



POSGRADOS

MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES

RPC-SO-41-NO.689-2018

OPCIÓN DE TITULACIÓN:
ARTÍCULOS PROFESIONALES DE ALTO NIVEL

TEMA:
EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO
COMO ESTRATEGIA EN LA
MINIMIZACIÓN DE ACCIDENTES Y
ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

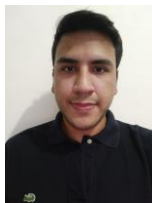
AUTOR(ES)
DIEGO ENRIQUE VELOZ VARGAS

DIRECTOR:
LENIN ESTUARDO CEVALLOS ROBALINO

GUAYAQUIL – ECUADOR
2022



Autor(es):



Diego Enrique Veloz Vargas

Ingeniero Electrónico

Candidato a Magíster en Producción y Operaciones Industriales por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Guayaquil.

diegoveloz1992@gmail.com

Dirigido por:



Lenin Estuardo Cevallos Robalino

Ingeniero Industrial

Máster Universitario en Ciencia y Tecnología Nuclear

lcevallos@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

2022 © Universidad Politécnica Salesiana.

GUAYAQUIL– ECUADOR – SUDAMÉRICA

Diego Enrique Veloz Vargas

EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO COMO ESTRATEGIA EN LA MINIMIZACIÓN DE ACCIDENTES Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

DEDICATORIA

Dedico los resultados de este trabajo a toda mi familia. Sobre todo, gracias a mis padres que me apoyaron en los momentos complicados. Gracias por enseñarme a enfrentar la adversidad y seguir adelante. Me han enseñado a ser la persona que soy hoy, mis principios, mis valores, mi perseverancia y mi empeño. Todo esto siempre dándome su amor desinteresado.

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios, que me brindó la sabiduría y paciencia en los momentos difíciles y por ponerme a las personas indicadas en mi vida. A ellas también le agradezco por poner su granito de arena.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA.....	13
3. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	14
3.1 CONCEPTUALIZACIÓN DE MANTENIMIENTO.....	14
3.1.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	15
3.2 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL.....	15
3.3 MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (MCC).....	15
3.3.1 CONFIABILIDAD.....	15
3.4 TIEMPO MEDIO ENTRE FALLOS.....	16
3.5 TIEMPO MEDIO DE REPARACIÓN.....	16
4. MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	17
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
6. CONCLUSIONES.....	35
REFERENCIAS.....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. RELACIÓN ENTRE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO.....	14
FIGURA 2. PROCESO DE FABRICACIÓN DE ALIMENTOS PREPARADOS PARA ANIMALES DE GRANJA.....	18
FIGURA 3. DIAGRAMA DE PARETO PARA LAS PÉRDIDAS DE TIEMPO.....	25
FIGURA 4. HOJA DE RUTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL TPM.....	26

FIGURA 5. EJEMPLO DEL PLAN DE ACCIÓN ANTE FALLAS: EQUIPO A INTERVENIR PELETIZADORA.....	28
FIGURA 6. PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO: TRIMESTRAL.....	30
FIGURA 7. PANEL DE CONTROL.....	32

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. NÚMERO DE FALLAS Y CRITICIDAD DE LOS ACTIVOS	21
TABLA 2. NÚMERO DE EQUIPOS Y CRITICIDAD	22
TABLA 3. DATOS DEL CÁLCULO DE MTBF Y MTTR PARA EL PERÍODO FEBRERO – AGOSTO DEL 2022	23
TABLA 4. CÁLCULO DE LA EFECTIVIDAD GENERAL DEL EQUIPO EN EL PERIODO FEBRERO – AGOSTO 2022.	24
TABLA 5. PORCENTAJE ACUMULATIVO DEL EFECTO DE LAS SEIS GRANDES PÉRDIDAS	25
TABLA 6. FORMULARIO DE FALLAS Y CONTROL DE MÁQUINAS.....	29
TABLA 7. FORMULARIO DE SEGUIMIENTO ANUAL DE MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN.....	30
TABLA 8. DATOS DEL CÁLCULO DE MTBF Y MTTR PARA EL PERÍODO SEPTIEMBRE – OCTUBRE DEL 2022.....	31
TABLA 9. CÁLCULO DE LA EFECTIVIDAD GENERAL DEL EQUIPO EN EL PERIODO SEPTIEMBRE – OCTUBRE 2022.....	31

EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO COMO ESTRATEGIA EN LA MINIMIZACIÓN DE ACCIDENTES Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

AUTOR(ES):

DIEGO ENRIQUE VELOZ VARGAS, LENIN ESTUARDO CEVALLOS ROBALINO

RESUMEN

La eficacia de un sistema de producción depende de la correcta funcionalidad de los equipos y procesos, por lo que mejorarlos y actualizarlos continuamente es responsabilidad de cada empresa. El objetivo de este estudio se orientó a desarrollar un plan de mantenimiento preventivo como estrategia en la minimización de accidentes y aseguramiento de la calidad. Para ello, se aplicó un enfoque mixto de tipo descriptivo bajo el método investigación-acción. El modelo para el programa MP fue desarrollado e implementado bajo los principios de mantenimiento productivo total (TPM) y mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC). El análisis de criticidad permitió clasificar a los activos de acuerdo con el impacto que tienen dentro del proceso de producción, mientras que el método de las seis grandes pérdidas determinó las principales causas que condicionan la productividad. De esta forma, se diseñó el programa MP, que constó de cuatro etapas: 1) Sistema estándar; 2) Sistema programado; 3) Sistema de visualización; y 4) Sistema de inspección. Se desarrollaron procedimientos de mantenimiento autónomo, hojas Kaizen, cronogramas y tarjetas Kanban. Los resultados obtenidos fueron positivos: se registró un aumento del 4% en el OEE, una disminución del 25% en la tasa de fallas y un ahorro del 15% en los costos de mantenimiento. La principal contribución del estudio fue mostrar que poner en funcionamiento diferentes herramientas de manera organizada, al igual que compartir información y responsabilidades con los trabajadores, puede ser de beneficio con un alto valor para las empresas y hacer que las funciones de mantenimiento sean más eficientes.

Palabras clave:

Mantenimiento preventivo, productividad, OEE, MCC, TPM, mantenimiento autónomo, herramientas Lean.

ABSTRACT

The efficiency of a production system depends on the correct functionality of the equipment and processes, so continuously improving and updating them is the responsibility of each company. The objective of this study was determined developing a preventive maintenance plan as a strategy to minimize accidents and ensure quality. For this, a mixed approach of a descriptive type was applied under the research-action method. The model for the PM program was developed and implemented under the principles of total productive maintenance (TPM) and MCC. The criticality analysis allowed to classify the assets according to the impact they have within the production process, while the method of the six great losses determined the main causes that condition productivity. In this way, the PM program was designed, which consisted of four stages: 1) Standard system; 2) Scheduled system; 3) Display system; and 4) Inspection system. Autonomous maintenance procedures, Kaizen sheets, schedules and Kanban cards were developed. The results obtained were positive: a 4% increase in OEE, a 25% decrease in the failure rate and a 15% saving in maintenance costs were recorded. The main contribution of the study was to show that running different tools in an organized way, as well as sharing information and responsibilities with workers, can be beneficial with high value for companies and make maintenance functions more efficient.

Keywords:

Preventive maintenance, productivity, OEE, RCM, TPM, autonomous maintenance, Lean tools.

1. INTRODUCCIÓN

Las empresas manufactureras enfrentan cada vez más desafíos (p. Ej.: agotamiento de los recursos físicos, leyes y reglamentos más estrictos, estancamiento económico y demanda de productos de mayor calidad por parte de los clientes) que limitan sus actividades. Este hecho ha llevado a que estas deban invertir en sistemas de producción altamente automatizados. De hecho, para que las empresas mantengan su posición en el mercado, la plena utilización de los equipos es vital para mantener su productividad. Sin embargo, estos cambios han afectado al mantenimiento productivo y han hecho que su papel sea aún más crucial para el éxito empresarial (Choi, y otros, 2011; Exner, y otros, 2017). Como resultado, las industrias poco a poco necesitan aumentar la eficiencia de sus procesos, aunque está demande la aplicación de un mantenimiento más efectivo.

Desde este punto de vista, las actividades de mantenimiento han adoptado uno de dos enfoques clasificados en la literatura especializada, como: preventivo y correctivo. Sin embargo, la formulación de una u otra depende de varios factores, incluido el costo del tiempo de inactividad, las características de confiabilidad y la redundancia de los activos (Stenström, y otros, 2016). Sobre este aspecto, Coble (2010) explica que esto se debe a que mientras el mantenimiento preventivo (MP) incluye actividades de rutina programadas sobre una base de tiempo diseñadas para evitar que ocurran fallas, el mantenimiento correctivo implica realizar intervenciones solo cuando ocurre una parada en la maquinaria, aunque a diferencia del anterior, si bien esto elimina el mantenimiento innecesario, no asegura que todos los equipos funcionen correctamente.

