

# From traditional maintenance management to total productive maintenance: application case in agribusiness

Luz Baldeon-Nazario, B. Eng.<sup>1</sup>, Luis Mattos-Carrillo, B. Eng.<sup>2</sup>, and Patricia Pinedo-Palacios, M. Eng.<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup> César Vallejo University, Perú  
lbaldeonn@ucvvirtual.edu.pe, lfmattosmthird@ucvvirtual.edu.pe, dpinedopa@ucvvirtual.edu.pe

*Abstract– This research has been developed with the purpose of increasing the productivity of a company dedicated to agribusiness through the application of TPM in maintenance management, using applied research with a pre-experimental design, through the pre-result. test and post test, the techniques of analysis of historical documentation referring to production and failures recorded by the machines were applied and direct observation was also used in the diagnosis and implementation of the improvement. Covering a sample of weekly production productivity and the total number of ammonia compressor machines. The results were an improvement in its production processes and in the effectiveness of its compressor machines, with the implementation of total productive maintenance, through its 8 pillars and 12 application stages. Concluding that maintenance management achieved an increase in average productivity rates of 27.76%, increasing to a post-test productivity of 61.09%.*

*Keywords– maintenance, productivity, machine.*

# From traditional maintenance management to total productive maintenance: application case in agribusiness

## De gestión de mantenimiento tradicional a mantenimiento productivo total: caso de aplicación en agroindustria

Luz Baldeon-Nazario, B. Eng.<sup>1</sup>, Luis Mattos-Carrillo, B. Eng.<sup>2</sup>, and Patricia Pinedo-Palacios, M. Eng.<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup> César Vallejo University, Perú

lbaldeonn@ucvvirtual.edu.pe, lfmattosmthird@ucvvirtual.edu.pe, dpinedopa@ucvvirtual.edu.pe

**Abstract**– *This research has been developed with the purpose of increasing the productivity of a company dedicated to agribusiness through the application of TPM in maintenance management, using applied research with a pre-experimental design, through the pre-result. test and post test, the techniques of analysis of historical documentation referring to production and failures recorded by the machines were applied and direct observation was also used in the diagnosis and implementation of the improvement. Covering a sample of weekly production productivity and the total number of ammonia compressor machines. The results were an improvement in its production processes and in the effectiveness of its compressor machines, with the implementation of total productive maintenance, through its 8 pillars and 12 application stages. Concluding that maintenance management achieved an increase in average productivity rates of 27.76%, increasing to a post-test productivity of 61.09%.*

**Keywords**– *maintenance, productivity, machine.*

### I. INTRODUCCIÓN

En el mundo competitivo actual, las empresas agroindustriales tienen como objetivo el cumplimiento de su demanda, esto conlleva a que se debe de mantener los equipos o máquinas siempre disponibles para su uso en el momento que se requiera, garantizando su mayor disponibilidad posible manteniendo la productividad deseada.

La gestión de mantenimiento es uno de los procesos de gran importancia porque la ejecución de un plan de mantenimiento permite detectar las causas raíz de las fallas, garantizando la máxima operatividad de las máquinas, así como reducir las paradas y evitar los sobre costos [1]. [2] Mediante los mantenimientos se predicen los servicios a requerir por la operatividad de las máquinas, así como asegurar su disponibilidad y fiabilidad necesaria para mantener una producción óptima en la empresa. [3] La planificación en los mantenimientos genera un ahorro y por ende un mejoramiento en la productividad de la empresa, así como también cuida el funcionamiento de los equipos y máquinas.

En Cuba, la falta de evaluaciones técnicas y la falta de un mantenimiento provisorio relacionados con la disponibilidad de los equipos y máquinas provocan elevadas cantidades de fallas y altos costos en la reparación y operación. Por lo tanto, el desarrollar adecuadas estrategias de mantenimiento permite conocer el proceso de vida de los equipos y maquinaria para

garantizar contar con una adecuada disponibilidad en los centros de trabajo y con la fiabilidad esperada [4].

En Indonesia, el seguimiento de los indicadores relacionados con el mantenimiento, como son los índices de disponibilidad, calidad y de fiabilidad, contribuyeron a mejorar el plan de mantenimiento y lograr reducir las fallas e incrementar la disponibilidad. La implementación de indicadores permitió la reducción de los costos por servicios de mantenimiento; así como evitar paradas de producción lo que significa la maximización de la productividad [5].

En el Perú, en una empresa productora se analizaron las fallas presentadas en los equipos para poder aplicar la gestión de mantenimiento que será realmente efectivo y viable con el objeto de tener un incremento en la disponibilidad de las máquinas por medio de la búsqueda de la reducción de la cantidad de fallos, beneficiando a la línea productiva y por ende una reducción en los costos de reparación o paradas de producción [6].

Con relación a la empresa agroindustrial estudiada, está dedicada a la exportación de uva, estaba presentando una baja productividad debido a las constantes fallas en el funcionamiento de las máquinas encargadas del proceso de refrigeración, hemos utilizado herramientas de calidad para identificar las posibles causas, problema y efectos para luego para poder plantear soluciones: En primer lugar, se utilizó el árbol de causas donde se detectó el problema general: baja productividad. Luego, a través de la utilización del diagrama de espina de pescado fueron halladas las causas generales: la falta de mantenimiento preventivo, personal no capacitado para el manejo de las máquinas, incumplimiento con el programa de mantenimiento y la falta de monitoreo al funcionamiento de las máquinas.

Después trasladamos las causas generales a la matriz Vester, cuyo propósito es determinar el impacto de las causas a través de las valoraciones de grados de causas que determinen la correlatividad entre ellas. Al final a través del diagrama de Pareto permite hallar la causa principal: la falta de mantenimiento preventivo que trae como consecuencias paradas de producción, mayor tiempo de enfriamiento en otras etapas como: pérdidas de materia prima (uva), por temperaturas inadecuadas o fuera de rangos establecidos (0-0.5 C°) al tomar una muestra de la pulpa de la uva, costos

elevados de reparación y desecho de productos. Por lo tanto, es importante la aplicación del TPM<sup>1</sup> en la gestión de mantenimiento para mejorar la productividad de la organización.

Se formuló el problema planteándose de la siguiente manera: ¿En qué medida la aplicación del TPM en la gestión del mantenimiento afecta la productividad en una gran empresa agroindustrial?

Esta investigación se justificó por su relevancia teórica, ya que mediante la aplicación de conceptos sobre la gestión del mantenimiento se propone un efecto en la disponibilidad y fiabilidad que ayude a la organización en sus procesos. En lo económico, ya que se busca mejorar los indicadores de disponibilidad y fiabilidad, mediante la aplicación de una mejor gestión de mantenimiento y de esta manera disminuir sus costos. [7] La justificación económica tiene un fin asociado a un beneficio por la realización de la investigación. La justificación práctica se desarrolla en conjunto para resolver un problema o se ejecutan estrategias que contribuyen a la solución. Por su relevancia práctica, ya que mediante la aplicación de teorías se propone una mejora en la gestión de mantenimiento que ayude a la organización en sus procesos.

El objetivo general fue planteado de la siguiente manera: determinar en qué medida la aplicación del TPM en la gestión del mantenimiento afecta la productividad en una gran empresa agroindustrial. Como objetivos específicos: diagnosticar la productividad, diagnosticar la gestión del mantenimiento, aplicar TPM en la gestión de mantenimiento y medir los efectos sobre la productividad.

La hipótesis general de la investigación se planteó: la aplicación del TPM en la gestión de mantenimiento incrementa la productividad en una gran empresa agroindustrial.

