



Gestión integral del mantenimiento de los equipos productivos en la Empresa Pulpa Moldeada "PULPAMOL"

Integral management of the maintenance of production equipment in the Pulpa Moldeada "PULPAMOL" company

Segundo Ángel Cevallos-Betún
segundo.cevallos@utc.edu.ec

Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador
<https://orcid.org/0009-0002-7125-4203>

Diego Trajano Córdova-Peñañiel
diego.cordova0@utc.edu.ec

Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador
<https://orcid.org/0009-0006-0987-9236>

Juan Luis Guerra-Salazar
juan.guerra7@utc.edu.ec

Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador
<https://orcid.org/0009-0008-4082-6874>

RESUMEN

La gestión del mantenimiento es un conjunto de actividades que están relacionadas directamente con los procesos productivos, que tiene como finalidad garantizar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, máquinas e instalaciones, mejorando así las condiciones operativas de las distintas áreas de trabajo. Debido a lo expuesto, se tiene por objetivo elaborar un plan de mantenimiento preventivo de la empresa PULMALOL S.A. Metodología descriptiva. Esta investigación permitió determinar que PULPAMOL S.A. cuenta con 65 equipos de producción distribuidos en 2 procesos, 6 subprocesos y 4 sistemas auxiliares. La creación de fichas técnicas y hojas de vida organizó de manera adecuada la información crucial sobre estos equipos. Además, la implementación de códigos de mantenimiento resultó beneficiosa, ya que facilita la identificación y localización rápida y efectiva de la maquinaria dentro del proceso productivo, permitiendo un registro preciso y correcto de las fallas.

Descriptor: tecnología alimentaria; industria alimentaria; producción alimentaria. (Fuente: Tesoro UNESCO).

ABSTRACT

Maintenance management is a set of activities that are directly related to the production processes, which aims to ensure the reliability and availability of equipment, machines and facilities, thus improving the operating conditions of the different work areas. Due to the above, the objective is to elaborate a preventive maintenance plan for the company PULMALOL S.A. Descriptive methodology. This research allowed us to determine that PULPAMOL S.A. has 65 pieces of production equipment distributed in 2 processes, 6 sub-processes and 4 auxiliary systems. The creation of technical data sheets and life sheets adequately organised the crucial information on this equipment. In addition, the implementation of maintenance codes was beneficial, as it facilitates the quick and effective identification and location of the machinery within the production process, allowing an accurate and correct record of failures.

Descriptor: food technology; food industry; food production. (Source: UNESCO Thesaurus).

Recibido: 13/08/2024. Revisado: 16/08/2024. Aprobado: 17/08/2024. Publicado: 28/08/2024.

Sección artículos de Tecnología



INTRODUCCIÓN

La gestión del mantenimiento es un conjunto de actividades que están relacionadas directamente con los procesos productivos, que tiene como finalidad garantizar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, máquinas e instalaciones, mejorando así las condiciones operativas de las distintas áreas de trabajo. Un buen plan de mantenimiento permite prevenir y/o corregir averías, además ayuda a evaluar el estado de las instalaciones, vida útil y eficiencia de la maquinaria.

En este orden, Pulpa Moldeada S.A. PULPAMOL, es una empresa que inicio actividades en el año 2012, se dedica fundamentalmente a la producción de cubetas para huevos en sus diferentes tamaños, este proceso emplea agua, cartón, y papel como materia prima, a cuya mezcla se le añade resina para obtener un producto final de excelente calidad. PULPAMOL carecía de un listado de máquinas y equipos inventariados en su proceso de producción, tampoco contaba con un plan de mantenimiento que permitiera valorar el estado físico de las mismas, únicamente se realizaba mantenimiento correctivo. Cuando la demanda en el mercado de cubetas para huevos se incrementó notablemente, al mismo tiempo las fallas y paradas de equipos aumentaron; por estas razones es que se tomó la decisión de elaborar un plan de mantenimiento preventivo para la empresa.

El TPM está ligado estrechamente con el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), estas dos filosofías tienen como objetivo incrementar la disponibilidad y confiabilidad de la maquinaria y equipos en base a la jerarquización de estos en: críticos, importantes y prescindibles, lo que permite poner mayor atención en los elementos críticos para elaborar las actividades de mantenimiento, sin descuidar el resto de los equipos involucrados en el proceso de producción. La jerarquización de máquinas y equipos se realizó tomando en cuenta: la frecuencia de fallas, el impacto operacional, flexibilidad operacional, costos de mantenimiento y el impacto a la seguridad y medio ambiente. Se efectuó el levantamiento físico del estado de los equipos del proceso de producción empleando indicadores TPM y tomando en cuenta la ubicación e identificación de los procesos en los que intervienen, estos son:

- a) Tratamiento de la materia prima (Proceso 1)
- b) Moldeado, secado y empaque del producto (Proceso 2)
- c) Sistemas auxiliares.

El mantenimiento comprende todas las actividades que deben realizarse de manera lógica para mantener los equipos de producción, herramientas y activos físicos en condiciones operativas seguras, eficaces y económicas dentro de las instalaciones de una empresa (Cuggia-Jiménez et al. 2020; Arellano-Narváez & Acosta-Gonzaga, 2020). Dentro de este contexto, el mantenimiento correctivo se refiere a las acciones destinadas a reparar o corregir desperfectos en instalaciones o equipos. Este puede ser no planificado, cuando surge de manera imprevista por una falla que debe solucionarse con urgencia, o planificado, cuando se organiza con antelación para disponer de los recursos y personal necesarios para la intervención. Por otro lado, el mantenimiento predictivo se basa en la inspección periódica de los equipos para monitorear su estado mediante variables que permiten identificar su operatividad, ayudando así a prevenir o mitigar las consecuencias de posibles fallas (Álvarez et al. 2022; Pillado-Portillo et al. 2022).