En ese contexto, el mantenimiento debería ser por tanto una de las funciones principales en un entorno de fabricación, ya que es más probable que mantenga el rendimiento del equipo y mejore la eficiencia operativa de las actividades de producción, pues, aunque el mantenimiento es un proceso sin valor agregado en la industria, no se puede negar que está juega un papel importante en el proceso de

gestión de activos. Por esa razón, el propósito principal del mantenimiento debe estar relacionada con mantener la producción y otros equipos operativos y prevenir o minimizar las interrupciones causadas por fallas, ya que tales paradas provocan costes económicos inesperados, ya sea por su eliminación o por interrupción de la producción prevista (Mishra, y otros, 2012; Mobley, 2014). Es por ello, que al realizar las operaciones de mantenimiento y operación no solo se debe enfocar en las actividades de reparación y reemplazo de repuestos, sino que también en el desempeño de los trabajadores. Por lo tanto, el alcance de la gestión del mantenimiento debe cubrir todas las etapas del ciclo de vida del sistema técnico, incluida la planta, la maquinaria, el equipo y las instalaciones (Macchi, y otros, 2017; Pacaiova, y otros, 2015).

En este sentido, se han realizado esfuerzos para mejorar las estrategias de mantenimiento, y aun cuando se han implementado otras metodologías como el TPM, mantenimiento proactivo y otros. Todavía, no se puede argumentar que el riesgo de accidentes, pérdida de calidad y la productividad siempre muestra una tendencia positiva. Aun así, Velmurugan y otros (2015) consideran que el mantenimiento debe ser un aspecto importante que se debe implementar dentro de las estrategias operacionales que se sostienen para minimizar los accidentes y aumentar la eficiencia de los procesos (Ab-Samat, y otros, 2012). De hecho, varios estudios sobre el tema aseguran que el correcto y planificado MP puede ser una alternativa eficiente para asegurar el máximo valor en las organizaciones (relación costo-beneficio) y por lo tanto una estrategia que se debería implementar (Braun, y otros, 2022; Daily, y otros, 2017; Ni, y otros, 2015).

Teniendo esto en cuenta, la función de MP debe entenderse como una función estratégica y, como tal, debe existir para mejorar la formulación e implementación efectiva de la misma. Por ese motivo, existe una gran necesidad de estudiar la adopción y selección de estrategias relacionadas con el MP y su impacto en la gestión productiva, ya que pueden variar de una organización a otra. Por lo tanto, este tipo de investigación ayudará a comprender la importancia de MP y su impacto/desempeño en la industria, ya que tiene como objetivo desarrollar un plan

de MP para la minimización de accidentes que ocurren en las empresas manufactureras dedicadas a la fabricación de alimentos preparados para animales de granja en relación con la calidad del producto y la gestión operacional de maquinarias industriales.

2. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

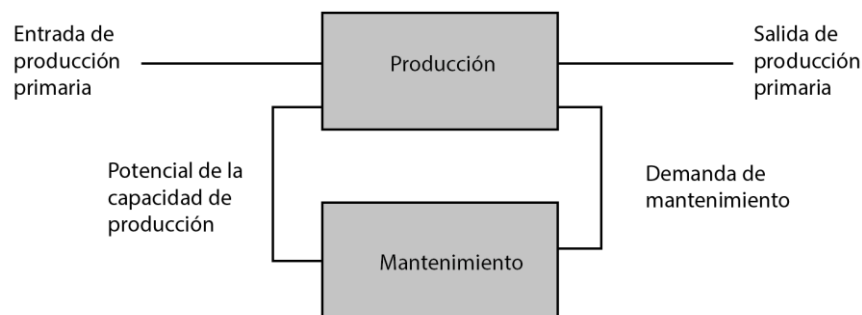
En las últimas décadas, el mantenimiento en la producción se ha convertido en una de las áreas más importantes del entorno empresarial. Sin embargo, hasta la actualidad todavía existen empresas que desconocen sobre la importancia de este proceso y los beneficios que trae consigo a corto, mediano y largo plazo. Como resultado, la fracción de empleados que trabajan en esta área, la eficiencia, así como el porcentaje del gasto de mantenimiento en los costos operativos totales, se han visto condicionado año tras año, ocasionando que los departamentos de mantenimiento y operaciones sean cada vez más grandes, y complejos tanto en recursos humanos como económicos. Por esta razón, cada vez más las empresas y la academia buscan alternativas para mitigar o controlar estos desafíos y, aun cuando la literatura especializada ha ido incrementando y optando otras metodologías, el reto sigue siendo encajar dichas herramientas en el ciclo productivo de una empresa. En la actualidad esta empresa manufacturera dedicada a la fabricación de balanceado para animales de granja, se observa que no presenta una buena implementación estratégica en lo que respecta a la resolución de problemas de mantenimiento, además los empleadores también aseguran que no tienen conocimiento sobre como tener el control preventivo para minimizar accidentes, y es por ello por lo que han ocurrido varias pérdidas materiales y a veces incluso se ha perdido el producto. Es así como, el presente estudio tiene como foco beneficiario a las empresas e industrias manufactureras que no han podido lograr desarrollar actividades para evitar incidentes, además la sociedad también tendrá beneficio alguno pues, el conocer de estrategias que puedan minimizar los accidentes en otras áreas también se verán en la capacidad de implementar estrategias de mantenimiento. Aun así, la problemática se debería delimitar en ¿Cuáles serían las estrategias de mantenimiento que permitirían a las empresas e industrias manufactureras minimizar accidentes y asegurar la calidad de la producción?

3. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 CONCEPTUALIZACIÓN DE MANTENIMIENTO

El término mantenimiento está bien definido en la literatura. En particular, Budai y otros. (2008) lo describen como el proceso combinado de actividades emprendidas para mantener un sistema de producción en condiciones controladas bajo las cuales este puede realizar sus funciones adecuadamente (Figura 1). Aunque, según Mehmeti y otros. (2018), esto se requiere porque la eficiencia y la calidad de la producción disminuyen con el tiempo, lo que significa que las máquinas pueden fallar con mayor frecuencia y, por lo tanto, necesitar métodos de mantenimiento adecuados para evitarlas. Lo cierto es que, esto propone que los equipos están sujetos a obsolescencia y revertir la (es decir, restaurar un producto a un estado de funcionamiento) se considera como el mecanismo principal del mantenimiento (den Hollander y otros., 2017).

Figura 1. Relación entre producción y mantenimiento



Nota: Un sistema de producción en condiciones controladas, por autor.

La definición de mantenimiento antes mencionada implica una clasificación de nivel superior del mismo en dos categorías principales, mantenimiento preventivo y correctivo, correspondientes a acciones retentivas y restauradoras respectivamente. Sin embargo, en este estudio se enfatiza en el MP, el cual que se describe a continuación.

3.1.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo se puede definir como actividades planificadas y controladas realizadas en fechas predeterminadas para mantener las máquinas y sus componentes en condiciones de operación y protección adecuadas para evitar tiempos de inactividad no planificados. De ahí que, las tareas se planifican para cambiar los componentes antes de que fallen y se programan durante el tiempo de inactividad o parada de la máquina (Basri y otros., 2017; Rahimdel y otros., 2016).

3.2 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL

El mantenimiento productivo total (TPM, por sus siglas en inglés) es un concepto innovador en la industria manufacturera que evolucionó a partir de los programas de mantenimiento (Hardt y otros., 2021). Los principios se fundamentan en la mejora continua y en lograr cero defectos, cero fallas y cero accidentes en todos los procesos de la empresa, involucrando desde la alta dirección hasta los operadores de primera línea; para reducir la incidencia de interrupciones productivas, mantener los equipos y actividades funcionando como un sistema, minimizar la producción de productos no conforme y la ocurrencia de un accidente de seguridad (Patil & Raut, 2019; Sharma & Singh, 2015).

3.3 MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (MCC)

Se puede definir como un programa que reúne varias técnicas de ingeniería para garantizar que los equipos de la planta continúen realizando sus funciones específicas, al mismo tiempo que se aumenta la disponibilidad de los equipos y reduce los costos asociados con accidentes, defectos, reparaciones y reemplazos (Gomes y otros., 2019).

3.3.1 CONFIABILIDAD

La confiabilidad en el proceso de mantenimiento se definiría como la probabilidad de que una máquina o unidad funcional opere correctamente bajo condiciones

adecuadas durante un cierto intervalo de tiempo (Rahimdel y otros., 2016; Vaidya y otros., 2020). La unidad básica es la tasa de avería y es medida por el tiempo medio entre fallas (Heizer y otros., 2020).

3.4 TIEMPO MEDIO ENTRE FALLOS

Es una medida para determinar el tiempo de operación promedio antes de ocurrir una falla o avería en una maquinaria, componente o proceso (Busse y otros., 2015).

