



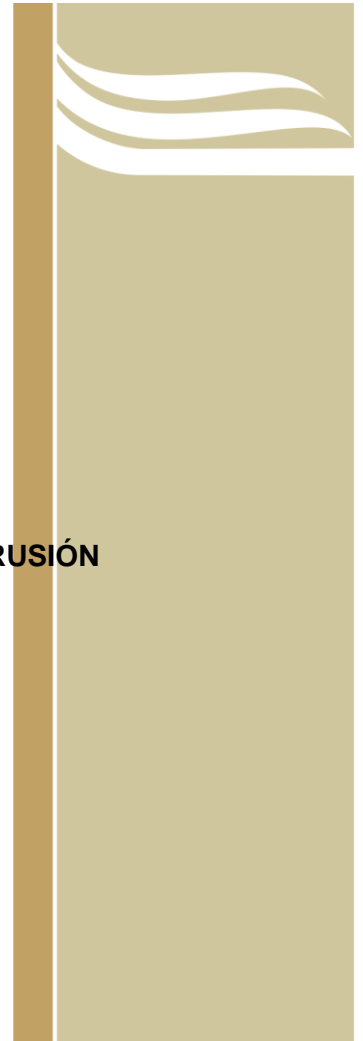
**FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

TRABAJO DE DIPLOMA

**SISTEMA DE MANTENIMIENTO PARA LA LÍNEA DE EXTRUSIÓN
DE POLIETILENO DE
ALTA DENSIDAD (PEAD) EN HOLPLAST**

AUTORA: Yurima Hernández Paneque

**TUTORES: M.Sc. Elio Rafael Hidalgo Batista
M.Sc. Jorge Labañino Fernández**



Holguín

2016

AGRADECIMIENTO

Deseo agradecer a mis tutores M.Sc. Elio Rafael Hidalgo Batista y M.Sc. Jorge Labañino Fernández por brindarme sus ayudas para la realización del presente trabajo, así como por transmitirme sus experiencias y enseñanzas. A mis padres que estuvieron en todo momento apoyándome durante este proceso, a todos ¡Muchas Gracias!

RESUMEN

En el presente trabajo de diploma se aplica el análisis de los fallos en la línea 3 de producción perteneciente a la fábrica de tubos de Holguín, HOLPLAST, para proponer un Sistema de Mantenimiento más adecuado, utilizando herramientas de la Ingeniería de Mantenimiento. El método utilizado para la propuesta de un nuevo Sistema de Mantenimiento es el Análisis de Modos de Fallos y Efectos (AMFE), lo que propició el conocimiento de los fallos más significativos, las causas que los provocan y las consecuencias que ocasionarían a la seguridad, al medioambiente, o a la operación de la línea. Luego de este análisis se llega a la conclusión, que el sistema de mantenimiento que responde a las condiciones de explotación del equipamiento instalado en la línea de extrusión de polietileno de alta densidad (PEAD) es el sistema alterno de mantenimiento.

Abstract

The present diploma paper the analysis of failures in the productive line 3 is applied, belonging to the factory of tubes in Holguín HOLPLAST, in order to propose a more adequate maintenance system, using engineering maintenance tools. The method used for the proposal of a new maintenance system is the Analysis of Failures Moods and Effects (AFME), it facilitated to know the most significant failures, the causes that provoked them and the consequences caused to the security, the environment or to the operation line. After the development of this analysis the following conclusion was reached: The maintenance system that favors the exploitation conditions of all the equipments installed in the extrusion line of high density polyethylene (HDPE) is the alternate maintenance system.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA | 5 |
| 1.1 Mantenimiento | 5 |
| 1.1.1 Misión y objetivos de los sistemas de mantenimiento | 5 |
| 1.1.2 Sistemas de mantenimiento..... | 6 |
| 1.2 Tendencias actuales del mantenimiento | 8 |
| 1.2.1 Mantenimiento Productivo Total (TPM) | 8 |
| 1.2.2 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) | 9 |
| 1.3 Mantenimiento aplicado a las líneas de extrusión | 10 |
| 1.4 Métodos de análisis de fallos en la ingeniería del mantenimiento | 11 |
| 1.4.1 Método de análisis o Diagrama de Pareto..... | 13 |
| 1.4.2- Método de Análisis de Causa de Raíz (ACR) | 16 |
| 1.4.3. Método de Análisis de Modos de Fallos y Efectos (AMFE) | 17 |
| 1.5 Conclusiones parciales | 19 |
| 2. SISTEMA DE MANTENIMIENTO PARA LA LÍNEA DE EXTRUSIÓN DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (PEAD) EN HOLPLAST | 21 |
| 2.1- Descripción del flujo tecnológico en la producción de tubos de PEAD | 21 |
| 2.2- Descripción y entorno operativo de la línea 3 de producción | 22 |
| 2.3- Sistema de mantenimiento actual de la línea 3 de producción | 23 |
| 2.4- Rediseño del Sistema de Mantenimiento de la línea 3 de producción | 23 |
| 2.4.1- Análisis de Modo de Falla y Efecto (AMFE) de la línea 3 de producción | 24 |
| 2.4.2- Clasificación de las fallas de la línea 3 de producción..... | 26 |
| 2.4.3- Análisis lógico para la toma de decisiones..... | 29 |
| 2.4.4- Análisis de los fallos para facilitar la elaboración del nuevo Sistema de Mantenimiento de la línea 3 de producción..... | 31 |
| 2.4.5- Selección del sistema de mantenimiento según el análisis de fallos..... | 33 |
| 2.5 Algunas consideraciones del Sistema de Mantenimiento propuesto. Análisis económico y medio ambiental | 34 |
| Análisis medio ambiental. | 35 |
| 2.6 Conclusiones parciales | 35 |
| CONCLUSIONES | 36 |
| RECOMENDACIONES | 37 |
| BIBLIOGRAFÍA | 38 |
| ANEXOS | |

INTRODUCCIÓN

Bajo el nombre común de plásticos y técnicamente de polímeros, se agrupa un conjunto de materiales de alta tecnología en los que se han invertido altos recursos, tanto financieros como humanos, para su investigación y desarrollo en las últimas décadas.

En el ámbito específico de las tuberías, los materiales plásticos tienen un empleo cada vez más frecuente en todo tipo de aplicaciones: abastecimientos, saneamientos, redes de riego, reutilización de aguas residuales, conductoras de gas, en la industria.

Las tuberías de polietileno (PE) en particular, han pasado en unas pocas decenas de años de ser utilizadas exclusivamente en conductoras de pocos milímetros de diámetro a ser empleadas en la actualidad en importantes e innovadores usos gracias a la alta tecnología que ha acompañado el desarrollo industrial de este material, fabricando para ello diámetros cada vez mayores.