El mantenimiento preventivo, en cambio, tiene como objetivo reducir y prevenir fallas potenciales, manteniendo las instalaciones en óptimas condiciones a través de datos estadísticos e inspecciones diarias que valoran los cambios en los equipos. Un plan de mantenimiento se presenta como una pieza clave en la gestión de activos, al definir los programas de mantenimiento preventivo y predictivo, con el fin de mejorar la efectividad de los equipos mediante tareas oportunas y necesarias, estableciendo frecuencias, variables de control, presupuestos y procedimientos (Hsu & Huang, 2011).

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) se enfoca en identificar las mejores prácticas para garantizar que los activos cumplan con su función principal, evaluando los



efectos de sus posibles modos de falla sobre la seguridad, el medio ambiente y las operaciones (García, 2021). Por su parte, el Mantenimiento Productivo Total (TPM) es una metodología que busca mejorar la disponibilidad y confiabilidad de las operaciones, los equipos y el sistema, eliminando las pérdidas de producción derivadas del estado de los equipos. Esta filosofía tiene como fin mantener los equipos en condiciones óptimas para operar a su capacidad máxima y producir la calidad esperada, sin interrupciones no planificadas (Van Raan, 2023).

Por consiguiente, la Gestión del Mantenimiento Asistido por Computadora (GMAO) permite gestionar tanto el mantenimiento correctivo como el preventivo y predictivo de los equipos e instalaciones de una o más empresas. Los programas GMAO están formados por módulos interconectados que facilitan el control exhaustivo de tareas como el historial de incidencias y averías de cada equipo, la programación de revisiones y las tareas de mantenimiento preventivo, como limpieza y lubricación (Herrera-Galán & Duany-Alfonzo, 2016).

En continuidad con lo anterior, se tiene que el Proceso de producción de PULPAMOL, es continuo, inicia en la recepción de la materia prima en sus bodegas, donde es seleccionada, clasificada y limpiada de impurezas para su posterior pesaje, una vez que termina dicha etapa ingresa al Pulper alrededor de 45 minutos de molienda hasta que se convierte en pulpa de papel, mediante una bomba tipo centrifuga es enviada hacia la parte de refinación, en la cual por medio de un separador es filtrada pasando pulpa pura sin grapas o plásticos, luego ingresa al despostillador donde es remolido nuevamente alcanzando así una contextura y densidad ligera, superado este subproceso la pulpa de papel es almacenada en 4 piscinas consecutivas donde espera a ser bombeado hacia el proceso 2. Una vez que la pulpa llega al subproceso de moldeado reposa en las cubas de la formadora en la cual mediante un sistema de vacío propio de la máquina es succionado, formando y depositando las cubetas sobre la cadena de rodillos, la capacidad de la formadora es de 8 cubetas; 2 filas en serie y 4 columnas en paralelo, luego pasa por un conjunto de 5 hornos en serie a distintas temperaturas por alrededor de 12 minutos, su proceso de producción termina con el empaque en el cual son contadas, clasificadas y almacenadas.

Debido a lo expuesto, se tiene por objetivo elaborar un plan de mantenimiento preventivo de la empresa PULMALOL S.A.

MÉTODO

El presente estudio se desarrolló bajo una metodología descriptiva, basada en la modalidad de proyecto factible. El objetivo principal fue la elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para la empresa PULMALOL S.A. Esta metodología se seleccionó debido a su capacidad para ofrecer un análisis detallado de la situación actual de la empresa, identificando las necesidades específicas en cuanto al mantenimiento de sus equipos e instalaciones.

El proceso inició con la recopilación y análisis de información relevante sobre los procedimientos de mantenimiento actualmente implementados en la empresa, así como la revisión de literatura especializada en mantenimiento preventivo. Posteriormente, se realizó un diagnóstico situacional que permitió identificar las deficiencias y áreas de oportunidad dentro del sistema de mantenimiento existente.

Con base en este diagnóstico, se diseñó un plan estratégico que incluye la planificación de actividades preventivas, la asignación de recursos, la definición de responsabilidades y la implementación de un sistema de seguimiento y control. El plan propuesto busca optimizar la operatividad de los equipos y minimizar los tiempos de inactividad, contribuyendo así a la eficiencia global de la empresa.

El desarrollo del proyecto se fundamentó en criterios técnicos y organizacionales, asegurando la viabilidad del plan dentro del contexto específico de PULMALOL S.A. La propuesta fue validada mediante la consulta a expertos en la materia y la consideración de las particularidades de la operación de la empresa.



RESULTADOS

Se desarrollan los resultados de la investigación:

Codificación de equipos

Para esta actividad primeramente se tuvo que identificar el número de equipos existentes en todo el proceso, posterior a ello se realizó una clasificación de los equipos por el análisis de criticidad, para culminar con la codificación de los equipos, como se observa en las tablas 1, 2 y 3.

Tabla 1. Equipos por procesos y subprocesos de producción.

Línea de producción PULPAMOL		
Procesos	Subproceso	Número de equipos
Proceso 1	Pesado	1
	Pulpado	4
	Refinado	4
	Almacenado	9
Proceso 2	Moldeado	8
	Secado	22
	Empaque	2
Sistemas auxiliares	Sistema neumático	5
	Sistema hidráulico	6
	Sistema combustible	2
	Sistema eléctrico	2
TOTAL		65

Nota: La tabla muestra la línea de producción de la empresa.

Tabla 2. Clasificación de los elementos del proceso productivo.

Equipos de producción	Pulper, motores, bombas, reductores, formadoras, quemadores, cadena de rodillos, hornos, sensores.
Infraestructura	Comprende toda la empresa desde recepción de materia prima, producto final, embarque.
Equipos de servicios	Sistema eléctrico, sistema neumático, sistema hidráulico y sistema de combustible.
Tanques de almacenamiento	Tanque de abastecimiento de Diésel, cisterna de agua, tuberías, etc.

Nota: En la tabla se evidencia la clasificación del proceso productivo.

Tabla 3. Descripción de abreviaturas utilizadas.

