

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**“EVALUACIÓN DE LA CONFIABILIDAD MEDIANTE
DISTRIBUCIÓN WEIBULL PARA LA MEJORA OPERACIONAL
DE LA MOLINERA M y E S.A.C – JAÉN”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA**

Autores

Bach. Luis Pablo García Guerrero

Bach. Marco Antonio Chilcón Barahona

Asesor

Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez

Línea de investigación: Energías alternativas

JAÉN – PERÚ, DICIEMBRE, 2024

NOMBRE DEL TRABAJO

**EVALUACIÓN DE LA CONFIABILIDAD ME
DIANTE DISTRIBUCIÓN WEIBULL PARA L
A MEJORA OPERACIONAL DE LA MOLIN
E**

AUTOR

**Luis Pablo García Guerrero & Marco Anto
nio Chilcón Barahona**

RECuento DE PALABRAS

16238 Words

RECuento DE CARACTERES

87133 Characters

RECuento DE PÁGINAS

60 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

1.4MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 5, 2024 12:37 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 5, 2024 12:38 PM GMT-5

● **17% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 17% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 2% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dr. Alexander Huamán Mera
Responsable de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería

FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 10 de julio del 2024, siendo las 05:30 horas, se reunieron de manera presencial los integrantes del Jurado:

Presidente: Mg. Jaime Odar Honorio Acosta

Secretario: Mg. Mg. Lenin Franchescoleth Nuñez Pintado

Vocal: Mg. Mario Felix Olivera Aldana

Para evaluar la Sustentación del **Informe Final** de:

- Trabajo de Investigación
- Tesis**
- Trabajo de Suficiencia Profesional

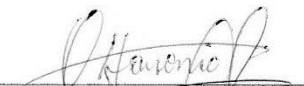
Titulado: **"EVALUACION DE LA CONFIABILIDAD MEDIANTE DISTRIBUCION WEIBULL PARA LA MEJORA OPERACIONAL DE LA MOLINERA M Y E S.A.C – JAEN"** presentado por los bachilleres *Luis Pablo García Guerrero y Marco Antonio Chilcon Barahona*, de la Carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:


Aprobar Desaprobar **Unanimidad** Mayoría Con la siguiente mención:

- a) Excelente 18,19,20 ()
- b) Muy bueno 16, 17 ()
- c) Bueno 14, 15 **(15)**
- d) Regular 13 ()
- e) Desaprobada 12 ó menos ()

Siendo las 05:30 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.


Presidente


Secretario


Vocal

ÍNDICE

ÍNDICE.....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT.....	vii
I. INTRODUCCIÓN	8
1.1 Antecedentes.....	8
1.1.1 Internacionales.....	8
1.1.2 Nacionales.....	10
1.1.3 Regional y local.....	11
1.2 Realidad problemática	12
1.3 Formulación del problema.....	13
1.4 Hipótesis	13
1.5 Justificación	13
1.5.1 Justificación técnica.....	13
1.5.2 Justificación económica.....	13
1.5.3 Justificación ambiental	13
1.5.4 Justificación social.....	13
II. OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo general.....	14
2.2 Objetivos específicos	14
III. MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1 Determinación del historial de fallas	15
3.2 Estimación de la prioridad de fallas.....	15
3.3 Determinación de la confiabilidad.....	15
3.4 Ubicación del área de estudio	16
3.5 Población y muestra.....	17
3.6 Tipo de investigación.....	17
3.6.1 Según su finalidad.....	17
3.6.2 Según su alcance	18
3.6.3 Según su diseño.....	18

3.7	Materiales y equipos	18
3.7.1	Equipos.....	18
3.7.2	Bienes y servicios.....	18
3.8	Técnicas e instrumentos	18
3.9	Análisis estadístico	19
IV.	RESULTADOS	20
4.1	Determinación del historial de fallas de las máquinas/equipos de la molinera M y E S.A.C.....	20
4.2	Resultados de estimación de la prioridad de fallas de las máquinas/equipos	24
4.3	Resultados de cálculo de la confiabilidad de las máquinas/equipos más críticos de la molinera mediante distribución Weibull.....	25
4.3.1	Cálculo de confiabilidad mediante distribución de Weibull de las máquinas elevadoras.....	29
4.3.2	Cálculo de confiabilidad mediante distribución de Weibull de la máquina descascaradora	32
4.3.3	Cálculo de confiabilidad mediante distribución de Weibull de las máquinas pulidoras de agua	36
4.3.4	Cálculo de confiabilidad mediante distribución de Weibull de la máquina lustradora.....	39
4.3.5	Cálculo de confiabilidad mediante distribución de Weibull de la máquina mesa pre limpia	42
V.	DISCUSIÓN	46
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
	ANEXOS.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Procedimiento de cálculo para la investigación	16
Figura 2	Ubicación de la empresa Molinera M y E S.A.C.	17
Figura 3	Diagrama de Pareto de tiempos de falla para las máquinas /equipos	25
Figura 4	Representación de la tasa de fallas durante la vida útil de las máquinas/equipos ...	27
Figura 5	Ecuación lineal de regresión para tiempos de operación de las máquinas elevadoras	30
Figura 6	Comportamiento de la confiabilidad para diferentes periodos operativos de las máquinas elevadoras	32
Figura 7	Ecuación lineal de regresión para tiempos de operación de la máquina descascaradora	33
Figura 8	Comportamiento de la confiabilidad para diferentes periodos operativos de la máquina descascaradora.....	35
Figura 9	Ecuación lineal de regresión para tiempos de operación de las máquinas pulidoras de agua	36
Figura 10	Comportamiento de la confiabilidad para diferentes periodos operativos de las máquinas pulidoras de agua	38
Figura 11	Ecuación lineal de regresión para tiempos de operación de la máquina lustradora	39
Figura 12	Comportamiento de la confiabilidad para diferentes periodos operativos de la máquina lustradora.....	41
Figura 13	Ecuación lineal de regresión para tiempos de operación de la máquina mesa pre limpia	42
Figura 14	Comportamiento de la confiabilidad para diferentes periodos operativos de la máquina mesa pre limpia	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Tiempos de operación y de reparación de máquinas/equipos	20
Tabla 2	Calculo de análisis de Pareto de tiempos de falla para las máquinas/equipos	24
Tabla 3	Alineación de parámetros por el método de mínimos cuadrados para tiempos de operación de las máquinas elevadoras	29
Tabla 4	Resultados de cálculo de la confiabilidad para diferentes periodos operativos de las máquinas elevadoras	31
Tabla 5	Alineación de parámetros por el método de mínimos cuadrados para tiempos de operación de la máquina descascaradora	33
Tabla 6	Resultados de cálculo de la confiabilidad para diferentes periodos operativos de la máquina descascaradora.....	34
Tabla 7	Alineación de parámetros por el método de mínimos cuadrados para tiempos de operación de las máquinas pulidoras de agua	36
Tabla 8	Resultados de cálculo de la confiabilidad para diferentes periodos operativos de las máquinas pulidoras de agua	37
Tabla 9	Alineación de parámetros por el método de mínimos cuadrados para tiempos de operación de la máquina lustradora	39
Tabla 10	Resultados de cálculo de la confiabilidad para diferentes periodos operativos de la máquina lustradora.....	40
Tabla 11	Alineación de parámetros por el método de mínimos cuadrados para tiempos de operación de la máquina mesa pre limpia.....	42
Tabla 12	Resultados de cálculo de la confiabilidad para diferentes periodos operativos de la máquina mesa pre limpia	43
Tabla 13	Resumen de resultados del cálculo de la confiabilidad para periodos operativos referenciales de los equipos más críticos evaluados	45

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo evaluar la confiabilidad mediante distribución Weibull para la mejora operacional de la molinera M y E S.A.C. – Jaén. Según su finalidad la investigación es aplicada, con un diseño no experimental. Se recopiló el historial de fallas de las máquinas durante el año 2022, obteniendo datos operativos y de reparación del área de mantenimiento y administración. Utilizando el diagrama de Pareto, se identificaron las máquinas críticas, determinando que el 80% del tiempo de reparación no programada correspondía a fallas en elevadores, descascaradoras, pulidoras de agua, lustradoras y mesas pre limpias. La confiabilidad de las máquinas críticas se evaluó con la distribución Weibull, considerando los tiempos de operación hasta la falla y los parámetros α y β de la distribución. Según la curva de Davies, las máquinas elevadoras y lustradoras estaban en un periodo de desgaste ($\beta > 1$), mientras que las descascaradoras y pulidoras de agua mostraban fallas aleatorias constantes. La confiabilidad para un mes (160 horas) de operación de las máquinas elevadoras era casi nula, aumentando al 41% para 30 horas. Las descascaradoras mostraron una confiabilidad muy baja del 24% para 160 horas y del 77% para 30 horas. Las mesas pre limpias, pulidoras de agua y lustradoras tuvieron una confiabilidad del 46-50% para 160 horas y del 80-93% para 30 horas. En conclusión, la confiabilidad mensual de las máquinas evaluadas es baja, sugiriendo la necesidad de establecer criterios para mejorar la operación de la molinera.

Palabras clave: Evaluación, confiabilidad, distribución Weibull, mejora operacional, historial de fallos.

ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the reliability of distribution using Weibull for the operational improvement of the mill M y E S.A.C. – Jaén. According to its purpose, the research is applied, with a non-experimental design. The failure history of the machines was collected during the year 2022, obtaining operational and repair data from the maintenance and administration area. Using the Pareto diagram, critical machines were identified, determining that 80% of unscheduled repair time would correspond to failures in elevators, hullers, water polishers, illustrators, and pre-clean tables. The reliability of critical machines was evaluated with the Weibull distribution, considering the operating times until failure and the parameters α and β of the distribution. According to the Davies curve, the lifting and illustrating machines were in a wear period ($\beta > 1$), while the water hullers and polishers showed constant random failures. The reliability for one month (160 hours) of operation of the lifting machines was almost zero, increasing to 41% for 30 hours. The hullers showed a very low reliability of 24% for 160 hours and 77% for 30 hours. The pre-clean, water polisher, and illustrator tables had a reliability of 46-50% for 160 hours and 80-93% for 30 hours. In conclusion, the monthly reliability of the evaluated machines is low, suggesting the need to establish criteria to improve the operation of the mill.

Keywords: Evaluation, reliability, Weibull distribution, operational improvement, failure history.

I. INTRODUCCIÓN

Desde la segunda revolución industrial (1850), con la aparición de máquinas y equipos surgió la necesidad de mantener y prolongar la vida útil de la maquinaria o máquinas, equipo e instalaciones, para obtener un rendimiento aceptable de los mismos durante más tiempo y a reducir el número de fallas, maximizando la disponibilidad de manera eficiente, segura y económica, desarrollando los diferentes métodos y técnicas para elaborar los programas de mantenimiento, proponer procedimientos de control de mantenimiento, internalizando los reglamentos y normas estándares de Higiene y Seguridad industrial. Uno de los problemas más grandes de una fábrica es el rápido envejecimiento, deterioro, detección de fallas tardías o adultas de las máquinas, equipos e instalaciones y el alto número de fallas presentadas lo cual minimiza la disponibilidad, inseguridad, pérdidas económicas y la reducción de la vida útil.

Hoy en día la principal preocupación de las fábricas en un mundo industrializado, y empresas agroindustriales es ser una empresa competente y auto sostenible, teniendo en cuenta ello, buscamos una alternativa de solución a este problema y al menor costo posible, aprovechando los conceptos de mantenimiento, basado en la condición, y análisis de la confiabilidad mediante distribución Weibull. En una industria, el mantenimiento y la confiabilidad en las máquinas son un problema muy serio a mantener, ya que todos los equipos están propensos a fallas ya sea por la mala operación, instalación o el tiempo de trabajo.

En el Perú más del 90% de las universidades e institutos consideran al mantenimiento industrial como una opción rentable para los nuevos egresados de ingeniería, sin embargo, no le dan importancia a estos temas (Rivera, 2011).

En la investigación se evalúa la confiabilidad mediante distribución Weibull para la mejora operacional de la molinera M y E S.A.C. – Jaén. Primero se determina el historial de fallas de las máquinas y equipos de la molinera durante el año 2022, luego se estima la prioridad de fallas de las máquinas y equipos, y por último se determina la confiabilidad de las máquinas y equipos más críticos de la molinera mediante distribución Weibull.

1.1 Antecedentes

1.1.1 Internacionales

Rodríguez (2018) en su investigación “Análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad mediante la aplicación de la distribución de Weibull. Estudio de caso separadoras de aceite westfalia de la empresa Agip Oil Ecuador” Riobamba Ecuador. Tuvo

objetivo principal determinar la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, en la cual tiene como objeto de medir y optimizar la gestión de mantenimiento con base en un sustento técnico. Estimando los índices de confiabilidad de la separadora de aceite con base en los tiempos de buen funcionamiento registradas en la bitácora de operación y mantenimiento. En éste estudio de investigación se está utilizando la técnica inductiva-deductiva. Utilizando como instrumento la encuesta al personal operativo, se utiliza el método deductivo para tomar postulados y teorías generales sobre la metodología CMD y aplicarlos al caso con el fin de establecer estrategias de optimización del mantenimiento. La confiabilidad o probabilidad de que el separador de aceite continúe funcionando correctamente después de 500 horas de operación es del 62.38%. La inducción se aplicará al analizar hechos específicos, como la ocurrencia de fallas y reparaciones del separador de aceite, con el fin de obtener índices de aplicación general en la gestión del mantenimiento, como mantenibilidad, confiabilidad y disponibilidad.

Castro & Chicaiza (2016) en su investigación “Análisis del estado actual de las máquinas de la empresa maderas y arquitectura Madearq S.A. del Cantón Ambato y su incidencia en la confiabilidad”. Su objetivo principal fue evaluar los factores que influyen en la disponibilidad de la maquinaria de la empresa, analizar las alternativas adecuadas para realizar las actividades de mantenimiento, evaluar el estado actual de las máquinas de la empresa Maderas y Arquitectura Madearq S.A. y determinar su impacto en la confiabilidad estableciendo los parámetros de operación y trabajo de las máquinas de la empresa para establecer mejores condiciones de cuidado que se les debe brindar, se utilizó una investigación exploratoria que permitió la determinación de todos los factores predominantes que influyen en el análisis del estado actual de las máquinas de la empresa considerando la población de estudio toda la maquinaria que posee la empresa y la muestra escogida fueron las máquinas que se encuentran en los inventarios de la empresa teniendo como resultados con el Análisis Modal de Falla – Efecto de las Máquinas. La Enchapadora de Cantos tiene el porcentaje más bajo en la investigación, con un 16.67% de sus elementos NPR > Promedio, mientras que la máquina Lijadora Calibradora tiene el mejor porcentaje, con un 57.78% de sus elementos NPR > Promedio.

Gasca, Camargo, & Medina (2017) en su investigación “Sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en el Sector Industrial” Santa Marta- Colombia. Tuvo como objetivo proponer una herramienta para evaluar la confiabilidad de equipos críticos utilizando como método el desarrollo del sistema para identificar los equipos que deben ser atendidos en función a su impacto sobre la operación, creando un catálogo de fallas que genera

una base de datos teniendo como resultados la implementación de forma ágil, fácil y económica utilizando una aplicación de hojas de cálculo en una industria transformadora de plástico, además se realizó la clasificación de los equipo según el valor del IC.

