenimiento tal como lo muestra la tabla 31, en donde verificamos que antes del proyecto, en el primer semestre el gasto del mantenimiento era de S/. 1,490,147.05 disminuyendo en el segundo semestre después de ejecutar el proyecto a S/. 1,299,410.68, así mismo la producción de alimento balanceado de la planta molino aumentó de 96,672.6 TM en el primer semestre a 99,790.98 TM en el segundo semestre, de la misma manera el costo de mantenimiento por producción disminuyó de 15.41 S/. / TM en el primer semestre a 13.02 S/. / TM en el segundo semestre.

Tabla 31: Cuadro comparativo del gasto, producción y costo de mantenimiento de la planta molino antes y después de la investigación.

PLANTA MOLINO	I SEMESTRE ANTES DE LA INVESTIGACIÓN			II SEMESTRE DESPUES DE LA INVESTIGACIÓN		
	Descripción de Proceso	Gasto (S/)	Producción (TM)	Costo Mtto (S/ /TM)	Gasto (S/)	Producción (TM)
1. Almacenamiento	177,645.64	96,672.60	1.84	117,018.49	99,790.98	1.17
2. Molienda	133,214.55	96,672.60	1.38	163,328.43	99,790.98	1.64
3. Harina	141,004.48	96,672.60	1.46	218,160.85	99,790.98	2.19
4. Peletizado	554,707.12	96,672.60	5.74	401,589.95	99,790.98	4.02
5. Despacho	32,854.76	96,672.60	0.34	67,638.95	99,790.98	0.68
6. Periférico	450,720.50	96,672.60	4.66	331,674.01	99,790.98	3.32
TOTAL	1,490,147.05	96,672.60	15.41	1,299,410.68	99,790.98	13.02

Fuente: Elaboración propia.

2. La segunda conclusión a la que llegamos debido a que el “MTBF influye positivamente en la gestión de mantenimiento” tal como lo indica Alfionita & Alifin (2023) mediante el estudio en planta de elevador de soda y dolomita, se aplicó análisis de modos de fallas y efectos concluyendo que el mantenimiento demasiado frecuente apuntaba a fallas no prevenidas y recomienda ajustar el plan preventivo basándose en el MTBF real para optimizar recursos. Para nuestro caso, según los valores calculados, el MTBF influye de manera positiva en la gestión de mantenimiento. Para el caso del problema específico 1, el MTBF más alto tiene un valor de 3,767.25 Hr el cual corresponde al proceso de despacho que es el acumulado de 6 meses, este indicador influye positivamente en los indicadores de gestión de mantenimiento los cuales son una alta atención de avisos del 97.30%, un cumplimiento del programa de mantenimiento del 94.44%, y un bajo costo de mantenimiento por producción de 0.68 S/ / TM. Así mismo el MTBF más bajo corresponde al proceso de molienda con un valor de 141.03 Hr el cual

se ve reflejado en los indicadores de gestión de mantenimiento los cuales son la baja atención de avisos de 85.53%, un bajo cumplimiento del programa de 92.80% y un costo de mantenimiento de 1.64 S// TM.

3. Como tercera conclusión que tenemos es que el MTTR se relaciona fuertemente con la gestión de mantenimiento tal como lo describe Martínez, Rodríguez & Gómez (2020) por medio de su estudio de mantenimiento eficiente el cual mejora la eficiencia del mantenimiento en centrales termoeléctricas, se compararon datos de MTTR, MTBF y disponibilidad antes y después de la implementación, utilizando simulaciones de disponibilidad del sistema verificando que reduciendo el MTTR mediante mejoras ya sea de almacenamiento incrementa de manera significativa la disponibilidad, productividad y rentabilidad de la planta. Para nuestra investigación, según los valores calculados, el MTTR se relaciona fuertemente con la gestión de mantenimiento. Para el caso del problema específico 2, los MTTR más bajos son de 0.75 Hr y 0.80 Hr que corresponden a los procesos de despacho y almacenamiento respectivamente, valores obtenidos en el acumulado de 6 meses y que se relacionan fuertemente con los indicadores de gestión de mantenimiento los cuales son en atención de avisos de 97.30% para despacho y 91.85% para almacenamiento, cumplimiento del programa de 94.44% para despacho y 96.24 % para almacenamiento y costo de mantenimiento de 0.68 S// TM para despacho y 1.17 S// TM para almacenamiento.