Abr.	Descripción	Abr.	Descripción	Abr.	Descripción
PR	Proceso	CM	Compresor	SEL	Sistema Eléctrico
MO	Motor	SA	Separador de agua	SNE	Sistema Neumático
BA	Bomba de agua	DP	Despostillador	PUL	Pulpado
BD	Bomba de diésel	EM	Empacadora	ALM	Almacenamiento
BP	Bomba de pulpa	FR	Formadora	REF	Refinador
BV	Bomba de vacío	BC	Bascula	MOL	Moldeado
TV	Tanque de vacío	MR	Moto Reductor	SEC	Secado
TD	Tanque diésel	CR	Cadena de rodillos	EMP	Empaque
QE	Quemador	CD	Cadena	PSD	Pesado
PL	Pulper	SHD	Sistema Hidráulico	SCB	Sistema Combustible
SP	Separador				

Nota: La tabla describe las abreviaturas utilizadas en el proceso.

En la actividad de codificación, se especificó el proceso, el subproceso y la máquina con el número de elemento de esta. Es de fácil entendimiento, permite localizar de forma inmediata al elemento eléctrico y/o mecánico a intervenir. El tipo de código utilizado para la codificación de mantenimiento es un código alfanumérico de 14 caracteres (ver Figura 1).

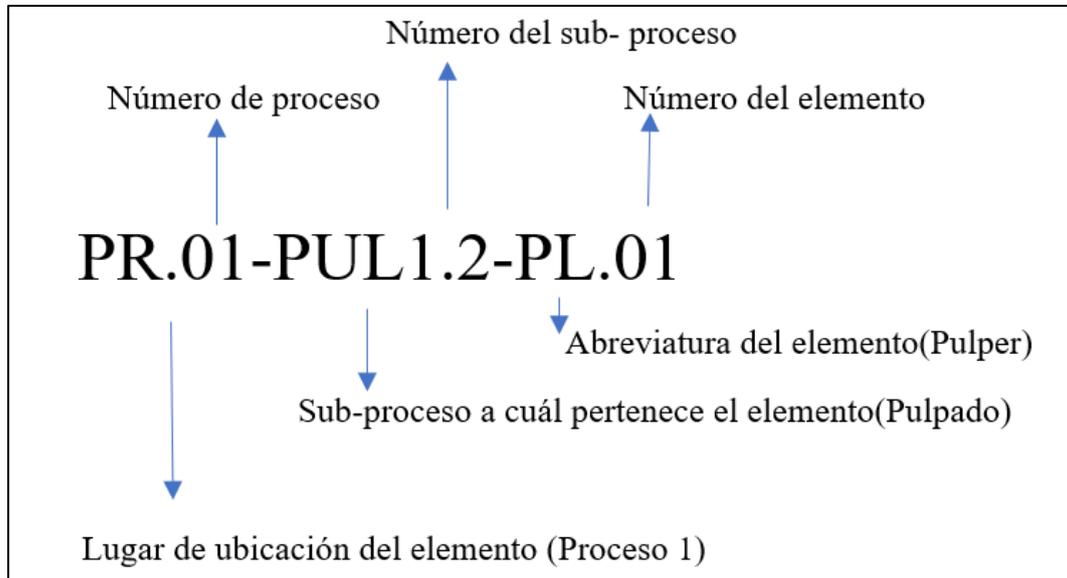


Figura 1.
Código de mantenimiento

Nota: En la figura se muestra el código generado para el mantenimiento.

Determinación de la criticidad de los equipos

Permite establecer el orden jerárquico entre elementos eléctricos o mecánicos, así como instalaciones y sistemas los cuales conforman una planta industrial, teniendo en cuenta la importancia que tienen cada uno de ellos en los procesos de producción (Leydesdorff & Wagner, 2009).

$$\text{Criticidad} = FEF * C$$

Donde:

FEF= Frecuencia de ocurrencia del fallo; (adimensional)

C= consecuencia o severidad del fallo; (adimensional)

Para la obtención de la consecuencia o severidad del fallo se puede incluir valores ponderados de: impacto operacional, flexibilidad operacional, costos por mantenimiento e impacto y seguridad personal como tenemos en la siguiente ecuación.

$$C = [(IP * FO) + CM + SHA]$$

Donde:

C= Consecuencia; (adimensional).

IP= Impacto Operacional; (adimensional).

FO= Flexibilidad Operacional; (adimensional).

CM= Costos de Mantenimiento; (adimensional).

SHA= Impacto y seguridad personal; (adimensional).

Existen tres clases de equipos en una industria que son considerados en el análisis de criticidad y estos son: Críticos, Importantes y Prescindibles.



En la tabla 4 en la cual se describe las consecuencias de falla que tiene cada uno de los equipos críticos, importantes y prescindibles respecto a: seguridad y medio ambiente, producción, calidad y mantenimiento.

Tipo de equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento
A Crítico	Exige inspecciones periódicas usuales. Puede causar accidentes graves.	Su falla detiene el proceso de producción.	Su mal funcionamiento provoca grandes pérdidas de producto terminado en óptimas condiciones.	Costo por mto correctivo elevado. Varias horas de para, incluso días.
B Importante	Posibilidades de un accidente grave son remotas.	Su falla puede detener al proceso de producción, pero sus consecuencias son asumibles.	Afecta la calidad, pero no provoca la exclusión del producto final.	Costo moderado en mto.
C Prescindibles	Influencia en seguridad baja. No produce accidentes.	Su falla no detiene el proceso de producción.	No afecta a la calidad.	Costo bajo en mto.

Figura 2
Consecuencia de fallas respecto a cada tipo de equipos

Nota: En la figura se muestra las Consecuencia de fallas respecto a cada tipo de equipos.

Las variables que fueron ponderadas con cada uno de sus criterios son las siguientes:

Frecuencia de fallas (FEF). Se utiliza al Tiempo Promedio entre Fallas (TPPF) como un indicador para esta actividad.