## II. MARCO TEÓRICO

Como resultado de las revisiones bibliográficas realizadas, detallamos los siguientes antecedentes:

[8] Con su investigación realizada en Reino Unido, tuvieron como propósito analizar la fiabilidad de la maquinaria, con una investigación aplicada, para una población total del registro de los fallos, se analizaron los registros mediante el análisis documental y se logró mejorar la disponibilidad esperada al 80%, concluyendo que la aplicación de DFTA, FMECA ayudaron a mejorar el programa de mantenimiento.

[9] Desarrollaron una investigación en Indonesia donde se propusieron mejorar el servicio de mantenimiento para la

minimización de los costos, con un tipo de investigación descriptiva, tomando el total de equipos pesados que cuenta la entidad como muestra y población, con el análisis documental de las fallas y la observación directa, se logró mejorar la efectividad en un 94% con un adecuado programa de mantenimiento y concluyendo que con una adecuada planificación se obtienen beneficios para las organizaciones.

[10] En La India investigaron con el propósito de mejorar la productividad con el mantenimiento productivo total, utilizando la investigación aplicada y pre experimental, aplicado al sistema de transmisión, mediante la revisión de los archivos y la observación, mejorando del 62% al 71% en la efectividad, concluyendo que el TPM aumenta la fiabilidad y reduce inactividad.

[4] Investigó en Cuba con el propósito de mejorar la confiabilidad y disponibilidad en la industria química, con una investigación aplicada y pre experimental, tomando los equipos como población y muestra, con un análisis de las fallas y la observación directa, se logró establecer el procedimiento para el cálculo de la disponibilidad y fiabilidad de las máquinas, concluyendo que la determinación de mejoras ayuda a aumentar la disponibilidad.

[11] En China, investigaron para mejorar la fiabilidad y disponibilidad en los mantenimientos, utilizando la investigación aplicada y pre experimental, para con el análisis de los datos registrados y la observación del proceso con una muestra y población del sistema de máquinas, obteniendo como resultados la mejora de la disponibilidad, concluyendo que las mejoras reducen la tasa de fallas.

[12] En su investigación realizada en Indonesia, se propusieron analizar los costos en la falta de fiabilidad, con una investigación del tipo descriptiva, para una población y muestra de las máquinas de tejer de la empresa, donde se analizaron los registros históricos de fallas y se tuvo como resultado una disponibilidad del 95%, concluyendo que la aplicación de mejoras en los mantenimientos brinda una mejor medición del MTTR y MTTF.

[13] Desarrollaron una investigación en Arabia Saudita, donde se propusieron mejorar la fiabilidad a través de estrategias de mantenimiento, con una investigación aplicada y diseño pre experimental, utilizaron una población y muestra abarcando los componentes del sistema de descarga, con el análisis de la información histórica se logró mejorar la fiabilidad en un 90% y la disponibilidad en un 85%, concluyendo que el análisis de las fallas pueden identificar componentes más confiables en las empresas.

[14] En China con su investigación tuvieron el propósito de mejorar la confiabilidad a través de FMEA, con una investigación del tipo de investigación descriptivo, se analizaron un total de 137 equipos de válvula en las cuales se analizaron los historiales de fallas, teniendo como resultados mejorar la confiabilidad del 67% al 86%, concluyendo que el estudio permitió establecer políticas de mantenimiento.

---

<sup>1</sup> TPM significa "Total Productive Maintenance" (Mantenimiento Productivo Total) y es una estrategia de gestión que se enfoca en la mejora continua de los equipos y maquinaria en una organización para maximizar su eficiencia, confiabilidad y disponibilidad.

[15] En Francia investigaron con la finalidad de mejorar el diseño de mantenimiento con el análisis de las fallas, a través, de la investigación aplicada y pre experimental, tomando a las 40 máquinas como población y muestra, con un análisis del registro de fallas, se logró contar con un mejorado plan de mantenimiento y la optimización de los costos generados por las reparaciones.

[16] En China han investigado con la finalidad de mejorar el mantenimiento predictivo con un adecuado análisis de las fallas, con una investigación aplicada y pre experimental, tomaron 3 motores como muestra y población donde se analizaron las fallas mediante los registros históricos, logrando mejorar la disponibilidad en 82% y la fiabilidad en un 80%, concluyendo que las actividades de mantenimiento están enfocadas a reducir los indicadores de falla.

[17] Investigaron en España, para proponer la elaboración de un plan de mantenimiento para la detección de fallas, con una investigación del tipo descriptivo, tomaron a las máquinas que conforman el sistema de climatización y ventilación como población y muestra. Cuyos resultados fueron que la implementación de FMEA mejoró el 86% de la disponibilidad de las máquinas, concluyendo que esta metodología ayuda a poder identificar las causas de cada una de las fallas.

[18] En China en su investigación, tuvieron como finalidad equilibrar la confiabilidad y el mantenimiento de componentes, con una investigación aplicada y pre experimental, tomando a los componentes de las máquinas de producción como población y muestra, con un análisis de los registros de fallas, se logró mejorar 93% para la disponibilidad y 94% para la confiabilidad de, concluyendo que la mejor política está relacionada con el costo del mantenimiento y la durabilidad de las máquinas.

[19] Investigaron en España, con el propósito de mejorar las estrategias de mantenimiento de las máquinas, para una investigación aplicada y pre experimental, tomando a las máquinas de fabricación industrial como población y muestra, con el análisis de la documentación se logró tener como resultados la disponibilidad de los componentes alcanzó el 90% mientras que la efectividad logro de un 44% un 93% de mejora, concluyendo que la aplicación de estrategias ayudaron a la gestión de mantenimiento.

[20] Realizaron su investigación en México, se propusieron explorar la gestión de mantenimiento para obtener una productividad aumentada, con un estudio explorativo y un enfoque cualitativo, con el análisis de los documentos de los registros de fallas y la observación directa, como resultados se muestra la importancia del OEE (efectividad global de equipos) para la medición y mejora del plan maestro de la producción con un índice incrementado de 36% a 79%.

[21] En Suecia investigaron donde se propusieron mejorar la productividad con metodologías de confiabilidad y disponibilidad, con un tipo de investigación aplicada, tomaron a los equipos del proceso de transporte de piezas de

fabricación como población y muestra, con el análisis de los datos históricos y la observación directa, se logró mejorar la fiabilidad en un 90% mientras que la disponibilidad en un 95%, concluyendo que la evaluación de los fallos han permitido un mejoramiento en el plan de mantenimiento.

[22] Realizaron su investigación en Irán con el propósito de mejorar la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de las máquinas, con una investigación aplicada y pre experimental, con la recopilación de registros de los mantenimientos se analizaron las fallas, teniendo como resultados la mejora en la disponibilidad de 45% a un 61% y una efectividad de 33% a un 80%, concluyendo que un adecuado plan de mantenimiento disminuye los índices de falla.

[23] A través de su investigación realizada en España, tuvieron como propósito la optimización de los mantenimientos para garantizar la disponibilidad de las máquinas, con una investigación del tipo descriptiva, tomando a 203 grupos hidroeléctricos como población y muestra, de los cuales se obtuvo los registros de fallas y se logró mejorar el OEE de un 46% en un 70%, concluyendo que esta implementación generó la disminución de los costos.

#### A. *Gestión de Mantenimiento*

[23] Para la aplicación la gestión de mantenimiento realizó el análisis de los posibles riesgos de fallos mediante la herramienta AMFE<sup>2</sup>, con el cual calcula el índice de prioridad de riesgo con el cual se logró la priorización e influir en las decisiones de la empresa, así como determinar el grado de confiabilidad de las máquinas a través del mantenimiento preventivo controlando la tasa de fallas y las horas de funcionamiento. Por otro lado, [4] indican que para el desarrollo de estrategias de mantenimiento es importante tener en cuenta el tiempo para producir y el tiempo de parada el cual calcula la disponibilidad de las máquinas y su eficiencia, a fin de dar solución a las causas de los fallos.