Como consecuencia de las características de las tuberías de PE las mismas presentan importantes ventajas respecto a otros materiales (Bailaròn, 2008):

- Peso reducido (fácil instalación).
- Fácil transportación.
- Resistencia a suelos y agentes agresivos (no oxidación ni corrosión).
- Bajo coeficiente de rugosidad.
- Ausencia de sedimentos e incrustaciones.
- Insensibilidad a las heladas.
- Elevada resistencia a la propagación de fisuras.
- Larga vida útil (mínimo 50 años).
- Bajos costos de mantenimiento.
- Múltiples sistemas de unión (soldadura, accesorios mecánicos, electrofusión).
- Reciclabilidad del material.

La fabricación de las tuberías de PE se lleva a cabo mediante un proceso de extrusión, que es la acción de forzar por medio de presión a pasar a través de un molde un plástico o material fundido, utilizando para ello maquinaria de alta tecnología, tanto durante la fabricación del tubo como para su control posterior, dotada de una automatización prácticamente total.

En el país existen tres empresas de fabricación de tuberías, una en la región occidental, otra en el centro y la tercera en la ciudad de Holguín, todas elaboran los tubos bajo el proceso de extrusión.

La Empresa Estatal Socialista Holplast perteneciente al Grupo Empresarial de Ingeniería y Logística Hidráulica (GEILH) fue creada en la ciudad de Holguín mediante la Resolución 44/2007 del presidente del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH).

Holplast tiene como misión producir tuberías plásticas de polietileno de alta densidad (PEAD) y sus accesorios, de diferentes diámetros y variadas presiones, destinadas fundamentalmente a nuevas inversiones de la infraestructura hidráulica, brindando al cliente una producción que cumpla con las normas y parámetros de calidad, exigiendo por el uso racional de los recursos en concordancia con la protección al medio ambiente.

Plásticos Holguín cuenta con tres líneas de producción para la fabricación de tuberías con diámetro desde 16 hasta 1000 mm y una productividad de 1,25 t / h de materia prima procesada, además de un taller para la elaboración de las conexiones hidráulicas según el diámetro que lo solicite el cliente.

Para garantizar que los equipos de las tres líneas de producción trabajen de forma segura y efectiva es necesario que su estado técnico responda a las exigencias que establecen las reglas de explotación técnica de cada una de las máquinas que componen estas líneas de producción. Para cumplimentar estos requerimientos los fabricantes diseñaron para cada una de ellas un sistema de mantenimiento preventivo planificado (MPP).

La empresa ha presentado problemas reiterados en la ejecución del mantenimiento luego de instalada en el 2013 la tercera línea de producción ya que las recomendaciones dadas por el fabricante no responden a las condiciones de explotación del equipamiento provocando el surgimiento de averías.

Surgiendo así el problema siguiente:

Problema: La existencia de un sistema de mantenimiento que no responden a las condiciones de explotación del equipamiento instalado en la línea de extrusión de polietileno de alta densidad (PEAD).

Objeto de la investigación: Línea de extrusión de polietileno de alta densidad (PEAD) en Holplast.

Campo de la investigación: sistema de mantenimiento de la línea de extrusión de polietileno de alta densidad (PEAD) en Holplast.

Objetivo: Definir un sistema de mantenimiento para el equipamiento de la línea de extrusión de polietileno de alta densidad (PEAD) en HOLPLAST.

Hipótesis: Si se estudian las condiciones de explotación existentes en la fábrica, las recomendaciones realizadas por los fabricantes, los modos de fallo para estos equipos y la aplicación del AMFE; se podrá definir un Sistema de Mantenimiento para el equipamiento de la línea de extrusión de PEAD en Holplast que responda a las condiciones de explotación actuales.

Tareas:

1. Realizar una revisión bibliográfica de los antecedentes y conceptos fundamentales sobre sistemas de mantenimientos para líneas de extrusión de PEAD.
2. Describir las condiciones de explotación existentes en la fábrica y las recomendadas por el fabricante para el equipamiento de la línea de extrusión de PEAD.
3. Conocer las posibles fallas que pueden ocurrir en el equipamiento.
4. Definir el sistema de mantenimiento para el equipamiento de la línea de extrusión de PEAD que responda a las condiciones de explotación existentes en la fábrica.
5. Elaborar el informe final.

Métodos de investigación.

Entre los métodos de investigación empíricos y teóricos utilizados durante este trabajo se encuentran los siguientes:

Métodos empíricos:

1. Observación científica: Se verificaron las condiciones físicas reales de trabajo y explotación de la línea de extrusión.
2. Consulta de expertos: Permitió tener en cuenta opiniones, criterios, sugerencias de ingenieros y técnicos de mantenimiento, así como personal de producción que trabajan directamente en la línea.

Métodos teóricos:

1. Análisis y síntesis: Para el procesamiento de la información teórica y elaborar el fundamento teórico y las conclusiones de la investigación.
2. Histórico – lógico: Facilita conocer la evolución y desarrollo del objeto de la investigación y llegar a un análisis lógico.
3. Hipotético – deductivo: Para proponer la hipótesis a partir del conjunto de datos y conocimientos generales iniciales que se tienen, arribando a conclusiones primarias, a partir de dicha hipótesis que luego pueden ser comprobadas durante el desarrollo del trabajo.

Resultados esperados: un sistema de mantenimiento que responden a las condiciones de explotación del equipamiento instalado en la línea de extrusión de polietileno de alta densidad (PEAD) y disminuya el surgimiento de averías.

Estructura del informe: El presente trabajo está estructurado de la forma siguiente: Resumen, Introducción, Capítulo 1 donde se realiza una búsqueda de la información relacionada con los antecedentes y sistemas de mantenimientos aplicados a líneas de extrusión de PEAD, en el Capítulo 2 se reconoce la necesidad de aplicar el AMFE para definir el tipo de mantenimiento y sus tareas en la línea de extrusión de polietileno de alta densidad (PEAD) en HOLPLAST, Conclusiones, Recomendaciones, Bibliografía y Anexos.

1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El objetivo de este primer capítulo es realizar una búsqueda de la información relacionada con los antecedentes y sistemas de mantenimientos aplicados a líneas de extrusión de PEAD, además de métodos de análisis de fallos en la ingeniería de mantenimiento para definir sistemas y tareas de mantenimiento a equipos.

1.1 Mantenimiento

En la última década, las estrictas normas de calidad certificada que se deben cumplir, así como la intensa presión competitiva entre industrias del mismo rubro para mantenerse en el mercado nacional e internacional, ha estado forzando a los responsables del mantenimiento en las plantas industriales a implementar los cambios que se requieren para pasar de ser un departamento que realiza reparaciones y cambia piezas y/o máquinas completas, a una unidad de alto nivel que contribuye de gran manera en asegurar los niveles de producción. Es por tanto necesario hacer notar que la actividad de “mantener”, si es llevada a cabo de la mejor manera, puede generar un mejor producto lo que significa producción de mejor calidad, en mayor cantidad y con costos más bajos (Aldana, 2014).

Una de las formas en que se pueden clasificar las estrategias de mantenimiento es:

Mantenimiento Reactivo, estrategia con la cual se permite a la máquina funcionar hasta la falla y sólo hasta ese momento se decide realizar la reparación o reemplazo de ella.