4. La última conclusión es que la disponibilidad de equipos influye drásticamente en la gestión de mantenimiento tal como indica Ypanaque (2017) en su estudio sobre el incremento de la disponibilidad y confiabilidad de equipos críticos teniendo un programa de mantenimiento preventivo bien estructurado, en este estudio se aplicó matriz de criticidad y se implementó un programa de mantenimiento preventivo seguido de cálculo de indicadores (disponibilidad y confiabilidad) antes y después teniendo como resultado

el aumento de la disponibilidad y confiabilidad tendiendo un buen programa de mantenimiento preventivo. Para nuestra investigación, de acuerdo a los valores calculados, la disponibilidad de equipos influye drásticamente en la gestión de mantenimiento. En el caso del problema específico 3, la disponibilidad más alta es para los procesos de despacho y almacenamiento con 99.98% y 99.77% respectivamente y que influye drásticamente en los indicadores de gestión de mantenimiento los cuales son en atención de avisos de 97.30% para despacho y 91.85% para almacenamiento, cumplimiento del programa de 94.44% para despacho y 96.24 % para almacenamiento y costo de mantenimiento de 0.68 S/ / TM para despacho y 1.17 S/ / TM para almacenamiento.

Recomendaciones

1. En el proceso de periférico, hay que tener en cuenta que el alto costo de mantenimiento (3.32 S// TM) se debe principalmente a reparaciones de la infraestructura del local como reparaciones de pisos, veredas, cambios de estructuras, pintado de local por imagen representativa, entre otras. Por lo que se recomienda evaluar el estado actual de la infraestructura del local donde se ubica la planta molino ya que posiblemente requiera una renovación parcial o total de la infraestructura. Así mismo en el caso del alto costo del proceso de peletizado se debe a que en este proceso se encuentra dos de los principales equipos de la planta los cuales son las prensas peletizadoras y la caldera y el costo de sus mantenimientos son altos con respecto a otros equipos.

2. Mencionar también al proceso de almacenamiento ya que presenta el segundo mejor MTBF con un valor de 341.74 h, lo cual se evidencia en sus indicadores de gestión de mantenimiento: atención de avisos del 91.85%, un alto cumplimiento del programa de 96.24% y bajo costo de mantenimiento de 1.17 S/ / TM. Se recomienda seguir

monitoreando este proceso para seguir optimizando y tratar de disminuir en lo posible este valor.

3. Tener en cuenta también a los procesos que tienen los MTTR más altos que corresponden a los procesos de molienda y harina con 3.89 h y 3.06 h respectivamente, estos se relacionan con sus indicadores de gestión de mantenimiento los cuales son en atención de avisos de 85.53% para molienda y 90.63% para harina, cumplimiento del programa de 92.80% para molienda y 96.30% para harina y costo de mantenimiento de 1.64 S// TM para molienda y 2.19 S// TM para harina, por lo que se recomienda evaluar y analizar minuciosamente estos procesos y tomar las medidas correspondientes a fin de mejorar los indicadores actuales que presentan.

4. Hay que mencionar también que los procesos que tienen la disponibilidad más baja son los procesos de molienda y peletizado con 97.32% y 99.08% respectivamente, estos se relacionan con sus indicadores de gestión de mantenimiento los cuales son en atención de avisos de 85.53% para molienda e igual para peletizado, cumplimiento del programa de 92.80% para molienda y 93.10% para peletizado y costo de mantenimiento de 1.64 S// TM para molienda y 4.02 S// TM para peletizado. Se recomienda revisar cuales son las fallas recurrentes que ocasionan las paradas en estos procesos y tomar las medidas correctivas necesarias para minimizar en lo posible estas fallas.

REFERENCIAS

- Akpan, W., Orazulume, C., & Essien, G. (2024). Reliability engineering principles and maintenance scheduling for plant recovery. *International Journal of Science and Research Archive. International Journal of Science and Research*, 516–527.
doi:<https://doi.org/10.30574/ijsra.2024.13.1.1690>
- Alfionita, S., & Alifin, F. (2023). Preventive maintenance analysis based on mean time between failure (MTBF) and mean time to repair (MTTR). *Angkasa: Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi*, 201-202.
doi:<https://doi.org/10.28989/angkasa.v15i2.1833>
- Al-Najjar, B., & Alsyouf, I. (2004). Enhancing a company's profitability and competitiveness using integrated vibration-based maintenance: A case study. *European Journal of Operational Research, Vol. 157, Núm. 3.*, 643-657.
doi:[https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00258-3](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00258-3)
- Blanchard, B., & Fabrycky, W. (2011). *Systems Engineering and Analysis (5th ed.)*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
<https://www.amazon.com/Engineering-Analysis-Prentice-International-Industrial/dp/013221735X>
- Chiavenato, I. (2009). *Recursos Humanos: El capital humano en las organizaciones*. Río de Janeiro: Elsevier.
<http://bibliotecas.uasb.edu.bo:8080/bitstream/20.500.14624/1145/1/Chiavenato-Recursos%20humanos%20na%20ed.pdf>
- Chinchay Aguilar, J., & Espinoza Escriba, J. (2020). *a confiabilidad para mejorar la gestión del mantenimiento preventivo de la línea de envasado de una planta de cemento*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
<http://hdl.handle.net/20.500.14076/21624>
- Collazos Cerrón, J. (2011). *Evaluación empresarial de proyectos*. Lima: San Marcos.
<https://www.editorialsanmarcos.com>
- Dale, N. (1994). *Nutrient Requirements of Poultry: Ninth Revised Edition, 1994*.