3.5 TIEMPO MEDIO DE REPARACIÓN

Es el tiempo promedio que se demora en realizar una reparación de un equipo o un componente después de una avería (Heizer y otros., 2020).

4. MATERIALES Y METODOLOGÍA

Diseño del estudio

El estudio se desarrolló a partir de un enfoque mixto que, de acuerdo con Hernández-Sampieri y otros. (2018) trata de combinar cada componente del proyecto de investigación (preguntas, datos, análisis, entre otros) con métodos cualitativos y cuantitativos con el propósito de obtener una comprensión o corroboración más amplia y profunda dentro del estudio. Además, se empleó un diseño metodológico de tipo descriptivo bajo el método investigación-acción, el cual se caracteriza por describir el evento o situación principal del objeto de estudio, respondiendo a las preguntas planteadas previamente a través de estrategias de resolución de problemas prácticos de manera participativa y cíclica para producir conocimiento (O'Leary, 2017; Saunders y otros., 2015).

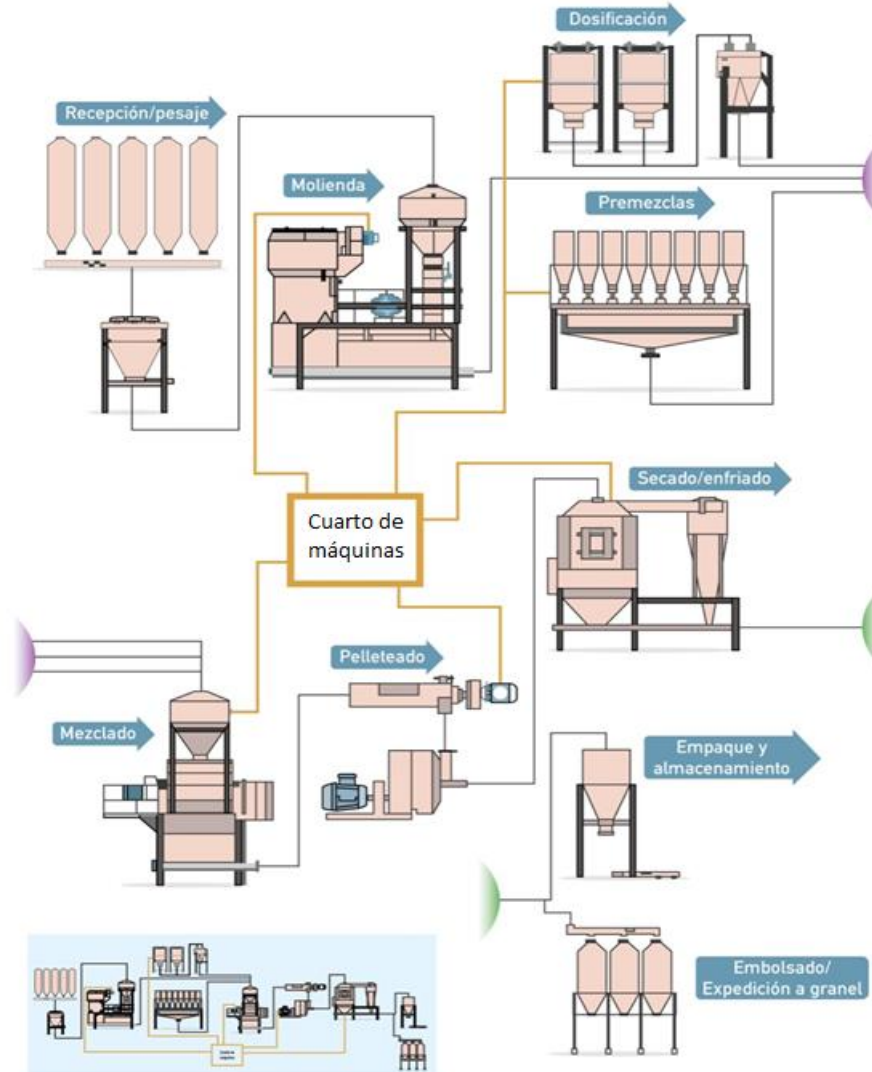
De acuerdo con el diseño propuesto, el método tiene un ciclo iterativo de cinco etapas, cual resultado es: 1) diagnosticar el estado actual del sistema productivo que, incluye la identificación de problemas y desperdicios, y la evaluación de indicadores importantes; 2) acciones correctivas planificadas de acuerdo al plan de acción para asegurar la correcta implementación de cada propuesta; 3) seguir el plan desarrollado en la Fase II; 4) analizar y discutir los resultados obtenidos después de la implementación, y 5) finalmente, identificar las principales lecciones aprendidas del proyecto, el cual incorporar procedimientos de seguimiento y estandarización.

Caracterización de la empresa

El estudio se llevó a cabo en una empresa dedicada a la fabricación de alimentos preparados para animales de granja. Este centro integra en sus procesos algunos componentes como el almacenamiento de materias primas y producto terminado, molienda, mezclas, paletizado y mecanismo de secado y enfriado. Un total de 9

procesos principales están destinados al área de producción y representan la población objeto de estudio (ver, Figura 2).

Figura 2. Proceso de fabricación de alimentos preparados para animales de granja.



Nota: Proceso para la fabricación de alimentos, por autor.

Contexto

En el departamento de mantenimiento surgieron nuevos desafíos, como implementar un sistema de mantenimiento preventivo con mayor cobertura, asertividad y efectividad, abarcando personas, producción, procesos e información.

Al comienzo del estudio, los encargados de mantenimiento, junto al personal de algunas áreas, evaluaron las debilidades de sus procesos internos, identificando problemas frecuentes y recopilando información de los procesos de producción. Los principales problemas encontrados estaban relacionados al proceso principal, los costos de mantenimiento, algunos indicadores clave y la inadecuada sincronización del mantenimiento con la producción.

Consecuencia de ello, se estudiaron algunos de los indicadores que contribuyen a identificar problemas y priorizar áreas a intervenir. En particular, este estudio consideró al número de fallas, el tiempo de reparación (MTTR, por sus siglas en inglés), el tiempo medio entre fallas (MTBF, por sus siglas en inglés) y la eficacia general del equipo (OEE) como parámetros del proceso para diseñar un nuevo programa de MP. Las ecuaciones necesarias que se han utilizado para cuantificar y alcanzar este objetivo se enumeran a continuación.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo de producción}}{\text{Tiempo de operación}} \quad (1)$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Unidades reales}}{\text{Unidades teóricas}} \quad (2)$$

$$\text{Calidad} = \frac{\text{Unidades producidas} - \text{Unidades defectuosas}}{\text{Unidades producidas}} \quad (3)$$

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidad} \times \text{Rendimiento} \times \text{Calidad} \quad (4)$$

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Tiempo total disponible} - \text{Tiempo de inactividad}}{\text{Número de fallas}} \quad (5)$$

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Tiempo total de mantenimiento}}{\text{Número de reparaciones}} \quad (6)$$

Por otro lado, para conocer la asertividad de los registros de mantenimiento y estado de los equipos, se realizó un seguimiento a los trabajadores y a los activos mediante hojas de control, con el fin de darse cuenta de los puntos donde se podría mejorar los planes. Para el análisis de los equipos fue necesario revisar el historial de mantenimiento recopilados del libro de registro de la empresa. Como criterios de criticidad se consideró la frecuencia de ocurrencia, el impacto y el costo de la falla. Luego de la identificación de los principales problemas a resolver,

considerando la disponibilidad y confiabilidad de los datos obtenidos, se realizaron sesiones con el fin de determinar las posibles acciones a implementar para solucionar los problemas, incluyendo capacitaciones al personal para identificar y tratar riesgos (mantenimiento autónomo). A partir de estas observaciones, se registraron algunas ocurrencias para toma de decisiones a la hora de elaborar el programa de MP.

Recopilación y análisis de datos

Las fuentes de información se obtuvieron en forma de datos primarios y secundarios. Las técnicas de recolección fueron la entrevista y observaciones de campo y registros. El estudio se llevó a cabo desde febrero hasta agosto de 2022. Los datos analizados fueron los registros de las fallas y el tiempo de inactividad (TDI) de los 9 procesos principales. El propósito fue establecer la concurrencia, el tipo y número de averías, el equipo y momento de intervención. Los datos de TDI fueron necesarios para analizar la tasa de falla de la máquina, la duración entre fallo y tiempo promedio de reparación. También se identificaron los componentes de la maquinaria para clasificar el programa según la prioridad de la función. Los resultados fueron analizados a través de estadísticos descriptivos. Los datos cuantitativos se presentaron como promedio \pm desviación estándar, mientras que las variables categóricas como recuentos y porcentajes. Los softwares empleados fueron Power BI desktop y Microsoft Excel.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Identificación de activos críticos, averías y fallas

Se identificaron un total de 916 fallas desde febrero de 2022 hasta agosto de 2022. Como se muestra en la Tabla 1, las fallas más comunes ocurrieron en las áreas de extrusión (24.5%), empaque (19.9%), molienda (15.0%) y pellet (11.5%), representando el 70.9% del total de paradas registradas. Los componentes con más fallas observadas en estos procesos fueron los transportadores de rodillos, de cadena y neumático, los elevadores de cangilones, las bandas transportadoras, el robot estibador, la cabina ensacadora, el extruder, la peletizadora, el secador y el molino.