Impacto operacional. Este factor permite evaluar el efecto que tendrá la falla dentro del proceso productivo.

Flexibilidad operacional. Tiene la finalidad de parametrizar si existe o no equipos de repuestos para poder entrar en funcionamiento cuando ocurra una falla dando posta a los elementos principales.

Costos de mantenimiento. El costo de mantenimiento puede incluirse en los costos operacionales y son factores claves para determinar presupuestos del departamento de mantenimiento.

Impacto a la seguridad, ambiente e higiene. (SHA). Se mide la influencia que tiene el fallo sobre el medio ambiente, instalaciones, procesos, equipos y sobre la seguridad de los trabajadores (Abbasi & Altmann, 2010).

Tabla 4. Ponderación de variables.

Descripción	Criterio	Valor
Frecuencia de fallas	Pobre mayor a 2 fallas/año	4
	Promedio 1-2 fallas/año	3
	Buena 0.5 – 1 fallas/año	2
	Excelente menos de 0.5 fallas/año	1
Impacto operacional	Perdida grave	10
	Parada del sistema o subsistema	7
	Impacto a la calidad	4



	Ninguna afectación	1
Flexibilidad operacional	No existe opción de producción y no hay función de repuesto	4
	Hay función de repuesto compartido	3
	Función de repuesto disponible	2
Costos de mtto	Mayor o igual a \$ 2000	2
	Menor a \$2000	1
Impacto a la seguridad, ambiente e higiene (SAH)	Afecta a la seguridad humana tanto externa como interna y requiere notificación a entes externos de la organización	8
	Afecta al ambiente/ instalaciones	7
	Afecta a las instalaciones causando daños severos	5
	Provoca daños menores ambiente seguridad	3
	No provoca ningún daño a personas, instalaciones o ambiente	1

Nota: En la tabla se observa la ponderación de variables.

Indicadores del Mantenimiento Productivo Total (TPM) utilizados

Fiabilidad (Tiempo promedio para fallar TPPF). Es la probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para el cual fue diseñado, durante el periodo de tiempo especificado y bajo las condiciones de operaciones dadas, esto "Se refiere al tiempo promedio que es capaz de operar un sistema a capacidad requerida sin interrupciones" (Rojo-Gutiérrez & Herrera-Báez, 2022).

$$TPEF = \frac{HROP}{\sum NTFALLAS}$$

Donde:

TPEF = Tiempo promedio de reparación.; (horas).

HROP = Horas de operación.; (horas).

NTFALLAS = Número de fallas detectadas; (adimensional).

Mantenibilidad (Tiempo promedio para reparar TPPR)

Se refiere al tiempo promedio en que puede ser reparado un ISED. Entendiéndose como horas de fallas, el tiempo en horas que transcurre desde que el equipo falla, hasta que el equipo es nuevamente puesto en servicio Rojo-Gutiérrez & Herrera-Báez, 2022).

$$TPPR = \frac{TTF}{\sum NTFALLAS}$$

Donde:

TPPR = Tiempo promedio de reparación; (horas).

TTF = Tiempo total de fallas; (adimensional).

NTFALLAS = Número de fallas detectadas; (adimensional).

Confiabilidad (Tiempo medio entre fallas TMEF). - Indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de una falla es decir mientras mayor sea su valor, mayor será la confiabilidad del equipo (Rojo-Gutiérrez & Herrera-Báez, 2022).

$$TMEF = \frac{1}{\%Fallas}$$

Donde:



TMEF = Tiempo medio entre fallas

%FALLAS = Porcentaje de fallas

Probabilidades más usadas en estudios de confiabilidad

Las distribuciones que más se utilizan en el cálculo de los índices de confiabilidad y la Mantenibilidad, son la exponencial, la normal y la de Weibull; para esta implementación se utilizó la distribución de Weibull (Rojo-Gutiérrez & Herrera-Báez, 2022).

Distribucion de Weibull. La distribución de Weibull permite estudiar cuál es la distribución de fallos de un componente clave de seguridad que se pretende controlar y que a través del registro de fallos se observa que éstos varían a lo largo del tiempo y dentro de lo que se considera tiempo normal de uso.

Determinación de la confiabilidad. La confiabilidad está en función del tiempo a cuál se desee conocer que tan confiable sigue siendo el equipo basando en análisis anteriores los cuales están sustentado en un historial de fallos.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

Donde:

R(t) = Confiabilidad en un tiempo determinado

e = 2,718281828

t = Tiempo determinado (horas)

η = Parámetro de escala (adimensional)

β = Parámetro de forma (adimensional)

Elaboración de Documentación Técnica: En esta parte del trabajo, se desarrollaron las hojas técnicas de los equipos a través de visitas en sitio; gracias a la experticia y a bitácoras llevadas por el personal de mantenimiento sobre los fallos y acciones realizadas desde el inicio de funcionamiento de la empresa se elaboraron las hojas de vida de los equipos y también se logró determinar la periodicidad para las distintas actividades de mantenimiento contempladas dentro del primer Plan de Mantenimiento Preventivo de la Empresa. Toda la información recolectada se la ingreso a un software desarrollado por otra persona, desde El cuál se emitirán lo que son órdenes de trabajo y todas las actividades de mantenimiento a ser realizadas conforme a un calendario anual.