La gestión de mantenimiento tiene la finalidad de asegurar que los equipos funcionen correctamente en términos de efectividad, confiabilidad y disponibilidad. [16] Mencionan que, para la realización de la de mantenimiento, es importante contar con un historial de fallas, de las cuales se analizan y se establece la fiabilidad según la funcionalidad. Mientras que [22] indican que la planificación es parte de una adecuada gestión de mantenimiento con la finalidad de reconocer la tasa de fallos y las acciones de reparación ejecutadas, así como, su capacidad de conservación, apoyados en todo momento del TPM mantenimiento productivo total.

El TPM está constituido por ocho pilares: mantenimiento autónomo, mejoras enfocadas, mantenimiento planificado,

---

<sup>2</sup> AMFE es un acrónimo que se refiere a "Análisis de Modo y Efecto de Falla". También se conoce como FMEA por sus siglas en inglés, "Failure Mode and Effects Analysis".

gestión de calidad, gestión del desarrollo, TPM administrativo y seguridad y salud; cuyos pilares buscan lograr la organización por medio de las 5S [24]. Su implementación se desarrolla por medio de tres fases: preparación, desarrollo y optimización, los cuales están compuestos por 12 etapas que comprenden la decisión de la dirección, la difusión, creación de la estructura, el diagnóstico inicial, el plan de acción, el lanzamiento, la implementación, el auto mantenimiento, el mantenimiento programado, la formación, la integración con los sistemas y su certificación [25].

[13] Mencionan como el tiempo medio entre fallas y el modo entre fallas son unos indicadores de gran importancia para poder determinar la confiabilidad, con la cual las empresas pueden planificar sus mantenimientos y predecir sus costos. [26] Mediante el análisis de la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, son intervalos para desarrollar un mantenimiento con un resultado eficaz, determinando el tiempo entre fallas y el tiempo de reparación, para incrementar la vida útil de la máquina.

[12] Menciona que el rendimiento de las máquinas está determinado por el rendimiento de la mantenibilidad, disponibilidad y confiabilidad, que agrupan los índices de tiempo entre fallas. Así mismo, [14] menciona que la tasa de fallas forma parte de los índices de confiabilidad orientados a poder decidir las mejores acciones para los programas de mantenimiento y OEE.

[27] menciona que la aplicación de un análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad es la técnica que se propone para evaluar el correcto mantenimiento a través de los índices de fallas y fiabilidad. [18] Para la reducción de los costos a consecuencia de los mantenimientos, es importante el equilibrio de funcionamiento de las máquinas, mediante el cual se analizan la confiabilidad y disponibilidad con el objetivo de hacer seguimiento a las fallas y su origen.

### B. Productividad

Para nuestra variable productividad: es el término referido a los recursos o insumos y su relación con los resultados de un proceso o producto final [28]. A través, de la gestión y medición de la productividad la alta dirección podrá conocer el funcionamiento de sus procesos y le permitirá establecer mejoras a sus resultados obtenidos en búsqueda de altos niveles de productividad [29].

La productividad puede considerarse midiendo los resultados que se obtienen entre los recursos que se emplearon, así mismo, se puede desarrollar considerando los dos componentes que son eficiencia; los cuales pueden ser el total de los recursos utilizados y la cantidad de mudas, y la eficacia; son los resultados de la obtención de los objetivos [30].

La eficiencia se define como la forma correcta de lograr los objetivos, destacando de manera óptima la producción sin alterar los recursos necesarios [31]. La eficacia consiste en

analizar el logro obtenido por las metas de un programa y mide los cambios de una de las intervenciones de mejora [32]. La productividad combina la eficacia, que está orientada a los recursos utilizados y con la eficiencia, que está orientada a medir el desempeño organizacional.

## III. METODOLOGÍA

La investigación fue de tipo aplicada y enfoque cuantitativo, con diseño pre experimental. La población estuvo conformada por la producción y por las máquinas compresoras de amoníaco y una muestra de la producción del año 2022 y 2023 y un total de 6 máquinas, con un tipo de muestreo no probabilístico por conveniencia. Para la obtención de la información se utilizó el análisis documental de la producción histórica, cuyos instrumentos fueron las fichas de registros de la producción y productividad. El análisis estadístico fue realizado en el programa Excel para la recopilación de datos y el SPSS26 para realizar el análisis inferencial para la determinación de nuestra hipótesis.

## IV. RESULTADOS

### A. Diagnóstico de la productividad

TABLA I  
INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD PRE TEST

2022-2023	Eficiencia (%)	Eficacia (%)	Productividad (%)
Promedio	55.35	50.40	27.76

Como resultado de la recopilación de datos en la tabla I, se obtuvieron como resultados pre test un promedio para la eficiencia del 55.35%, para la eficacia un 50.40% y la productividad en un promedio de 27.76%. cuyos resultados son considerados como niveles bajos para la empresa.

### B. Diagnóstico de la gestión de mantenimiento

TABLA II  
CÁLCULO DE LA EFECTIVIDAD (OEE) PRE TEST

Disponibilidad (%)	Rendimiento (%)	Calidad (%)	Efectividad OEE (%)
82.34	34.19	93.93	26.45

En la tabla II, se observa los datos iniciales de los indicadores de la gestión de mantenimiento inicial, teniendo como índices de las máquinas a la disponibilidad en un 82.34%, la confiabilidad con un 87.40%, rendimiento en un 34.19%, la calidad en un 93.93% y la efectividad (OEE) con un 26.45%, considerando un nivel de OEE bajo para la empresa.

### C. Aplicar TPM en la gestión de mantenimiento

Para el diseño e implementación del TPM se han considerado las fases de preparación, desarrollo y optimización; las cuales están conformadas por 12 etapas.

TABLA III  
PLANIFICACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL TPM

Fases	Actividades
Preparación	1. Decisión de la dirección de aplicar TPM
	2. Campaña de información
	3. Estructuración del TPM
	4. Diagnóstico inicial
	5. Redacción de la planificación
Desarrollo	6. Lanzamiento
	7. Implementación
	8. Ejecución del auto mantenimiento
	9. Ejecución del mantenimiento programado
	10. Capacitación del personal
Optimización	11. Integración con los sistemas de gestión
	12. Certificar la aplicación TPM

### D. Fase de preparación

#### Etapa 1. Decisión de la dirección de aplicar TPM

En base al análisis realizado a las causas principales de la baja productividad, se tuvo como origen a los constantes desperfectos y averías en los compresores del área de refrigeración.

El responsable de mantenimiento comunicó a la gerencia la propuesta de mejora mediante TPM, para su aprobación y compromiso. El cual mediante correo electrónico mostró su conformidad y apoyo a la propuesta.

#### Etapa 2. Campaña de información

Se realizaron charlas de información dirigido al personal involucrado de la implementación del TPM, a cargo del supervisor del área de mantenimiento.

#### Etapa 3. Estructuración del TPM

La estructura de responsabilidad del TPM ha sido definido por la gerencia general considerando la estructura organizacional vigente y el nivel de autoridad para poder llevar a cabo las tareas propuestas para el desarrollo de la implementación, estableciendo de esta manera el siguiente organigrama:

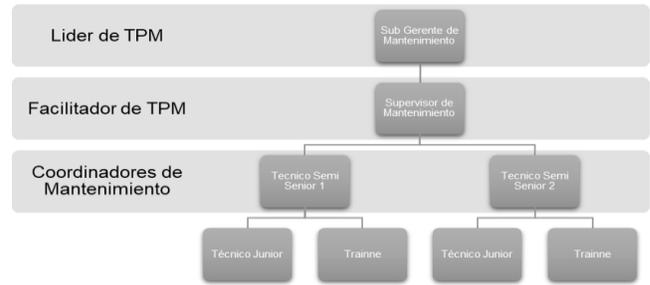


Fig. 1 Organigrama del comité de implementación TPM

#### Etapa 4. Diagnóstico de la situación de partida

Para el inicio del TPM se procedió a calcular el OEE de las máquinas compresoras, teniendo como resultado promedio de 26.45%.