Mantenimiento Preventivo, estrategia en la que se programan periódicamente las intervenciones en las máquinas, con el objeto principal de inspeccionar, reparar y/o reemplazar componentes. Las intervenciones se realizan aun cuando la máquina esté operando satisfactoriamente.

Según De la Paz (2003), el mantenimiento es la totalidad de las acciones técnicas organizativas y económicas encaminadas a conservar o restablecer el buen estado de los activos fijos, a partir de la observancia y reducción de su desgaste y con el fin de alargar su vida útil, para lograr una mayor disponibilidad y cumplir con calidad y eficiencia su función productiva y(o) de servicio, conservando el medio ambiente y la seguridad del personal.

1.1.1 Misión y objetivos de los sistemas de mantenimiento

La misión de los sistemas de mantenimiento es garantizar la disponibilidad de la función de los equipos e instalaciones para atender un proceso de producción de forma confiable, la preservación del medio ambiente, seguridad y costos adecuados, para lo cual deben cumplirse los siguientes objetivos:

- Reducir al mínimo los costos de operación producidos por paradas ocasionadas por averías repentinas o accidentes, porque dependiendo de la empresa se pierde mucho o poco dinero.

- Evitar totalmente la degradación de los elementos de la máquina con el fin de no obtener productos defectuosos y finalmente rechazados por el cliente y los procesos de calidad; representando pérdidas al fabricante.
- Contribuir al aumento de la productividad del trabajo.
- Elevar el nivel de utilización de las capacidades de producción y de servicios.
- Garantizar la protección del medio ambiente.

Para lograr esto se debe determinar el tipo de mantenimiento a realizar; conocer el alcance humano que se tiene; discutir si es necesario contratar servicios adicionales; además de verificar cuales y cuantos repuestos se tienen almacenados.

1.1.2 Sistemas de mantenimiento

Mantenimiento Correctivo.

El mantenimiento correctivo es el conjunto de actividades de reparación y sustitución de elementos deteriorados por repuestos que se realiza cuando aparece el fallo.

Este tipo de mantenimiento es importante porque no se puede tener un sistema de gestión de mantenimiento si no contamos con un sistema de mantenimiento correctivo eficiente. Aunque con un buen sistema de mantenimiento las averías son mínimas estas siempre van a existir. Un modelo que este 100% orientado a evitar los desperfectos tendrá muchos problemas cuando las fallas aparezcan y no puedan ser solucionadas rápidamente (Chang, 2008).

Desventajas.

- El fallo puede sobrevenir en cualquier momento, muchas veces, el menos oportuno, debido justamente a que en esos momentos se somete al bien a una mayor exigencia.
- Asimismo, fallos no detectadas a tiempo, ocurridos en partes cuyo cambio hubiera resultado de escaso coste, pueden causar daños importantes en otros elementos o piezas conexos que se encontraban en buen estado de uso y conservación.
- Se debe disponer de un capital importante invertido en piezas de repuesto.

Mantenimiento Predictivo.

El mantenimiento predictivo consiste en determinar en todo instante las condiciones técnicas reales de los equipos, mientras estén en pleno funcionamiento, a través del monitoreo sistemático de sus parámetros más importantes con el objetivo de disminuir las paradas por mantenimientos preventivos para minimizar los costos de mantenimiento.

Se realiza luego de hacer un seguimiento a algunas de las más importantes variables en los equipos. Estas variables son medidas en intervalos de tiempo definidos para poder pronosticarla falla del equipo y realizar el mantenimiento antes de que ocurra la parada no programada. Las variables más comunes a analizar son: la temperatura, la presión, la

cantidad de partículas presentes en el aceite usado, el ruido, la vibración, ensayos no destructivos con tintes penetrantes o por ultrasonido, etc. (Chang, 2008).

Ventajas del mantenimiento Predictivo.

- Reduce los tiempos de parada.
- Permite seguir la evolución de un defecto en el tiempo.
- Optimiza la gestión del personal de mantenimiento.
- La verificación del estado de la maquinaria, tanto realizada de forma periódica como de forma accidental, permite confeccionar un archivo histórico del comportamiento mecánico.
- Conocer con exactitud el tiempo límite de actuación que no implique el desarrollo de un fallo imprevisto.
- Toma de decisiones sobre la parada de una línea de máquinas en momentos críticos.
- Confección de formas internas de funcionamiento o compras de nuevos equipos.
- Permitir el conocimiento del historial de actuaciones, para ser utilizada por el mantenimiento correctivo.
- Facilita el análisis de las averías.
- Permite el análisis estadístico del sistema (Valdivieso Torres, 2010).

Mantenimiento Preventivo.

El mantenimiento preventivo tiene como propósito general prever las fallas manteniendo los sistemas de infraestructura, equipos e instalaciones productivas en completa operación a los niveles y eficiencia óptimos. Se realiza antes de que ocurran las fallas o averías, bajo condiciones controladas y sin la existencia de errores en el sistema.

El mantenimiento preventivo mantiene en funcionamiento los equipos mediante la supervisión de planes a realizarse en puntos específicos. Este mantenimiento también es conocido como mantenimiento planificado, mantenimiento proactivo o mantenimiento basado en el tiempo pues se trabaja con datos de los fabricantes o con estadísticas sobre las fallas más comunes en los equipos, aquí el término “planificado” es la base del significado del mantenimiento preventivo (Chang, 2008).

Este genera un conjunto de planes que deben realizarse en fechas preprogramadas, siendo estos planes muy completos debido a que en estos se detallan todos los materiales, las herramientas y los repuestos a emplearse en dicho mantenimiento, también se tiene el detalle del personal técnico y el personal a cargo de la reparación.

Este mantenimiento evita las paradas no programadas, las cuales se generan debido a que el personal está acostumbrado a hacer trabajar las máquinas por largos períodos de

tiempo sin efectuar mantenimiento gracias a la velocidad que poseen al reparar las fallas bajo presión.

Ventajas del mantenimiento Preventivo.

- Seguridad: Las obras e instalaciones sujetas a mantenimiento preventivo operan en mejores condiciones de seguridad.
- Vida útil: Una instalación tiene la vida útil mucho mayor que la que tendría con un mantenimiento correctivo.
- Costos de reparaciones: Es posible reducir el costo de reparaciones si se utiliza el mantenimiento preventivo.
- Carga de trabajo: La carga de trabajo para el personal de mantenimiento preventivo es más uniforme que en un sistema de mantenimiento correctivo.
- Aplicabilidad: Mientras más complejas sean las instalaciones y más confiable se requiera, mayor será la necesidad del mantenimiento preventivo (Valdivieso Torres, 2010).

1.2 Tendencias actuales del mantenimiento

En la actualidad las dos técnicas de mantenimiento que están dando los resultados más eficaces para lograr la implantación de la eficiencia industrial son el Mantenimiento Productivo Total (TPM) que persigue el mejoramiento continuo de la productividad con la participación de todos los trabajadores de la empresa y el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) que busca optimizar el mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad operacional de los equipos.