- Washington, D.C.: The National Academies Press.
<https://nap.nationalacademies.org/catalog/2114/nutrient-requirements-of-poultry-ninth-revised-edition-1994>
- Dhillon, B. (2006). *Engineering Maintainability: How to Design for Reliability and Easy Maintenance*. Houston, TX: Gulf Professional Publishing.
<https://lib.ugent.be/catalog/ebk01%3A1000000000384637>
- Ebeling, C. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Boston, MA: McGraw-Hill. <https://archive.org/details/introductiontore0000ebel>
- FAO, F. a. (2023). *Feed and Feeding Systems in the Livestock Sector: Opportunities for Efficiency Improvements*. Roma, Italia: FAO.
doi:<https://doi.org/10.4060/cc7474en>
- García Fernández, M. (2018). *Implementación de un plan de gestión de mantenimiento preventivo basado en TPM para aumentar la confiabilidad en las máquinas de la empresa comercial molinera San Luis SAC, 2018*. Pimentel: Universidad de San Martín de Porres. <https://hdl.handle.net/20.500.12727/3953>
- González Padilla, G. (2007). *Manual para el diseño y funcionamiento de plantas de alimentos balanceados*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <https://repositorio.iica.int/>
- Guevara Gamarra, C. (2019). *Propuesta de Gestión de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad en la Empresa CGW Plastic S.A.C. Para la Reducción de Costos por Parada de Máquina*. Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. <http://hdl.handle.net/20.500.12423/2169>
- ISO, I. O. (01 de 06 de 2024). ISO 55000:2024 – Asset Management – Vocabulary, Overview and Principles. Switzerland, Geneva, Switzerland.
<https://www.iso.org/standard/83053.html>
- Juárez Rivera, V., Sánchez Bazán, I., & Juárez Rivera, O. (2020). Ingeniería de confiabilidad aplicado a una planta hidroeléctrica. *CAGI*, 7-14.
<https://www.cagi.org.mx/index.php/CAGI/article/view/227>

- Kelly, A. (2006). *Maintenance Strategy: Business-Centred Maintenance (2^a ed.)*. Amsterdam: Elsevier / Butterworth-Heinemann.
<https://www.chegg.com/textbooks/maintenance-strategy-2nd-edition-9780750644488-0750644486>
- Kelly, A. (2006). *Strategic Maintenance Planning*. Amsterdam: Elsevier / Butterworth-Heinemann.
<https://www.sciencedirect.com/book/9780750669955/plant-maintenance-management-set>
- Levitt, J. (2009). *Handbook of Maintenance Management (2nd ed.)*. South Norwalk, CT: Industrial Press, Inc.
<https://books.industrialpress.com/9780831133894/handbook-of-maintenance-management/>
- Llorente, E., & Vargas, J. (2001). *Tecnología de alimentos balanceados*. Zaragoza: Acribi. <https://www.editorialacribia.com/>
- Martínez, J., Rodríguez, P., & Gómez, L. (2020). Lean maintenance applied to improve maintenance efficiency in thermoelectric power plants. *Energies*, 10-18.
- Mobley, R. (2002). *An Introduction to Predictive Maintenance (2nd ed.)*. Amsterdam; Nueva York: Butterworth-Heinemann.
<https://www.sciencedirect.com/book/9780750675314/an-introduction-to-predictive-maintenance?via=ihub=>
- Mobley, R. (2011). *Maintenance Fundamentals" (3rd ed.)*. Oxford, Reino Unido: Butterworth-Heinemann.
https://books.google.com/books/about/Maintenance_Fundamentals.html?id=V6hLqYAi5iAC
- Modarres, M. (2016). *Reliability Engineering and Risk Analysis: A Practical Guide (3rd ed.)*. Boca Raton, FL, EE. UU.: CRC Press.
<https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9781315382425/reliability-engineering-risk-analysis-mohammad-modarres-vasiliy-krivtsov-mark-kaminskiy>