Fig. 2 Resultado inicial del OEE

#### Etapa 5. Planificación de las actividades

Se procedió a definir las actividades que se realizaron y los plazos establecidos para su ejecución, los cuales son detallados en la tabla IV.

Así mismo, la gerencia general definió como meta el aumento de la productividad en la agroindustria estudiada con la optimización del área de refrigeración, para lo cual, se definieron los siguientes objetivos de la implementación TPM en la empresa:

- Disminuir el índice de fallas y reportes de averías de las unidades.
- Fomentar la cultura de TPM en las áreas.
- Dar material para capacitación frecuentemente a cada colaborador.
- Involucrar al personal en el desarrollo de las actividades respectivas.
- Asegurar el óptimo performance de las máquinas.

### E. Fase de Desarrollo:

#### Etapa 6. Lanzamiento

En esta etapa se realizó la difusión de la implementación a toda la organización, por medio de afiches de comunicación.

Se realizó el ordenamiento y la limpieza de las áreas de mantenimiento y la sala de máquinas a través de las 5S, con la finalidad de generar una mayor cultura organizacional. Esta actividad fue realizada junto al personal operativo quienes han demostrado su compromiso con el mejoramiento del área.

### Etapa 7. Implementación de la mejora

Se realizó el análisis de las fallas de las máquinas compresores de amoniaco, generadas en el último periodo 2022 y 2023, por medio de la herramienta Análisis de Modo y Efectos de Falla (AMEF) para la valoración de los riesgos ocasionados por las fallas.

Función o Componente	Modo de fallo	Efecto	Causas	Severidad	Probabilidad	Detección	RPN	Acciones Recomendadas
Máquina compresora de amoniaco	Alto nivel de líquido	Desgaste mecánico	Apagado de compresores	10	4	1	40	Reducir nivel de NH3 en tanque de bombeo
	Sobre corriente de motor	Sobre calentamiento de motor	Caídas de tensión	7	9	2	126	Revisión de motor y reducir carga de sistema
	Alta presión de descarga	Reducción de capacidad de compresor	Falta de condensación	6	6	1	36	Reducir carga térmica y aumentar condensación
	Alta temperatura de descarga	Reducción de capacidad de compresor	Falta de condensación	6	6	1	36	Calibración de válvula de Volumen y aumentar condensación
	Falla auxiliar	Apagado de compresor	Caídas de tensión	3	8	1	24	Reiniciar panel de control
	Alta temperatura de aceite	Desgaste mecánico	Falla de regulador de aceite	9	6	1	54	Limpieza y/o cambio de válvula termostática
	Alta presión diferencial	Baja presión de aceite en compresor	Obstrucción de filtro	9	6	1	54	Cambio de filtro de aceite

Fig. 3 Desarrollo del Análisis de Modo y Efectos de Falla de los compresores

Con relación al pilar de gestión de la calidad, se realizó el análisis de los principales defectos originados en el proceso de refrigeración de la empresa. Para lo cual se desarrolló la matriz de aseguramiento de la calidad (QA), en la cual se pudieron detallar los principales defectos que puede presentar el producto, así como la frecuencia de ocurrencia y la criticidad de estos, para finalmente poder determinar la relación directa del funcionamiento de las máquinas compresoras con los defectos que puedan ocurrir.

Proceso	Componente	Componente de calidad de la máquina	Característica de calidad	Enfriamiento	Enfriamiento	Color	Humedad	Presentación
			Defecto ⇨	Bajo enfriamiento	Alto nivel de enfriamiento	Cristalización	Deshidratación	Producto manchado
Refrigeración	Compresor de amoniaco	Refrigeración de cámaras	Frecuencia ⇨	★	☆	★	☆	☆
		Funcionamiento de los compresores	Criticidad ⇨	●	●	▲	●	▲
Total de puntos donde hay relación directa con el defecto de calidad (X)				2	2	1	1	1

Fig. 4. Matriz de Aseguramiento de la calidad (QA)

Para poder prevenir la ocurrencia de los defectos en el proceso de refrigeración se ha elaborado el procedimiento de comunicación de fallas en el sistema de frío con la finalidad de poder mejorar la atención de las incidencias.

Así mismo se realizó la aplicación del TPM en las áreas administrativas de compras y almacén, las cuales forman parte de los procesos de soporte para la gestión de mantenimiento en la organización.

TABLA IV  
APLICACIÓN DE TPM EN LAS ÁREAS ADMINISTRATIVAS

Área	Problema detectado	Desperdicios	Acciones correctivas
Compras	Demora en la generación de los servicios	- Espera - Inventarios - Defectos	- Apoyo del área de mantenimiento en la búsqueda de proveedores. - Elaboración de condiciones particulares para los servicios de mantenimiento. - Capacitación al personal de compras en el sistema ERP.
Almacén	Demora en el despacho de los Insumos	- Espera - Defectos	- Realización de inventarios de insumos de almacén - Capacitación del personal. - Actualización del DOP de almacén

### Etapa 8. Desarrollo del auto mantenimiento

Para que el personal del área de mantenimiento pueda ejecutar de forma periódica el mantenimiento autónomo se han elaborado dos fichas correspondientes a cada máquina compresora.

Así mismo, como parte del desarrollo de esta etapa se procedió a capacitar al personal del área de mantenimiento en la nueva ficha preparada para mantenimiento autónomo de las máquinas compresoras.

### Etapa 9. Desarrollo del mantenimiento programado

Para establecer el pilar de prevención del mantenimiento se ha realizado el análisis de los compresores de amoniaco considerando sus características e información técnica de funcionamiento, con dicha información se pudo establecer el programa de mantenimiento preventivo.

A partir del análisis de las fallas se ha diseñado el programa de mantenimiento preventivo, cuyas actividades se han definido teniendo en cuenta de acuerdo con las especificaciones del fabricante y su periodicidad según horas de funcionamiento.

N°	DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO	FRECUENCIA U HORAS DE OPERACIÓN (MÁXIMA)														
		200	1000	5000	8000	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000	45000	50000	55000	60000
1	Cambio de aceite	Según las indicaciones del análisis de aceite														
2	Análisis de aceite	X	Cada 6 meses (servicio tercerizado)													
3	Cambio de filtro	X	Según las indicaciones del análisis de aceite													
4	Limpiar cedazos de aceite	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5	Limpiar cedazos de líquido	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
6	Cambiar coalescentes								X							X
7	Overhol de compresor								X							X
8	Revisar y limpiar cedazos de succión	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
9	Succión y descarga (pernos de brida)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
10	Unidades VFD	Verificar anualmente														
11	Verificar conexiones eléctricas	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
12	Verificar calibración del sensor	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
13	Revisión de acople	X	Anualmente independientemente de horas de servicio													
14	Análisis de vibraciones	Cada 6 meses, con más frecuencia si aumenta los niveles (servicio tercerizado)														
15	Cambio de sello	Cuando la tasa de fugas supera 7-8 gotas por minuto														

Fig. 5. Programa de mantenimiento preventivo

F. Fase de Optimización:

Etapa 10. Formación del equipo humano

Se implementó el programa anual de capacitaciones para continuar con la formación del personal del área de mantenimiento quien está a cargo del proceso de implementación del TPM.