1.2.1 Mantenimiento Productivo Total (TPM)

El TPM es un moderno sistema gerencial de soporte al desarrollo de la industria, que permite con la participación de todo el personal tener equipos de producción siempre listos. Su metodología soportada por varias técnicas de gestión, establece algunas estrategias adecuadas para mejorar la productividad empresarial, con miras a afrontar con éxito y competitividad, el proceso de globalización y apertura de la economía.

Crea una organización que previene todo tipo de pérdidas y asegura cero defecto y cero fallo durante toda la vida útil de los sistemas productivos; deben involucrarse todos los departamentos incluyendo desarrollo, ventas y administración.

Este sistema persigue las cinco metas siguientes (García, 2005):

1. Mejora de la eficacia de los equipos.
2. Mantenimiento autónomo por operadores.
3. Planeación y programación óptima de un sistema preventivo – predictivo.
4. Mejoramiento en la habilidad operativa.

5. Gestión temprana de equipos para evitar problemas futuros.

1.2.2 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)

El RCM es un proceso que se usa para determinar los requerimientos del mantenimiento de los elementos físicos en su contexto operacional (Moubray, 1991). Se originó en la industria de la aviación civil de los Estados Unidos hacia el final de la década de los años 60; ayuda al personal de mantenimiento a seleccionar las mejores prácticas para garantizar la confiabilidad de las funciones de los activos físicos, y para manejar las consecuencias de sus fallas.

Es un enfoque sistémico para diseñar programas que aumenten la confiabilidad de los equipos con un mínimo de costo y riesgo, para ello combina aplicaciones técnicas de mantenimiento correctivo, preventivo, predictivo y proactivo mediante estrategias fundamentadas técnica y económicamente, lleva a mejoras rápidas sostenidas y sustanciales en la disponibilidad y confiabilidad de planta, calidad del producto, seguridad e integridad ambiental (Labañino, 2013).

El RCM pone énfasis tanto en las consecuencias de las fallas como en las características técnicas de las mismas, mediante:

- Integración: de una revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspectos de seguridad y amenazas al medio ambiente, esto hace que la seguridad y el medio ambiente sean tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento.
- Atención: en las tareas del mantenimiento de mayor incidencia en el funcionamiento y desempeño de las instalaciones, garantizando que la inversión en mantenimiento se utilice donde más beneficio va a reportar.

Entre sus ventajas más significativas se tienen:

1. Responde a las debilidades derivadas de los enfoques tradicionales de la actividad del mantenimiento.
2. Permite asociar y sopesar los riesgos del negocio con el fallo de los activos.
3. Facilita de manera sistemática la determinación del enfoque óptimo que se le deben dar a los recursos de la función de mantenimiento.
4. Brinda una mayor contención de los costos del mantenimiento con las posibilidades del trabajo efectivo de los activos, en esencia la relación costo beneficio más favorable a la empresa, aplicando procedimientos económicos matemáticos de orden superior.
5. Amplía la base de datos del mantenimiento y la información histórica en el comportamiento de las máquinas y equipos.

6. Se ve reflejado un mejor trabajo del staff de la gerencia del mantenimiento, el cual por sus características debe ser multidisciplinario de una significativa preparación.

Tareas de mantenimiento identificadas por el proceso de RCM.

Al evidenciar que tipo de consecuencia se encuentra asociada con el modo de falla, se determina que tarea de mantenimiento es la más adecuada para lo cual debe cumplir con las siguientes condiciones:

Ser factible técnicamente. ¿Existe una tarea realizable que reduzca el efecto de la falla a un nivel tolerable?

Merecer la pena. ¿La tarea de mantenimiento reduce las consecuencias de un modo de falla a un nivel que justifique los costos directos e indirectos del mismo?

Los tipos de tareas son las siguientes:

- Tarea a condición. Este tipo de tarea se define en el monitoreo de condiciones físicas identificables que indican que una falla está por ocurrir o están en el proceso de ocurrir.
- Tarea de reacondicionamiento cíclico. Este tipo de tarea consiste en volver a fabricar un componente o reparar un conjunto antes de un límite de edad específico sin importar su condición en ese momento.
- Tarea de sustitución cíclica. Este tipo de tarea implica sustituir un componente antes de un límite de edad específico; más allá de su condición en ese momento.
- Tarea de búsqueda de fallas. Este tipo de tarea implica la revisión periódica de funciones ocultas para determinar si han fallado.
- Rediseño. Este tipo de tarea implica hacer cambios una sola vez a las capacidades iniciales de un sistema. Esto incluye cambios en la instalación y de procedimientos.
- Ningún mantenimiento programado. Este tipo de tarea implica dejar que ocurra para luego realizar un mantenimiento correctivo.

1.3 Mantenimiento aplicado a las líneas de extrusión

Para mantener el equipamiento y cumplir con las normas establecidas para la producción de tuberías plásticas se les aplica a las líneas extrusoras de polietileno de alta densidad (PEAD) el mantenimiento preventivo planificado (MPP).

Durante muchos años ha sido considerado el más progresivo y, dado su carácter planificado y preventivo, el que mejor podría armonizar las actividades de mantenimiento con las productivas de la fábrica. Pero con el tiempo no ha dejado de presentar algunos inconvenientes como son:

- Prevé un tratamiento similar a todos los equipos, independientemente del papel que les corresponda en el proceso productivo, o de sus peculiaridades.
- Resulta de difícil aplicación en líneas de producción en cadena como es el caso de esta fábrica.
- Es impráctica su aplicación en equipos modernos y complejos.
- Cambios innecesarios: al alcanzarse la vida útil de un elemento se procede a su cambio, encontrándose muchas veces que el elemento que se cambia permitiría ser utilizado durante un tiempo más prolongado.

1.4 Métodos de análisis de fallos en la ingeniería del mantenimiento

Se entiende por fallo de un sistema aquel suceso que provoca la pérdida de su capacidad inherente para realizar la función requerida o satisfacer las prestaciones especificadas.

La esencia de los fallos son los cambios aleatorios y determinísticos de los elementos que componen un sistema (Batista, 2009).

Los cambios aleatorios están relacionados con: sobrecargas inesperadas, objetos extraños que interfieren en el funcionamiento, atascamiento de los órganos de trabajo, tirones, arrancadas violentas en la operación de las máquinas.

Los cambios determinísticos pueden ser: fenómenos de fatiga acumulativos en pares tribológicos, desgastes, ablandamiento, reblandecimiento, formación de microfisuras, desajustes, flojedades y corrosión.

Entre las causas más generales y comunes que provocan los fallos se encuentran:

1. Influencias intrínsecas.
 - Errores de proyectos.
 - Fiabilidad de los datos utilizados para el diseño.
 - Errores de fabricación.
 - Errores de montaje, ajustes y tolerancias.
 - Esfuerzos residuales.
 - Fallos en el control de la calidad de fabricación.
2. Influencias aleatorias
 - Condiciones ambientales.
 - Mala utilización.
 - Malas prácticas de operación.
 - Mantenimiento inadecuado.
 - Control del proceso ineficaz.
 - Ciclos de sobrecargas.
3. Desgastes y envejecimiento.
 - Régimen de funcionamiento.