1.1.2 Nacionales

Suarez (2023) en su investigación “Evaluación de confiabilidad mediante distribución de Weibull para el mantenimiento de los equipos de la empresa Rainforest Trading S.A.C, Bagua Grande, Utcubamba – Amazonas”. El objetivo del estudio fue evaluar la confiabilidad de la distribución Weibull para el mantenimiento de los equipos de la empresa. Esta investigación es básica, y utiliza una investigación descriptiva correlacional causal en lugar de un enfoque experimental. Se utilizó el diagrama de Pareto para determinar la prioridad de fallas de los equipos, y se encontró que fallas en el transformador de 200 kVA, 10 kV/380-220 V, seccionadores de 10 kV, electrónica, trilladora y compresor de aire representaron el 80% de las reparaciones debido a fallas no programadas. Se evaluó para dos escenarios, uno considerando solo los equipos de procesamiento de café, y el otro incluyendo los equipos del sistema de utilización (MT) de energía eléctrica (transformador y seccionadores), se utilizaron los tiempos de operación hasta la falla y la estimación de los parámetros de Weibull para calcular la confiabilidad se utilizó la distribución de Weibull. Se concluyó que se alcanzó una confiabilidad del 40% durante un período operativo de 340 horas. Considerando los equipos eléctricos del sistema de utilización de MT y equipos de proceso del café, solo llega al 39%, debido a que hay más fallas.

Rosado (2017) en su investigación “Evaluación de métodos para determinar la confiabilidad mediante la distribución Weibull: caso planta san Antonio” Arequipa- Perú. Su objetivo general fué realizar una evaluación de la distribución de Weibull con el objetivo específico de determinar el enfoque más preciso, simple, repetible y asequible que pudiera verificarse en el caso de la faja transportadora número 64 de la fábrica de San Antonio. Proporcionar una descripción general de los fundamentos teóricos actuales de los indicadores de confiabilidad y mantenimiento, así como las metodologías para determinar la confiabilidad utilizando la distribución de Weibull. Calcular los parámetros de Weibull utilizando los siete métodos actualmente en uso, incluido el enfoque gráfico, el método de momentos, el método de mínimos cuadrados, el método que utiliza el Matlab, el método de Excel más el método de máxima verosimilitud y el método que utiliza el software Reliasoft. El tipo de investigación es exploratoria, descriptiva y causal explicativa, considerando como población a la operación de la maquina en mención y la muestra está definida por esta máquina con las técnicas de la

captura de información de campo, entrevista a los supervisores, empleando la técnica de ficha resumen de los análisis documentales, donde se obtuvo que el método de Matlab presenta el mejor ajuste y todos los demás tienen estadísticamente un desempeño aproximado.

Reaño (2019) en su investigación “Propuesta de mantenimiento centrado en confiabilidad en una empresa reprocesadora de subproductos de arroz para minimizar el número de averías” Chiclayo – Perú. El objetivo fue proponer un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para una empresa que reprocesa subproductos de arroz para minimizar el número de averías. La herramienta de análisis de criticidad se utilizó para identificar las máquinas críticas del sistema de producción, clasificándose el selector y el compresor como máquinas de criticidad alta, el secador de aire y la criba como máquinas de criticidad media, y las máquinas de coser, elevadores, básculas y motores como máquinas de criticidad baja. Las máquinas más importantes del sistema de producción fueron entonces objeto de un análisis de los modos y efectos de los fallos. Esto se hizo para que se pudiera utilizar un árbol de decisión RCM para seleccionar las acciones de mantenimiento preventivo que se deberían realizar y, como resultado, se pudiera crear un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad.

García (2018) en su investigación “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”. El objetivo del proyecto fue proponer e implementar un plan de gestión de mantenimiento para aumentar la confiabilidad de las máquinas involucradas en su proceso de producción de apilado de arroz. Se concluyó que se implementó un plan de gestión de mantenimiento basado en TPM utilizando cronogramas, registros, programas de capacitación y la integración de grupos multidisciplinarios. Esto permitió aumentar la confiabilidad de las máquinas al reducir el porcentaje de paradas no programadas en un 8% y aumentar el tiempo promedio entre fallas de 42 a 62 minutos. Además, se obtuvieron ahorros de S/2000 mensuales y se logró un aumento general de la eficiencia de los equipos del 15%.

1.1.3 Regional y local

Sólo existen trabajos que se refieren a diseños y propuestas de planes de mantenimiento aplicados a otras áreas; a nivel regional y local no existen proyectos de investigación referentes a la evaluación de confiabilidad mediante modelos estadísticos como el modelo de distribución de Weibull aplicado a empresas agroindustriales.

1.2 Realidad problemática

El mantenimiento incide en los aspectos comerciales del rendimiento de una instalación, influyendo directamente en su productividad y rentabilidad. Una planta industrial es el lugar donde se sitúan los equipos y maquinaria esenciales. La producción perdida en un solo día debido a una interrupción imprevista no se puede recuperar sin gastos adicionales. La principal responsabilidad del departamento de mantenimiento es mantener el grado requerido de disponibilidad del sistema para maximizar el rendimiento de la empresa y, en consecuencia, aumentar la producción. Por otra parte, los costos asociados al mantenimiento pueden representar aproximadamente el 20-30% de los gastos totales relacionados con la operación de una planta, llegando incluso al 40% del presupuesto operativo en empresas de gran escala centradas en instalaciones industriales (Vishnu y Regikumar, 2016).

El funcionamiento seguro en diversos sectores industriales. Las instalaciones se han convertido en un tema importante en los campos de la ergonomía y la economía. La confiabilidad se basa en la vida útil de un material, que se caracteriza por tres conceptos; confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, a las que se puede agregar la seguridad. Con el avance de la tecnología, en estos últimos años, las instalaciones industriales se vuelven demasiado complejas, lo que hace que la confiabilidad de las máquinas se vuelva más compleja. Diversos estudios se han centrado en el análisis de confiabilidad en el ámbito industrial basándose en la evolución de la tasa de fallos, esta herramienta es muy importante para caracterizar el comportamiento de los equipos en diferentes fases de su vida útil (Hafaifa et al., 2016).

La Molinera M y E S.A.C, presenta un crecimiento correspondiente al pilado y reprocesos de arroz, durante el año 2022, aumentó de 03 días a la semana de pilado a 04 días por ello se tiene planificado un día verificar el estado de las máquinas y equipos. No existe una metodología efectiva de evaluación de confiabilidad que permita establecer criterios que brinden mejoras, la modificación del plan de mantenimiento y la ampliación del tiempo de operación de los equipos en el área de procesamiento de arroz. Las máquinas del área de apilado y reprocesamiento de arroz también sufren paradas y averías imprevistas. Esto conlleva a que si una máquina deja de operar se paraliza todo el proceso, considerando que no existe garantía de operación de las máquinas generando incumplimiento con sus clientes.

1.3 Formulación del problema

¿La evaluación de la confiabilidad mediante distribución weibull mejorará la operación de la molinera M y E S.A.C. – Jaén?.

1.4 Hipótesis

Con la evaluación de la confiabilidad mediante distribución Weibull se mejora la operación de la moliner M y E S.A.C. – Jaén.

1.5 Justificación

1.5.1 Justificación técnica

La evaluación de la confiabilidad mediante la distribución Weibull se presenta como un enfoque técnico crucial para optimizar la operatividad de la Molinera M y E S.A.C. Desde un punto de vista técnico, la aplicación de la distribución Weibull proporcionará un análisis detallado de la confiabilidad de los equipos y procesos en la molinera, identificando posibles puntos de fallo y permitiendo implementar estrategias de mejora.

1.5.2 Justificación económica

Desde una perspectiva económica, la mejora operacional derivada de la evaluación de confiabilidad impactará directamente en la eficiencia y rentabilidad de la Molinera M y E S.A.C. La optimización de los recursos y la reducción de tiempos de inactividad contribuirán a una gestión más eficaz y a la maximización de los beneficios económicos.

1.5.3 Justificación ambiental

Ambientalmente, la optimización operativa puede conducir a una gestión más sostenible de los recursos, minimizando el impacto ambiental de las operaciones de la molinera. Esto reflejará un compromiso con la responsabilidad social y ambiental, mejorando la imagen de la empresa en el contexto local y global.

1.5.4 Justificación social

Socialmente, la mejora operacional también conlleva beneficios para la comunidad local en Jaén, generando empleo sostenible y contribuyendo al desarrollo económico regional. Además, la eficiencia en la producción podría traducirse en productos de mejor calidad, beneficiando a los consumidores finales.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar la confiabilidad mediante distribución Weibull para la mejora operacional de la molinera M y E S.A.C. – Jaén.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar el historial de fallas de las máquinas/equipos de la molinera.
- Estimar la prioridad de fallas de las máquinas/equipos de la molinera.
- Determinar la confiabilidad de las máquinas/equipos más críticos de la molinera mediante distribución Weibull.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Determinación del historial de fallas

La determinación del historial de fallas, corresponde a los datos operativos y de reparación de las máquinas que participan en el proceso de arroz. Se recopilaron los registros de incidencias del área de mantenimiento y del área administrativa de la empresa, donde se documentan las órdenes de compra y los servicios de reparación de equipos. Principalmente, se centró en la información contenida en los registros de mantenimiento correctivo correspondientes al año 2022, y se ordenó la data por cada tipo de máquina.

3.2 Estimación de la prioridad de fallas

Para la estimación de la prioridad de fallas, se realizó un análisis de Pareto, para lo cual se consideró los tiempos de reparación de cada máquina en el proceso de producción de arroz. Esta herramienta de Pareto, ampliamente reconocida en operaciones y mantenimiento, sigue el principio de la regla 80/20. Se ordenan estos datos en orden descendente, sumando todos los tiempos de falla para obtener el total. Se calculó el porcentaje de tiempo de falla de cada máquina dividiendo su tiempo de falla entre el tiempo total y multiplicando por 100. A continuación, se calculó el porcentaje acumulativo de tiempo de falla sumando secuencialmente los porcentajes individuales. Finalmente, se creó una tabla con los tiempos de falla, sus porcentajes y los porcentajes acumulativos, y se construyó un gráfico de Pareto, donde un gráfico de barras representa los tiempos de falla y una línea muestra el porcentaje acumulativo, permitiendo identificar las máquinas que más contribuyen a los tiempos de falla totales y priorizar mejoras.

3.3 Determinación de la confiabilidad

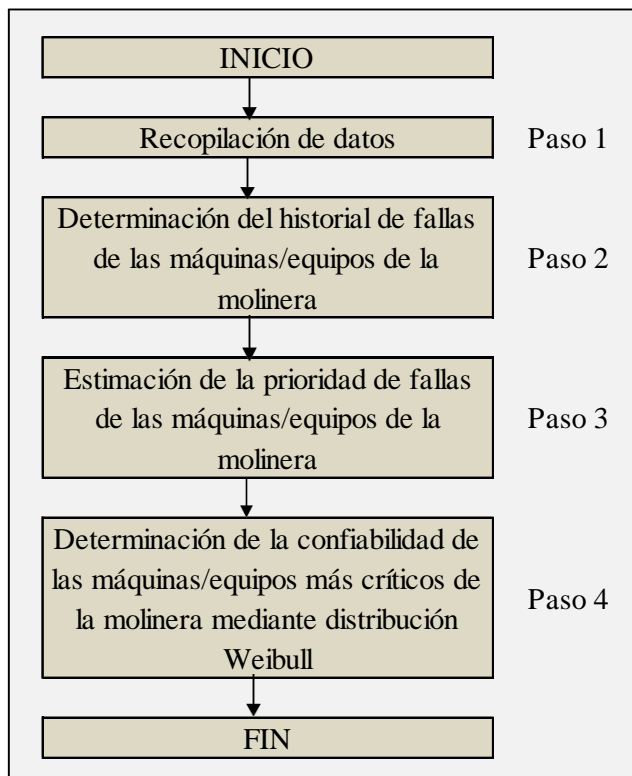
Para determinar la confiabilidad de las máquinas/equipos más críticos de la molinera, se utilizó el modelo de distribución de Weibull de dos parámetros, y los datos recopilados de tiempos hasta la falla (tiempos de operación) de las máquinas. Luego, se estimó el parámetro de forma (β) y el parámetro de escala (α) de la distribución de Weibull mediante métodos estadísticos, como el método de mínimos cuadrados. Los resultados de la distribución de Weibull se obtienen luego de utilizar la regresión lineal, que aproxima los valores utilizando el ajuste de mínimos cuadrados de una línea recta. Con estos parámetros, se calculó la función de confiabilidad, que es la probabilidad de que una máquina funcione sin fallas hasta un tiempo

específico. Esta función se expresa como $R(t) = e^{-(t/\alpha)^\beta}$, donde $R(t)$ es la confiabilidad en el tiempo t . Finalmente, se interpretó esta función para evaluar la probabilidad de supervivencia de las máquinas en diferentes periodos y tomar decisiones informadas sobre mantenimiento y reemplazo.

Para evaluar la confiabilidad de máquinas/equipos de la molinera utilizando la distribución Weibull, se emplearon varias etapas. La Figura 1, muestra el proceso de cálculo de la investigación de acuerdo a objetivos planteados.

Figura 1

Procedimiento de cálculo para la investigación



Nota. Tomando en cuenta objetivos planteados.

3.4 Ubicación del área de estudio

La molinera M y E S.A.C., está ubicada en la carretera Jaén –San Ignacio frente al campus universitario de la Universidad Nacional de Jaén, sector la Granja en el distrito y provincia Jaén, departamento Cajamarca. Según sus coordenadas WGS84 746174.00 E y 9372040.00 N, Zona 17S.

Figura 2

Ubicación de la empresa Molinera M y E S.A.C.



Nota. Google Earth.

3.5 Población y muestra

Según Ñaupas et al. (2018), la población se define como el conjunto completo de elementos bajo investigación o estudio. En contraste, la muestra representa una porción o subconjunto preseleccionado de elementos extraídos de la población con el propósito de llevar a cabo una investigación específica.

- Población: Máquinas/equipos de la empresa Molinera M y E S.A.C.
- Muestra: Máquinas/equipos en el pilado y proceso de arroz en la empresa Molinera M y E S.A.C., 2021-2022.
- Muestreo: Se consideró, muestreo no probabilístico a conveniencia del investigador.

3.6 Tipo de investigación

3.6.1 Según su finalidad

Aplicada, debido que se encuentra orientada a la aplicación directa de los problemas en el sector industrial, aplicando teorías que permite mejorar los indicadores de confiabilidad de las máquinas/equipos de la Molinera M y E S.A.C.

3.6.2 Según su alcance

Cuantitativo, descriptivo, busca describir las características de un fenómeno o relación. Se examina y se analiza los resultados de confiabilidad de las máquinas/equipos de la Molinera M y E S.A.C.

3.6.3 Según su diseño

No experimental (campo y gabinete), porque se realizó la recolección de información, no se manipulan variables. Asimismo se realizó la inspección de la situación actual de la maquinaria/equipo y el registro de las fallas ocurridas durante el año 2022.