TABLA V  
PROGRAMA DE CAPACITACIÓN DEL PERSONAL DEL ÁREA DE REFRIGERACIÓN

N°	CURSO	Dirigido
1	Implementación TPM	Técnicos de mantenimiento
2	Funcionamiento y operación de compresores	
3	Procesos Mecanizados	
4	Mantenimiento Autónomo	
5	Orden y Limpieza	
6	Uso de herramientas manuales	
7	Uso de herramientas de poder	

Etapa 11. Sistemas de gestión integrados al TPM

Como parte de la implementación del TPM, las mejoras fueron integradas al sistema de gestión de seguridad laboral y salud ocupacional y a la gestión medioambiental.

TABLA VI  
INTEGRACIÓN DE TPM CON EL SISTEMA DE GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL Y SST

Sistema de gestión Seguridad y Salud en el Trabajo (SST)	Sistema de Gestión Medio Ambiental (MA)
- Incluyeron controles de SST en los instructivos de mantenimientos autónomos.	- Se incluyeron controles MA en los instructivos de mantenimiento autónomo.
- Se actualizó la matriz de peligros y de riesgos con relación a las tareas de mantenimiento autónomo.	- Se actualizó la matriz de aspectos ambientales con relación a las tareas de mantenimiento autónomo.
- Se identificaron la necesidad de implementación de equipos de protección individual.	- Se implementaron tachos de segregación cerca de la sala de máquinas para la disposición de los residuos.
- Se incluyen en las capacitaciones del área de mantenimiento las consideraciones de SST que debe de tener en cuenta el personal.	- Se incluyen en las capacitaciones del área de mantenimiento las consideraciones de MA que debe de tener en cuenta el personal.
- Se incluyen términos de SST en los servicios de mantenimiento preventivo.	- Se incluyen términos de MA en los servicios de mantenimiento preventivo.

Etapa 12. Certificar la aplicación TPM

En esta etapa se ha desarrollado un panel de control de mantenimiento, el cual es comunicado a la gerencia general de manera trimestral para informar sobre los resultados de los indicadores de mantenimiento y productividad, el cual servirá para que la gerencia general pueda tomar acción.

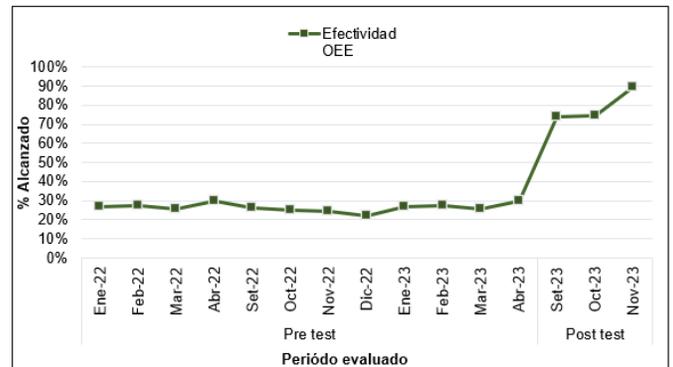


Fig. 6. Comparación del OEE pre test y post test

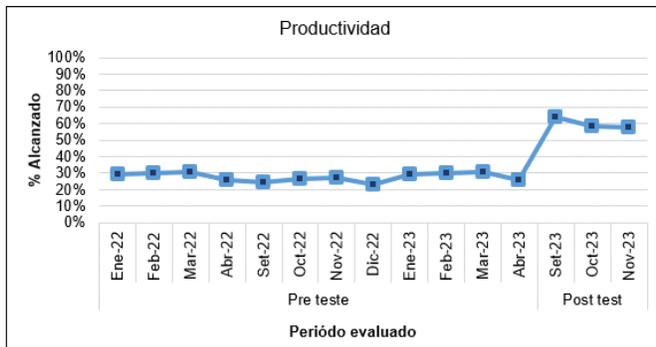


Fig. 7. Comparación de las productividades pre test y post test

### G. Gestión de mantenimiento post test

TABLA VII  
CÁLCULO DE LA EFECTIVIDAD (OEE) POST TEST

Disponibilidad (%)	Rendimiento (%)	Calidad (%)	Efectividad OEE (%)
93.13	82.70	96.11	74.04

En la tabla VIII, se observan los índices resultantes post test de los indicadores de la gestión de mantenimiento, teniendo como índices de las máquinas a la disponibilidad en un 93.13%, la confiabilidad con un 95.91%, rendimiento en un 82.70%, la calidad en un 96.11% y la efectividad (OEE) con un 74.04%, considerando un nivel de OEE regular para la empresa.

### H. Medición de los efectos de productividad

TABLA VIII  
INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD POST TEST

2023	Eficiencia (%)	Eficacia (%)	Productividad (%)
Promedio	82.66	73.84	61.09

Como resultado de la recopilación de los índices en la tabla IX, se obtuvieron como resultados post test un promedio para la eficiencia del 82.66%, para la eficacia un 73.84% y la productividad en un promedio de 61.09%. cuyos resultados son considerados como niveles bajos para la empresa.

### H. Desarrollo de los pilares del TPM

Pilares TPM	Indicadores	Pre test	Post test
I. Mejoras enfocadas	% implementación TPM $= \frac{\text{Etapas ejecutadas}}{\text{Etapas programadas}} \times 100$	--	$\frac{12}{12} \times 100 = 100\%$
	OEE: Disponibilidad x Rendimiento x Calidad	26.63%	74.04%
II. Mantenimiento autónomo	Tiempo medio entre fallas: $MTBF = \frac{\text{Tiempo operativo real} - \text{tiempo fallas}}{\text{número de fallas}}$	7.71	35.67
	Tiempo medio reparación: $MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparaciones}}{\text{número de reparaciones}}$	1.62	1.35
	Rendimiento: $\frac{\text{Carga frigorífica consumida}}{\text{Potencia frigorífica absorbida}}$	34.19%	82.70%
III. Mantenimiento planificado	Disponibilidad: $\frac{MTBF}{MTBF+MTTR}$	82.34%	93.13%
	Confiabilidad: $e^{-\lambda \cdot t}$ e: Número de Euler t: periodo para conocer la confiabilidad λ: Constante (tiempo medio entre fallas) MTBF: Tiempo medio entre fallas Expresándose de la siguiente manera: $= e^{-\left(\frac{1}{MTBF}\right)t}$	87.63%	95.91%
	Calidad: $\frac{\text{Producción terminada} - \text{Producción observada}}{\text{Producción terminada}}$	93.93%	96.11%
V. Gestión del desarrollo, educación y capacitación	Capacitaciones: $\frac{\text{Capacitaciones realizadas}}{\text{Capacitaciones programadas}} \times 100$	--	$\frac{7}{7} \times 100 = 100\%$
VI. Prevención del mantenimiento	N° de fallas detectadas (AMEF)	--	7 fallas detectadas
	Nivel de NPR de las fallas	--	Nivel Bajo=6 Nivel medio=1
VII. TPM administrativo y de oficina	N° de desperdicios identificados en los procesos	--	Compras: 3 Almacén: 3
	N° de acciones correctivas implementadas	--	Compras: 3 Almacén: 3
VIII. Gestión de seguridad	Nivel de riesgos laborales identificados	--	Tolerable = 0 Moderado = 7 Importante = 19 Intolerable = 0

Fig. 8. Indicadores que muestran el desarrollo de los pilares del TPM

## V. DISCUSIÓN

En esta investigación al diagnosticar la productividad inicial, se pudo encontrar que este índice inicial fue de 27.76% el cual fue hallado a través del cálculo de la eficiencia y eficacia. Esto quiere decir que la empresa tenía un nivel bajo de productividad que le ha permitido poder analizar sus causas y tomar acciones para mejorar sus procesos. Los resultados tienen similitud a la mostrado por Trujillo, et al (2022) donde mediante un análisis a la empresa investigada, determinó una productividad inicial baja de 70% que permitió aplicar herramientas de mantenimiento para su mejora. También como lo refiere Escalante (2021) en su estudio logró identificar mediante el análisis a su proceso productivo que su indicador de productividad era 65% considerado como nivel bajo para la organización con el cual la dirección pudo implementar mejoras para su incremento. Así mismo, en la investigación realizada por Ticona (2020) logró poder determinar una productividad inicial de 55% que ayuda a poder establecer un patrón en la empresa que ayudó a la gerencia a la propuesta de acciones que de mejoramiento en el proceso de producción. En tal sentido se puede mencionar que al analizar los antecedentes se pudo evidenciar como los resultados de la evaluación inicial sirvieron para que las empresas realicen un análisis de las causas que originan la baja productividad. De igual manera este análisis sirvió a la empresa para proponer acciones de mejora para lograr un mejor beneficio de la organización.