- Régimen térmico.
- Condiciones tribológicas.
- Propiedades de los materiales.

Uno de los aspectos más importantes que corresponde al análisis de fallos y riesgos en las fases de la ingeniería de mantenimiento es la identificación de los fallos, su evaluación y la proposición de medidas de control.

La seguridad de un proceso depende fundamentalmente de la aplicación de diversos códigos y normas que se basan sobre la experiencia y los conocimientos de todas las disciplinas involucradas en el mantenimiento.

Para analizar la naturaleza de los fallos, así como para elaborar las medidas encaminadas a pronosticarlos o preverlos, estos se clasifican atendiendo a diversos criterios tal y como se muestra en la Tabla 1.1.

Los métodos de análisis de fallos son mecanismos lógicos y sistematizados, estructurados para detectar las desviaciones de un determinado proceso. Aplicados en modificaciones de un sistema y en la revisión de un sistema por la ocurrencia de un incidente (Arroyo, 2003).

Tabla 1.1. Criterios de clasificación de los fallos (De la Paz, 2003).

| Criterio de clasificación | Tipo de fallo |
|--|---|
| Por su influencia en la capacidad de trabajo | Total Parcial |
| Por su interacción con otros fallos | Dependiente Independiente |
| Por las causas que lo provocan | Constructivos Tecnológicos De explotación Por desgaste |
| Por su modo de manifestación respecto al tiempo | Repentino Gradual |
| Por el período de la vida del artículo en que se manifiestan | Prematuro Casual Desgaste o envejecimiento |
| Por su severidad | Leve Marginal Crítico Catastrófico |
| Por su frecuencia de ocurrencia | Frecuente Probable Ocasional Remoto Extremadamente remoto |

Se considera en la actualidad que el Mantenimiento Industrial precisa de métodos de análisis de fallos, ya que no es suficiente realizar actividades de mantenimiento, sino

analizar las causas de los fallos y con ellos los riesgos del no mantenimiento de los equipos o del mantenimiento inadecuado, basado en estos análisis es posible tomar decisiones más precisas y de esta manera optimizar las acciones de mantenimiento de la empresa.

El análisis de fallos puede ser realizado en tres fases que son:

- Identificación del fallo.
- Evaluación de las consecuencias del fallo.
- Aplicación de medidas de control.

Entre las herramientas más comúnmente utilizadas en el análisis de fallos se encuentran:

- Método de análisis o Diagrama de Pareto.
- Método Análisis Causa Raíz (ACR).
- Método Análisis de Modos de Fallo y Efectos (AMFE).

1.4.1 Método de análisis o Diagrama de Pareto

Los diagramas de Pareto son gráficos especializados de barras que presentan la información en orden descendente, desde la categoría mayor a la más pequeña en unidades y en porcentaje. Los porcentajes agregados de cada barra se conectan por una línea para mostrar la suma incremental de cada categoría respecto al total.

El diagrama de Pareto es muy útil para aplicar la Ley de Pareto o Ley 80 – 20, que identifica el 20% de las causas que provoca el 80% de los efectos de cualquier fenómeno estudiado (Lojo, 2010).

Utilidad del Diagrama de Pareto

- Identificar y concentrar los esfuerzos en los puntos clave de un problema o fenómeno como puede ser: los mayores consumidores de energía de la fábrica, las mayores pérdidas energéticas o los mayores costos energéticos.
- Predecir la efectividad de una mejora al conocer la influencia de la disminución de un efecto al reducir la barra de la causa principal que lo produce.
- Determinar la efectividad de una mejora comparando los diagramas de Pareto anterior y posterior a la mejora.

Construcción del diagrama de Pareto

1. Preparación de los datos. Como en todas las herramientas de análisis de datos, el primer paso consiste en recoger los datos correctos o asegurarse que lo son.

Para la construcción de un diagrama de Pareto son necesarios:

- a) Un efecto cuantificado y medible sobre el que se quiere priorizar (costos, tiempo, número de errores o defectos, porcentaje de clientes, etcétera).

- b) Una lista completa de elementos o factores que contribuyen a dicho efecto (tipos de fallos o errores, pasos de un proceso, tipos de problemas, productos, servicios).
- c) La magnitud de la contribución de cada elemento o factor al efecto total.

Estos datos, bien existan o bien haya que recogerlos, deberán ser:

- Objetivos; basados en hechos, no en opiniones.
 - Consistentes; debe utilizarse la misma medida para todos los elementos contribuyentes y los mismos supuestos y cálculos a lo largo del estudio, ya que el método de Pareto es un análisis de comparación.
- Representativos; deben reflejar toda la variedad de hechos que se producen en la realidad.
- Verosímiles; evitar cálculos o suposiciones controvertidas, ya que se busca un soporte para la toma de decisiones, si no se cree en los datos, no apoyarán las decisiones.

2. Cálculo de las contribuciones parciales y totales. Ordenamiento de los elementos o factores incluidos en el análisis.

Para cada elemento contribuyente sobre el efecto, anotar su magnitud. Ordenar dichos elementos de mayor a menor, según la magnitud de su contribución.

Calcular la magnitud total del efecto como suma de las magnitudes parciales de cada uno de los elementos contribuyentes.

3. Calcular el porcentaje y el porcentaje acumulado, para cada elemento de la lista ordenada.

El porcentaje de la contribución de cada elemento está determinado por:

- El resultado de la división de la magnitud de contribución del elemento en cuestión y la magnitud del efecto total multiplicado por 100.

El porcentaje acumulado para cada elemento de la lista ordenada se calcula:

- Por suma de contribuciones de cada uno de los elementos anteriores en la tabla; más el elemento en cuestión como magnitud de la contribución.
- Por suma de porcentajes de contribución de cada uno de los elementos anteriores; más el porcentaje del elemento en cuestión. En este caso habrá que tener en cuenta, el que estos porcentajes, en general, han sido redondeados. Una vez completado este paso se ha obtenido la tabla de Pareto (figura 1.1 (a)).

4. Trazar y rotular los ejes del diagrama: El eje vertical izquierdo representa la magnitud del efecto estudiado, debe empezar en 0, e ir hasta el valor del efecto total, rotularlo con el efecto, la unidad de medida y la escala, que debe ser consistente, es decir, variar según intervalos constantes. Las escalas de gráficos que se compararán entre sí, deben ser idénticas.

El eje horizontal contiene los distintos elementos o factores que contribuyen al efecto, dividirlo en tantas partes como factores existan y rotular su identificación de izquierda a derecha según el orden establecido en la tabla de Pareto (Labañino, 2013).

| Tipo de error | Número de errores | % del total | % acumulado del total |
|---------------|-------------------|-------------|-----------------------|
| E | 44 | 30 | 30 |
| B | 39 | 27 | 57 |
| C | 35 | 24 | 81 |
| F | 12 | 8 | 89 |
| D | 8 | 6 | 95 |
| A | 3 | 2 | 97 |
| H | 3 | 2 | 99 |
| I | 2 | 1 | 100 |
| G | 0 | 0 | 100 |
| TOTAL | 146 | 100 | |

a)



b)

Figura 1.1. Ejemplo de tabla y diagrama de Pareto a) Tabla de Pareto, b) Diagrama de Pareto. Fuente: (Labañino, 2013).