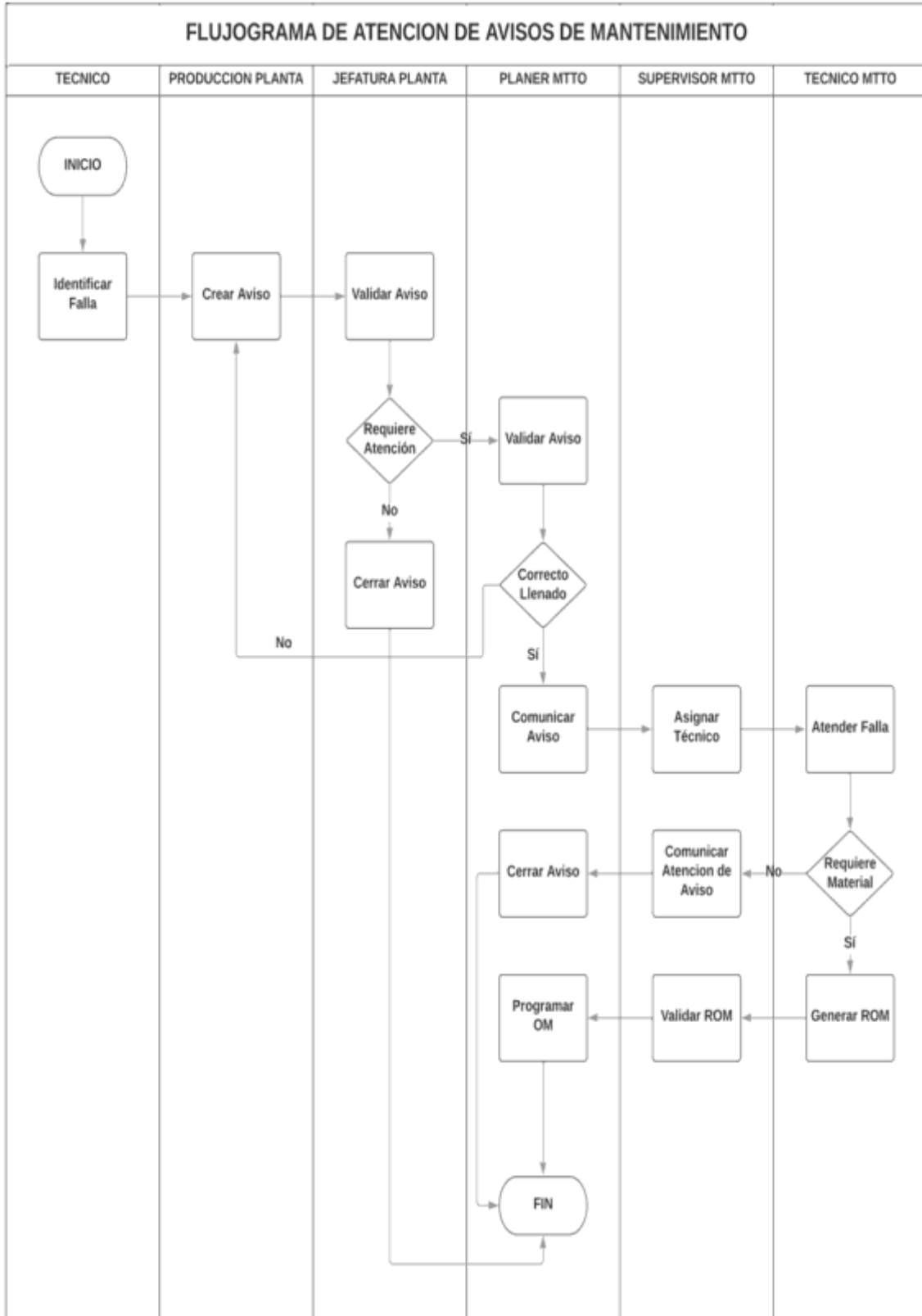
- Moubray, J. (2001). *Reliability-centered maintenance (2nd ed.)*. New York: Industrial Press, Inc.
https://books.google.com.pe/books/about/Reliability_centered_Maintenance.htm?id=bNCVF0B7vpIC&redir_esc=y
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. Cambridge: Productivity Press.
https://books.google.com/books/about/Introduction_to_TPM.html?id=XKc28H3JeUUC
- O'Connor, P., & Kleyner, A. (2012). *Practical Reliability Engineering (5th ed.)*. Chichester, Reino Unido: John Wiley & Sons.
https://books.google.com/books/about/Practical_Reliability_Engineering.html?id=V1Ttz5L_V50C
- Paez Advincula, R. R. (2022). Importancia de la ingeniería de confiabilidad operacional para el desarrollo empresarial. *SciELO Perú*, 137-146.
doi:<https://doi.org/10.15381/idata.v25i1.21224>
- Puentes Elorza, M., Reyes Ayala, D. A., & Rivas González, E. J. (2021). *Diagnóstico de un Plan de Mantenimiento Preventivo para un Molino MRV 200 en la Compañía Colombiana de Cerámica Colcerámica S.A.S. CORONA*. Bogotá: Universidad ECCI. <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/1286>
- Rausand, M. (2011). *Risk Assessment: Theory, Methods, and Applications*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118281116>
- Shewhart, W. (1939). *Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control*. Washington, D.C.: Graduate School, U.S. Department of Agriculture.
<https://ageconsearch.umn.edu/record/327285>
- Smith, A. (1993). *eliability-Centered Maintenance (RCM): A Guide to Developing Preventive Maintenance Programs*. New York, NY: McGraw-Hill.
<https://www.amazon.com/Reliability-Centered-Maintenance-Anthony-M-Smith/dp/007059046X>