3.7 Materiales y equipos

3.7.1 Equipos

Se utilizaron equipos de cómputo como laptop e impresora, y también quipos de protección personal que fueron utilizados en la etapa de recojo de datos en la Molinera M y E S.A.C.

3.7.2 Bienes y servicios

Fotocopias, anillados, movilidad e internet. Por otra parte como información secundaria se adquirió libros y artículos en los tópicos de confiabilidad y disponibilidad de máquinas en procesos industriales.

3.8 Técnicas e instrumentos

Las fichas de observación posibilitan que el investigador registre los eventos o la situación presenciada durante la investigación. En algunas ocasiones, se hace necesario emplear cámaras de video para documentar eventos que no son fácilmente perceptibles. Asimismo, se puede recurrir al análisis documental, en el cual el investigador recopila información de documentos como cuadros, informes, entre otros. Vale destacar que no se requiere una evaluación estadística del caso por parte de expertos (Gonzales, 2021). El análisis de documentos y la observación fueron los métodos de investigación empleados.

- Técnicas de observación.

Instrumento: Guía de observación de datos técnicos y operatividad de máquinas/equipos.

- Técnicas análisis documental.

Instrumento: Ficha de registro de fallas de máquinas/equipos.

3.9 Análisis estadístico

El modelo de distribución de Weibull constituye la base del análisis estadístico y se empleó el enfoque de mínimos cuadrados para ajustar los parámetros del modelo. El conjunto de datos también estuvo representado por una ecuación lineal, y el coeficiente de determinación (r^2) se empleó como indicador del grado de linealidad de los datos. Este análisis estadístico se llevó a cabo mediante el uso del software Excel.

IV. RESULTADOS

4.1 Determinación del historial de fallas de las máquinas/equipos de la molinera M y E S.A.C.

La Molinera M y E S.A.C., es una empresa dedicada al procesamiento del arroz, la misma que representa la primera actividad agrícola de la región. Para el acopio del grano, los productores son registrados con número de lote y nombre del propietario, luego pasa por el secado y pilado para posteriormente comercializarlo. Actualmente la empresa labora un solo turno desde las 8:00 hasta 18:00 horas, cuenta con 10 trabajadores y se ubica en la carretera Jaén – San Ignacio km 24.

Para el trabajo de investigación se utilizaron el historial de fallas, que corresponde a los datos operativos y de reparación de las máquinas que participan en el proceso de arroz, se cuenta con 01 máquina clasificadora, 01 máquina descascaradora, 15 máquinas elevadoras, 01 máquina elevadora de palotaje, 01 máquina lustradora, 01 máquina mesa paddy, 01 máquina mesa pre limpia, 02 máquinas pulidoras de agua, 01 máquina pulidora de piedra, 01 máquina selectora y 01 máquina zaranda. Se recopilaron los registros de incidencias del área de mantenimiento y del área administrativa, donde se documentan las órdenes de compra y los servicios de reparación de equipos. Principalmente, se centró en la información contenida en los registros de mantenimiento correctivo correspondientes al año 2022. En la Tabla 1, se presentan los tiempos de operación y reparación de máquinas/equipos.

Tabla 1

Tiempos de operación y de reparación de máquinas/equipos

Fecha	Hora	Máquina/equipo	Falla	Actividad realizada	TO (Horas)	TR (Horas)
20/01/2022	14:25	Clasificadora	Rotura de la malla de zaranda	Limpieza, cambio de malla y lubricación		1
06/02/2022	09:40	Clasificadora	Obstrucción de paso de grano en las mallas	Limpieza, sopleteado y lubricación	93	4
02/03/2022	10:00	Clasificadora	Rotura de faja	Cambio de faja y lubricación	135	3
13/09/2022	14:10	Clasificadora	Rotura de faja	Cambio de faja y lubricación	1112	3
13/10/2022	16:30	Clasificadora	Rotura de malla de zaranda	Cambio de malla y lubricación	170	1
10/12/2022	10:20	Clasificadora	Obstrucción de grano en las mallas	Limpieza, sopleteado y lubricación	328	3
02/02/2022	13:15	Descascaradora	Descalibración del paso de grano	Limpieza y ajuste de rodillos		2
23/02/2022	09:45	Descascaradora	Desgaste de rodillo	Limpieza, cambio de rodillo y ajuste	119	1
30/03/2022	14:00	Descascaradora	Desgaste de faja	Limpieza, tensión y lubricación	198	2

07/09/2022	09:55	Descascaradora	Descalibración del paso de grano	Limpieza y ajuste de rodillos	918	3
14/09/2022	08:20	Descascaradora	Desgaste de rodillo	Limpieza, cambio de rodillo y ajuste	38	3
20/09/2022	13:30	Descascaradora	Rotura de perno de porta rodillo	Limpieza, cambio de perno y lubricación	33	1
29/09/2022	17:00	Descascaradora	Descalibración del paso de grano	Ajuste de rodillos y Limpieza	49	2
10/10/2022	09:00	Descascaradora	Desgaste de rodillo	Limpieza, cambio de rodillos y ajuste	60	3
16/10/2022	11:50	Descascaradora	Descalibración del paso de grano	Limpieza y ajuste de rodillos	31	3
23/10/2022	17:50	Descascaradora	Desgaste de faja	Limpieza, tensión y lubricación	37	3
07/11/2022	12:50	Descascaradora	Fuga de aire en tubo alimentador	Limpieza, ajuste y cambio de sujetadores	82	4
27/11/2022	11:15	Descascaradora	Descalibración del paso del grano	Limpieza y ajuste de rodillos	113	2
02/12/2022	12:45	Descascaradora	Desgaste de rodillo	Limpieza, cambio de rodillo y ajuste	26	3
05/12/2022	13:50	Descascaradora	Descalibración del paso del grano	Limpieza y ajuste de rodillos	15	3
22/12/2022	12:10	Descascaradora	Desgaste de rodillo	Limpieza, cambio de rodillo y ajuste	94	3
03/01/2022	12:10	Elevador 16	Ruptura de cangilón	Limpieza y cambio de cangilón		1
10/01/2022	15:45	Elevador 12	Rotura de faja	Cambio de faja y lubricación	39	1
15/01/2022	16:25	Elevador 11	Desalineación de polea	Limpieza, soldado y lubricación	28	1
17/01/2022	17:10	Elevador 14	Ruptura de cangilón	Limpieza y cambio de cangilón	10	1
18/01/2022	08:40	Elevador 06	Desalineación de polea	Limpieza, soldado y lubricación	4	2
23/01/2022	16:10	Elevador 16	Ruptura de cangilón	Limpieza y cambio de cangilón	27	2
25/01/2022	10:30	Elevador 5	Rotura de faja	Cambio de faja y lubricación	10	2
29/01/2022	15:00	Elevador 2	Ruptura de cangilón	Limpieza y cambio de cangilón	21	2
30/01/2022	08:15	Elevador 9	Desalineación de polea	Limpieza, soldado y lubricación	4	2
02/02/2022	09:30	Elevador 10	Ruptura de cangilón	Limpieza y cambio de cangilón	16	1
03/02/2022	17:10	Elevador 2	Ruptura de cangilón	Limpieza y cambio de cangilón	5	1
08/02/2022	12:00	Elevador 11	Ruptura de cangilón	Limpieza y cambio de cangilón	28	1
13/02/2022	14:15	Elevador 8	Rotura de faja	Limpieza, cambio de faja y lubricación	28	1
18/02/2022	12:00	Elevador 13	Ruptura de cangilón	Limpieza y cambio de cangilón	27	2
20/02/2022	13:00	Elevador 15	Desalineación de polea	Limpieza, soldado y lubricación	9	2
27/02/2022	11:00	Elevador 10	Desalineación de polea	Limpieza, soldado y lubricación	39	1
01/03/2022	10:00	Elevador 11	Ruptura de cangilón	Limpieza y cambio de cangilón	10	2
17/03/2022	11:15	Elevador 03	Rotura de faja	Limpieza, cambio de faja y lubricación	89	2
21/03/2022	12:00	Elevador 16	Ruptura de cangilón	Limpieza y cambio de cangilón	21	2
27/03/2022	15:15	Elevador 16	Ruptura de cangilón	Limpieza y cambio de cangilón	28	1
01/09/2022	10:30	Elevador 11	Ruptura de cangilón	Limpieza y cambio de cangilón	807	4
02/09/2022	11:45	Elevador 06	Desalineación de polea	Limpieza, soldado y lubricación	4	2
07/09/2022	08:10	Elevador 11	Ruptura de cangilón	Limpieza y cambio de cangilón	26	3
15/09/2022	08:10	Elevador 06	Ruptura de cangilón	Limpieza y cambio de cangilón	43	3
17/09/2022	16:35	Elevador 7	Desalineación de polea	Limpieza, soldado y lubricación	9	2
22/09/2022	09:00	Elevador 12	Rotura de faja	Cambio de faja y lubricación	26	3
26/09/2022	08:10	Elevador 13	Ruptura de cangilón	Limpieza y cambio de cangilón	22	1
30/09/2022	09:45	Elevador 16	Rotura de faja	Cambio de faja y lubricación	22	1

10/10/2022	08:10	Elevador 13	Ruptura de cangilón	Limpieza y cambio de cangilón	56	1
14/10/2022	08:10	Elevador 16	Ruptura de cangilón	Limpieza y cambio de cangilón	21	2
25/10/2022	15:30	Elevador 10	Rotura de faja	Cambio de faja y lubricación	58	5
27/10/2022	08:10	Elevador 14	Ruptura de cangilón	Limpieza y cambio de cangilón	7	4
01/11/2022	16:15	Elevador 4	Desalineación de polea	Limpieza, soldado y lubricación	25	4
02/11/2022	08:10	Elevador 8	Ruptura de cangilón	Limpieza y cambio de cangilón	4	2
11/11/2022	08:10	Elevador 13	Ruptura de cangilón	Limpieza y cambio de cangilón	50	2
14/11/2022	03:10	Elevador 13	Desalineación de polea	Limpieza, soldado y lubricación	16	2
20/11/2022	15:05	Elevador 2	Desalineación de polea	Limpieza, soldado y lubricación	33	1
27/11/2022	12:10	Elevador 14	Ruptura de cangilón	Limpieza y cambio de cangilón	38	2
01/12/2022	12:20	Elevador 9	Rotura de faja	cambio de faja y lubricación	20	3
04/12/2022	10:30	Elevador 12	Desalineación de polea	Limpieza, soldado y lubricación	15	3
06/12/2022	12:10	Elevador 12	Ruptura de cangilón	Limpieza y cambio de cangilón	8	3
14/12/2022	11:00	Elevador 06	Rotura de faja	Cambio de láminas de cribas	43	3
17/12/2022	17:15	Elevador 12	Ruptura de cangilón	Limpieza y cambio de cangilón	16	1
19/12/2022	16:05	Elevador 5	Desalineación de polea	Limpieza, soldado y lubricación	8	3
29/12/2022	12:10	Elevador 15	Ruptura de cangilón	Limpieza y cambio de cangilón	56	2
03/01/2022	09:15	Lustradora	Descentrado del tambor	Limpieza del tambor, lubricación del eje y ajuste de frenos		3
28/01/2022	14:45	Lustradora	Desgaste de escobillas	Limpieza, sopleteado y cambio de escobillas	141	2
11/02/2022	13:45	Lustradora	Desgaste de faja	Limpieza, tensión y lubricación	79	1
02/03/2022	10:15	Lustradora	Desgaste de rodaje	Limpieza, cambio de rodamiento y lubricación	106	3
29/03/2022	09:45	Lustradora	Desgaste de escobillas	Limpieza, sopleteado y cambio de escobillas	153	1
30/06/2022	12:30	Lustradora	Descentrado de tambor	Limpieza, ajuste y lubricación	530	1
10/09/2022	13:00	Lustradora	Desgaste de escobillas	Limpieza, sopleteado y cambio de escobillas	409	3
21/09/2022	09:30	Lustradora	Descentrado del tambor	Limpieza, ajuste y lubricación	62	1
12/10/2022	14:20	Lustradora	Desgaste de faja	Limpieza, tensión y lubricación	118	3
22/10/2022	16:00	Lustradora	Desgaste de rodaje	Limpieza, cambio de rodajes y lubricación	56	2
09/11/2022	10:30	Lustradora	Desgaste de escobillas	Limpieza, sopleteado y cambio de escobillas	100	3
06/12/2022	15:15	Lustradora	Desgaste de rodaje	Limpieza, cambio de rodajes y lubricación	151	3
05/02/2022	10:30	Mesa paddy	Rotura de planchas internas	Limpieza, cambio y soldado de bandejas		2
24/03/2022	13:45	Mesa paddy	Rotura de planchas internas	Limpieza, cambio y soldado de bandejas	267	2
02/10/2022	08:45	Mesa paddy	Rotura de planchas internas	Limpieza, cambio y soldado de bandejas	1096	1
17/12/2022	10:00	Mesa paddy	Rotura de planchas internas	Limpieza, cambio y soldado de bandejas	433	2
08/01/2022	14:00	Mesa pre-limpia	Atasque de grano en la malla metálica	Limpieza, sopleteado y lubricación		1
17/02/2022	11:00	Mesa pre-limpia	Malla suelta por desajuste de pernos	Limpieza y ajuste de mallas	225	4
02/03/2022	12:00	Mesa pre-limpia	Desgaste de mallas	Limpieza, cambio y/o soldado de mallas	72	3
16/03/2022	15:45	Mesa pre-limpia	Rotura de tensor	Limpieza, cambio de tensor, ajuste y lubricación	78	2
13/10/2022	16:15	Mesa pre-limpia	Malla suelta por desajuste de pernos	Limpieza y ajuste de mallas	1204	2