El eje horizontal contiene los distintos elementos o factores que contribuyen al efecto, dividirlo en tantas partes como factores existan y rotular su identificación de izquierda a derecha según el orden establecido en la tabla de Pareto.

El eje vertical derecho representa la magnitud de los porcentajes acumulados del efecto estudiado. La escala de este eje va desde el 0 hasta el 100%. El cero coincidirá con el origen y el 100% estará alineado con el punto, del eje vertical izquierdo, que representa la magnitud total del efecto.

5. Dibujar un gráfico de barras que representa el efecto de cada uno de los elementos contribuyentes, la altura de cada barra es igual a la contribución de cada elemento, tanto medida en magnitud por medio del eje vertical izquierdo, como en porcentaje por medio del eje vertical derecho.

6. Trazar un gráfico lineal cuyos puntos representan el porcentaje acumulado de la tabla de Pareto, marcar los puntos del gráfico en la intersección de la prolongación del límite derecho de cada barra con la magnitud del porcentaje acumulado correspondiente al elemento representado en dicha barra.

7. Señalar los elementos "pocos vitales" y los "muchos triviales", trazar una línea vertical que separa el diagrama en dos partes y sirve para visualizar la frontera entre ambos,

basándose en el cambio de inclinación entre los segmentos lineales correspondientes a cada elemento.

Rotular las dos secciones del diagrama. Rotular el porcentaje acumulado del efecto correspondiente al último elemento incluido en la sección "pocos vitales".

8. Rotular el título del Diagrama de Pareto.

El diagrama permite mostrar gráficamente el principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales), es decir, que hay muchos problemas sin importancia frente a unos pocos graves. Mediante la gráfica se coloca los "pocos vitales" a la izquierda y los "muchos triviales" a la derecha (ver figura 1.1 (b)).

El objetivo de este método es utilizar los hechos para identificar la máxima concentración de potencial del efecto en estudio (magnitud del problema, costos, tiempo, etcétera) en el número mínimo de elementos que a él contribuyen.

1.4.2- Método de Análisis de Causa de Raíz (ACR)

El ACR constituye un análisis deductivo en el que las causas que se van identificando son lógicas y los efectos están relacionados, de manera que, cuando se profundiza en el análisis, se avanza hacia la identificación de la causa raíz del problema (Cabrera, 2003).

Al aplicar consecuentemente un ACR se investigan las causas fundamentales que producen el fallo de un activo. Esta herramienta tiene como objetivos básicos:

- Encontrar la verdadera causa del problema de forma rápida, económica y eficiente.
- Atacar la causa del problema y no sus efectos.
- Proporcionar la información necesaria para evitar la recurrencia del problema.
- Inculcar en todos los involucrados la mentalidad de resolver todos los problemas analizados definitivamente.

Etapas de implementación del ACR.

En la aplicación del ACR se deben tener en cuenta cuatro etapas básicas:

1. La definición del problema.

Tomando como base la información disponible, se identifica el problema concreto que se debe analizar.

2. El análisis del problema.

Es propiamente la aplicación del análisis de la causa raíz, para la cual se emplean técnicas como el análisis causa efecto, la generación de árboles de fallo, la elaboración de diagramas de Ishikawa, etcétera. Independientemente de la técnica seleccionada se van planteando hipótesis acerca de cómo un evento dado puede ser consecuencia de otro evento precedente. El tratamiento adecuado de la información es un elemento clave para explorar todas las posibilidades y verificar la conexión existente entre los diferentes eventos a considerar en el análisis tomando como base dos interrogantes básicas:

¿cómo? (cómo es que ocurre el fallo) y ¿por qué? (causa por la que ocurre el fallo).

3. La identificación de soluciones efectivas.

Se identifican las soluciones necesarias y se proponen las correcciones, modificaciones o inversiones requeridas para eliminar la causa raíz y evitar la recurrencia del fallo por dicha causa.

4. La implementación de las soluciones.

Se implementan las soluciones que se hayan decidido para eliminar la causa raíz.

De esta forma se garantiza que el fallo no vuelva a ocurrir dado que no existe la verdadera causa que lo origina (Labañino, 2013).

1.4.3. Método de Análisis de Modos de Fallos y Efectos (AMFE)

Un AMFE es un procedimiento de análisis de fallos potenciales en un sistema de clasificación determinado por la gravedad o por el efecto de los fallos en el sistema (sitio Web1, 2012). Las causas de los fallos pueden ser cualquier error o defecto en los procesos o diseño, especialmente aquellos que afectan a los consumidores, y pueden ser potenciales o reales.

Si bien los análisis AMFE tienen muchas variantes según los sectores de que se traten, en todos ellos su desarrollo e implantación se basa en cuantificar y calificar los efectos inducidos por los fallos, priorizando las acciones según los niveles de riesgos que tienen sus repercusiones. La metodología AMFE es similar en todas sus variantes. Su génesis partió de la segunda mitad de los años 80 en la industria del automóvil (en la Federación Alemana Verbandder Automobil industrie) y en la industria aeronáutica, y su objetivo fue analizar las fases de diseño o desarrollo de nuevos productos, los procesos fabriles asociados y los sistemas de puesta en marcha, venta y explotación. Es evidente que su aplicación en mantenimiento precisa una cierta adecuación a las peculiaridades de esta actividad (Labañino, 2013).

El AMFE aplicado al mantenimiento.

El análisis de los modos de fallos en mantenimiento para evitar errores en las fases o procesos preventivos o correctivos se identifica con el denominado AMFE que, a su vez se fundamenta en los estudios de árboles de fallos y modos y repercusión es de éstos. Como se desarrolla en las técnicas organizativas de nominadas RCM, este análisis trata de evitar los fallos acaecidos en los procesos de mantenimiento, revisando de forma metodológica los mismos y la experiencia acumulada. Es un medio esencial para lograr bucles de calidad, tanto a nivel de Ingeniería de Mantenimiento como de la propia ejecución o producción de mantenimiento, a preñdiendo de fallos anteriores tras realizar el análisis constructivo de los mismos, sin ánimo de búsqueda de culpables si no de causas de fallos, definiendo medidas correctoras y preventivas para que no se repitan.

La implantación y estudios de fallos, causas y medidas correctoras no pueden llevarse a

cabo desde un Departamento de Ingeniería de Mantenimiento ajeno a la realidad propia de la planta, de su entorno, del contexto y de la manera que producción explota los sistemas mantenidos.

Obviamente el análisis de los fallos de mantenimiento mediante AMFE deben ser estructurados, plasmando su desarrollo y conclusiones en informes elaborados al efecto, que obliguen, a reflejar de forma rigurosa y auditable las conclusiones y las propuestas de soluciones correspondientes.