Tabla 1. Número de fallas y criticidad de los activos

Áreas	Tiempo							Total general
	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	
Almacenamiento	3	2	6	8	7	1	2	29
Cuarto de maquinas	6	11	15	11	11	4	6	64
Dosificación	10	3	3	15	4	3	10	48
Empaque	20	48	14	36	41	14	9	182
Extrusión	18	44	37	33	39	36	17	224
Mezclado	10	14	11	14	8	7	6	70
Molienda	7	34	12	28	40	13	3	137
Pellet	7	14	28	13	12	27	4	105
Producto Terminado	1	5	1	1	5	1	1	15
Recepción	3	2	2	1	1	1	1	11
Varias	1	11	1	1	2	5	10	31
Total general	86	188	130	161	170	112	69	916

Nota: Número de fallas y criticidad de activos en el periodo Febrero – Agosto, por autor.

Los criterios de criticidad anteriormente analizados permitieron clasificar a los equipos en tres categorías. La categoría 3 organizó a la maquinaria que afecta directamente la calidad del producto y presentan altos costos y riesgo para el medio ambiente y la seguridad del personal. La categoría 2 ordenó a los activos que indirectamente afectan la calidad del producto o interrumpen parcialmente la

producción, y tienen riesgo de accidentes, costo moderado y complejidad técnica, y en la categoría 1 integró unidades que no comprometen la calidad del producto, no presentan riesgos ambientales o de seguridad, no interrumpen la producción e incluyen costos de bajo impacto y complejidad técnica. La Tabla 2 muestra el número de activos y su distribución en los tres niveles. Un total de 115 activos fueron categorizados de acuerdo con esta clasificación. En general, se pudo identificar a 50 equipos con alta criticidad, 25 de medio riesgo y 40 de bajo.

Tabla 2. Número de equipos y criticidad

Áreas	Criticidad			Total general
	1	2	3	
Almacenamiento	3	1	3	7
Cuarto de maquinas	4	2	1	7
Dosificación	4	1	3	8
Empaque	6	3	14	23
Extrusión	3	5	8	16
Mezclado	6	2	5	13
Molienda	2	7	8	17
Pellet	4	2	7	13
Producto Terminado	3	1	0	4
Recepción	5	1	0	6
Varias	0	0	1	1
Total general	40	25	50	115

Nota: Número de equipos clasificados por criticidad, por autor.

Después del análisis y categorización de los activos, el personal involucrado en el proceso aprobó la criticidad de los equipos obtenidos en el estudio resultante para poder iniciar la siguiente fase.

Análisis de confiabilidad: MTTR y MTBF

En esta etapa, los valores MTBF y MTTR se calcularon para medir la confiabilidad de los equipos y, también, para comparar con los valores objetivo que debe tener el proceso. Sin embargo, antes de estimar estas métricas, se establecieron algunos parámetros – como el valor objetivo – debido a que la empresa no cuenta con estos criterios. Para ello, se utilizaron registros antiguos de años anteriores, lo que

permitió establecer un MTBF objetivo de 87.47 horas y un MTTR objetivo de 52 minutos. Usando estos valores, se compararon los hallazgos encontrados durante el estudio. Los resultados del cálculo se muestran en la Tabla 3. Los meses en los que se alcanzó el MTBF objetivo fueron febrero y agosto, con 97.10 y 91.13 horas, respectivamente, mientras que los otros períodos no alcanzaron el MTBF requerido debido a que las fallas ocurrieron con más frecuencia que los otros meses mencionados anteriormente. Algunas de las razones de esta tendencia que se identificaron estaban relacionadas con el mal manejo de las máquinas, la antigüedad de los equipos y varias especificaciones del proceso que condicionaba al mismo. Aun así, esto permitió generar algunos planes de acción que contribuyeron al programa de mantenimiento y capacitación.

Tabla 3. Datos del cálculo de MTBF y MTTR para el período febrero – agosto del 2022

Mes	MTBF	MTTR
Febrero	97.1	55
Marzo	66.48	62
Abril	72.95	67
Mayo	69.98	63
Junio	66.7	62
Julio	74.55	61
Agosto	91.13	60

Nota: Datos de los tiempos medios entre fallas (MTBF) y tiempos medios de reparación (MTTR), por autor.

Ahora, en cuanto al MTTR, los resultados muestran que ningún mes ha alcanzado el nivel identificado para el proceso. Sin embargo, se pudo identificar algunas causas para los tiempos de reparación muy largos, incluidas las paradas del proceso forzosas, el reemplazo de componentes y piezas que no se consideraron en el inventario hasta la necesidad de contratar a un experto externo. No obstante, al igual que MTBF, esto ayudó a diseñar el programa de MP.

Análisis de la eficacia general del equipo (OEE)

Los datos necesarios para medir el OEE provienen de los informes de actividad de mantenimiento, producción y calidad, pues, como se mencionó anteriormente, la empresa no cuenta con estas métricas. Por lo tanto, dada la importancia de estos parámetros en el proceso de investigación, fue necesario evaluarlos. Con base en los datos recopilados, se calculó el OEE para todo el proceso desde febrero de 2022 hasta agosto del mismo año. Los resultados de la medición se muestran en la Tabla 4. Se pudo observar que el OEE en el mes de febrero, abril y julio está por debajo del valor estándar aceptable $70\% \geq \text{OEE}$, mientras que los otros valores si alcanzaron este criterio. El promedio general de este resultado arrojó una efectividad del $71.1 \pm 0.09\%$, lo que significa que los equipos del proceso no han sido tan efectivos como se esperaba.

Tabla 4. Cálculo de la efectividad general del equipo en el periodo febrero – agosto 2022.

Mes	Disponibilidad	Rendimiento	Calidad	OEE
Febrero	77,4%	90,7%	92,1%	64,7%
Marzo	92,3%	91,6%	90,6%	76,6%
Abril	76,5%	89,0%	92,4%	62,9%
Mayo	90,8%	93,5%	93,0%	79,0%
Junio	94,2%	92,4%	92,9%	80,9%
Julio	73,7%	87,2%	90,3%	58,0%
Agosto	89,1%	92,6%	91,7%	75,7%

Nota: Cálculo de la efectividad general de los equipos, por autor.

Sin embargo, esto permitió identificar los factores que causan la pérdida del OEE (Figura 3). Para ello, se realizó el análisis de Pareto y las seis grandes pérdidas según el concepto TPM. Los resultados obtenidos en la Tabla 5 muestran que la pérdida de ajuste y configuración (17.9%), los defectos en el proceso (20.8%) y las fallas en los equipos (17.9%) son las causas más frecuentes que condicionan la efectividad del proceso, pues representan el 68.62% del total de las pérdidas de productividad.

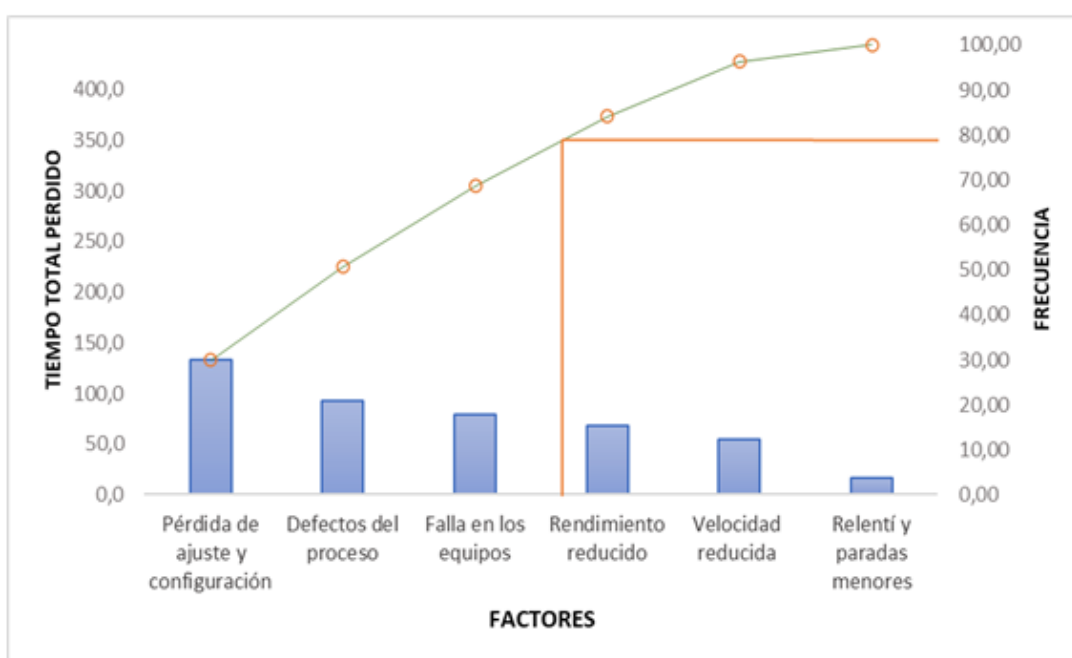
De hecho, el diagrama de Pareto muestra que atacando el 10% de estas causas se solventarían el 80% de los problemas identificados anteriormente.