Con la finalidad de diagnosticar la gestión de mantenimiento, se procedió al análisis de la información documentada obteniendo como resultado el índice de OEE con un 26,45%, mediante el cálculo de la disponibilidad, efectividad y calidad, esto determinó que la efectividad total del equipo ha obtenido un nivel bajo para la organización. Estos resultados han coincidido con lo investigado por Ref. [5] donde obtuvo un bajo índice de OEE 35% para el proceso de servicios de mantenimiento a máquinas industriales con el análisis de las fallas. De igual forma los resultados son similares a lo desarrollado por Ref. [10] quien obtuvo un OEE de 62% que permitió a la organización analizar sus procesos y establecer nuevos lineamientos para lograr mejorar la calidad de operación de las máquinas. También de igual manera en la investigación de [20] se analizaron las fallas originadas en los procesos productivos obteniendo como nivel OEE inicial de 36% de categoría bajo, debido a las constantes paradas de producción por atender mantenimientos correctivos en las máquinas. De igual manera en lo investigado por Ref. [23] podemos indicar que al analizar los problemas de unos grupos hidroeléctricos se pudo determinar la efectividad total de las máquinas que arrojaron como resultados un nivel bajo 46% considerando de importancia la mejora en la gestión de los mantenimientos. De igual forma, en la investigación de Ref. [36], sus resultados concuerdan al poder determinar un grado de efectividad inicial de 47% en las máquinas bajo con relación a la disponibilidad y rendimiento esperado por la empresa para el desarrollo de la producción. Coincidiendo también con la investigación realizada por Ref. [37], donde la efectividad disminuyó debido al aumento de las fallas en las máquinas que originaron la detención de los procesos productivos, reduciendo el OEE a un 44% de nivel bajo. Los resultados encontrados en la investigación de Ref. [22] también coinciden al poder determinar inicialmente que su efectividad estaba en 33% por debajo de lo esperado producto del incumplimiento del plan de mantenimiento preventivo. Dado esto podemos considerar que el diagnóstico de la gestión del mantenimiento logró establecer un análisis de las fallas para determinar el OEE inicial con el cual se establecen las mejoras para ejecutar en los procesos, de igual manera se puede comparar con los antecedentes quienes también realizaron una evaluación inicial para identificar puntos de mejora en la gestión de mantenimiento.

La aplicación de la mejora en la organización por medio de la gestión de mantenimiento involucró el desarrollo de la metodología TPM, el cual se desarrolló mediante las fases de preparación, desarrollo y optimización compuestas por doce etapas aplicadas a la organización, esto quiere decir que se logró cumplir con las actividades propuestas y poder establecer una metodología que permitió mejorar los índices de disponibilidad en un 92.97%, el rendimiento en un 82.51%, la calidad en un 96.22% y la efectividad en un 73.89%, de esta manera se pudo evidenciar la mejora en el funcionamiento de las máquinas compresoras de amoníaco en beneficio de la

empresa. Estos resultados coinciden con lo encontrado por Ref. [36], que logró mejorar la efectividad en un 85.58% mediante la aplicación de herramientas lean a los equipos críticos de la empresa. También coinciden con lo investigado por Ref. [26], quien pudo incrementar la disponibilidad de las máquinas en un 92.98% mediante la gestión de mantenimiento preventivo. Así mismo, también coincide con lo investigado por Ref. [38] quien logró reducir la ocurrencia de las fallas, resultando una disponibilidad de 96% y una fiabilidad del 90% a través del planteamiento de una mejorada gestión del mantenimiento. De igual forma los resultados concuerdan con los resultados obtenidos por Ref. [21] quien logró mediante su investigación una disponibilidad mejorada del 95% aplicando mantenimiento productivo total en la gestión de las máquinas para la producción. También coinciden los resultados con lo obtenido por Ref. [27] quien mediante la aplicación de un sistema de mantenimiento adecuado a la reducción de las fallas con una mejora confiabilidad en un 78.37% con las herramientas de TPM. De igual manera han coincidido los resultados logrados por Ref. [39] quien al aplicar el análisis de modos de fallas logró establecer un sistema de gestión de mantenimiento que logró alcanzar un 93% en la disponibilidad brindada por las máquinas, garantizando el cumplimiento con los objetivos de la producción. También podemos evidenciar las coincidencias de lo investigado por Ref. [23] en el cual mediante el análisis de los registros de fallas se mejoró el OEE en un 70% con beneficios a la organización. También los resultados coinciden con lo investigado por Ref. [22] también coinciden al poder alcanzar una efectividad del 80% mediante la aplicación de un plan de mantenimiento de acuerdo con el análisis de las fallas generadas por las máquinas, beneficiando en la productividad de la empresa. De la misma forma se evidencia que los resultados de Ref. [19] en su investigación lograron alcanzar una efectividad del 93% a través de estrategias de mantenimiento aplicadas a disminuir la frecuencia de ocurrencia de fallas y la detección oportuna de las mismas. Los resultados obtenidos por Ref. [19] son similares al poder lograr una disponibilidad del 93% y una confiabilidad del 94% con el establecimiento de una gestión de mantenimiento a través de los pilares del TPM aplicados a las máquinas de producción reduciendo los costos y aumentando la vida de las máquinas. También los resultados de Ref. [17] coinciden al poder lograr una mejora en la disponibilidad del 86% a través de la ejecución de FMEA en la gestión del mantenimiento analizando las fallas y reduciendo su recurrencia. De igual manera para Ref. [16] en su investigación coinciden los resultados al poder obtener una disponibilidad de 82% mediante la reestructuración de la gestión de mantenimiento y el análisis de las fallas y su origen. También en el estudio de Ref. [12] los resultados han coincidido al poder obtener una disponibilidad del 95% en la operatividad de las máquinas, incluyendo en la gestión del mantenimiento el seguimiento del MTTR y MTTF para las máquinas de la empresa. Del análisis de los resultados

podemos indicar que la empresa desarrolló las 12 etapas de implementación del TPM, donde se ejecutaron actividades que involucran al área de mantenimiento y de esta manera se establecen los pilares; cuyas evidencias están concordando con los resultados establecidos en los antecedentes quienes lograron establecer los pilares del TPM para mejorar su proceso de mantenimiento en su empresa.