Al realizar un análisis de los fallos mediante AMFE aplicado al mantenimiento se sugiere crear una hoja de trabajo que contenga los datos siguientes (ver tabla 1.2).

Tabla 1.2. Tabla para información primaria.

| Fallo Funcional | Modo de Fallo | Parte del equipo afectada | Causa de Fallo | Efecto de Falla | Actividad de mantenimiento recomendada |
|------------------------|----------------------|----------------------------------|-----------------------|------------------------|---|
| | | | | | |

Fallo funcional: El fallo funcional es la incapacidad del activo de cumplir con una función dada a un nivel de rendimiento que sea aceptable para el usuario (Cabrera 2003).

De esta definición se infiere que el fallo funcional puede ser total o parcial, cuando la pérdida de la función es respectivamente total o parcial. El fallo funcional total casi siempre está asociado a una causa diferente a la del fallo funcional parcial y sus consecuencias también pueden ser diferentes, por lo que para atenderlos diferenciadamente deben registrarse por (Labañino, 2013).

Modo de Fallo: Son todos aquellos hechos que puedan haber causado la falla funcional. Se incluyen todas las fallas posibles que han ocurrido en el equipo o en equipos iguales, así como las fallas que aún no han ocurrido pero existe la posibilidad de que así sea.

Efecto o consecuencia del fallo: Es la consecuencia que el modo de fallo tiene sobre la operación, función o estado de una pieza o equipo. Esto permite decidir la importancia de cada fallo; por tanto qué nivel de mantenimiento sería necesario.

Las consecuencias de los fallos funcionales se clasifican en cuatro (Labañino, 2013).

1. Consecuencias operacionales: una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (capacidad, calidad del producto, servicio al cliente o costos industriales en adición al costo directo de la reparación). Estas consecuencias cuestan dinero, y lo que cuesten sugiere cuanto se necesita gastar en tratar de prevenirlas.

2. Consecuencias no operacionales: las fallas evidentes que caen dentro de esta categoría no afectan ni a la seguridad ni a la producción, por lo que el único gasto directo

es el de la reparación.

3. Consecuencias de las fallas no evidentes: las fallas que no son evidentes no tienen impacto directo; pero exponen a la organización a otras fallas con consecuencias serias, a menudo catastróficas.

4. Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente: una falla tiene consecuencias sobre la seguridad si puede afectar físicamente a alguien. Tiene consecuencias sobre el medio ambiente si infringe normas gubernamentales relacionadas con el medio ambiente. Si un fallo tiene consecuencias significativas en los términos de cualquiera de estas categorías, sería importante preguntar que tareas serían necesarias para prevenirlo. Por otro lado, si las consecuencias no son significativas, entonces no merece la pena hacer cualquier tipo de mantenimiento que no sea el de las rutinas básicas de servicio y lubricación.

Resultados de la aplicación del AMFE al mantenimiento.

La aplicación de un sistema de análisis de fallos aplicado al mantenimiento puede traer los siguientes resultados:

- Necesidad de modificar los planes y estrategias de mantenimiento de los equipos.
- Revisión de los procedimientos de operación para producción.
- Una lista de cambios que deben hacerse al diseño del activo físico, o a la manera en que es operado para lidiar con situaciones en las que no puede proporcionar el funcionamiento deseado en su configuración actual.

En la mayoría de las empresas las sugerencias de cambios de diseño suelen sobrepasar la capacidad de la empresa de llevar adelante esos cambios, es por esto que para aquellos cambios de diseño cuyo objetivo es evitar fallas, suele ser más conveniente evaluar previamente si existe alguna otra forma de manejar las fallas; debe también tenerse en cuenta que los cambios de diseño suelen llevar tiempo y ser costoso, y que no siempre se sabe con certeza si los mismos son eficaces en aliviar las consecuencias de las fallas. A su vez, en muchos casos los rediseños introducen otras fallas cuyas consecuencias deben ser evaluadas. Es por todo esto que generalmente el rediseño debe ser seleccionado como última opción.

Dos resultados menos tangibles son que los participantes del proceso aprenden mucho acerca de cómo funciona el activo físico, y que ellos tienden a funcionar mejor como miembros de un equipo.

1.5 Conclusiones parciales

1 El sistema aplicado a las líneas de extrusión es el mantenimiento preventivo planificado pero el mismo presenta inconvenientes que dificulta su implementación.

2 Existen tres métodos de análisis de fallos para definir sistemas y tareas de mantenimiento, para el cumplimiento del objetivo de este trabajo se utilizará el Análisis de Modos de Fallo y Efectos (AMFE).

2. SISTEMA DE MANTENIMIENTO PARA LA LÍNEA DE EXTRUSIÓN DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (PEAD) EN HOLPLAST

Tomando en consideración el análisis realizado en el capítulo anterior, se reconoce la necesidad de aplicar el AMFE para definir el tipo de mantenimiento y sus tareas en la línea de extrusión de polietileno de alta densidad (PEAD) en HOLPLAST, siendo este el objetivo central del capítulo.

2.1- Descripción del flujo tecnológico en la producción de tubos de PEAD

La producción de tubos por extrusión es un proceso continuo que cuenta con tres líneas de producción (Ver Anexo 1), en el que intervienen los siguientes equipos según el orden que se describe a continuación:

Extrusora: Procesa la materia prima sólida en forma de pellets, la fusiona y homogeniza. Su trabajo es continuo, calienta el material a la temperatura de fusión del polietileno, entre 190 °C y 220 °C. Cuenta con un motor eléctrico que tiene velocidad variable, en correspondencia con la necesidad de la producción de masa plástica. La velocidad de transformación de la masa plástica en la extrusora oscila entre 100 kg/h (para los diámetros de tuberías pequeñas) y para los diámetros mayores puede ser de hasta 1 000 kg/h (Ver Anexo 2).

Cabezal herramental: Transforma la masa plástica de cilindro compacto a la forma cilíndrica del tubo. Los herramentales o partes del cabezal vienen con los diámetros para cada tubo específico. Mantiene la temperatura del material fundido, mediante resistencias de calentamiento las cuales se regulan a través de un sistema de control. Las marcas coloreadas de los tubos se realizan en un orificio que tiene incorporado de acuerdo a la solicitud del cliente.

Tanque de calibración: Equipo donde en realidad se forma el tubo con su diámetro y espesor, esto se logra con el vacío producido por él, mediante las bombas de vacío que tiene incorporadas y el calibrador.

Tanque de enfriamiento: Tiene en su construcción los rodillos guías del tubo, los aspersores de enfriamiento distribuidos en su interior a todo lo largo, las bombas centrífugas para la recirculación del agua fría y todo el sistema de enfriamiento, los filtros y la caja de agua fría. En la cabeza de entrada y en la de salida tiene incorporado bridas y tapacetes de goma para evitar el vertimiento de agua al exterior. Las líneas de producción, en dependencia de su magnitud, pueden tener dos y hasta tres cajas de enfriamiento.