Tabla 5. Porcentaje acumulativo del efecto de las seis grandes pérdidas

Seis grandes pérdidas	Pérdida del tiempo total (Hrs)	Frecuencia relativa (%)	Frecuencia relativa acumulada (%)
Falla en los equipos	79.6	17.9	17.9
Pérdida de ajuste y configuración	132.7	29.9	47.9
Ralentí y paradas menores	16.3	3.7	51.5
Velocidad reducida	54.3	12.2	63.8
Defectos del proceso	92.1	20.8	84.5
Rendimiento reducido	68.7	15.5	100
Total	443.8	100	

Nota: Porcentaje acumulativo del efecto de las seis grande pérdidas, por autor.

Figura 3. Diagrama de Pareto para las pérdidas de tiempo.



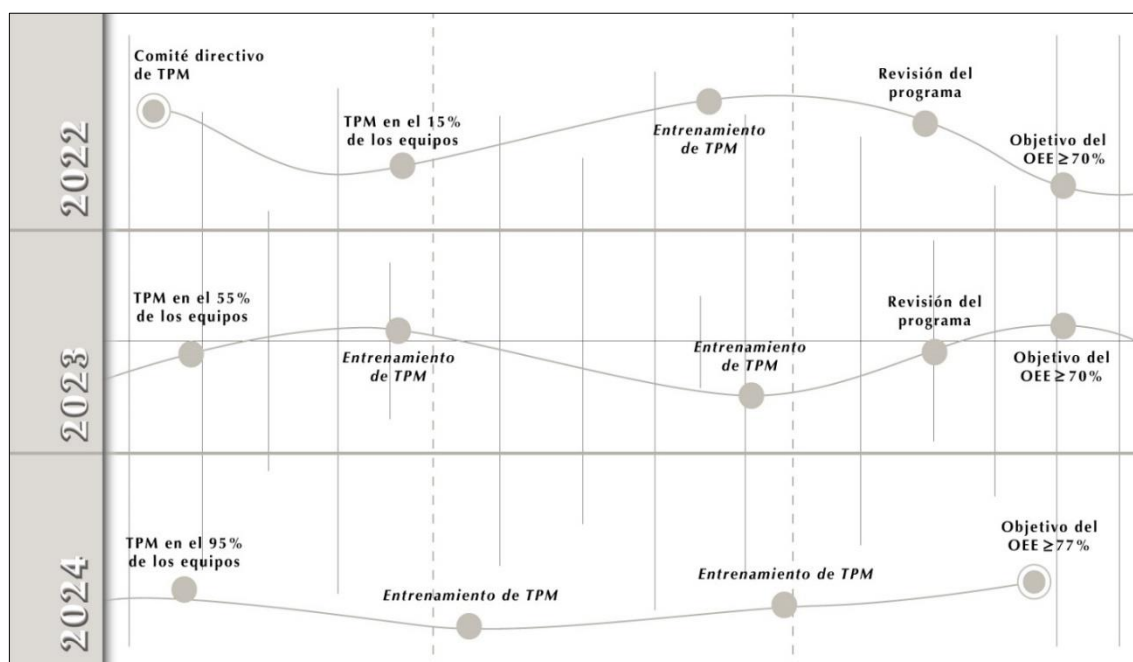
Nota: Diagrama de Pareto de las 6 grandes pérdidas, por autor.

Con el respaldo de la evidencia y los resultados obtenidos, el comité directivo reconoció la necesidad de mejorar continuamente y adoptar una política de

mantenimiento proactivo. El objetivo a largo plazo sería importante para establecer un entendimiento común y para impulsar todos los niveles de la organización, especialmente a nivel ejecutivo.

Tras esta fase, se formularon los objetivos a largo plazo de la empresa (2022-2024). En particular, se determinó que, para fines del 2024, el 95% de los equipos estarán incorporados al concepto TPM con un OEE promedio no menor al 77%, debido a que, en el marco del desarrollo de alimentos preparados para animales de granja, la alta confiabilidad de las máquinas es un requisito previo para el concepto Lean. Por ese motivo, para guiar la implementación del programa de MP, los investigadores han elaborado una hoja de ruta a largo plazo para guiar tales acciones (Figura 4), demostrando el compromiso con la visión estratégica de la empresa.

Figura 4. Hoja de ruta para la implementación del TPM

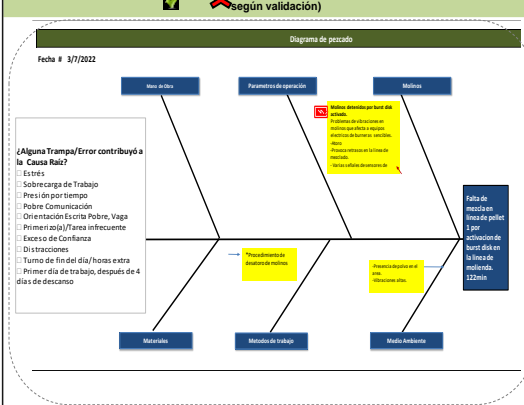


Nota: Hoja de ruta para objetivos a largo plazo (2022-2024), por autor.

Desarrollo e implementación del plan de mantenimiento preventivo

Teniendo en cuenta los resultados del análisis de confiabilidad, OEE y con la ayuda de los métodos de las seis grandes pérdidas y el diagrama de Pareto, se realizaron sesiones con el personal estratégico de la empresa para analizar las causas que provocan la pérdida de la productividad y en base a ello desarrollar un plan de acciones preventivas (PA) con el objetivo de reducir la ocurrencia de averías en los procesos principales de manufactura. La intervención se desarrolló bajo un enfoque multidisciplinario que, permitió obtener varias alternativas de solución para cada problema identificado. El PA se elaboró para cada equipo y área de la empresa, considerando en todas las etapas los recursos disponibles de la empresa. Además, se agregaron métodos de análisis simples al modelo, lo que no requiere que la empresa invierta altos costos. Los resultados se detallaron en un programa de actividades en la cual se describen los problemas, la causa principal, la acción preventiva y alguna información importante. Un ejemplo del plan general de acciones se muestra en la Figura 5.

Figura 5. Ejemplo del plan de acción ante fallas: equipo a intervenir peletizadora.

Solución de Problemas A3		No	0001
Tema: Falta de mezcla en la línea 1 de Pellet por activación de burst disk.		Proceso:	Planta:
Participantes de A3:		Pellet	Durán
			3/7/2021
DEFINIR Y CONTENER DENT		3) IDENTIFICAR LA(S) CAUSA(S) RAÍZ	
Descripción del Dent:		5 Por qué's (Tormenta de Ideas - Preguntar: ¿Por qué ocurrió esto?)	
C16: Falta de mezcla molida.		Posibles Causas	
1. ¿Qué ocurrió?		Por qué? 1	Por qué? 2
2. ¿Cuándo ocurrió?		Por qué? 3	Por qué? 4
3. ¿Dónde ocurrió?		Por qué? 5	
4. ¿Quién estuvo involucrado?			
5. ¿Cómo se resolvió?			
Secuencia de los hechos		4) IDENTIFICAR SOLUCIONES (Usar la Matriz B&E y solamente incluir las acciones prioritizadas a continuación):	
El operador se encontraba produciendo cuando observó que se pierde señal en pantalla de Geelen ocasionando una parada de emergencia en equipos; se comunica con el mixer. El mixer informo que fue por la activación de un Burst Disk.		N° Causa Raíz	
Fecha de completación:		Planes de Acción	
Asignado a:		Quién	
Acciones de Contención a Corto Plazo		Cuándo	
¿Qué hicimos para reducir el impacto del problema?		Estado	
¿Quién se involucró?			
2) Análisis de las posibles causas y verificación de estas. (Lluvia de idea y posteriormente marcar según validación)		5) MEJORAR EL TRABAJO ESTANDAR (marcar la casilla o casillas que apliquen)	
		Equipo de Análisis de Causa: Lección de Un Punto Guía para Resolver Problemas Plan de Control Gestión Visual Fecha límite para Actualizar Estándares: Lista de Verificación (check list) Traspaso de Turno Aprobación de Gerente del Sitio: Procedimiento Operativo Estándar Condición Estándar de Operación Cambio de Ingeniería/Diseño Trabajo Estándar del Líder Otros	

Nota: Plan de acción para una falla en línea de pelletizado, por autor.