11/11/2022	13:10	Mesa pre-limpia	Rotura del tensor	Limpieza, cambio de tensor, ajuste y lubricación	164	2
29/11/2022	09:15	Mesa pre-limpia	Desgaste del eje del ventilador	Limpieza, soldado y ajuste	100	3
17/12/2022	16:10	Mesa pre-limpia	Malla suelta por desajuste de pernos	Limpieza y ajuste de mallas	100	3
19/12/2022	09:45	Mesa pre-limpia	Desgaste de mallas	Limpieza, cambio y/o soldado de mallas	9	2
17/01/2022	13:30	Pulidora de agua 2	Desgaste de rodaje	Limpieza, cambio de rodajes y lubricación		1
17/02/2022	16:00	Pulidora de agua 2	Desgaste de eje sinfín	Limpieza, cambio del eje sinfín y lubricación	173	4
19/03/2022	10:30	Pulidora de agua 2	Rotura de cribas	Limpieza y cambio de cribas	167	4
28/06/2022	11:00	Pulidora de agua 1	Desgaste de la botella	Limpieza, soldado y lubricación	574	3
26/09/2022	14:10	Pulidora de agua 1	Desgaste de rodaje	Limpieza, cambio de rodamiento y lubricación	513	1
01/10/2022	11:00	Pulidora de agua 2	Desgaste de rodaje	Limpieza, cambio de rodajes y lubricación	27	2
14/10/2022	12:45	Pulidora de agua 2	Rotura de cribas	Limpieza y cambio de cribas	70	4
05/11/2022	13:20	Pulidora de agua 1	Rotura de cribas	Limpieza y cambio de láminas de cribas	122	4
19/11/2022	14:00	Pulidora de agua 2	Desgaste de rodaje	Limpieza, cambio de rodamiento y lubricación	79	1
22/01/2022	14:00	Pulidora de piedra 1	Desalineamiento de fajas	Limpieza, ajuste, tensión y lubricación		2
05/02/2022	14:00	Pulidora de piedra 1	Desgaste de piedras	Limpieza, tensión y lubricación	78	2
01/03/2022	14:00	Pulidora de piedra 1	Desgaste de rodillos	Limpieza, ajuste y lubricación	135	3
12/04/2022	14:00	Pulidora de piedra 1	Ruptura de faja	Limpieza, cambio de faja y lubricación	236	4
27/07/2022	08:00	Pulidora de piedra 1	Ruptura de faja	Limpieza, cambio de faja y lubricación	604	2
02/09/2022	08:30	Pulidora de piedra 1	Desalineamiento de fajas	Limpieza, ajuste, tensión y lubricación	210	2
02/11/2022	14:00	Pulidora de piedra 1	Ruptura de faja	Limpieza, cambio de faja y lubricación	346	3
21/11/2022	17:00	Pulidora de piedra 1	Desgaste de piedras	Limpieza, tensión y lubricación	108	1
19/01/2022	08:50	Selectora	Lámparas quemadas	Limpieza, cambio de lámparas LED		2
22/01/2022	17:00	Selectora	Inyectores malogrados	Cambio de módulo de 64 inyectores	16	2
12/03/2022	16:00	Selectora	Inyectores malogrados	Limpieza y cambio de 64 inyectores	278	3
06/09/2022	12:50	Selectora	Inyectores malogrados	Cambio de módulo de 64 inyectores	1013	4
17/10/2022	09:30	Selectora	Lámparas quemadas	Limpieza, cambio de lámparas LED	230	4
28/11/2022	10:45	Selectora	Inyectores malogrados	Cambio de módulo de 64 inyectores	239	1
06/01/2022	12:15	Zaranda	Desgaste de faja	Limpieza, tensión y lubricación		4
01/09/2022	15:25	Zaranda	Desgaste de rodaje	Limpieza, cambio de rodajes y lubricación	1359	2
15/09/2022	11:00	Zaranda	Desgaste de faja	Limpieza, tensión y lubricación	78	3
08/10/2022	15:40	Zaranda	Rotura de malla	Limpieza, soldado y lubricación	128	3
23/11/2022	08:20	Zaranda	Desgaste de faja	Limpieza, tensión y lubricación	262	1
30/12/2022	10:15	Zaranda	Desgaste de rodaje	Limpieza, cambio de rodajes y lubricación	209	2

Nota. Tiempo de operación (TO); Tiempo de reparación (TR).

4.2 Resultados de estimación de la prioridad de fallas de las máquinas/equipos

Se empleó el diagrama de Pareto para analizar la prioridad de los fallos de las máquinas/equipos en el proceso de producción de arroz. Esta herramienta, ampliamente reconocida en operaciones y mantenimiento, sigue el principio de la regla 80/20. Según este principio, en situaciones con múltiples causas, aproximadamente el 20 % de las causas aborda el 80 % del problema, mientras que el 80 % restante de las causas solo resuelve el 20 % del problema (Suarez, 2023). Las máquinas críticas son dispositivos y sistemas fundamentales destinados a evitar la aparición o reducir las implicaciones de eventos no controlados (Berger, 2008). En la Tabla 2, se muestra el cálculo de análisis de Pareto de tiempos de falla para las máquinas/equipos del proceso de arroz.

Tabla 2

Calculo de análisis de Pareto de tiempos de falla para las máquinas/equipos

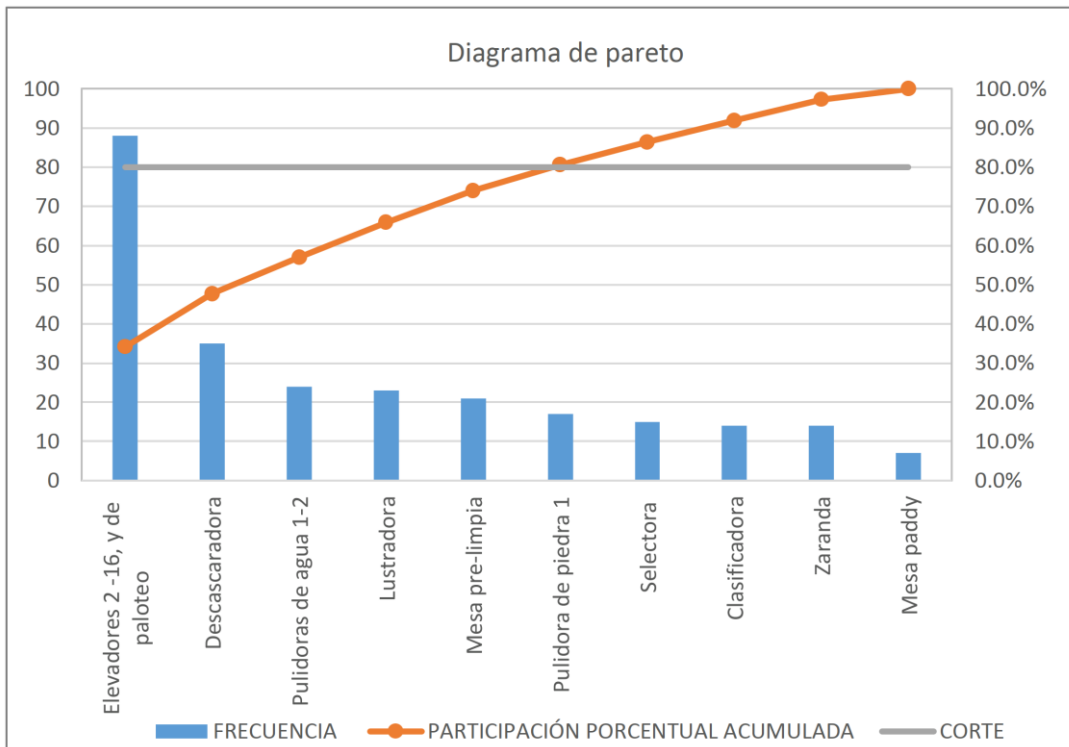
Equipos en el proceso arroz	Incidencias ordenadas	Participación porcentual	Participación porcentual acumulada
Elevadores 2 -16, y elevador de paloteo	88	34.11%	34.11%
Descascaradora	35	13.57%	47.67%
Pulidoras de agua 1-2	24	9.30%	56.98%
Lustradora	23	8.91%	65.89%
Mesa pre-limpia	21	8.14%	74.03%
Pulidora de piedra 1	17	6.59%	80.62%
Selectora	15	5.81%	86.43%
Clasificadora	14	5.43%	91.86%
Zaranda	14	5.43%	97.29%
Mesa paddy	7	2.71%	100.00%

Nota. Se consideró los tiempos de reparación (TR) en horas.

La Figura 3, muestra que el 80% de tiempos para reparación debido a fallas no programadas, han ocurrido debido a fallas en las siguientes máquinas/equipos: Elevadores, descascaradora, pulidoras de agua, lustradora y mesa pre limpia.

Figura 3

Diagrama de Pareto de tiempos de falla para las máquinas/equipos



Nota. Se consideró tiempos de reparación (TR) en horas.

4.3 Resultados de cálculo de la confiabilidad de las máquinas/equipos más críticos de la molinera mediante distribución Weibull

a) Confiabilidad

La confiabilidad se define como la probabilidad de que un elemento permanezca operativo durante un período específico bajo condiciones determinadas, sin experimentar fallas. La probabilidad condicional de falla evalúa la posibilidad de que un elemento que entra en un rango de edad específico falle durante ese intervalo. Si esta probabilidad aumenta con la edad, indica desgaste en el elemento. Esta medida refleja el impacto general adverso del envejecimiento en la confiabilidad. No representa un indicador del cambio en un equipo individual (Damilare y Olasunkanmi, 2010). Una falla se produce cuando un elemento no puede cumplir con sus deberes requeridos y requisitos. La confiabilidad se teóricamente define como (Confiabilidad = 1 – Probabilidad de falla), expresada por $R(t)$. La disponibilidad y el mantenimiento se consideran elementos esenciales relacionados con la confiabilidad (Odeyar et al., 2022).

Ahmadi et al. (2019) definen la confiabilidad como la capacidad de un sistema para llevar a cabo una tarea en condiciones y un periodo de tiempo específicos. La mayor confiabilidad se logra cuando el sistema puede cumplir la tarea dentro de un tiempo extendido. Por lo tanto, es esencial determinar las diferentes situaciones predecibles, modos de operación y el uso o no uso de los subsistemas, incluidos el sistema, el equipo y los componentes, durante la fase de especificación del diseño del sistema. Ecuación (1) expresa confiabilidad.

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad (1)$$

Donde, $R(t)$ confiabilidad en el tiempo t , y $f(t)$ es la función de densidad de probabilidad de la falla.

b) Distribución de Weibull

La evaluación de confiabilidad de equipos, el proceso inicial implica adoptar la forma de la distribución de probabilidad que describe la duración esperada de la vida útil del equipo. Esta forma de distribución se utiliza como base para examinar los parámetros a través de información de muestras, seguido del cálculo de indicadores de confiabilidad. La elección de la distribución de vida es fundamental en la investigación de confiabilidad. A lo largo de los años, varias distribuciones de vida han ganado popularidad, entre ellas, la distribución exponencial, gamma, Weibull y lognormal (Zhang et al., 2019).

El modelo de distribución de Weibull con tres parámetros incluye la pendiente (β), también conocida como la forma de Weibull, el parámetro de escala (α), y el parámetro de posición o ubicación (γ) mayor que 0. En el caso de la versión de dos parámetros, presenta la forma de Weibull (β) y el parámetro de escala (α), ambos mayores que 0 (Pascale et al., 2017). La función de densidad de probabilidad (PDF) de esta distribución, que se utiliza en el análisis de datos de esperanza de vida, se expresa matemáticamente mediante la Ecuación (2).

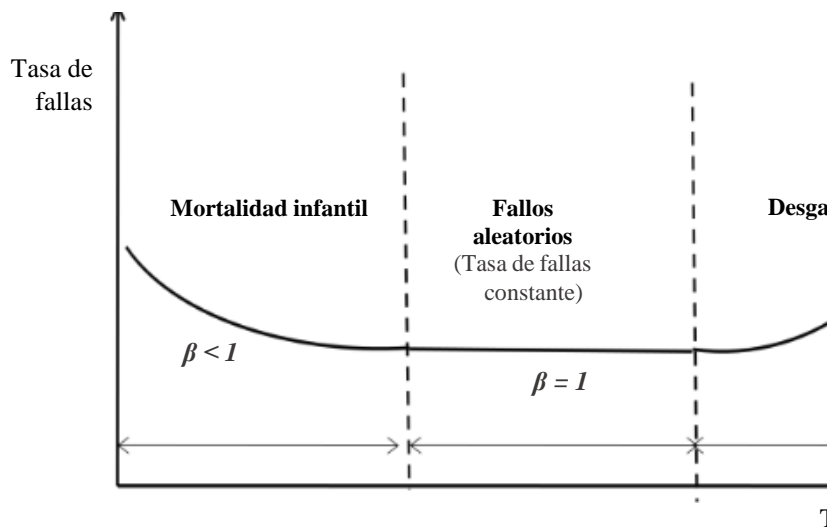
$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta}} \quad (2)$$

El método Weibull se utiliza ampliamente para analizar y determinar indicadores de mantenimiento como disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad. Además, facilita la identificación y simulación de la fase de transición operativa en la que se encuentra la maquinaria o componentes mecánicos. Tres parámetros componen la distribución de Weibull, que se ajustan a diversos resultados experimentales: el parámetro alfa o de escala (α), el beta o de forma (β) y el gamma o de localización (γ). Se considera que $\gamma = 0$ representa la

probabilidad de que no haya fallos en el sistema. El parámetro de forma permite que la distribución de Weibull se ajuste a las tres etapas de la vida operativa de un equipo (infancia, vida útil y vejez), como se muestra en el gráfico de la curva de Davies (Zamora et al., 2022).

Figura 4

Representación de la tasa de fallas durante la vida útil de la máquinas/equipos



Nota. Adecuado de Jakkula y Govinda (2018), y Suarez (2023)

La Ecuación (3) muestra la función de densidad de probabilidad de Weibull $f(t)$ de dos parámetros.

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-(t/\alpha)^\beta} \quad (3)$$

La Ecuación (4) se puede utilizar para calcular la confiabilidad gracias a la distribución de Weibull.

$$R(t) = e^{-(t/\alpha)^\beta} \quad (4)$$

Donde, $R(t)$ es la confiabilidad, e base logaritmo natural, t tiempo a evaluar, α parámetro de escala, y β parámetro de forma.

Para calcular los parámetros α y β de la distribución de Weibull, la Tabla 1 muestra los tiempos de operación (TO) y las duraciones de reparación de fallas (TR). Para determinar estos parámetros se utiliza el método de mínimos cuadrados.

c) Alineación de parámetros por método de mínimos cuadrados

Se procedió con la aplicación del método de mínimos cuadrados al ordenar inicialmente los datos de manera ascendente. Luego, se llevó a cabo el cálculo de un estimador no paramétrico, conocido como rango de mediana, utilizando la ecuación de Bernard. Estos valores obtenidos se emplearon en la construcción de la línea representativa del método de mínimos cuadrados. Posteriormente, se realizó una transformación de la función de distribución acumulativa en una ecuación lineal de regresión (Zamora et al., 2022). En el proceso de estimación de la distribución, se requiere la clasificación ascendente de los valores individuales, denotados como $i = 1, 2, 3$, etc. Para esta estimación, se utiliza la función $F(t)$ como estadístico de orden, centrándose en el orden de la mediana. Comúnmente, la aproximación de Bernard se emplea para calcular dicho orden.

$$F_i(t) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} \quad (5)$$

Donde, $F_i(t)$ estimación del valor mediano; i rango de números de serie de tiempo hasta la falla t ; n número total de fallas.

Los resultados de la distribución de Weibull se obtienen luego de utilizar la regresión lineal, que aproxima los valores utilizando el ajuste de mínimos cuadrados de una línea recta. El parámetro de forma (β) y el parámetro de escala (α) de la distribución de Weibull se pueden calcular a partir de la función de distribución $F(t)$. La Ecuación (7) se obtiene utilizando la propiedad exponencial de los logaritmos junto con los logaritmos naturales.

$$F(t) = 1 - e^{-(t/\alpha)^\beta} \quad (6)$$

$$\ln\{\ln[1/(1 - F(t))]\} = \beta \ln(t) - \beta \ln \alpha \quad (7)$$

Tras realizar ajustes matemáticos sencillos y aplicar dos logaritmos, es posible convertir la función de distribución $F(t)$ en una expresión lineal.

$$y = \beta x - b \quad (8)$$

La cual es una recta de regresión.

$$\left\{ \begin{array}{l} y = \ln\{\ln[1/(1 - F(t))]\} \\ x = \beta \ln(t) \\ b = \beta \ln \alpha \end{array} \right. \quad (9)$$

A partir de la Ecuación (8), se deduce que la pendiente de la recta de regresión representa el parámetro de forma. Además, al analizar la Ecuación (9), se nota que el parámetro de escala α depende tanto del intercepto b de la recta de regresión como del parámetro de escala. Por consiguiente, mediante la definición de logaritmos, se puede expresar como la Ecuación (10).

$$\alpha = e^{-\frac{b}{\beta}} \quad (10)$$

Por otra parte la tasa de fallos (λ), se determinó con la Ecuación (11).

$$\lambda = \frac{\beta}{\alpha} \cdot \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \quad (11)$$

4.3.1 Cálculo de confiabilidad mediante distribución de Weibull de las máquinas elevadoras

Con base en la información mostrada en la Tabla 3, se utilizó el enfoque de mínimos cuadrados, determinando los valores de ordenadas (y) y abscisas (x) para cada hora operativa para 15 máquinas elevadoras y 1 máquina elevadora de palotaje, que interviene en el proceso de elaboración del arroz; los mismos que se utilizaron para la representación gráfica del método (Figura 5).