- Smith, R., & Hawkins, B. (2004). *Lean Maintenance: Reduce costs, improve quality, and increase market share*. Ámsterdam y Boston: Elsevier Butterworth-Heinemann.
<https://www.sciencedirect.com/science/book/9780750677790>
- Smith, R., & Mobley, R. (2011). *Rules of Thumb for Maintenance and Reliability Engineers*. Boston: Butterworth-Heinemann.
<https://www.isbnsearcher.com/books/9780080552071>
- Valverde Padilla, G., & Arestegui Miranda, R. (2019). *Propuesta de mejora basada en confiabilidad del plan de mantenimiento de los equipos de la planta de chancado de una unidad minera*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
<http://hdl.handle.net/20.500.14076/20811>
- Vinther Jensen, J. (2006). *Introducción a la producción de alimentos balanceados*. Ringsted, Dinamarca: SKIOLD.
<https://www.ciap.org.ar/Sitio/Archivos/INTRODUCCIONLAPRODUCCIONDEALIMENTOSBALANCEADOS.pdf>
- Wireman, T. (2005). *Developing Performance Indicators for Managing Maintenance (2ª ed.)*. New York: Industrial Press, Inc.
<https://books.industrialpress.com/9780831131845/developing-performance-indicators-for-managing-maintenance/>
- Wireman, T. (2005). *Total Productive Maintenance (2nd ed.)*. South Norwalk, CT: Industrial Press, Inc. <https://books.industrialpress.com/9780831131722/total-productive-maintenance/>
- Wireman, T. (2010). *Reliability-Centered Maintenance for Industrial Plants*. New York: Industrial Press, Inc.
<https://books.industrialpress.com/9780831131463/reliability-centered-maintenance/>
- Ypanaque Arteaga, Y., Chuya Luguensi, R., & Esquivel Chávez, L. (2017). Mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad y confiabilidad de una grúa de 50 toneladas. *IngnoSis Revista de Investigación Científica*, 309-322.