Con la finalidad de poder realizar la medición de los efectos de la productividad, se pudo obtener mediante la prueba paramétrica un valor de 0,00 de significancia por debajo del valor de error. Esto se puede describir como el mejoramiento de los valores obtenidos con relación a la medición inicial de la productividad. De lo descrito podemos indicar que se rechaza la hipótesis nula y se da por aceptada la hipótesis alterna donde se refiere que la gestión de mantenimiento incrementa la productividad al 61.09% en una gran empresa agroindustrial. Estos resultados concuerdan con lo encontrado por Ref. [33] que en su investigación logró mejorar su productividad a 96% a través de la implementación de un adecuado plan de mantenimiento. De la misma forma con lo investigado por Ref. [34] quienes lograron alcanzar una productividad de 90% gracias a la gestión de mantenimiento aplicado al análisis de las fallas. De la misma manera en la investigación de Ref. [35], se alcanzó una productividad del 85% a través de la gestión de mantenimiento aplicando lean en sus procesos de reparación. De esta manera se logró analizar los resultados, evidenciando que la adecuada gestión de mantenimiento logra garantizar que las máquinas funcionen adecuadamente y aumentar la producción en las empresas evitando gastos adicionales a la organización, tal como se muestran los resultados de los antecedentes estudiados.

## VI. CONCLUSIONES

1. Mediante la aplicación del TPM en la gestión del mantenimiento se mejoraron los índices de efectividad alcanzando un 74.04% que la empresa debe de mantener para alcanzar los objetivos de producción que la empresa se ha establecido, mantenimiento la calidad del producto y la mayor disponibilidad en las cámaras de refrigeración.

2. Se procedió a medir inicialmente la productividad, a través del análisis de la producción obtenida en la empresa, obteniendo una eficiencia de 55.35%, una eficacia del 50.40% y una baja productividad de 27.76%, en base a esto se ejecutaron acciones para atender el origen del problema.

3. Al realizar el diagnóstico de la gestión de mantenimiento mostró la obtención de los índices de disponibilidad en 82.34%, el rendimiento en un 34.19%, calidad 93.93% y el OEE de 26.45% categorizado como un nivel bajo, que permitieron establecer acciones para mejorar la capacidad operativa de las máquinas compresoras.

4. Para la ejecución de la mejora de la gestión de mantenimiento se procedió a implementar las 12 fases del TPM, esta implementación incluyó la difusión y compromiso del personal, el diseño e implementación del programa de

mantenimiento preventivo, también los instructivos para la ejecución del mantenimiento autónomo, la identificación y análisis de las fallas presentadas en las máquinas, la formación del personal responsable del mantenimiento y la determinación de los controles de seguridad laboral y medio ambiente.

5. La implementación de la mejora ha permitido a la empresa lograr mejorar el índice de productividad final de 61.09%, con una eficiencia de 82.66% y una eficacia de 73.84%, mientras que en la gestión del mantenimiento se obtuvo una disponibilidad de 93.13%, rendimiento de 82.70%, calidad de 96.11% y un OEE de 74.04%.

## VII. RECOMENDACIONES

El análisis de las fallas deberá de ser continuo, evaluando a cada máquina que forman parte de los procesos de la empresa para poder proponer programas de mantenimiento más eficientes y fáciles de ejecutar tanto de forma autónoma como preventiva.

Evaluar la necesidad de implementar los mantenimientos preventivos con la finalidad de proporcionar alternativas distintas a la necesidad de acciones correctivas, según se requiera.

Proponer alternativas de solución para poder controlar la gestión de mantenimiento de manera más interactiva y con controles automáticos, para ser gestionados por computados y analizar los problemas que se vayan a reportar en los procesos productivos.

Las próximas investigaciones deben de analizar aquellos procesos que son de funcionamiento constante y de cual dependerá la calidad del producto o servicio final, logrando beneficiar a la empresa.

## REFERENCIAS

- [1] A. Giuria, C. Noriega, & E. Altamirano (2022) "Maintenance management model based on RCM and TPM to optimize times and costs within the useful life cycle of nautical assets". Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, 2022-July. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.747>
- [2] J. Gordillo, Y. Sánchez, A. Terrones, M. Cruz, J. Gordillo, Y. Sánchez, A. Terrones & M. Cruz. "La productividad académica en las instituciones de educación superior en México: de la teoría a la práctica. Propósitos y Representaciones", 8(3). <https://doi.org/10.20511/pyr2020.v8n3.441>, 2020
- [3] Borroto Pentón, Y., Caraza Morales, M. A., Alfonso Llanes, A., & Marrero Delgado, F. (2021). Optimization tools applied to physical asset maintenance management: state of the art. DYNA, 88(219), 162–170. <https://doi.org/10.15446/dyna.v88n219.96981>
- [4] Feal Cuevas, N., González Suárez, E., & Santos Herrero, R. F. (2022). Procedimiento para la evaluación y mejora de la confiabilidad, Mantenibilidad y disponibilidad en la industria química cubana. Centro Azúcar, 49(1), 41–50. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2223-48612022000100041&lang=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612022000100041&lang=es)
- [5] Sa'idah, N. F., Cakravastia, A., Pasaribu, U. S., & Iskandar, B. P. (2023). A Two-dimensional Maintenance Service Contract Considering Availability and Maintenance Cost. International Journal of Technology, 14(2), 363–373. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v14i2.5105>