Tabla 3

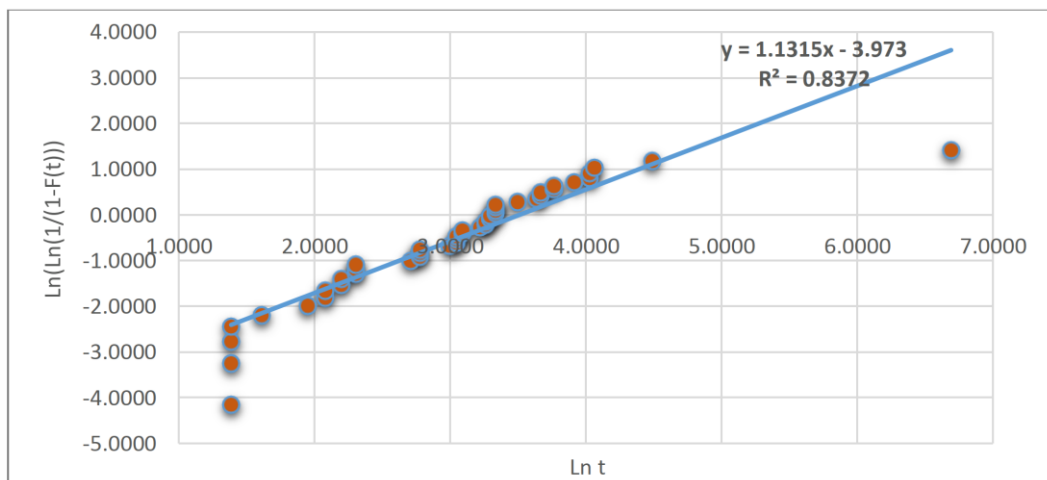
Alineación de parámetros por el método de mínimos cuadrados para tiempos de operación de las máquinas elevadoras

i	Tiempo operación ordenado (h)	Rango de media RM $F(t)$	$x = \ln(t)$	$y = \ln(\ln(1/(1-F(t))))$
1	4	0.0158	1.3863	-4.1420
2	4	0.0383	1.3863	-3.2432
3	4	0.0608	1.3863	-2.7688
4	4	0.0833	1.3863	-2.4417
5	5	0.1059	1.6094	-2.1903
6	7	0.1284	1.9459	-1.9849
7	8	0.1509	2.0794	-1.8105
8	8	0.1734	2.0794	-1.6583
9	9	0.1959	2.1972	-1.5229
10	9	0.2185	2.1972	-1.4004
11	10	0.2410	2.3026	-1.2883
12	10	0.2635	2.3026	-1.1846
13	10	0.2860	2.3026	-1.0879
14	15	0.3086	2.7081	-0.9970
15	16	0.3311	2.7726	-0.9111
16	16	0.3536	2.7726	-0.8293
17	16	0.3761	2.7726	-0.7512

18	20	0.3986	2.9957	-0.6761
19	21	0.4212	3.0445	-0.6038
20	21	0.4437	3.0445	-0.5337
21	21	0.4662	3.0445	-0.4656
22	22	0.4887	3.0910	-0.3992
23	22	0.5113	3.0910	-0.3342
24	25	0.5338	3.2189	-0.2704
25	26	0.5563	3.2581	-0.2075
26	26	0.5788	3.2581	-0.1454
27	27	0.6014	3.2958	-0.0837
28	27	0.6239	3.2958	-0.0224
29	28	0.6464	3.3322	0.0388
30	28	0.6689	3.3322	0.1002
31	28	0.6914	3.3322	0.1620
32	28	0.7140	3.3322	0.2245
33	33	0.7365	3.4965	0.2879
34	38	0.7590	3.6376	0.3528
35	39	0.7815	3.6636	0.4194
36	39	0.8041	3.6636	0.4885
37	43	0.8266	3.7612	0.5608
38	43	0.8491	3.7612	0.6372
39	50	0.8716	3.9120	0.7192
40	56	0.8941	4.0254	0.8090
41	56	0.9167	4.0254	0.9102
42	58	0.9392	4.0604	1.0296
43	89	0.9617	4.4886	1.1825
44	807	0.9842	6.6933	1.4231

Figura 5

Ecuación lineal de regresión para tiempos de operación de las máquinas elevadoras



Nota. Muestra la ecuación lineal de regresión.

El valor para el parámetro de forma beta (β) es 1.1315, mientras que la constante o punto de intersección es 3.9730. El coeficiente de determinación (R^2), que indica el grado de

linealidad de los datos, es igual a 0.8372. Además, el parámetro de escala α de la distribución Weibull se calculó utilizando la Ecuación (10).

$$\alpha = e^{3.9730/1.1315} = 33.4869$$

Los valores obtenidos para el parámetro de forma β , que fue de 1.1315, en relación con las máquinas elevadoras utilizadas en el proceso de arroz, posibilitaron la determinación del periodo de vida operativa de dichos equipos mediante el análisis de la curva de Davies. Este análisis reveló que las máquinas se encontraban en una fase de desgaste, caracterizada por valores de β mayores a 1, indicando un incremento en la tasa de fallas a medida que transcurre el tiempo.

Tabla 4

Resultados de cálculo de la confiabilidad para diferentes periodos operativos de las máquinas elevadoras

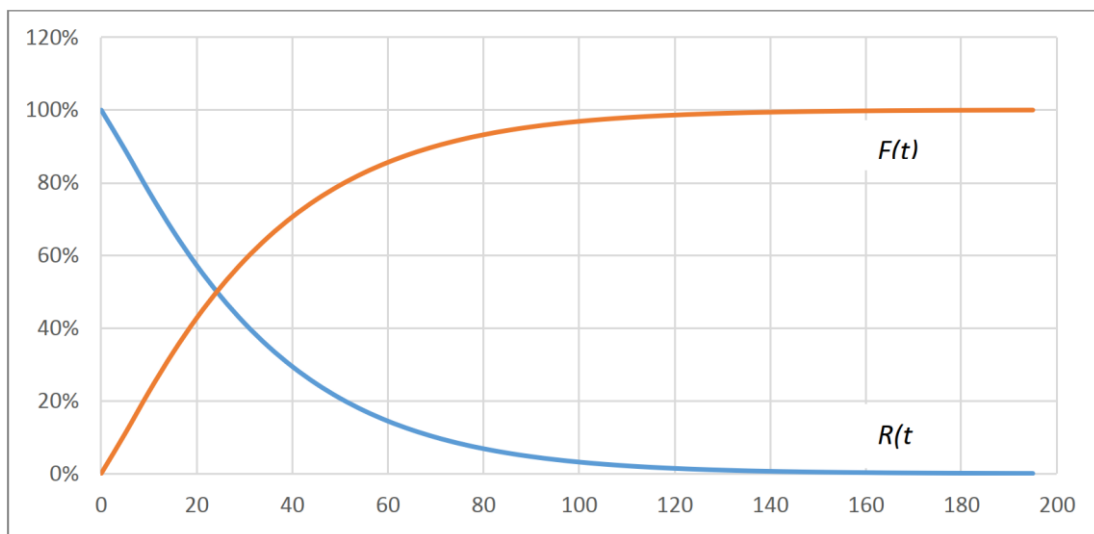
Tiempos (h)	R (t)	Densidad f(t)	Tasa de fallas (λ)	F(t)
0	100%			0%
5	89%	0.023424023	0.026312098	11%
10	78%	0.022342128	0.028823924	22%
15	67%	0.020318073	0.030402985	33%
20	57%	0.018070566	0.031575536	43%
25	49%	0.015852574	0.03251609	51%
30	41%	0.013772983	0.033305338	59%
35	35%	0.011878329	0.033987566	65%
40	29%	0.010183898	0.034589824	71%
45	25%	0.008688313	0.035129905	75%
50	21%	0.007381258	0.035620166	79%
55	17%	0.006247875	0.036069552	83%
60	14%	0.005271358	0.036484758	86%
65	12%	0.004434507	0.03687093	88%
70	10%	0.003720647	0.037232113	90%
75	8%	0.003114147	0.037571546	92%
80	7%	0.002600695	0.037891864	93%
85	6%	0.002167401	0.038195244	94%
90	5%	0.001802806	0.038483503	95%
95	4%	0.001496826	0.038758174	96%
100	3%	0.001240659	0.039020565	97%
105	3%	0.001026675	0.0392718	97%
110	2%	0.0008483	0.039512851	98%
115	2%	0.000699897	0.039744568	98%
120	1%	0.000576657	0.039967694	99%
125	1%	0.000474489	0.040182888	99%

130	1%	0.000389927	0.040390731	99%
135	1%	0.000320046	0.040591745	99%
140	1%	0.000262382	0.040786394	99%
145	1%	0.000214865	0.040975096	99%
150	0%	0.000175763	0.041158229	100%
195	0%	2.75989E-05	0.042603457	100%

Nota. $R(t)$: Confiabilidad, $F(t)$: Desconfiabilidad.

Figura 6

Comportamiento de la confiabilidad para diferentes periodos operativos de las máquinas elevadoras



Nota. $R(t)$: Confiabilidad, $F(t)$: Desconfiabilidad.

Según los datos presentados en la Figura 6, se pudo observar que la confiabilidad de las máquinas elevadoras en conjunto en el proceso de arroz, dentro de un periodo operativo de 160 horas un mes alcanzó una confiabilidad de aproximadamente cero, estas máquinas elevadoras requieren un mantenimiento preventivo diario o interdiario mayormente de limpieza de sus componentes, y así mejorar su confiabilidad. Evaluando para un periodo operativo más corto de 30 horas su confiabilidad es 41%.

4.3.2 Cálculo de confiabilidad mediante distribución de Weibull de la máquina descascaradora

Con base en la información proporcionada en la Tabla 5, se utilizó el enfoque de mínimos cuadrados, determinando los valores de ordenadas (y) y abscisas (x) se calcularon para cada

tiempo de funcionamiento de una máquina descascaradora que interviene en el proceso del arroz, utilizando los mismos datos que la representación gráfica del método (Figura 7).

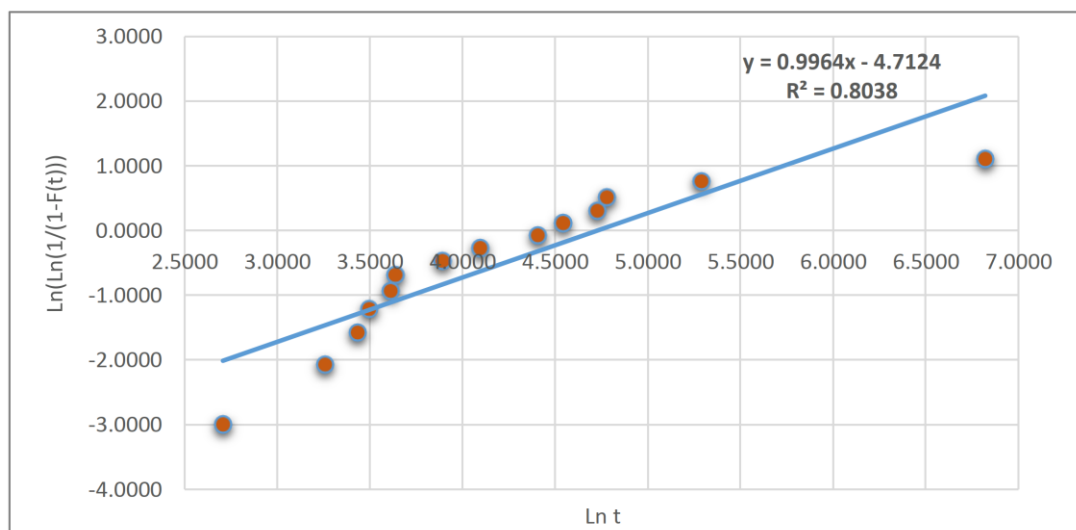
Tabla 5

Alineación de parámetros por el método de mínimos cuadrados para tiempos de operación de la máquina descascaradora

i	Tiempo operación ordenado (h)	Rango de media RM $F(t)$	$x = \ln(t)$	$y = \ln(\ln(1/(1-F(t))))$
1	15	0.0486	2.7081	-2.9991
2	26	0.1181	3.2581	-2.0744
3	31	0.1875	3.4340	-1.5720
4	33	0.2569	3.4965	-1.2141
5	37	0.3264	3.6109	-0.9286
6	38	0.3958	3.6376	-0.6854
7	49	0.4653	3.8918	-0.4684
8	60	0.5347	4.0943	-0.2677
9	82	0.6042	4.4067	-0.0761
10	94	0.6736	4.5433	0.1130
11	113	0.7431	4.7274	0.3067
12	119	0.8125	4.7791	0.5152
13	198	0.8819	5.2883	0.7592
14	918	0.9514	6.8222	1.1065

Figura 7

Ecuación lineal de regresión para tiempos de operación de la máquina descascaradora



Nota. Muestra la ecuación lineal de regresión.

El valor para el parámetro de forma beta (β) es 0.9964, mientras que la constante o punto de intersección es 4.7124. El coeficiente de determinación (R^2), que indica el grado de linealidad de los datos, es igual a 0.8038. Además, el parámetro de escala α de la distribución Weibull se calculó utilizando la Ecuación (10).

$$\alpha = e^{4.7124/0.9964} = 113.2168$$

Los valores obtenidos para el parámetro de forma β , que fue de 0.9964, en relación con la máquina descascaradora utilizada en el proceso de arroz, posibilitaron la determinación del periodo de vida operativa de dichos equipos mediante el análisis de la curva de Davies. Este análisis reveló que la máquina se encontraba en una fase fallos aleatorios constantes, caracterizada por valores de β muy cercanos a 1.