Todos los equipos involucrados en los procesos y subproceso de producción de las cubetas para huevos se hallan codificados; tomando en cuenta el criterio de criticidad (Frecuencia, Impacto Operacional, Flexibilidad, Costos, Impactos, Consecuencia) se lograron determinar cuáles son los equipos a los cuales hay que tener mayor cuidado dentro del proceso productivo, y estos son:



Código	Equipo	F	IO	FL	CM	IM	C	Total	Crit.
PR.02-MOL2.1-FOR1	Formadora 1(lado sur)	4	10	4	2	3	45	180	Critico
PR.01-PUL1.2-PL.01	Pulper	4	10	4	1	1	42	168	Critico
PR.01-PUL1.2-MO.01	Motor del pulper	4	10	4	1	1	42	168	Critico
PR.01-ALM1.4.4-BE.01	Bomba electro sumergible piscina 4	3	10	2	1	3	24	72	Critico
PR.01-PUL1.2-BP.01	Bomba descarga del pulper	3	7	3	1	1	23	69	Critico
PR.01-PUL1.2-BP.01	Motor de la bomba descarga del Pulper	3	7	3	1	1	23	69	Critico
PR.02-SEC2.2.6 -MR.01	Moto reductor de la cadena de rodillos	3	7	3	1	1	23	69	Critico
PR.02-SEC2.2.16-CR.01	Cadena de rodillos	4	7	2	1	1	16	64	Critico

Figura 3

Equipos críticos de PULPAMOL S.A.

Nota. En la figura se observa los equipos críticos utilizados en el proceso.

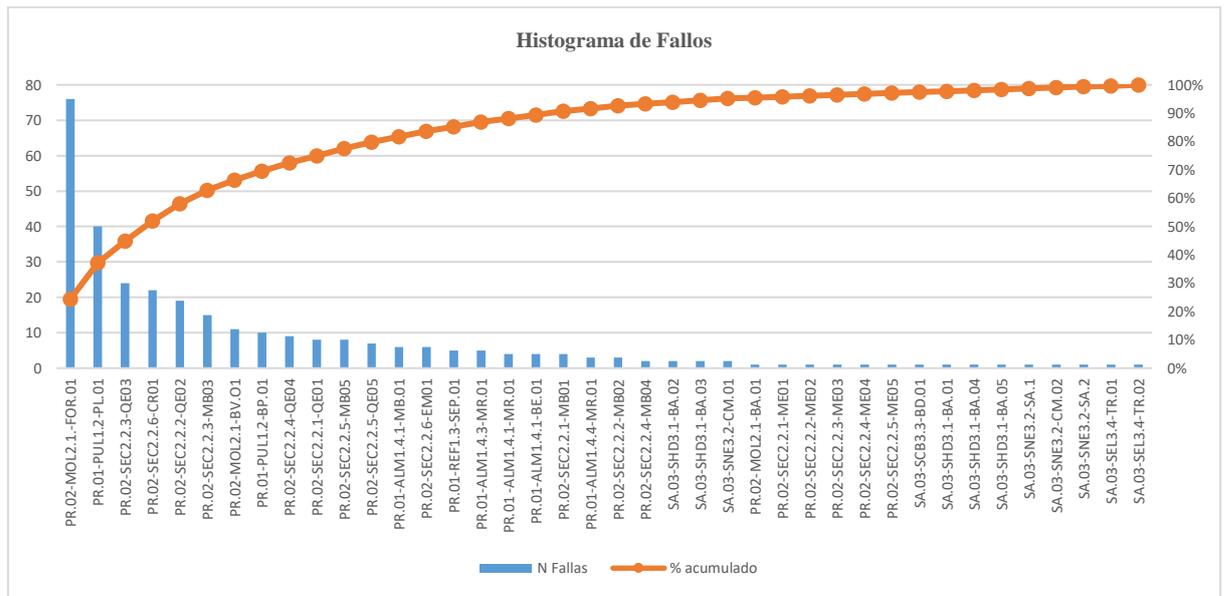


Figura 4

Pareto de fallas de PULPAMOL S.A.

Nota. El análisis de Pareto realizado a los equipos de la empresa permitió identificar a que equipos el plan de mantenimiento preventivo debe tener mayor atención con la finalidad de reducir su número de fallas y por ende incrementar su fiabilidad y disponibilidad.

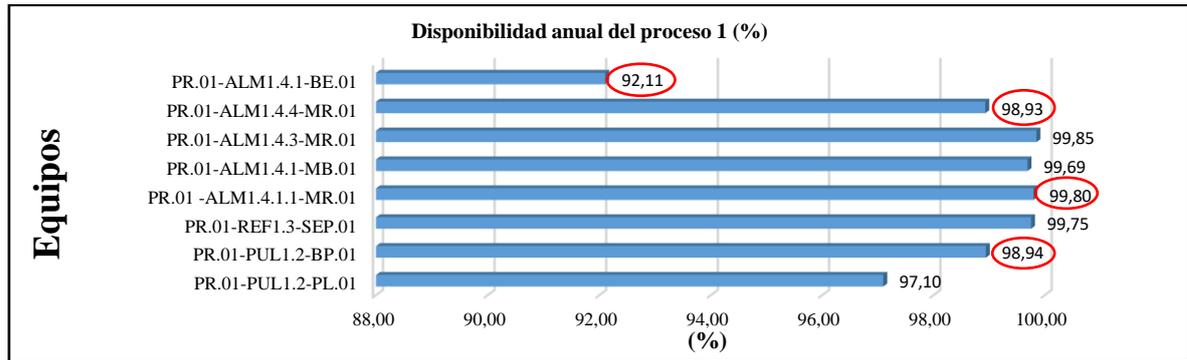


Figura 5
Disponibilidad anual del proceso 1

Nota. Se obtuvo como resultado que el proceso 1 presenta una disponibilidad anual del 98,27%, así mismo se conoció que cuatro maquinarias tienen un nivel de disponibilidad bajo, de las cuales tres son máquinas críticas en dicho proceso de la empresa, lo que representa pérdidas tanto en ventas como en mantenimiento.