Posteriormente, el equipo de trabajo también preparó una reestructuración del flujo de decisiones y las acciones a tomar. La principal diferencia es que producción recibe con anticipación (1 a 2 semanas) la planificación del mantenimiento. Se incluyó una tarjeta Kanban dentro de áreas estratégicas para informar al personal sobre las acciones que están pendientes, en proceso, y que han terminado. Además, se elaboraron hojas Kaizen con toda la información de los equipos. Esto permitió implementar la herramienta de mantenimiento autónomo en los equipos de acuerdo con la Tabla 2 y, con especial énfasis en activos con un nivel de criticidad medio-alto. En base a estas actividades, se observaron mejoras significativas para cumplir con el programa de MP. Los resultados en este avance permitieron una mejora en la gestión del equipo técnico y de intervención, así como la convergencia con la disponibilidad de activos y la planificación de la producción.

Todas estas etapas permitieron diseñar el programa de MP, el proceso constó de cuatro partes: 1) Sistema estándar; 2) Sistema programado; 3) Sistema de visualización; y 4) Sistema de inspección, las cuales serán ejecutadas por los operadores y personal técnico. Todos los colaboradores involucrados fueron capacitados por el departamento de mantenimiento, después de la aprobación de la gerencia. La fase uno del programa se orientó a los procesos de operación y control (Tabla 6), incluyendo la medición de indicadores. Por otra parte, la programación de actividades (segunda fase) se dedicó a la verificación y registro de actividades de limpieza y MP, a diferencia de la etapa tres que se centró en la información visual de las operaciones de MP, la cual es actualizaran día a día. Por último, el sistema de inspección (cuarta fase) se asignó para garantizar el cumplimiento de todo el programa de MP. Para ello, se rediseñaron y elaboraron hojas de mantenimiento, que describen los procedimientos que se realizarán en estas intervenciones. La Tabla 7 muestra un ejemplo de las hojas de control. Estas tablas se recopilarían al final de la semana y se analizan para diseñar las actividades de MP.

Tabla 6. Formulario de fallas y control de máquinas

LOGO DE LA EMPRESA	Programa de Mantenimiento Preventivo						Código: PMPO2	
	CONTROL Y SEGUIMIENTO						Versión: 2022-01	
								Pág.
Anexo								
FORMULARIO DE FALLAS Y CONTROL DE MÁQUINAS								
Responsable:								
Fecha	Turno	Equipo	Inicio paro	Fin paro	Tiempo de paro	Cód. paro	Motivo paro	Descripción

Nota: Formulario para llevar un seguimiento de las fallas presentadas, por autor

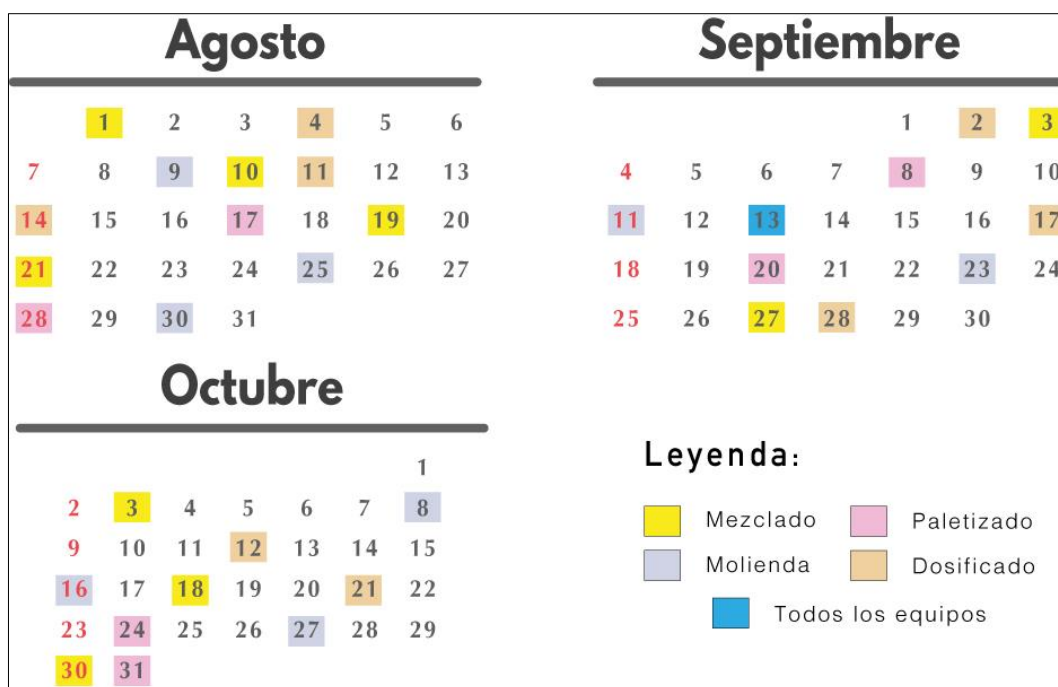
Tabla 7. Formulario de seguimiento anual de mantenimiento y reparación.

LOGO DE LA EMPRESA	Programa de Mantenimiento Preventivo	Código: PMP01																																																		
	CONTROL Y SEGUIMIENTO	Versión: 2022-01																																																		
		Pág.																																																		
ANEXO																																																				
FORMULARIO DE SEGUIMIENTO ANUAL DE MANTENIMIENTO-REPARACIÓN																																																				
Nombre del equipo	Mes																																																			
	1				2				3				4				5				6				7				8				9				10				11				12							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4

Nota: Formulario del seguimiento anual de mantenimiento de los equipos, por autor.

Como complemento, el mantenimiento preventivo de cada componente para los próximos 3 meses se ha planificado de acuerdo con el cronograma de la Figura 6. Al implementar el programa de MP, se espera que no haya fallas no deseadas en la máquina o tiempo de inactividad no programado de la máquina.

Figura 6. Programación del mantenimiento preventivo: trimestral.



Nota: Programación del mantenimiento trimestral, por autor.

Análisis de confiabilidad y de la eficacia general del equipo (Septiembre – Octubre)

Se calcularon los valores de MTBF y MTTR para medir la confiabilidad de los equipos del periodo septiembre – octubre. Los resultados del cálculo se muestran en la Tabla 8. En estos meses se alcanzó el MTBF objetivo de 87.47 horas siendo estas, con 98.43 y 96.17 horas, respectivamente, mientras que por primera vez se alcanzó el MTTR requerido de 52 minutos.

Tabla 8. Datos del cálculo de MTBF y MTTR para el período septiembre – octubre del 2022.

Mes	MTBF	MTTR
Septiembre	98.43	50
Octubre	96.17	52

Nota: Datos de los tiempos medios entre fallas (MTBF) y tiempos medios de reparación (MTTR), por autor.

Se pudo observar que el OEE en el mes de septiembre y octubre (Tabla 9) está por arriba del valor estándar aceptable $70\% \geq$ OEE que se espera para el periodo 2022 (figura 4), el cual ya cuenta con un avance del 15% en la implementación de TPM en los equipos, lo que significa que los equipos del proceso han sido tan efectivos como se esperaba.

Tabla 9. Cálculo de la efectividad general del equipo en el periodo septiembre – octubre 2022.