Tabla 6

Resultados de cálculo de la confiabilidad para diferentes periodos operativos de la máquina descascaradora

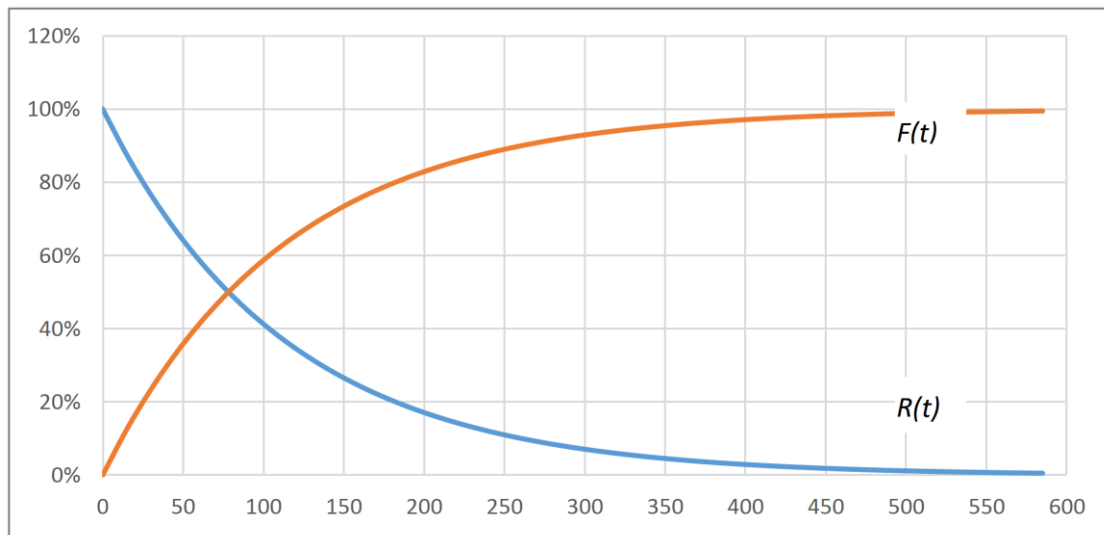
Tiempos (h)	$R(t)$	Densidad $f(t)$	Tasa de fallas (λ)	$F(t)$
0	100%			0%
15	88%	0.007757436	0.008864941	12%
30	77%	0.006775935	0.008842944	23%
45	67%	0.005926197	0.008830103	33%
60	59%	0.005186046	0.008821002	41%
75	52%	0.00453993	0.00881395	48%
90	45%	0.003975273	0.008808192	55%
105	40%	0.003481473	0.008803327	60%
120	35%	0.003049444	0.008799115	65%
135	30%	0.002671336	0.008795401	70%
150	27%	0.002340338	0.00879208	73%
165	23%	0.002050524	0.008789077	77%
180	20%	0.00179673	0.008786337	80%
195	18%	0.001574449	0.008783816	82%
210	16%	0.001379747	0.008781483	84%
225	14%	0.001209186	0.008779312	86%
240	12%	0.001059759	0.008777281	88%
255	11%	0.000928839	0.008775374	89%
270	9%	0.000814124	0.008773577	91%
285	8%	0.000713604	0.008771877	92%
300	7%	0.000625517	0.008770264	93%
315	6%	0.000548321	0.008768731	94%
330	5%	0.000480667	0.008767269	95%
345	5%	0.000421372	0.008765872	95%
360	4%	0.000369402	0.008764535	96%

375	4%	0.00032385	0.008763253	96%
390	3%	0.000283923	0.008762021	97%
405	3%	0.000248923	0.008760836	97%
420	2%	0.000218243	0.008759694	98%
435	2%	0.000191349	0.008758592	98%
465	2%	0.000147103	0.008756499	98%
480	1%	0.000128983	0.008755502	99%
555	1%	6.68647E-05	0.008750947	99%
570	1%	5.86342E-05	0.008750111	99%
585	1%	5.14175E-05	0.008749296	99%

Nota. $R(t)$: Confiabilidad, $F(t)$: Desconfiabilidad.

Figura 8

Comportamiento de la confiabilidad para diferentes periodos operativos de la máquina descascaradora



Nota. $R(t)$: Confiabilidad, $F(t)$: Desconfiabilidad.

Según los datos presentados en la Figura 8, se pudo observar que la confiabilidad de la máquina descascaradora en el proceso de arroz, dentro de un periodo operativo de 160 horas de un mes alcanzó una confiabilidad de aproximadamente 24 %, esta máquina descascaradora requiere de un mantenimiento preventivo diario o interdiario mayormente de limpieza de sus componentes, y así mejorar su confiabilidad. Evaluando para un periodo operativo más corto de 30 horas su confiabilidad es 77%.

4.3.3 Cálculo de confiabilidad mediante distribución de Weibull de las máquinas pulidoras de agua

Con base en la información mostrada en la Tabla 7, se utilizó el enfoque de mínimos cuadrados, determinando los valores de ordenadas (y) y abscisas (x) para cada hora operativa de 02 máquinas pulidoras de agua, que interviene en el proceso de elaboración del arroz; los mismos que se utilizaron para la representación gráfica del método (Figura 9).

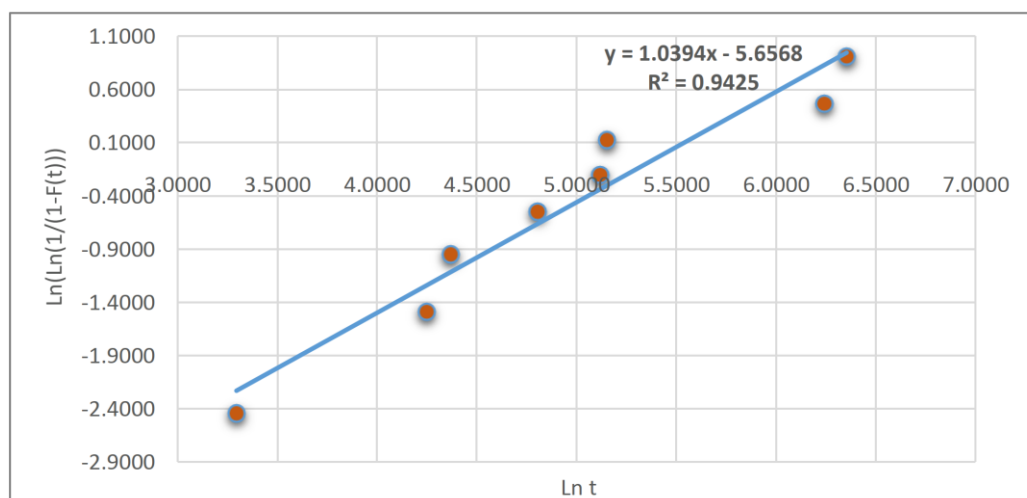
Tabla 7

Alineación de parámetros por el método de mínimos cuadrados para tiempos de operación de las máquinas pulidoras de agua

i	Tiempo operación ordenado (h)	Rango de media RM $F(t)$	$x = \ln(t)$	$y = \ln(\ln(1/(1-F(t))))$
1	27	0.0833	3.2958	-2.4417
2	70	0.2024	4.2485	-1.4867
3	79	0.3214	4.3694	-0.9474
4	122	0.4405	4.8040	-0.5436
5	167	0.5595	5.1180	-0.1986
6	173	0.6786	5.1533	0.1266
7	513	0.7976	6.2403	0.4685
8	574	0.9167	6.3526	0.9102

Figura 9

Ecuación lineal de regresión para tiempos de operación de las máquinas pulidoras de agua



Nota. Muestra la ecuación lineal de regresión.

El valor para el parámetro de forma beta (β) es 1.0394, mientras que la constante o punto de intersección es 5.6568. El coeficiente de determinación (R^2), que indica el grado de linealidad de los datos, es igual a 0.9425. Además, el parámetro de escala α de la distribución Weibull se calculó utilizando la Ecuación (10).

$$\alpha = e^{5.6568/1.0394} = 230.9793$$

Los valores obtenidos para el parámetro de forma β , que fue de 1.0394, en relación con las máquinas pulidoras de agua utilizadas en el proceso de arroz, posibilitaron la determinación del periodo de vida operativa de dichos equipos mediante el análisis de la curva de Davies. Este análisis reveló que la máquina se encontraba en una fase fallos aleatorios constantes, caracterizada por valores de β muy cercanos a 1.

Tabla 8

Resultados de cálculo de la confiabilidad para diferentes periodos operativos de las máquinas pulidoras de agua

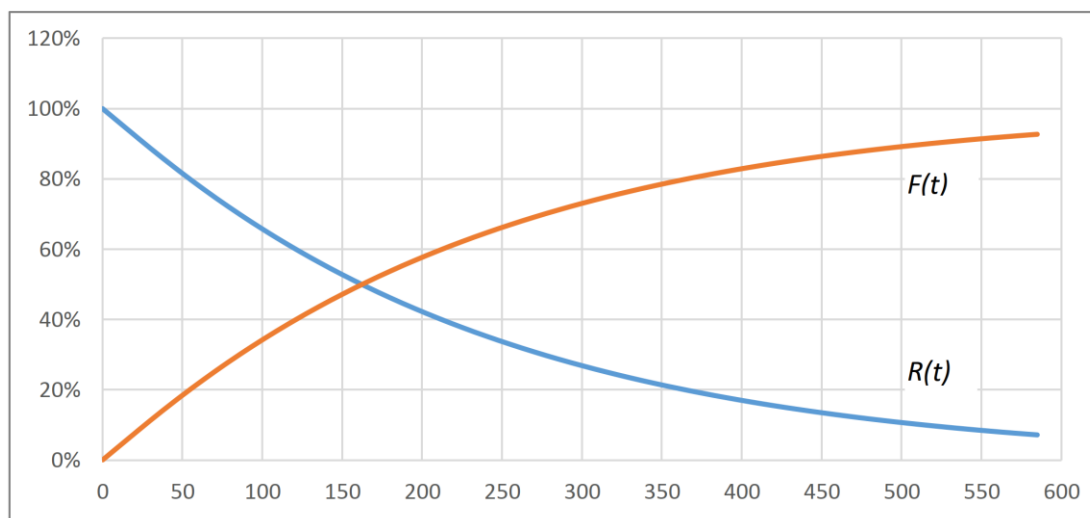
Tiempos (h)	R(t)	Densidad f(t)	Tasa de fallas (λ)	F(t)
0	100%			0%
15	94%	0.003811517	0.004040366	6%
30	89%	0.003683275	0.004152237	11%
45	83%	0.003514725	0.004219108	17%
60	78%	0.003335534	0.004267206	22%
75	73%	0.003155429	0.00430489	27%
90	69%	0.002978726	0.004335928	31%
105	64%	0.002807593	0.004362344	36%
120	60%	0.002643167	0.004385358	40%
135	56%	0.002486018	0.004405757	44%
150	53%	0.002336392	0.004424086	47%
165	49%	0.002194327	0.004440732	51%
180	46%	0.002059734	0.004455983	54%
195	43%	0.001932441	0.004470059	57%
210	40%	0.001812222	0.004483131	60%
225	38%	0.001698818	0.004495335	62%
240	35%	0.001591949	0.004506781	65%
255	33%	0.001491325	0.004517559	67%
270	31%	0.00139665	0.004527745	69%
285	29%	0.001307632	0.004537401	71%
300	27%	0.00122398	0.004546581	73%
315	25%	0.001145414	0.00455533	75%
330	23%	0.001071657	0.004563688	77%
345	22%	0.001002445	0.004571688	78%
360	20%	0.000937522	0.004579361	80%
375	19%	0.000876646	0.004586733	81%

390	18%	0.000819581	0.004593827	82%
405	17%	0.000766107	0.004600664	83%
420	16%	0.000716011	0.004607261	84%
435	15%	0.000669092	0.004613636	85%
450	14%	0.000625159	0.004619803	86%
465	13%	0.000584032	0.004625776	87%
480	12%	0.00054554	0.004631566	88%
495	11%	0.000509522	0.004637185	89%
510	10%	0.000475825	0.004642643	90%
525	10%	0.000444306	0.004647949	90%
540	9%	0.000414828	0.004653111	91%
555	8%	0.000387265	0.004658137	92%
570	8%	0.000361496	0.004663035	92%
585	7%	0.000337408	0.00466781	93%

Nota. $R(t)$: Confiabilidad, $F(t)$: Desconfiabilidad.

Figura 10

Comportamiento de la confiabilidad para diferentes periodos operativos de las máquinas pulidoras de agua



Nota. $R(t)$: Confiabilidad, $F(t)$: Desconfiabilidad.

Según los datos presentados en la Figura 10, se pudo observar que la confiabilidad de las máquinas pulidoras de agua en conjunto en el proceso de arroz, dentro de un periodo operativo de 160 horas de un mes alcanzó una confiabilidad de aproximadamente 50 %. Evaluando para un periodo operativo más corto de 30 horas su confiabilidad es 89%.

4.3.4 Cálculo de confiabilidad mediante distribución de Weibull de la máquina lustradora

Con base en la información mostrada en la Tabla 9, se utilizó el enfoque de mínimos cuadrados, determinando los valores de ordenadas (y) y abscisas (x) para cada hora operativa de la máquina lustradora, que interviene en el proceso de elaboración del arroz; los mismos que se utilizaron para la representación gráfica del método (Figura 11).

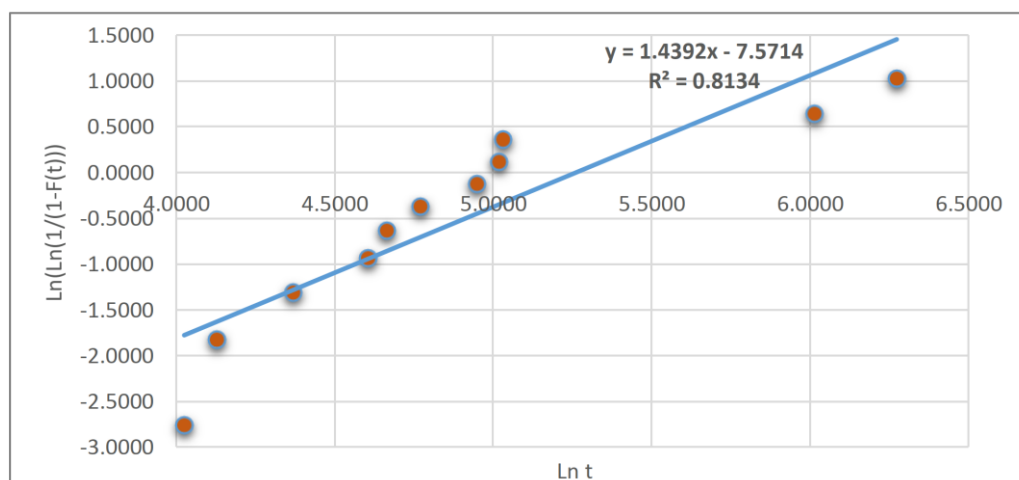
Tabla 9

Alineación de parámetros por el método de mínimos cuadrados para tiempos de operación de la máquina lustradora

i	Tiempo operación ordenado (h)	Rango de media RM $F(t)$	$x = \ln(t)$	$y = \ln(\ln(1/(1-F(t))))$
1	56	0.0614	4.0254	-2.7588
2	62	0.1491	4.1271	-1.8233
3	79	0.2368	4.3694	-1.3083
4	100	0.3246	4.6052	-0.9355
5	106	0.4123	4.6634	-0.6320
6	118	0.5000	4.7707	-0.3665
7	141	0.5877	4.9488	-0.1210
8	151	0.6754	5.0173	0.1180
9	153	0.7632	5.0304	0.3649
10	409	0.8509	6.0137	0.6434
11	530	0.9386	6.2729	1.0261

Figura 11

Ecuación lineal de regresión para tiempos de operación de la máquina lustradora



Nota. Muestra la ecuación lineal de regresión.