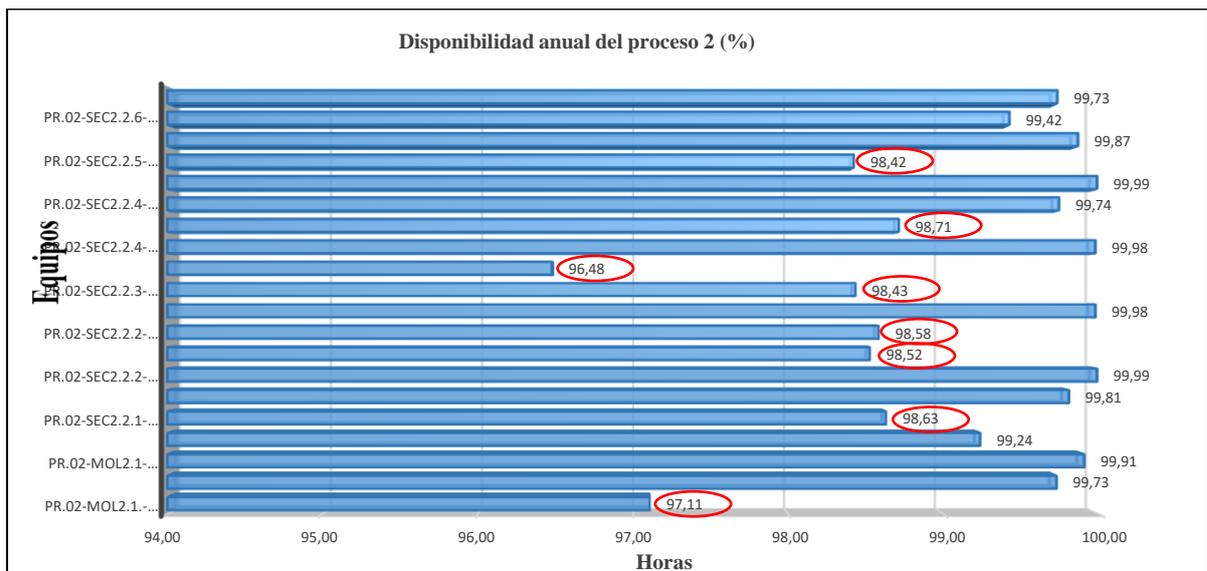


Figura 6
Disponibilidad anual del proceso 2.



Nota. La disponibilidad en el proceso 2 es del 99,11%, sin embargo, presentan máquinas en la cuales su disponibilidad es relativamente baja, presentando 8 máquinas con su disponibilidad inferior al 99,00%, además una de ellas se consideró crítica presentando un 97,11% de disponibilidad. El equipo que presenta la disponibilidad más baja dentro de este proceso de producción es el quemador del horno 3 con 96,48%.

Análisis de mantenibilidad

De acuerdo con este indicador la bomba electrosumergible es el equipo con mayor índice de mantenibilidad que existe dentro del proceso 1 y de toda la línea de producción llegando a obtener como resultado 200,50 horas de mantenimiento, siendo este un equipo crítico por lo cual se tomó en cuenta para la realización y determinación de actividades y frecuencias de mantenimiento.

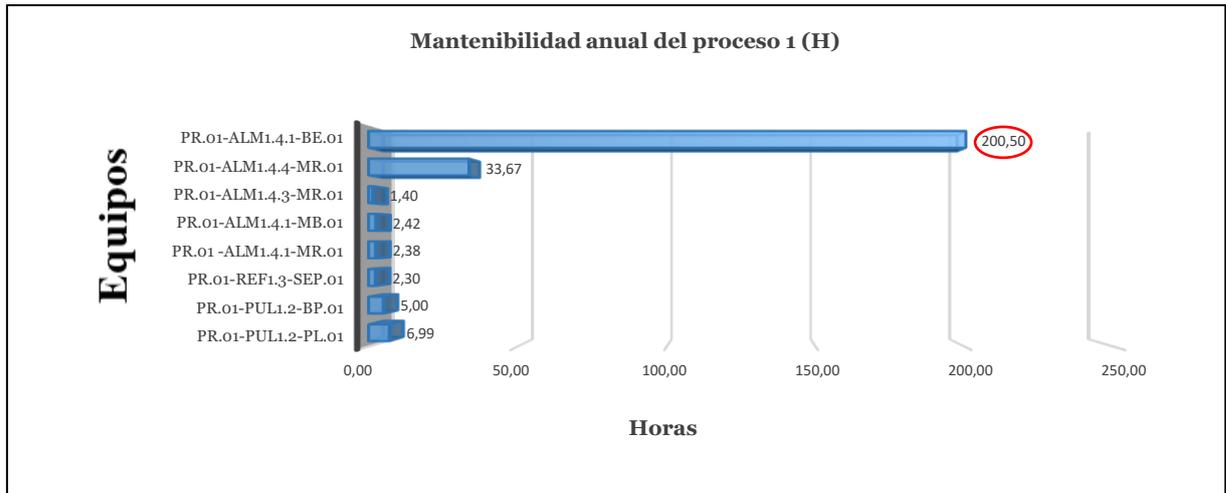


Figura 7
Mantenibilidad proceso 1

Nota. El análisis de fiabilidad generó reportes en los cuales se determinó que los equipos que presentan el tiempo más bajo de operación dentro del proceso 1 está compuesto por el pulper con 233,78 horas, y la formadora del proceso 2 con un total de 122,89 horas antes de que suceda una falla repentina, estos equipos jerarquizados como críticos son causantes de que la empresa llegase a detenerse por completo si sus fallas no son previstas o sus alertas no son intervenidas con anticipación. Adicional a esto, se puede observar que los quemadores de los 5 hornos y la cadena de rodillos presentan niveles de fiabilidad bajos, es decir sus fallas han sido constantes.