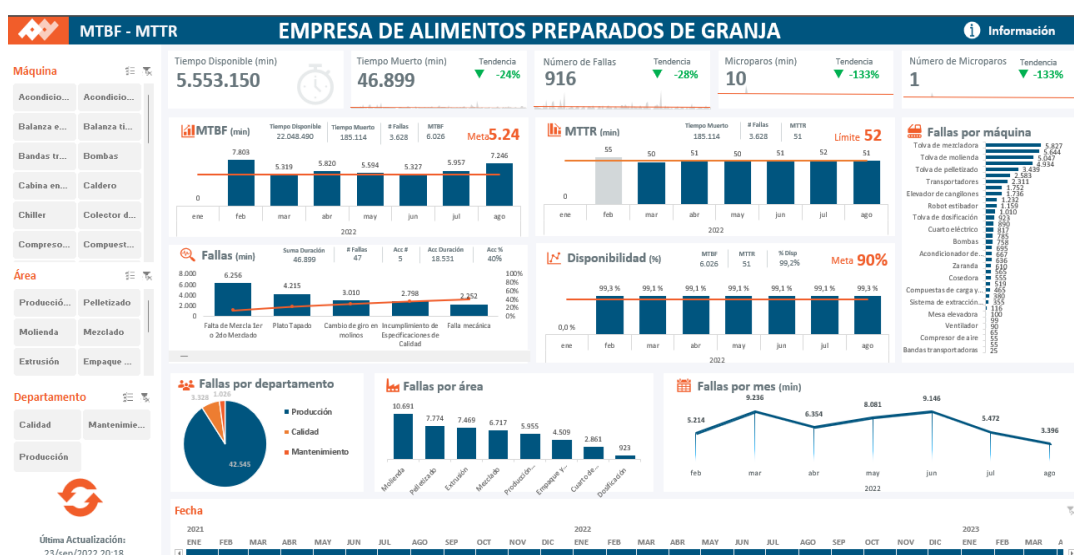
Mes	Disponibilidad	Rendimiento	Calidad	OEE
Septiembre	92,7%	92,5%	93,4%	80,1%
Octubre	90,3%	91,6%	92,6%	76,6%

Nota: Cálculo de la efectividad general del equipo, por autor

Análisis de costos y control de indicadores de desempeño

Haciendo énfasis, en el sistema de visualización para abordar y analizar indicadores de desempeño, se desarrolló una hoja de control en Power Bi que tiene como objetivo supervisar el índice de cumplimiento del programa de MP (Figura 7). Tenga en cuenta que la instrumento aún está en desarrollo y en proceso de mejora. Sin embargo, se ha diseñado para evaluar el número de intervenciones realizadas y con ello poder mejorar la programación de las nuevas actividades de mantenimiento. Algo que destacar en este punto, es que el instrumento prioriza por cada área la intervención que se debe realizar a cada equipo, la periodicidad con la que se debe intervenir, así como las especificaciones del estado del OEE.

Figura 7. Panel de control



Nota: Hoja de control en Power Bi, extraído información de la empresa.

Finalmente, se implementó una jerarquía de activos por área de proceso para controlar los equipos con mayores costos de mantenimiento y su impacto en el proceso productivo. Los resultados obtenidos identificaron seis categorías de gastos relacionados con este sistema (repuestos; reparación de equipos; compra de herramientas; servicios técnicos de terceros; capacitación y servicios generales). Se encontró que la principal fuente de costos estaba relacionada con las piezas de repuestos, con un costo total de \$167.518, pero los servicios técnicos y la adquisición de herramientas también tenían partidas significativas en los costos de

mantenimiento. Sin embargo, cuando se aplicaron las actividades de mejora, se observaron reducciones de costos. En general, la aplicación de programas de MP ayudó a reducir los costos asociados en un 15%, lo cual es significativo para el sistema de costos de la empresa. De hecho, como regla general, se ha determinado que, por cada dólar gastado en mantenimiento preventivo, se pueden ahorrar al menos \$5 en costos posteriores, lo que demuestra los beneficios de implementar el MP. Aun así, cabe señalar que la amplia variación en equipos e instalaciones y procesos de producción dificulta la priorización de la gestión de los programas de MP. Por lo tanto, la gestión del mantenimiento requiere una revisión y un ajuste constantes.

DISCUSIÓN

La eficacia de un sistema de producción depende de la correcta funcionalidad de los equipos y procesos. Podría decirse que este es el mayor desafío que enfrenta una empresa a lo largo del ciclo de producción, ya que este parámetro por sí solo afecta aspectos como la calidad, el rendimiento y la disponibilidad (Alsayouf, 2007). Consecuencia de ello, el mantenimiento es cada vez más desafiante para los entornos comerciales. De hecho, se considera una de las decisiones estratégicas más importantes en la gestión de operaciones porque combina todas las medidas técnicas y de gestión para mantener el sistema productivo en un estado en el que pueda realizar todas las funciones requeridas (Almeanazel, 2010). Este estudio apoya esta idea pues los resultados obtenidos muestran que el programa de mantenimiento preventivo es una parte importante de la gestión operativa de las empresas, ya que mantiene los equipos funcionando de manera eficiente, aumenta la seguridad de sus empleados, disminuye el producto no conforme (mayor calidad de producto terminado) y ayudando a evitar reparaciones grandes y costosas por mantenimientos correctivos.

Así mismo, el caso de estudio proporciona fuerte evidencia empírica de que el método integral propuesto es útil y factible, para ser aplicado en la industria manufacturera de piensos u otras industrias. La principal diferencia con respecto a otros estudios (Afefy, 2013; Pinto y otros., 2020; Piasson y otros., 2016; Prasetyo y

otros., 2020), es la integración estratégica de los enfoques TPM y MCC. Los resultados obtenidos son similares a los obtenidos por Martins y otros. (2020), Moore (2004) y Moscoso y otros. (2020), donde se destaca que la combinación de estos métodos (TPM-MCC) puede conducir a mejores procesos y mejoras en el trabajo en equipo y la colaboración a nivel de producción, lo que se traduce en un mejor rendimiento, mayor calidad, más disponibilidad de equipos y menores costos operativos. Además, la revisión de la literatura y el desarrollo de la propuesta fundamentaron y probaron que el MCC, si se desarrolla en el marco del TPM, ya que se enfoca en el mantenimiento preventivo.

Por último, los hallazgos para el mantenimiento preventivo y la integración de TPM y MCC; se destacaron en: a) la priorización de intervención según la importancia del proceso de producción (criticidad de equipos); b) el desarrolló, control y medición de indicadores de desempeño clave para mantener los procesos operativos en condiciones adecuadas (OEE y otros KPI's); c) la supervisión de tiempo en paradas y mantenimientos (reducción de MTTR y aumento de MTBF); d) la integración de herramientas complementarias como material de apoyo (Mantenimiento autónomo, Kaizen, Kanban, otros); e) la gestión planificada de acciones para cada equipo y área de la empresa (Plan de acción y programación de actividades); y f) el ahorro generado por la aplicación del programa de MP (alrededor del 15% de los costos). El resultado final es brindar a las empresas la oportunidad de cosechar los beneficios derivados de un marco operativo que integra de manera efectiva enfoques y metodologías de mantenimiento establecidos desde un proceso unificado, lo cual ayuda a los ingenieros y especialistas de mantenimiento, así como a los operadores, durante sus operaciones diarias a identificar las tareas y desarrollar procesos de control e intervención.

6. CONCLUSIONES

El presente estudio demostró la importancia que otorga la implementación del mantenimiento preventivo como estrategia en la minimización de accidentes, disponibilidad de equipos y aseguramiento de la calidad. Puesto que al inicio la empresa no contaba con indicadores de confiabilidad, al establecer objetivos siendo estos de 87.47 horas para tiempos medios entre fallas, y 52 minutos para tiempos medios de reparación de fallas, se evidencian meses anteriores que están por debajo. Al implementar el plan de mantenimiento se logra aumentar el tiempo medio entre fallas siendo mayor a 95 horas, así mismo se reduce los tiempos medios de reparación de fallas a 52 minutos, de esta manera cumpliendo los objetivos establecidos por la empresa.

En particular, la propuesta metodológica de integración de TPM y MCC puede conducir a mejores procesos y mejoras en el trabajo en equipo, el análisis de criticidad permitió clasificar a los activos de acuerdo con el impacto que tienen dentro del proceso de producción, un total de 115 activos fueron categorizados de acuerdo con esta clasificación. En general, se pudo identificar a 50 equipos con alta criticidad, 25 de medio riesgo y 40 de bajo. Mediante el análisis de Pareto y el método las seis grandes pérdidas según el concepto TPM, se pudo determinar las causas más comunes de pérdida de eficiencia que mayormente impacta al desempeño del proceso, estos fueron los paros por pérdida de ajustes y configuración (17.9%), los defectos en el proceso (20.8%) y las fallas en los equipos (17.9%), pues representaban el 68.62% del total de las pérdidas de productividad. En base a estas causas identificadas por criticidad y ocurrencia se desarrolló el plan de mantenimiento preventivo, lo que permitió mantener la eficacia general de los equipos mayor al 70%, teniendo en cuenta el nivel de implementación de TPM en los equipos está en un 15% como se muestra en la hoja de ruta para el periodo 2022.

Este trabajo subraya aún más el papel estratégico que debe cubrir el mantenimiento en los sistemas de producción actuales. La principal contribución del modelo de MP

fue mostrar que poner en funcionamiento diferentes herramientas de manera organizada, al igual que compartir información y responsabilidades con los trabajadores, puede ser de beneficio con un alto valor para las empresas y hacer que las funciones de mantenimiento sean más eficientes. En base a ello se desarrolló planes de acciones preventivas para cada equipo y área de la empresa con el objetivo de reducir la ocurrencia de averías en los procesos principales de manufactura, se incluyeron tarjetas Kanban dentro de áreas estratégicas para informar al personal sobre las acciones que están pendientes, en proceso, y las que han sido terminadas. Además, se elaboraron hojas Kaizen con toda la información de los equipos. Esto permitió involucrar al personal operativo para que puedan realizar un mantenimiento autónomo. Los resultados obtenidos fueron positivos: se registró un aumento del 4% en el OEE, una disminución del 25% en la tasa de fallas, que se daban por no tener capacitados a los operarios, mejorando así los tiempos medios de reparación. Además, se evidenció que el impacto de la propuesta implementada resultó ser efectiva para implementar el cambio en la cultura de la organización. Esto implicó una serie de cambios como la implementación de varias actividades nuevas de mantenimiento, otros registros, reportes y procedimientos, que en algunos casos complementaron las actividades existentes y cubrieron espacios en blanco en varios procesos que requerían atención.