- [6] Vidaurre, J., Pio, M., Reyes, R., & Quispe, G. (2022). Aumento de disponibilidad en equipos de una empresa de polímeros enfocado en el método RCM. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, E52, 148–160. <https://www.proquest.com/scholarly-journals/aumento-de-disponibilidad-en-equipos-una-empresa/docview/2758392122/se-2?accountid=37408>
- [7] Fernández-Pérez, A., & Marbán, G. (2020). Room temperature sintering of polar ZnO nanosheets: III-Prevention. *Microporous and Mesoporous Materials*, 294. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2019.109836>
- [8] Daya, A. A., & Lazakis, I. (2023). Developing an advanced reliability analysis framework for marine systems operations and maintenance. *Ocean Engineering*, 272, 113766. <https://doi.org/10.1016/J.OCEANENG.2023.113766>
- [9] Sa'adah, N. F., Cakravastia, A., Pasaribu, U. S., & Iskandar, B. P. (2023). A Two-dimensional Maintenance Service Contract Considering Availability and Maintenance Cost. *International Journal of Technology*, 14(2), 363–373. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v14i2.5105>
- [10] Bhushan, K., Chattopadhyaya, S., Sharma, S., Sharma, K., Li, C., Zhang, Y., & Eldin, E. M. T. (2022). Analyzing Reliability and Maintainability of Crawler Dozer BD155 Transmission Failure Using Markov Method and Total Productive Maintenance: A Novel Case Study for Improvement Productivity. *Sustainability (Switzerland)*, 14(21). <https://doi.org/10.3390/SU142114534>
- [11] Gao, D., Liu, Y., & Luo, W. (2019). The Application of Speedy Drivage System in Daluta Coal Mine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 490(6). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/490/6/062073>
- [12] Alhilman, J., Habibie, M. F., & Tripiawan, W. (2020). Web-Based Application of Reliability Availability Maintainability and Cost of Unreliability Method to Analyze Performance of the Machine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 847(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/847/1/012019>
- [13] Mohammed, A., Ghaithan, A., Al-Saleh, M., & Al-Ofi, K. (2020). Reliability-based preventive maintenance strategy of truck unloading systems. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(19), 1–17. <https://doi.org/10.3390/APP10196957>
- [14] Zeng, Q., Liu, W., Wan, L., Wang, C., & Gao, K. (2020). Maintenance Strategy Based on Reliability Analysis and FMEA: A Case Study for Hydraulic Cylinders of Traditional Excavators with ERRS. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/2908568>
- [15] Adjoul, O., Benfriha, K., & Aoussat, A. (2021). Design for maintenance: new algorithmic approach. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 27(1), 129–143. <https://doi.org/10.1108/JQME-12-2018-0107/FULL/XML>
- [16] Chen, C., Wang, C., Lu, N., Jiang, B., & Xing, Y. (2021). A data-driven predictive maintenance strategy based on accurate failure prognostics. *Eksploracja i Niezawodnosc*, 23(2), 387–394. <https://doi.org/10.17531/EIN.2021.2.19>
- [17] Ciani, L., Guidi, G., Patrizi, G., & Galar, D. (2021). Condition-based maintenance of hvac on a high-speed train for fault detection. *Electronics (Switzerland)*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/ELECTRONICS10121418>
- [18] Dong, W., Liu, S., Yang, X., Wang, H., & Fang, Z. (2019). Balancing reliability and maintenance cost rate of multi-state components with fault interval omission. *Eksploracja i Niezawodnosc*, 21(1), 37–45. <https://doi.org/10.17531/EIN.2019.1.5>
- [19] García, F. J. Á., & Salgado, D. R. (2021). Maintenance strategies for industrial multi-stage machines: The study of a thermoforming machine. *Sensors*, 21(20). <https://doi.org/10.3390/S21206809>
- [20] Herrera-Sánchez, G., Morán-Bravo, L. del C., Gallardo-Navarro, J. L., & Silva-Juárez, A. (2020). Gestión del mantenimiento y la industria 4.0. *Revista de Ingeniería Innovativa*, 18–28. <https://doi.org/10.35429/JOIE.2020.15.4.18.28>
- [21] Soltanali, H., Garmabaki, A. H. S., Thaduri, A., Parida, A., Kumar, U., & Rohani, A. (2019). Sustainable production process: An application of reliability, availability, and maintainability methodologies in automotive manufacturing. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, 233(4), 682–697. <https://doi.org/10.1177/1748006X18818266>
- [22] Koohsari, A., Kalatehjari, R., Moosazadeh, S., Hajihassani, M., & Van, B. (2022). A Critical Investigation on the Reliability, Availability, and Maintainability of EPB Machines: A Case Study. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(21). <https://doi.org/10.3390/APP12211245>
- [23] Martínez Monseco, F. J., Planagumá Vilamitjana, A., Martínez Monseco, F. J., & Planagumá Vilamitjana, A. (2021). Innovando desde la Gestión del mantenimiento. *El Remantenimiento. Caso práctico Central Hidroeléctrica. Ingeniería Energética*, 42(2), 48–60. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59012021000200048&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012021000200048&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- [24] Palacios, Á. (2020). *Total, Productive Maintenance TPM (3rd ed.)*. Autores editores.
- [25] Nurprihatin, F., Angely, M., & Tannady, H. (2019). Total, productive maintenance policy to increase effectiveness and maintenance performance using overall equipment effectiveness. *Journal of Applied Research on Industrial Engineering*, 6(3), 184–199. <https://doi.org/10.22105/jarie.2019.199037.1104>
- [26] Tsarouhas, P. (2020). Reliability, availability, and maintainability (RAM) study of an ice cream industry. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/app10124265>
- [27] Sayed, A., El-Shimy, M., El-Metwally, M., & Elshahed, M. (2019). Reliability, availability and maintainability analysis for grid-connected solar photovoltaic systems. *Energies*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/EN12071213>
- [28] Gordillo-Salazar, J. M., Sánchez-Torres, Y., Terrones-Cordero, A., Cruz-Cruz, M., Gordillo-Salazar, J. M., Sánchez-Torres, Y., Terrones-Cordero, A., & Cruz-Cruz, M. (2020). La productividad académica en las instituciones de educación superior en México: de la teoría a la práctica. *Propósitos y Representaciones*, 8(3). <https://doi.org/10.20511/pyr2020.v8n3.441>
- [29] Fontalvo Herrera, T., De La Hoz Granadillo, E., Morelos Gómez, J., Fontalvo Herrera, T., De La Hoz Granadillo, E., & Morelos Gómez, J. (2018). La productividad y sus factores: incidencia en el mejoramiento organizacional. *Dimensión Empresarial*, 16(1), 47–60. <https://doi.org/10.15665/DEM.V16I1.1375>
- [30] Ramírez Méndez, G. G., Magaña Medina, D. E., Ojeda López, R. N., Ramírez Méndez, G. G., Magaña Medina, D. E., & Ojeda López, R. N. (2022). Productividad, aspectos que benefician a la organización. *Revisión sistemática de la producción científica. TRASCENDER, CONTABILIDAD Y GESTIÓN*, 8(20), 189–208. <https://doi.org/10.36791/tcg.v8i20.166>
- [31] Nurasyiah, A., Pertiwi, R. S., & Adam, F. (2019). An Efficiency and Productivity of Zakat Institution in Malaysia and Indonesia: The Comparative Study. *International Conference of Zakat*, 243–257. <https://doi.org/10.37706/ICONZ.2019.178>
- [32] Sartori, F., Pacheco, D., & Riehs, L. (2018). *Analysis and Management of Productivity and Efficiency in Production Systems*. 2018. [https://books.google.com.pe/books?id=8e\\_QDwAAQBAJ&pg=PA15&dq=effectiveness+efficiency+and+productivity&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKewj9z672wO34AhXBAbkGHs2BrYQ6AF6BAgIEAI#v=onepage&q=effectiveness%20efficiency%20and%20productivity&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=8e_QDwAAQBAJ&pg=PA15&dq=effectiveness+efficiency+and+productivity&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKewj9z672wO34AhXBAbkGHs2BrYQ6AF6BAgIEAI#v=onepage&q=effectiveness%20efficiency%20and%20productivity&f=false) Manuscript Templates for Conference Proceedings, IEEE. [http://www.ieee.org/conferences\\_events/conferences/publishing/template.s.html](http://www.ieee.org/conferences_events/conferences/publishing/template.s.html)
- [33] Trujillo Guarderas, G. L., Chavez Irazabal, W., & Utrilla Salazar, D. (2022). Implementación de un plan estratégico de mantenimiento del sistema de telecomunicaciones y su relación con la operatividad de un hospital regional. *Industrial Data*, 25(1), 37–50. <https://doi.org/10.15381/IDATA.V25I1.16884>
- [34] Escalante Torres, O. E. (2021). Modelo de balance de línea para mejorar la productividad en una empresa de procesamiento de vidrio templado. *Industrial Data*, 24(1), 219–242. <https://doi.org/10.15381/IDATA.V24I1.19814>
- [35] Ticona Gregorio, H. I. (2022). Aplicación de Lean Six Sigma para mejorar el subproceso de reparación de averías en enlaces de

- comunicaciones. *Industrial Data*, 25(1), 205–228.  
<https://doi.org/10.15381/IDATA.V25I1.22194>
- [36] Canahua Apaza, N. M., & Canahua Apaza, N. (2021). Implementación de la metodología TPM-Lean Manufacturing para mejorar la eficiencia general de los equipos (OEE) en la producción de repuestos en una empresa metalmeccánica. *Industrial Data*, 24(1), 49–76.  
<https://doi.org/10.15381/ldata.v24i1.18402>
- [37] García, F. J. Á., & Salgado, D. R. (2021). Maintenance strategies for industrial multi-stage machines: The study of a thermoforming machine. *Sensors*, 21(20). <https://doi.org/10.3390/S21206809>
- [38] Spertino, F., Amato, A., Casali, G., Ciocia, A., & Malgaroli, G. (2021). Reliability analysis and repair activity for the components of 350 kw inverters in a large scale grid-connected photovoltaic system. *Electronics (Switzerland)*, 10(5), 1–13.  
<https://doi.org/10.3390/ELECTRONICS10050564>
- [39] Piechowski, M., Szafer, P., Wyczolkowski, R., & Gladysiak, V. (2018). Concept of the FMEA method-based model supporting proactive and preventive maintenance activities. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 400(6). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/400/6/062023>