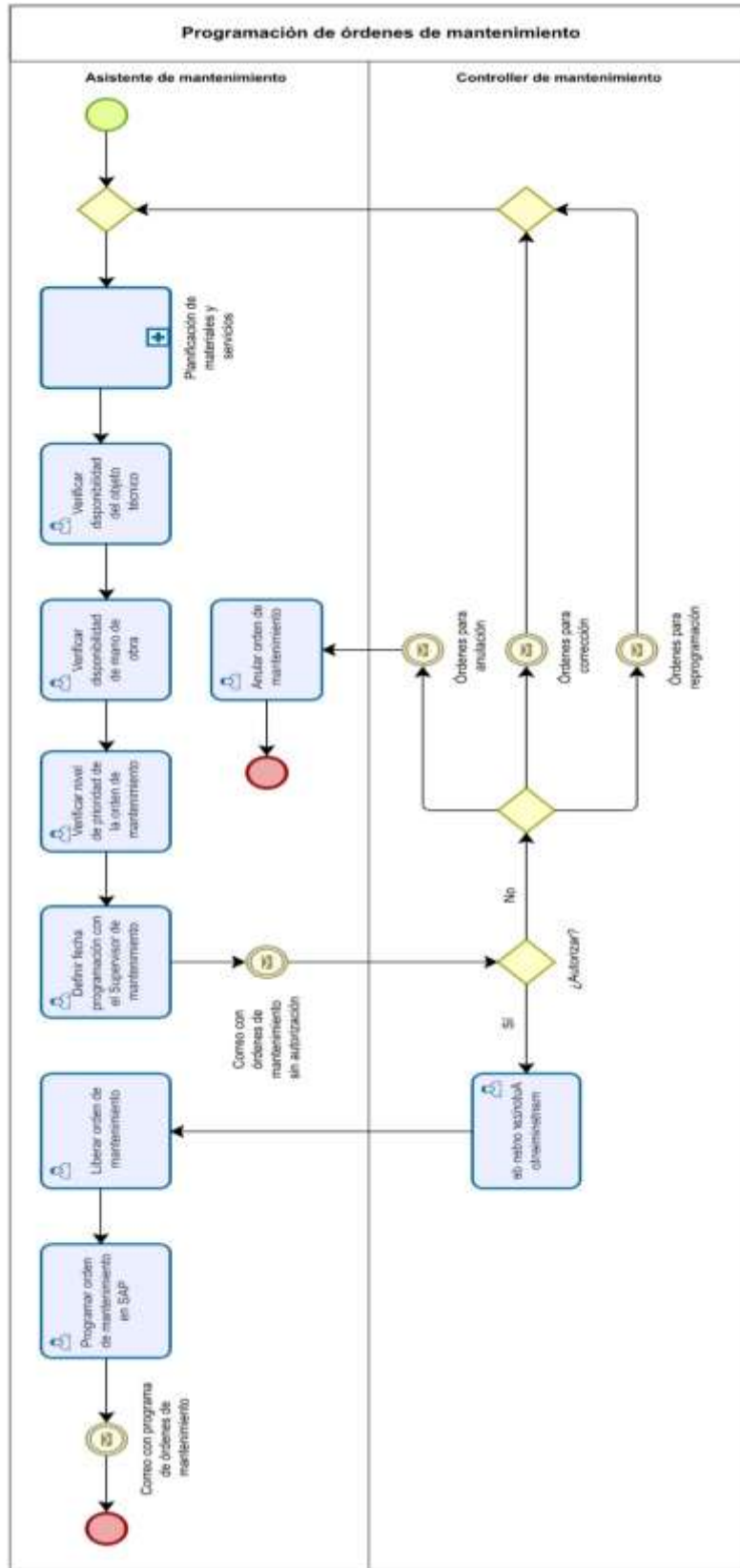
doi:<https://doi.org/10.18050/ingnosis.v3i2.2045>

ANEXOS

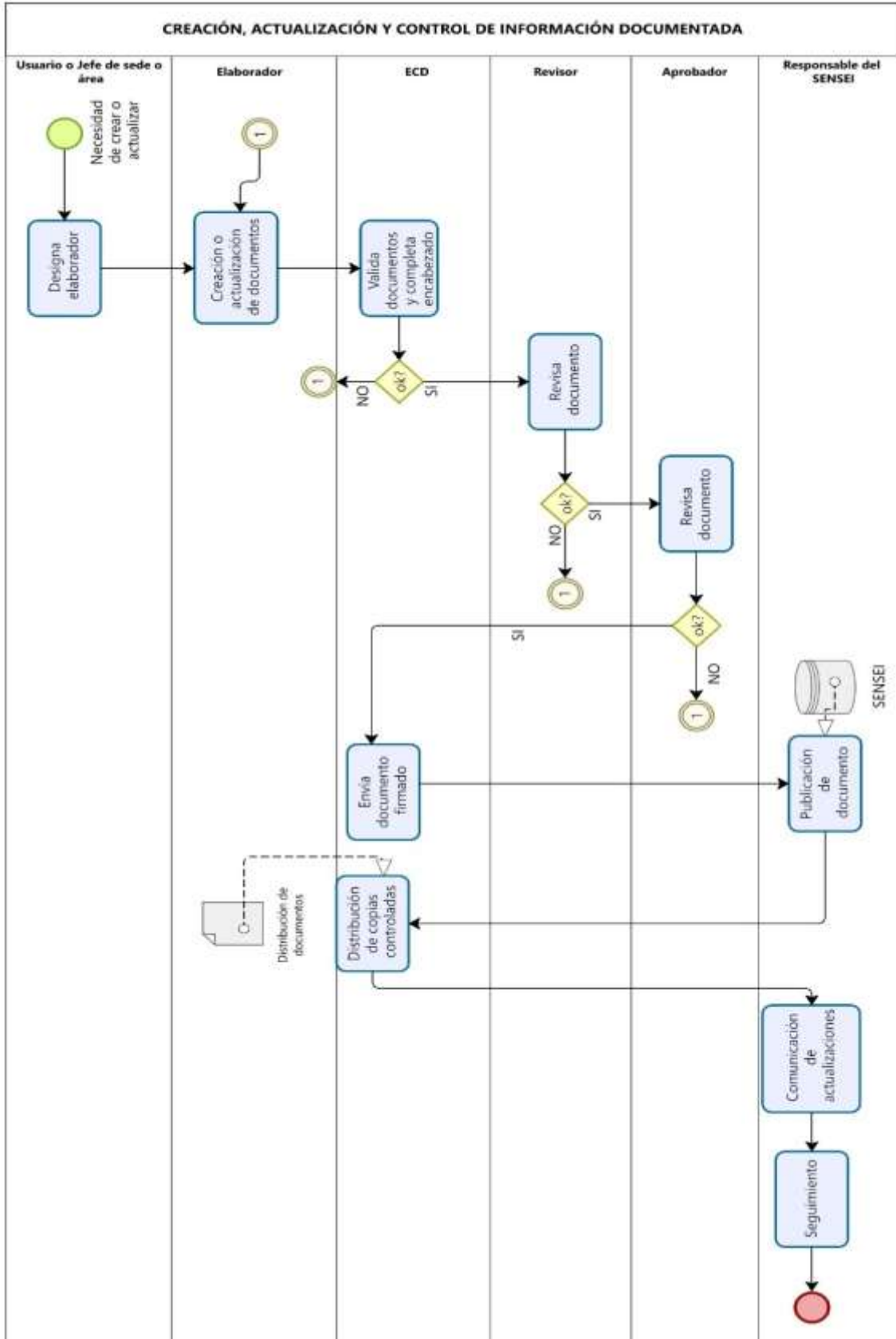
Anexo 1: Diagrama de Flujo de atención de avisos de mantenimiento.