REFERENCIAS

- Ab-Samat, H., Jeikumar, L., Basri, E., Harun, N., & Kamaruddin, S. (2012). Effective Preventive Maintenance Scheduling: A Case Study. *Proceedings of the 2012 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, (págs. 3-6).
- Afey, I. (2013). Implementation of total productive maintenance and overall equipment effectiveness evaluation. *International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering*, 13(1), 69-75.
- Almeanazel, O. T. (2010). Total productive maintenance review and overall equipment effectiveness measurement. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 4(4), 517 - 522.
- Alsyouf, I. (2007). The role of maintenance in improving companies' productivity and profitability. *International Journal of Production Economics*, 105(1), 70-78.
- Basri, E. I., Abdul Razak, I. H., Ab-Samat, H., & Kamaruddin, S. (2017). Preventive maintenance (PM) planning: a review. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 23(2), 114-143. doi:<https://doi.org/10.1108/JQME-04-2016-0014>
- Braun, B., Dessauer, M., Henderson, K., Peng, Y., & Seasholtz, M. B. (2022). Methodology to screen vendors for predictive maintenance in the chemical industry. *J. Adv. Manuf. Process*, 4(1), e10109.
- Budai, G., Dekker, R., & Nicolai, R. P. (2008). Maintenance and Production: A Review of Planning Models. En K. A. Kobbacy, & D. P. Murthy, *Complex System Maintenance Handbook* (págs. 321-344). London: Springer Series in Reliability Engineering. Springer.
- Busse, S., Hiller, M., Kahlen, K., & Himmelmann, P. (2015). MTBF comparison of cutting edge medium voltage drive topologies for oil & gas applications. *2015 Petroleum and Chemical Industry Conference Europe (PCIC Europe)* (págs. 1-13). Lodon: IEEE.
- Choi, K., Gan, G., & Cyril, U. (2011). Critical success factors of total productive maintenance implementation: A review. *2011 IEEE International Conference on*

- Industrial Engineering and Engineering Management*, (págs. 269-273).
doi:10.1109/IEEM.2011.6117920
- Coble, J. (2010). *Merging data sources to predict remaining useful life—an automated method to identify prognostic parameters*. Obtenido de University of Tennessee [Doctoral Dissertation].
- Daily, J., & Peterson, J. (2017). Predictive Maintenance: How Big Data Analysis Can Improve Maintenance. En K. Richter, & J. Walther, *Supply Chain Integration Challenges in Commercial Aerospace* (págs. 267-278). Cham: Springer.
- den Hollander, M. C., Bakker, C. A., & Hultink, E. J. (2017). Product design in a circular economy: Development of a typology of key concepts and terms. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 517-525. doi:10.1111/jiec.12610
- Exner, K., Schnürmacher, C., Adolphy, S., & Stark, R. (2017). Proactive Maintenance as Success Factor for Use-Oriented Product-Service Systems. *Procedia CIRP*, 64, 330-335.
- Gomes, P., Barbosa, D., Tregue, A., & Estanislau, A. (2019). Proposed Preventive Maintenance in a Small Machinery Rental Company. *International Journal for Innovation Education and Research*, 829-836. doi:https://doi.org/10.31686/ijier.Vol7.Iss11.1939
- Hardt, F., Kotyrba, M., Volna, E., & Jarusek, R. (2021). Hardt, F., Kotyrba, M., Volna, E., & Jarusek, R. (2021). Innovative approach to preventive maintenance of production equipment based on a modified tpm methodology for industry 4.0. *Applied Sciences*, 11(15), 6953. doi:https://doi.org/10.3390/app11156953
- Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2020). *Operations management: sustainability and supply chain management* (13th ed.). Harlow: Pearson Education Limited.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2018). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Macchi, M., Roda, I., & Fumagalli, L. (2017). On the Advancement of Maintenance Management Towards Smart Maintenance in Manufacturing. En H. Lödding, R. Riedel, K. Thoben, G. von Cieminski, & D. Kiritsis, *Advances in Production Management Systems. The Path to Intelligent, Collaborative and Sustainable Manufacturing* (Vol. vol 513, págs. 383–390). IFIP Advances in Information and

- Communication Technology. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-319-66923-6_45
- Martins, L., Silva, F. J., Pimentel, C., Casais, R. B., & Campilho, R. (2020). Improving Preventive Maintenance Management in an Energy Solutions Company. *Procedia Manufacturing*, 51, 1551-1558. doi:<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.216>
- Mehmeti, X., Mehmeti, B., & Sejdiu, R. (2018). The equipment maintenance management in manufacturing enterprises. *IFAC-PapersOnLine*, 51(30), 800-802. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.11.192>
- Mishra, R., & Pathak, K. (2012). *Maintenance Engineering and Management*. PHI Learning Pvt. Ltd.
- Mobley, K. (2014). *Maintenance Engineering Handbook*. McGraw Hill Professional.
- Moore, R. (2004). Total Productive and Reliability-Centered Maintenance. En R. Moore, *Making Common Sense Common Practice* (págs. 313-340). Bostón: Elsevier Butterworth–Heinemann.
- Moscoso, C., Fernandez, A., Viacava, G., & Raymundo, C. (2020). Integral Model of Maintenance Management Based on TPM and RCM Principles to Increase Machine Availability in a Manufacturing Company. En T. Ahram, R. Tair, S. Colson, & A. Choplin, *Human Interaction and Emerging Technologies. IHET 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing* (Vol. 108, págs. 878–884). Cham: Springer.
- Ni, J., Gu, X., & Jin, X. (2015). Preventive maintenance opportunities for large production systems. *CIRP Annals*, 64(1), 447-450.
- O'Leary, Z. (2017). *The Essential Guide to Doing Your Research Project*. Los Angeles: SAGE Publications.
- Pacaiova, H., & Glatz, J. (2015). Maintenance management system. *MM Science Journal*(3), 665-669.
- Patil, L., & Raut, N. (2019). Study of total productive maintenance and improving the production. *International Journal of Research and Analytical Reviews*, 6(1), 519-522.

- Piasson, D., Bíscaro, A., Leão, F., & Sanches, J. (2016). A new approach for reliability-centered maintenance programs in electric power distribution systems based on a multiobjective genetic algorithm. *Electric Power Systems Research*, *137*, 41–50.
- Pinto, G., Silva, F. J., Fernandes, N. O., Casais, R., Baptista, A., & Carvalho, C. (2020). Implementing a maintenance strategic plan using TPM methodology. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, *11*(3), 192–204.
- Prasetyo, Y., & Mercado, K. (2020). Equipment reliability optimization using predictive reliability centered maintenance: a case-study illustration and comprehensive literature review. *2020 7th International Conference on Frontiers of Industrial Engineering (ICFIE)* (págs. 93-97). IEEE.
- Rahimdel, M. J., Ataei, M., & Khalokakaei, R. (2016). Reliability Analysis and Maintenance Scheduling of the Electrical System of Rotary Drilling Machines. En U. Kumar, A. Ahmadi, A. K. Verma, & P. Varde, *Current trends in reliability, availability, maintainability and safety: an industry perspective*. (págs. 623-632). Cham: Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-319-23597-4_45
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2015). *Research Methods for Business Students*. Pearson Education.
- Sharma, R., & Singh, J. (2015). Impact of implementing Japanese 5S practices on total productive maintenance. *International Journal of Current Engineering and Technology*, *5*(2), 818-825.
- Tian, Z., & Jeng, C. (2021). Implementing total productive maintenance in a manufacturing small or medium-sized enterprise. *Journal of Industrial Engineering and Management*, *14*(2), 152. doi:<https://doi.org/10.3926/jiem.3286>
- Vaidya, S., Bhosle, S., & Ambad, P. (2020). DMAIC Approach to Improve Carbon Weighing Compliance of Banburry Machine. En B. Iyer, P. Deshpande, S. Sharma, & U. Shiurkar, *Computing in Engineering and Technology* (Vol. 1025, págs. 803-816). Singapore: Springer. doi:https://doi.org/10.1007/978-981-32-9515-5_75

Velmurugan, R., & Dhingra, T. (2015). Maintenance strategy selection and its impact in maintenance function: A conceptual framework. *International Journal of Operations & Production Management*, 35(12), 1622-1661.