El valor para el parámetro de forma beta (β) es 1.4392, mientras que la constante o punto de intersección es 7.5714. El coeficiente de determinación (R^2), que indica el grado de linealidad de los datos, es igual a 0.8134. Además, el parámetro de escala α de la distribución Weibull se calculó utilizando la Ecuación (10).

$$\alpha = e^{7.5714/1.4392} = 192.6453$$

Los valores obtenidos para el parámetro de forma β , que fue de 1.4392, en relación con la máquina lustradora utilizada en el proceso de arroz, posibilitaron la determinación del periodo de vida operativa de dichos equipos mediante el análisis de la curva de Davies. Este análisis reveló que la máquina se encontraba en una fase de desgaste, caracterizada por valores de β mayores a 1, indicando un incremento en la tasa de fallas a medida que transcurre el tiempo.

Tabla 10

Resultados de cálculo de la confiabilidad para diferentes periodos operativos de la máquina lustradora

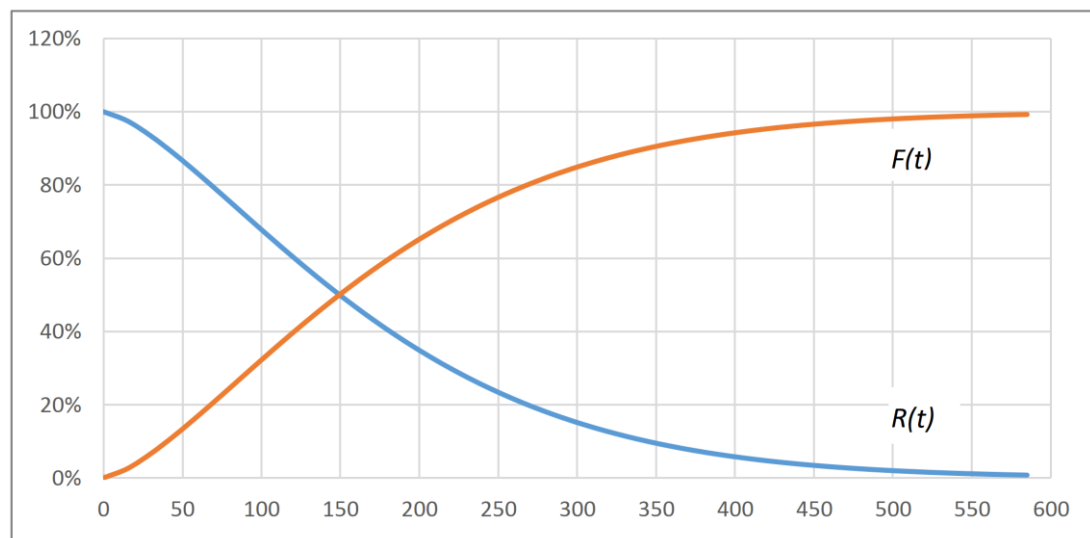
Tiempos (h)	R(t)	Densidad f(t)	Tasa de fallas (λ)	F(t)
0	100%			0%
15	97%	0.002373624	0.002434625	3%
30	93%	0.003081503	0.003301003	7%
45	88%	0.003486773	0.003944446	12%
60	83%	0.003713853	0.004475688	17%
75	77%	0.003816798	0.004936545	23%
90	72%	0.003827841	0.005348105	28%
105	66%	0.003769465	0.00572273	34%
120	60%	0.003658726	0.006068392	40%
135	55%	0.003509161	0.006390577	45%
150	50%	0.00333176	0.006693249	50%
165	45%	0.003135528	0.00697938	55%
180	40%	0.002927846	0.007251265	60%
195	36%	0.002714731	0.007510718	64%
210	32%	0.002501033	0.007759203	68%
225	29%	0.002290605	0.007997921	71%
240	25%	0.002086437	0.008227871	75%
255	22%	0.001890785	0.008449894	78%
270	20%	0.001705278	0.008664707	80%
285	17%	0.00153102	0.008872927	83%
300	15%	0.001368678	0.009075087	85%
315	13%	0.001218556	0.009271655	87%
330	11%	0.001080671	0.00946304	89%
345	10%	0.000954808	0.009649606	90%

360	9%	0.000840576	0.009831677	91%
375	7%	0.000737453	0.010009541	93%
390	6%	0.000644823	0.010183458	94%
405	5%	0.00056201	0.010353663	95%
420	5%	0.000488301	0.010520368	95%
435	4%	0.000422974	0.010683767	96%
450	3%	0.000365307	0.010844036	97%
465	3%	0.000314598	0.011001336	97%
480	2%	0.000270171	0.011155815	98%
510	2%	0.000197644	0.011456846	98%
525	1%	0.000168383	0.011603641	99%
585	1%	8.65253E-05	0.012168454	99%

Nota. $R(t)$: Confiabilidad, $F(t)$: Desconfiabilidad.

Figura 12

Comportamiento de la confiabilidad para diferentes periodos operativos de la máquina lustradora



Nota. $R(t)$: Confiabilidad, $F(t)$: Desconfiabilidad.

Según los datos presentados en la Figura 12, se pudo observar que la confiabilidad de la máquina lustradora en el proceso de arroz, dentro de un periodo operativo de 160 horas de un mes alcanzó una confiabilidad de aproximadamente 47%. Evaluando para un periodo operativo más corto de 30 horas su confiabilidad es 93%.

4.3.5 Cálculo de confiabilidad mediante distribución de Weibull de la máquina mesa pre limpia

Con base en la información mostrada en la Tabla 11, se utilizó el enfoque de mínimos cuadrados, determinando los valores de ordenadas (y) y abscisas (x) para cada hora operativa de la máquina mesa pre limpia, que interviene en el proceso de elaboración del arroz; los mismos que se utilizaron para la representación gráfica del método (Figura 13).

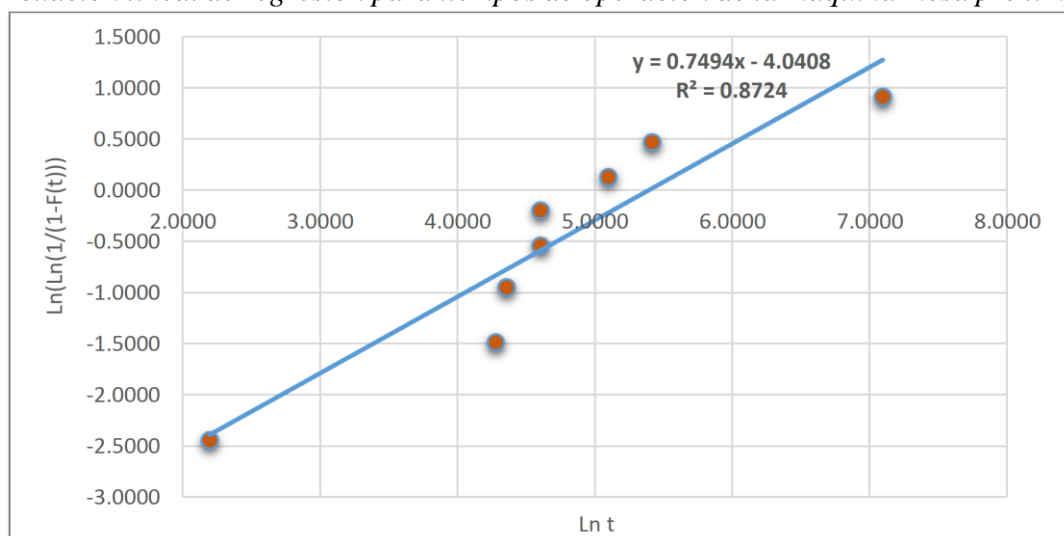
Tabla 11

Alineación de parámetros por el método de mínimos cuadrados para tiempos de operación de la máquina mesa pre limpia

i	Tiempo operación ordenado (h)	Rango de media RM $F(t)$	$x = \ln(t)$	$y = \ln(\ln(1/(1-F(t))))$
1	9	0.0833	2.1972	-2.4417
2	72	0.2024	4.2767	-1.4867
3	78	0.3214	4.3567	-0.9474
4	100	0.4405	4.6052	-0.5436
5	100	0.5595	4.6052	-0.1986
6	164	0.6786	5.0999	0.1266
7	225	0.7976	5.4161	0.4685
8	1204	0.9167	7.0934	0.9102

Figura 13

Ecuación lineal de regresión para tiempos de operación de la máquina mesa pre limpia



Nota. Muestra la ecuación lineal de regresión.

El valor para el parámetro de forma beta (β) es 0.7494, mientras que la constante o punto de intersección es 4.0408. El coeficiente de determinación (R^2), que indica el grado de linealidad de los datos, es igual a 0.8724. Además, el parámetro de escala α de la distribución Weibull se calculó utilizando la Ecuación (10).

$$\alpha = e^{4.0408/0.7494} = 219.7058$$

Los valores obtenidos para el parámetro de forma β , que fue de 0.7494, en relación con la máquina mesa pre limpia utilizada en el proceso de arroz, posibilitaron la determinación del periodo de vida operativa de dichos equipos mediante el análisis de la curva de Davies. Este análisis reveló que la máquina se encontraba en una fase de mortalidad infantil, caracterizada por valores de β menores a 1, indicando una disminución en la tasa de fallas a medida que transcurre el tiempo.

Tabla 12

Resultados de cálculo de la confiabilidad para diferentes periodos operativos de la máquina mesa pre limpia

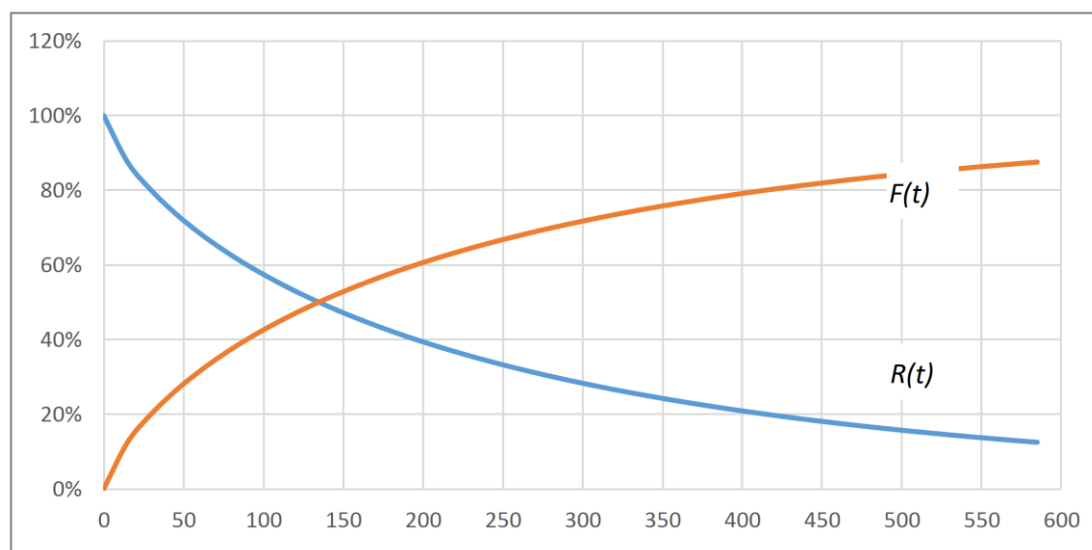
Tiempos (h)	R(t)	Densidad f(t)	Tasa de fallas (λ)	F(t)
0	100%			0%
15	87%	0.005846871	0.006683866	13%
30	80%	0.004486458	0.005617979	20%
45	74%	0.003741872	0.005075118	26%
60	69%	0.003235435	0.004722071	31%
75	64%	0.002855998	0.00446523	36%
90	60%	0.002555633	0.00426578	40%
105	56%	0.002309266	0.004104115	44%
120	53%	0.002102111	0.003969035	47%
135	50%	0.001924707	0.003853581	50%
150	47%	0.001770626	0.003753152	53%
165	45%	0.001635299	0.00366456	55%
180	42%	0.00151536	0.003585509	58%
195	40%	0.001408256	0.003514296	60%
210	38%	0.001312005	0.003449625	62%
225	36%	0.001225036	0.003390488	64%
240	34%	0.001146084	0.003336086	66%
255	33%	0.001074115	0.003285779	67%
270	31%	0.001008274	0.003239044	69%
285	30%	0.000947843	0.003195448	70%
300	28%	0.000892218	0.003154631	72%
315	27%	0.000840884	0.00311629	73%
330	26%	0.000793397	0.003080167	74%
345	25%	0.000749374	0.003046041	75%

360	24%	0.000708482	0.003013722	76%
375	22%	0.000670431	0.002983045	78%
390	21%	0.000634962	0.002953866	79%
405	21%	0.00060185	0.002926057	79%
420	20%	0.000570894	0.002899508	80%
435	19%	0.000541914	0.002874118	81%
450	18%	0.000514751	0.002849801	82%
465	17%	0.00048926	0.002826477	83%
480	17%	0.000465312	0.002804075	83%
495	16%	0.000442791	0.002782532	84%
510	15%	0.00042159	0.002761791	85%
525	15%	0.000401615	0.002741799	85%
540	14%	0.000382776	0.002722508	86%
555	13%	0.000364996	0.002703877	87%
570	13%	0.000348201	0.002685865	87%
585	12%	0.000332325	0.002668436	88%

Nota. $R(t)$: Confiabilidad, $F(t)$: Desconfiabilidad

Figura 14

Comportamiento de la confiabilidad para diferentes periodos operativos de la máquina mesa pre limpia



Nota. $R(t)$: Confiabilidad, $F(t)$: Desconfiabilidad.

Según los datos presentados en la Figura 14, se pudo observar que la confiabilidad de la máquina mesa pre limpia en el proceso de arroz, dentro de un periodo operativo de 160 horas de un mes alcanzó una confiabilidad de aproximadamente 46 %. Evaluando para un periodo operativo más corto de 30 horas su confiabilidad es 80%.

Asimismo, en la Tabla 13 se muestra un resumen de resultados del cálculo de la confiabilidad de los equipos más críticos evaluados.

Tabla 13

Resumen de resultados del cálculo de la confiabilidad para periodos operativos referenciales de los equipos más críticos evaluados

Máquinas	i (Número de fallas)	Horas totales de operación (h)	Confiabilidad (%) (t = 160 horas)	Confiabilidad (%) (t = 30 horas)
Elevadores 2 -16, y elevador de paloteo	45	1876	0%	41%
Descascaradora	15	1813	24%	77%
Pulidoras de agua 1-2	9	1725	50%	89%
Lustradora	12	1905	47%	93%
Mesa pre limpia	9	1952	46%	80%

V. DISCUSIÓN

La evaluación de la confiabilidad de las máquinas procesadoras de arroz en la molinera M y E S.A.C., se realizó utilizando la distribución de Weibull y el método de mínimos cuadrados, revelando baja confiabilidad. Este enfoque proporciona una visión integral que mejora la operación y gestión de activos. La metodología es coherente con la de Suarez (2023), quien aplicó la distribución de Weibull para el mantenimiento de equipos en Rainforest Trading S.A.C., enfocándose en el procesamiento de café. La comprensión de métricas de confiabilidad es crucial para la supervisión y análisis de prácticas de mantenimiento, permitiendo evaluar y mejorar las operaciones de manera continua. En conjunto, este enfoque facilita una mejora operativa óptima y aumenta la eficiencia de las máquinas en el proceso del arroz.