Anexo 2: Diagrama de Flujo de Programación de ordenes de mantenimiento.



Anexo 3: Diagrama de Flujo de Proyecto SENSEI de la empresa



Anexo 4: Formato de matriz de paradas.

PROCESO/EQUIPOS PLANTA MOLINO 2024		Fecha de Incidente	Tiempo disponible deseado del equipo	Tiempo de Paradas	Nro de Paradas o Fallas
PROCESO	CODIGO SAP EQUIPO	DD/MM/AA	HORAS	HORAS	CANTIDAD
S1. Almacenamiento	01-TABLFC-00000002				
S1. Almacenamiento	01-TRACAN-00000008				
S1. Almacenamiento	01-TRACAN-00000009				
S1. Almacenamiento	01-TRAHEL-00000001				
S1. Almacenamiento	01-TRAHEL-00000002				
S1. Almacenamiento	01-TRAHEL-00000003				
S1. Almacenamiento	01-TRAPAL-00000001				
S1. Almacenamiento	01-TRAPAL-00000002				
S1. Almacenamiento	01-TRAPAL-00000003				
S1. Almacenamiento	01-TRAPAL-00000004				
S1. Almacenamiento	01-TRAPAL-00000005				
S1. Almacenamiento	01-TRAPAL-00000006				
S1. Almacenamiento	01-TRAPAL-00000007				
S2. Molienda	01-DISVIA-00000001				
S2. Molienda	01-DISVIA-00000002				
S2. Molienda	01-DISVIA-00000003				
S2. Molienda	01-DISVIA-00000004				
S2. Molienda	01-FILMAN-00000002				
S2. Molienda	01-FILMAN-00000003				
S2. Molienda	01-FILMAN-00000004				
S2. Molienda	01-LIMGRA-00000001				
S2. Molienda	01-LIMGRA-00000002				
S2. Molienda	01-LIMGRA-00000003				
S2. Molienda	01-MOLMAR-00000001				
S2. Molienda	01-MOLMAR-00000002				
S2. Molienda	01-SILOAB-00000006				
S2. Molienda	01-TRACAN-00000002				
S2. Molienda	01-TRACAN-00000003				
S2. Molienda	01-TRACAN-00000004				
S2. Molienda	01-TRACAN-00000005				
S2. Molienda	01-TRACAN-00000006				
S2. Molienda	01-TRAHEL-00000011				
S2. Molienda	01-TRAHEL-00000012				
S2. Molienda	01-TRAHEL-00000013				
S2. Molienda	01-TRAHEL-00000014				
S2. Molienda	01-TRAHEL-00000015				
S2. Molienda	01-TRAHEL-00000016				
S3. Harina	01-BALTOL-00000001				

Anexo 5: Plan de mantenimiento de planta molino.