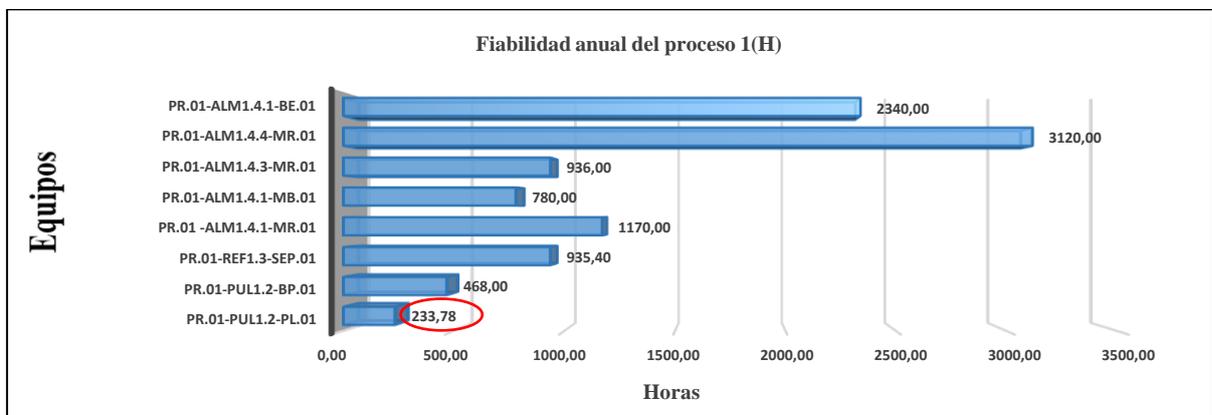


Figura 8
Fiabilidad anual del proceso 1

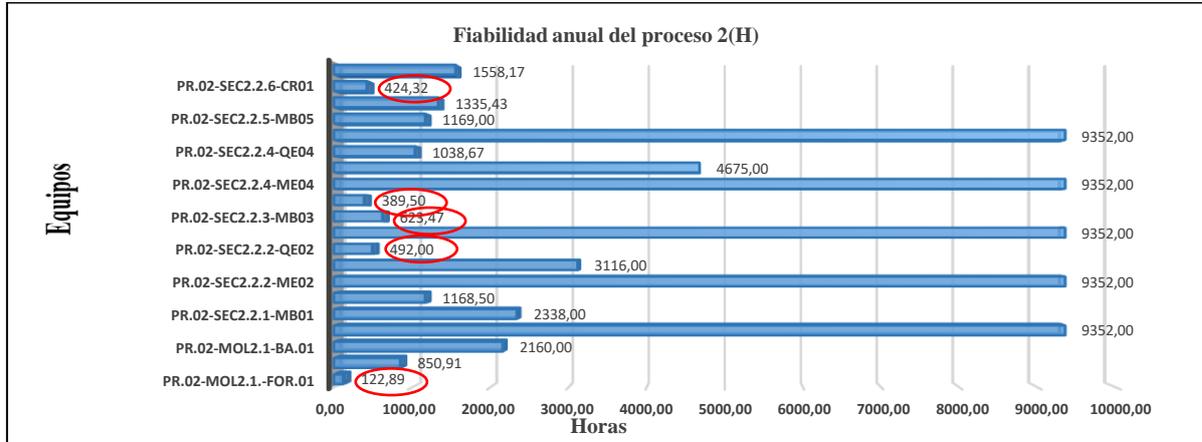


Figura 9
Fiabilidad anual del proceso 2

Análisis confiabilidad

Este análisis tuvo la finalidad de determinar cuál es la confiabilidad que cada elemento tendrá en un tiempo determinado, el tiempo de verificación de cada 100 horas permitió establecer que tan alta es la confiabilidad de los equipos, las horas de operación donde empezaran a aparecer fallas constantes y a que tiempo sufrirá una parada repentina. La confiabilidad del pulper a las 80 horas es 0,99 y aparecen sus primeras fallas que indica que es momento de realizar inspecciones y revisiones, con el transcurso de las horas de funcionamiento aquellas fallas iniciales pasarán a ser fallas constantes hasta que llegará a un punto en el cual la máquina se detendrá si no es intervenida con anticipación (aproximadamente a las 4000 horas).

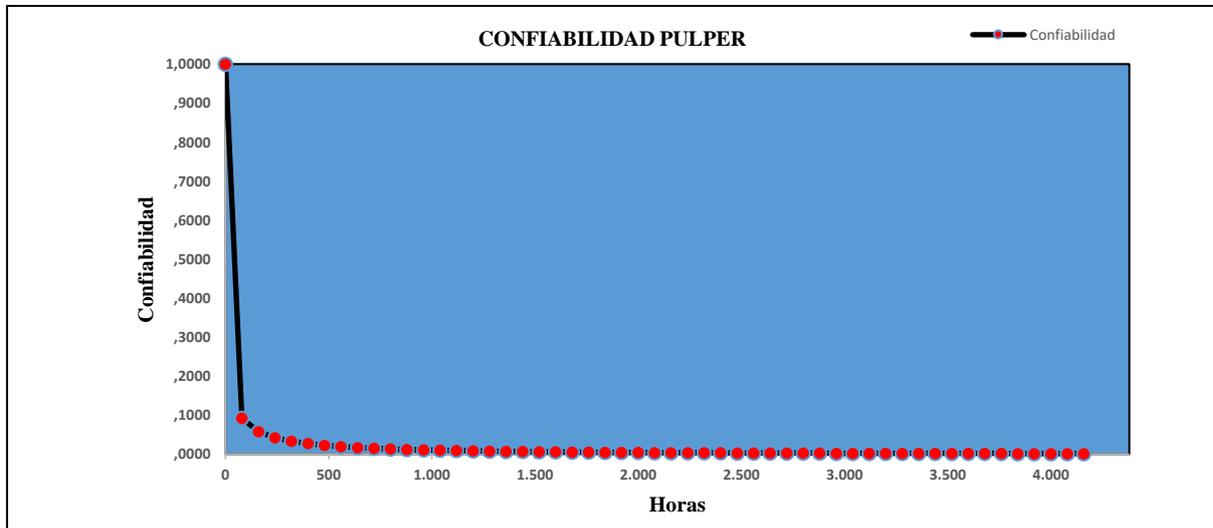


Figura 10
Confiabilidad Pulper

Por su parte la formadora en sus primeras 80 horas de funcionamiento presenta una confiabilidad un poco más baja en relación con el pulper, es decir en sus primeras 80 horas la confiabilidad que presenta es aproximadamente 0,12; pero al igual que el pulper presentará una serie de fallas constantes hasta que llegará a un punto en el cual la máquina se detendrá si no es intervenida con anticipación (aproximadamente a las 1000 horas).