Para estimar la prioridad de fallos y determinar las máquinas críticas, se utilizó el diagrama de Pareto. Se concluyó que el 80% del tiempo de reparación por fallas no programadas se debió a fallas en elevadores, descascaradora, pulidoras de agua, lustradora y mesa pre limpia. Esto coincide con Suarez (2023), quien también utilizó el diagrama de Pareto para determinar equipos críticos en una empresa de café. Reaño (2019) aplicó un análisis de criticidad en la producción de arroz, encontrando que el compresor y el selector eran altamente críticos, el secador de aire y la zaranda de criticidad media, y las cosedoras, elevadores, balanzas y motores de criticidad baja. La priorización de fallos en equipos críticos proporciona una visión clara y priorizada de los problemas, permitiendo una gestión más eficiente y proactiva de los activos, mejorando la operación y rendimiento general.

Para evaluar la confiabilidad de las máquinas y equipos críticos en el procesamiento de arroz, se analizaron los tiempos de funcionamiento hasta falla de cada máquina usando la distribución de Weibull, determinando los parámetros α y β . La curva de Davies permitió estimar la vida útil operativa, revelando que las máquinas elevadoras y lustradora se encontraban en un periodo de desgaste ($\beta > 1$), mientras que la descascaradora y las pulidoras de agua presentaban fallas aleatorias constantes. La confiabilidad de las máquinas elevadoras y el elevador de paloteo fueron casi nula para 160 horas operativas, mejorando a 41% para 30 horas. La descascaradora mostró una confiabilidad del 24% para 160 horas y 77% para 30 horas. Las demás máquinas críticas (mesa pre limpia, pulidoras de agua y lustradoras) tuvieron una confiabilidad entre 46-50% para 160 horas y 80-93% para 30 horas. Rosado (2017) destaca diversos métodos para calcular los parámetros de Weibull, siendo Matlab el de mejor ajuste. Suarez (2023) evaluó equipos de procesamiento de café, y también incluyendo en el análisis equipos eléctricos de media tensión (MT), encontrando una confiabilidad del 40% y 39%

respectivamente para un mes de operación. Rodríguez (2018) analizó la confiabilidad de un separador de aceite, encontrando una probabilidad del 62.38% de funcionamiento correcto tras 500 horas. Reaño (2019) utilizó un árbol de decisiones RCM para desarrollar un programa de mantenimiento basado en confiabilidad. La distribución de Weibull es una herramienta eficaz para cálculos de confiabilidad y mejora de la gestión de mantenimiento.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Se determinó el historial de fallas de las máquinas y equipos de la molinera durante el año 2022, recopilando datos operativos y de reparación de las áreas de mantenimiento y administrativa. El proceso incluye una máquina clasificadora, una descascaradora, quince elevadoras, una elevadora de palotaje, una lustradora, una mesa paddy, una mesa pre limpia, dos pulidoras de agua, una pulidora de piedra, una selectora y una zaranda. Esta evaluación permitió identificar patrones de fallas y mejorar la gestión de mantenimiento, optimizando el funcionamiento del proceso de arroz.

Se estimó la prioridad de fallas utilizando el diagrama de Pareto para identificar las máquinas/equipos críticos. Se encontró que el 80% de los tiempos de reparación no programados fueron causados por fallas en las siguientes máquinas/equipos: Elevadores, descascaradora, pulidoras de agua, lustradora y mesa pre limpia.

Para evaluar la confiabilidad de las máquinas críticas en el proceso de arroz, se analizaron los tiempos de funcionamiento hasta la falla y se aplicó la distribución Weibull para determinar los parámetros α y β . Utilizando la curva de Davies, se identificó que las máquinas elevadoras y lustradoras estaban en un periodo de desgaste ($\beta > 1$), mientras que la descascaradora y las pulidoras de agua tenían fallas aleatorias constantes. La confiabilidad de las máquinas elevadoras y el elevador de paloteo fueron casi nula para 160 horas (un mes), y del 41% para 30 horas. La descascaradora mostró una confiabilidad del 24% para 160 horas y del 77% para 30 horas. Para la mesa pre limpia, pulidoras de agua y lustradoras, la confiabilidad fue del 46-50% para 160 horas y del 80-93% para 30 horas. Se concluye que la confiabilidad mensual es baja, sugiriendo la necesidad de mejorar la operación de las máquinas.

Recomendaciones

Evaluar la criticidad de las máquinas/equipos mediante la aplicación de métodos alternativos para estimar la prioridad de fallas. Además, realizar un análisis de los equipos más críticos, considerando no solo su importancia operativa, sino también los costos asociados a sus posibles reparaciones.

Para mejorar los indicadores de confiabilidad y mejoras en la operatividad de las máquinas/equipos, se recomienda realizar una revisión integral de la gestión de mantenimiento actual, otorgando prioridad a las actividades preventivas con base en la prioridad de fallas de los equipos. Además, se sugiere la implementación de un enfoque de mantenimiento fundamentado en la confiabilidad, aprovechando la experiencia de especialistas en la materia.

Evaluar otros indicadores, Tiempo Medio entre Fallos (TMBF), Tiempo Medio de Reparación (MTTR), y la disponibilidad operacional de las máquinas/equipos más críticos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmadi, S., Moosazadeh, S., Hajihassani, M., Moomivand, H., y Rajaei, M. M. (2019). Reliability, availability and maintainability analysis of the conveyor system in mechanized tunneling. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 145, 756-764. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.06.009>
- Berger, T. (2008). *Orientación sobre la sección 10.3 del Código IGS “Identificación de equipos críticos”*. https://www.classnk.or.jp/hp/pdf/activities/statutory/ism/flag/germany/2008_1.pdf
- Castro, M. C., & Chicaiza, S. F. (2016). *Análisis del estado actual de las máquinas de la empresa Madearq S.A. del cantón Ambato y su incidencia en la confiabilidad*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, Ambato, Ecuador. doi:<http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/22450>
- Damilare, T. O., y Olasunkanmi, O. A. (2010). Development of Equipment Maintenance Strategy for Critical Equipment. *The Pacific Journal of Science and Technology*, 11(1), 328-342. https://www.researchgate.net/profile/Olasunkanmi_Akinyemi/publication/280804155_Development_of_Equipment_Maintenance_Strategy_for_Critical_Equipment/links/572342c008ae586b21d87fb8/Development-of-Equipment-Maintenance-Strategy-for-Critical-Equipment.pdf
- García, F. 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*. Universidad de San Martín de Porres, Pimentel. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12727/3953>
- Gasca, M., Camargo, L., & Medina, B. (2017). Sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en el Sector Industrial. *scielo.cl*, 28(4)(28(4), 111-124 (2017)). doi: 10.4067/S0718-07642017000400014
- Gonzales, J. A. (2021). *Técnicas e instrumentos de investigación científica (ENFOQUES CONSULTING EIRL (ed.); 1 era Edic)*. <https://www.researchgate.net/publication/350072286%0ATÉCNICAS>

- Hafaifa, A., Abdellah, K., y Mouloud, G. (2016). Reliability analysis using Weibull distribution applied to a reliability analysis using Weibull distribution applied to a booster pump. *Journal of the Technical University - Sofia. "Fundamental Sciences and Applications"*, 22(October).
<https://www.researchgate.net/publication/309458184%0ARELIABILITY>
- Ñaupas, H., Valdivia, M., Palacios, J., y Romero, H. (2018). *Metodología de la investigación cuantitativa - cualitativa y redacción de la tesis* (Ediciones de la U (ed.); Quinta edi).
www.edicionesdelau.com
- Odeyar, P., Apel, D. B., Hall, R., Zon, B., y Skrzypkowski, K. (2022). A Review of Reliability and Fault Analysis Methods for Heavy Equipment and Their Components Used in Mining. *Energies*, 15(17), 1-27. <https://doi.org/10.3390/en15176263>
- Pascale, E., Freneaux, T., Sista, R., Sannino, P., Marmo, P., y Bouillaut, L. (2017). Application of the Weibull distribution for the optimization of maintenance policies of an electronic railway signaling system. *HAL Open science*, 3409-3416.
<https://doi.org/10.1201/9781315210469-429>
- Reaño, R. L. (2019). *Propuesta de mantenimiento centrado en confiabilidad en una empresa reprocesadora de subproductos de arroz para minimizar el número de averías*. Universidad Tecnológica del Perú, Chiclayo. Obtenido de
<https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/2058>
- Rivera, R. E. (2011). *Sistema de gestión del mantenimiento industrial*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima. Obtenido de
cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/1661/Rivea_re.pdf?sequence=1
- Rodríguez, T. F. (2018). *Análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad mediante la aplicación de la distribución de Weibull. estudio de caso separadoras de aceite Westfalia de la empresa Agip Oil Ecuador*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador. Obtenido de
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8739>
- Rosado, P. R. (2017). *Evaluación de métodos para determinar la confiabilidad mediante la distribución Weibull: Caso planta San Antonio*. UNIVERSIDAD NACIONAL SAN AGUSTIN DE AREQUIPA, Arequipa. Obtenido de

<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/4420/IIMroparh.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Suarez, J. (2023). *Evaluación de confiabilidad mediante distribución de Weibull para el mantenimiento de los equipos de la empresa Rainforest Trading S . A . C, Bagua Grande, Utcubamba-Amazonas* [Universidad Pólitecnica Amazónica].

<http://hdl.handle.net/20.500.12897/227>

Vishnu, C. R., y Regikumar, V. (2016). Reliability Based Maintenance Strategy Selection in Process Plants: A Case Study. *Procedia Technology*, 25(Raerest), 1080-1087. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.08.211>


Zamora, J. R., Briones, R., y Arteaga, Á. R. (2022). *Determinación de la disponibilidad de un sistema de refrigeración industrial para la industria atunera Determining the availability of an industrial refrigeration system for the tunny industry*. 25(2), 1-8. <http://scielo.sld.cu/pdf/im/v25n2/1815-5944-im-25-02-1.pdf>

Zhang, L., Jin, G., y You, Y. (2019). Reliability assessment for very few failure data and weibull distribution. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/8947905>


ANEXOS

Anexo 01

Datos técnicos de máquinas/equipos que operan en la molinera

	Marca:	ZACCARIA
	Modelo:	PLZ-7
	Potencia:	4 kW
	Capacidad:	7 20 kg/h
	Antigüedad:	5 Años
	Tipo de mantenimiento:	Mantenimiento correctivo
	Función:	Separa impurezas por medio de cribas

Nota. Datos técnicos de máquina palotera

	Marca:	ZACCARIA
	Modelo:	CFZ 7000R
	Potencia:	3.5 kW
	Capacidad:	5 100 – 7 000 kg/h
	Antigüedad:	5 Años
	Tipo de mantenimiento:	Mantenimiento correctivo
	Función:	Descascarado del grano de arroz mediante rodamientos de baja fricción.


Nota. Datos técnicos de máquina descascaradora.

	Marca:	ZUKAI
	Modelo:	DF – 10AR
	Potencia:	motores de 22 kW, 380 V y conexión triangulo
	Capacidad:	3 ton/h,
	Antigüedad:	5 Años
	Tipo de mantenimiento:	Mantenimiento correctivo
	Función:	Pulir el arroz mediante fricción


Nota. Datos técnicos de máquina pulidora de rodillos de goma.

	Marca:	SUZUKI
	Modelo:	...
	Potencia:	2.2 kw
	Capacidad:	2 000 – 4 000 kg/h
	Antigüedad:	5 Años
	Tipo de mantenimiento:	Mantenimiento correctivo
	Función:	Limpieza superficial de grano de arroz.

Nota. Datos técnicos de máquina despedregadora.

	Marca:	ZACCARIA
	Modelo:	WPZ - 2
	Potencia:	0.25 kW
	Capacidad:	5 000 – 8 000 kg/h
	Antigüedad:	5 Años
	Tipo de mantenimiento:	Mantenimiento correctivo
	Función:	Limpieza del grano con aspecto vítreo y cristalino.

Nota. Datos técnicos de máquina pulidora de agua.

	Marca:	SUPER BRIX
	Modelo:	Roto Vaivén ZR 40
	Potencia:	1.2 kW
	Capacidad:	3 900 kg/h
	Antigüedad:	5 Años
	Tipo de mantenimiento:	Mantenimiento correctivo
	Función:	Clasifica el grano de acurdo al tamaño (Arroz, ñelen y arrocillo).

Nota. Datos técnicos de máquina Zaranda clasificadora.



Marca:	SUPER BRIX
Modelo:	SB 80
Potencia:	5.59 kW
Capacidad:	6 000 kg/h
Antigüedad:	5 Años
Tipo de mantenimiento:	Mantenimiento correctivo
Función:	Separa los granos mediante densidades, reduce el número de granos quebrados.

Nota. Datos técnicos de máquina mesa paddy.



Marca:	ZACCARIA
Modelo:	TRIZX - 25
Potencia:	0.25 kW
Capacidad:	12 000 kg/h
Antigüedad:	5 Años
Tipo de mantenimiento:	Mantenimiento correctivo
Función:	Clasifica el grano de acuerdo al tamaño.

Nota. Datos técnicos de máquina clasificadora.



Marca:	TAIHO
Modelo:	Daewon IB full color
Potencia:	2.5 kW
Sistema de iluminación :	Diodos LED
Antigüedad:	5 Años
Tipo de mantenimiento:	Mantenimiento correctivo
Función:	Selecciona el grano de acuerdo al color, separando de los granos cristalinos los granos rojos y tizosos.

Nota. Datos técnicos de máquina selectora.



Marca:	Wuhuan Augus imp & Exp Trading
Modelo:	...
Potencia:	2.2 kW
Capacidad:	6 000 kg/h
Antigüedad:	5 Años
Tipo de mantenimiento:	Mantenimiento correctivo
Función:	Transportar arroz

Nota. Datos técnicos de máquina elevadora.

Anexo 02

Instrumentos de recojo de datos

Guía de observación de datos técnicos y operatividad de máquinas/equipos

Empresa y/o Entidad:

Periodo de evaluación:

Fecha:

Item	Máquinas/equipos		Potencia (kW)	Capacidad (kg/h)	Tipo de mantenimiento	Función que desempeña	Estado actual
	Descripción	Modelo/serie					

Ficha de registro de fallas de máquinas/equipos

Empresa y/o Entidad:

Periodo de evaluación:

Fecha:

Fecha	Hora	Máquinas/equipos	Falla	Actividad realizada	TO (Horas)	TR (Horas)

Anexo 03
Evidencias de recojo de datos



Nota. Tesistas verificando características técnicas de la máquina descascaradora.



Nota. Tesistas verificando características técnicas de la máquina pulidora.



Nota. Tesista verificando características técnicas de la máquina pulidora de piedra.



Nota. Tesista verificando características técnicas de la máquina selectora de grano a color.



Nota. Tesistas verificando características técnicas de la máquina Zaranda.



Nota. Tesistas verificando características técnicas de la Mesa paddy.



Nota. Tesista verificando máquina selectora de grano de rodillo.



Nota. Tesista verificando tablero eléctrico de control.



Nota. Área de almacenamiento de productos finales.



Nota. Exteriores de la molinera MyE S.A.C.