PLAN DE MANTENIMIENTO 2024				
PLANTA	EQUIPO	MANTENIMIENTO	FECHA	HOJA RUTA
Molino Trujillo	01-MESDEN-00000001	CAMBIO DE FAJA	1/07/2024	HR-MOLT-209
Molino Trujillo	01-PREPEL-00000001	MTTO PREV DE MOTOR	2/07/2024	HR-MOLT-025
Molino Trujillo	01-PREPEL-00000001	MTTO PREV DE MOTOR	2/07/2024	HR-MOLT-025
Molino Trujillo	01-CMPAIR-00000001	CAMBIO DE FILTROS COMPRESOR	3/07/2024	HR-MOLT-163
Molino Trujillo	01-TRAHEL-00000004	CAMBIO DE CADENA	3/07/2024	HR-MOLT-037
Molino Trujillo	01-TRAHEL-00000005	CAMBIO DE CADENA	3/07/2024	HR-MOLT-037
Molino Trujillo	01-TRAHEL-00000006	CAMBIO DE CADENA	3/07/2024	HR-MOLT-037
Molino Trujillo	01-QUEBRA-00000001	CAMBIAR SELLOS QUEBRANTADOR	10/07/2024	HR-MOLT-910
Molino Trujillo	01-TRAHEL-00000007	CAMBIO DE CADENA	11/07/2024	HR-MOLT-037
Molino Trujillo	01-TRAPAL-00000013	CAMBIO DE FAJA	15/07/2024	HR-MOLT-045
Molino Trujillo	CH-PI-M-TRU	LIMPIAR CANALETAS ELÉCTRICAS	15/07/2024	HR-MOLT-957
Molino Trujillo	01-TRACAN-00000002	CAMBIO DE CANGILONES	17/07/2024	HR-MOLT-166
Molino Trujillo	01-TRAHEL-00000002	CAMBIO DE FAJA	20/07/2024	HR-MOLT-050
Molino Trujillo	01-TRAHEL-00000003	CAMBIO DE FAJA	20/07/2024	HR-MOLT-051
Molino Trujillo	01-TRAHEL-00000008	MTTO PREV DE MOTORREDUCTOR	29/07/2024	HR-MOLT-011
Molino Trujillo	01-PREPEL-00000001	MTTO PREV TABLERO ELECTRICO	30/07/2024	HR-MOLT-135
Molino Trujillo	01-TRAPAL-00000013	CAMBIO DE FAJA	30/07/2024	HR-MOLT-045
Molino Trujillo	CH-PI-M-TRU	CAMBIO DE FAJA	30/07/2024	HR-MOLT-950
Molino Trujillo	CH-PI-M-TRU	MTTO SEMESTRAL DE LINEA GAS	31/07/2024	HR-MOLT-132
Molino Trujillo	01-MOLMAR-00000002	CAMBIAR CHUMACERAS	1/08/2024	HR-MOLT-921
Molino Trujillo	01-ACONDI-00000001	CAMBIO DE FAJA	7/08/2024	HR-MOLT-066
Molino Trujillo	01-ACONDI-00000008	CAMBIO DE FAJA	7/08/2024	HR-MOLT-067
Molino Trujillo	01-TRAPAL-00000012	CAMBIO DE CADENA	7/08/2024	HR-MOLT-036
Molino Trujillo	01-CMPAIR-00000001	CAMBIO DE FAJA	13/08/2024	HR-MOLT-062
Molino Trujillo	01-BALPLT-00000135	MTTO PREV Y CERTIFICAR BALANZA	15/08/2024	HR-MOLT-143
Molino Trujillo	01-BALPLT-00000062	MTTO PREV Y CERTIFICAR BALANZA	15/08/2024	HR-MOLT-145
Molino Trujillo	01-BALPLT-00000064	MTTO PREV Y CERTIFICAR BALANZA	15/08/2024	HR-MOLT-142
Molino Trujillo	01-BALPLT-00000065	MTTO PREV Y CERTIFICAR BALANZA	15/08/2024	HR-MOLT-145
Molino Trujillo	01-BALPLT-00000133	MTTO PREV Y CERTIFICAR BALANZA	15/08/2024	HR-MOLT-142
Molino Trujillo	01-BALPLT-00000134	MTTO PREV Y CERTIFICAR BALANZA	15/08/2024	HR-MOLT-142
Molino Trujillo	01-QUEBRA-00000001	CAMBIAR SELLOS QUEBRANTADOR	15/08/2024	HR-MOLT-910
Molino Trujillo	01-CMPAIR-00000001	CAMBIO DE FILTROS SEPARADOR	15/08/2024	HR-MOLT-922
Molino Trujillo	01-MOLMAR-00000002	MTTO PREV DE MOTOR	15/08/2024	HR-MOLT-023
Molino Trujillo	01-PREPEL-00000001	MTTO MATRIZ Y RODILLOS	15/08/2024	HR-MOLT-164
Molino Trujillo	01-ELEBOM-00000017	MTTO PREV DE ELECTROBOMBA	20/08/2024	HR-MOLT-007
Molino Trujillo	01-PREPEL-00000001	CAMBIO DE FAJA	20/08/2024	HR-MOLT-057
Molino Trujillo	CH-PI-M-TRU	MTTO 4000 H COMPRESOR ALMIG	30/08/2024	HR-MOLT-127