Impacto económico

La implementación del plan de mantenimiento permite tener mayor control de equipos, maquinarias e instalaciones, por lo cual disminuye la posibilidad de que estos sufran fallas de tipo correctivo que son más costosas, además que permite realizar pedidos de los repuestos necesarios y suficientes con los que bodega debe contar para las actividades de mantenimiento.

Impacto tecnológico

La implementación del plan de mantenimiento permite incrementar el tiempo de vida útil, reduce paradas no programadas e incrementa el tiempo de producción. La gestión de mantenimiento mediante la aplicación de un software facilita el almacenamiento de datos e interpretación de variables de una forma más ordenada y eficiente, reduciendo así el uso excesivo de papel y el tiempo perdido en la revisión de bitácoras.

CONCLUSIÓN

Esta investigación permitió determinar que PULPAMOL S.A. cuenta con 65 equipos de producción distribuidos en 2 procesos, 6 subprocesos y 4 sistemas auxiliares. La creación de fichas técnicas y hojas de vida organizó de manera adecuada la información crucial sobre estos equipos. Además, la implementación de códigos de mantenimiento resultó beneficiosa, ya que facilita la identificación y localización rápida y efectiva de la maquinaria dentro del proceso productivo, permitiendo un registro preciso y correcto de las fallas.

A partir de la evaluación de los indicadores TPM, se concluyó que los elementos críticos responsables de la mayor cantidad de fallas e inconvenientes en el proceso productivo son: la formadora, que presentó la fiabilidad más baja (122,89 horas); la bomba electrosumergible, con la mantenibilidad más alta (200,50 horas); y la misma bomba, que mostró la disponibilidad más baja del proceso productivo (92,11% anual). Por otro lado, los sistemas auxiliares alcanzaron niveles de disponibilidad superiores al 99%. Además, se concluyó que la confiabilidad de los equipos del proceso productivo es inferior a 0,5 en sus primeras 100 horas de operación.

La determinación de las frecuencias de mantenimiento permitió identificar las actividades y tiempos necesarios para la intervención de los equipos, lo que redujo los tiempos de mantenibilidad, aumentó la fiabilidad y, en consecuencia, mejoró la disponibilidad de los equipos. Un beneficio evidente tras la implementación de estas medidas fue la reducción del consumo de energía eléctrica (enero 2018: 69.061 kW; mayo 2018: 66.605 kW).

Se recomienda realizar un seguimiento continuo del cumplimiento y control del plan de mantenimiento preventivo, actualizándolo periódicamente, ya que esta propuesta es dinámica y puede variar con el tiempo.

FINANCIAMIENTO

No monetario

CONFLICTO DE INTERÉS

No existe conflicto de interés con personas o instituciones ligadas a la investigación.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Técnica de Cotopaxi.

REFERENCIAS

Abbasi, A., & Altmann, J. (2010). *A social network system for analyzing publication activities of researchers*. In T. J. Bastiaens, U. Baumöl, & B. J. Krämer (Eds.), *On collective intelligence. Advances in intelligent and soft computing* (Vol. 76). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-14481-3_5



- Álvarez Q., Laura I., Lozano M., Carlos A., & Bravo M., Diego A. (2022). Metodología para el mantenimiento predictivo de transformadores de distribución basada en aprendizaje automático [Methodology for Predictive Maintenance of Distribution Transformers based on Machine Learning]. *Ingeniería*, 27(3), e202. <https://doi.org/10.14483/23448393.17742>
- Arellano-Narváez, Rebeca, & Acosta-Gonzaga, Elizabeth. (2020). Prácticas de higiene en el proceso de elaboración de alimentos en microempresas de un mercado de Ciudad de México [Hygiene practices in the food preparation process in micro-enterprises in a market in Ciudad de Mexico]. *Estudios sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 30(56), e201003. <https://doi.org/10.24836/es.v39i56.1003>
- Cuggia-Jiménez, Cynthia, Orozco-Acosta, Erick, & Mendoza-Galvis, Darwin. (2020). Manufactura esbelta: una revisión sistemática en la industria de alimentos [Lean manufacturing: a systematic review in the food industry]. *Información tecnológica*, 31(5), 163-172. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000500163>
- Herrera-Galán, Michael, & Duany-Alfonzo, Yoenia. (2016). Metodología e implementación de un programa de gestión de mantenimiento [Methodology and implementation of maintenance management program]. *Ingeniería Industrial*, 37(1), 2-13.
- Hsu, J., & Huang, D. (2011). Correlation between impact and collaboration. *Scientometrics*, 86(2), 317-324.
- Leydesdorff, L., & Wagner, C. (2009). Is the United States losing ground in Science? a global perspective on the world science system. *Scientometrics*, 78(1), 23-36.
- Pillado-Portillo, Martín, Castillo Pérez, Velia Herminia, & Riva Rodríguez, Jorge de la. (2022). Metodología de administración para el mantenimiento preventivo como base de la confiabilidad de las máquinas [Management methodology for preventive maintenance as a basis for machine reliability]. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 12(24), e055. <https://doi.org/10.23913/ride.v12i24.1218>
- Rojo-Gutiérrez, M. A., & Herrera-Báez, G. (2022). Mantenimiento Productivo Total (MPT) en Empresas Industriales y Terminales Portuarias de Contenedores de la Zona Económica Especial (ZEE) de Lázaro Cárdenas Michoacán [Productive Maintenance (TPM) in Industrial Companies and Port Container Terminals of the Special Economic Zone (SEZ) of Lazaro Cardenas Michoacan]. *ISTE SCIENTIST*, 1(1), 27- 47.
- Van Raan, A. F. (2023). The use of bibliometric analysis in re-search performance assessment and monitoring of interdisciplinary scientific developments. *Technology Assessment-Theory and Practice*, 1(12), 20-29.