Máquina de marcado: Su función es la de marcar los tubos plásticos. Los troqueles montados en una rueda calentada por una resistencia, facilitando de esta manera el marcado sobre el tubo. Entre los troqueles y el producto para marcar corre una cinta coloreada que da al marcado un color determinado.

Carro de arrastre: Su función principal es la de trasladar el tubo a lo largo de la línea de extrusión, la máquina no ejecuta ninguna transformación física sobre el producto, solamente suministra la energía necesaria para el movimiento. La velocidad necesaria en el equipo es de acuerdo con el diámetro exterior del tubo y el espesor que se requiere, en dependencia de la presión nominal. La velocidad es inversamente proporcional al espesor del tubo.

Cortadora: La máquina se utiliza para cortar tubos en piezas de diferentes longitudes. El corte se efectúa por medio de la penetración de la hoja que rueda alrededor del tubo. Estas cortadoras realizan generalmente el corte de forma orbital. Los cortes se programan según la longitud del tubo que se requiere, usualmente el corte se hace a 12 m por motivos de transportación.

Volcador: El tubo cortado anteriormente y elaborado en la línea de extrusión llega al volcador, que mediante la bajada del brazo móvil lo descarga en el recipiente de recolección de los tubos. El operador se encargará sucesivamente de su remoción con medios de transporte adecuados en cuanto a peso y dimensiones.

Control automático del proceso: El sistema del control y la dirección del proceso se realizan a través de microprocesadores y se reflejan en los paneles de mando y control incorporados a la extrusora y son operados a través de estos. Todo este sistema automático de dirección y de control viabiliza las operaciones desde el panel de mando a los operadores y diagnostica las alarmas en tiempos reales.

Sistema de enfriamiento del agua: La función fundamental del sistema de enfriamiento del agua es mantener la temperatura del agua en los aspersores de las cajas de enfriamiento, entre 12 °C y 17 °C, y regular la reposición del agua perdida en el sistema.

Secador de materia prima (deshumidificador): El secador de materia prima tiene la función de extraer la humedad que contiene la materia prima y suministrarla a la extrusora en condiciones óptimas para la producción.

2.2- Descripción y entorno operativo de la línea 3 de producción

Entorno operativo

La línea 3 de producción posee un régimen de producción continuo durante las 24 horas del día. Su falta de disponibilidad provoca la parada total de la producción, no recuperándose la misma en horas extras. De su buen funcionamiento depende la eliminación de los principales defectos de calidad del tubo.

La línea 3 de producción está diseñada para la extrusión de tubos de PEAD desde 16 mm hasta 110 mm de diámetro. En la siguiente tabla se muestra las características técnicas de la línea.

Tabla 2.1 Características técnicas de la línea 3 de producción

| Equipo | Modelo | Fabricante | País | Año |
|------------------------|----------------------|---------------------------------|-------------|------------|
| Extrusora | NE 5.30D | Hans Weber Maschinenfabrik GmbH | Alemania | 2013 |
| Tanque de calibración | PRIMAC-CV-2C/125-6 | Baruffaldi Plastic Technology | Italia | 2013 |
| Tanque de enfriamiento | PRIMAC-VR-T/125-6 | Baruffaldi Plastic Technology | Italia | 2013 |
| Máquina de marcado | PRIMAC-TAN-T1/10-200 | Baruffaldi Plastic Technology | Italia | 2013 |
| Carro de arrastre | TR125/3 | IPM S.r.l | Italia | 2013 |
| Cortadora | TS 125 | IPM S.r.l | Italia | 2013 |
| Volcador | RIB 125 | IPM S.r.l | Italia | 2013 |

2.3- Sistema de mantenimiento actual de la línea 3 de producción

El sistema de mantenimiento aplicado a la línea 3 de producción es el mantenimiento preventivo planificado con un ciclo de mantenimiento compuesto por intervenciones diarias, por horas, semanales y mensuales (Anexo 3).

Durante el tiempo de trabajo de la línea ha quedado demostrado que el sistema de mantenimiento no es el idóneo para este proceso productivo debido a las desventajas propias del mismo.

2.4- Rediseño del Sistema de Mantenimiento de la línea 3 de producción

Para realizar el rediseño del sistema de mantenimiento se tuvo en cuenta la información contenida en las siguientes fuentes:

- Manual del fabricante del equipo.
- Listas genéricas de modos de fallas.
- Registros de antecedentes técnicos.
- Las personas que mantienen y operan el equipo.

Luego de recopilar la información necesaria se siguieron los pasos siguientes para definir el sistema de mantenimiento:

1. Aplicar el Análisis de Modo de Falla y Efecto (AMFE) a los diferentes equipos que componen la línea 3 de producción.
2. Clasificar las fallas según su ocurrencia.
3. Analizar las fallas utilizando el diagrama de análisis de proceso de toma de decisión lógica.
4. Asignar las políticas de mantenimiento a seguir y elaborar las instrucciones.

2.4.1- Análisis de Modo de Falla y Efecto (AMFE) de la línea 3 de producción

Se realizó una identificación por cada elemento de los equipos que componen la línea de las distintas fallas y sus consecuencias, además este análisis permitió identificar las causas y los efectos sobre la organización.

En la determinación de los modos fallas se tuvo en cuenta:

- Modos de fallas que han ocurrido previamente, los que son prevenidos con el plan de mantenimiento actual y los que no han ocurrido pero son razonablemente probables de ocurrir.
- Modos de fallas relacionados con el desgaste, defectos de diseño y errores humanos durante la operación y mantenimiento.

En la tabla 2.2 se muestra la información arrojada por la aplicación del AMFE en la extrusora, el resto de los elementos de la línea se presentan en el Anexo 4.

Tabla 2.2 Análisis de Modos de Fallas y Efectos (AMFE) de la línea 3 de producción.

| Extrusora | | | | | |
|---------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|---|-------------------------------|--|
| Falla funcional | Modo de falla (síntomas) | Parte del equipo afectada | Causas de falla | Efecto de falla | Actividad de mantenimiento recomendada |
| No realiza la extrusión de la tubería | Falla del sistema de transmisión | Motor principal | Las esteras de filtros están sucias | Parada total de la producción | Limpiar las esteras de filtro |
| | | | Daño incipiente en los cojinetes | | Limpiar el motor y reparar |
| | | | El arranque bloqueado por el sistema de comando | | Verificar existencia de aviso de fallo en el sistema de comando |
| | | Transmisión | Demasiada tensión en la correa trapezoidal | | Verificar tensión de la correa trapezoidal de transmisión |
| | | | Bajo nivel del lubricante y grasas | | Controlar nivel de aceite, realizar estudio de lubricación. Cambiar el aceite. |
| | | | Daños en cojinetes o en los engranajes reductores | | Sustituir cojinetes |
| | | | | | |

Tabla 2.2 Análisis de Modos de Fallas y Efectos (AMFE) de la línea 3 de producción
(continuación).

| Extrusora | | | | | |
|---------------------------------------|--|-----------------------------------|--|---------------------------------|--|
| Falla funcional | Modo de falla (síntomas) | Parte del equipo afectada | Causas de falla | Efecto de falla | Actividad de mantenimiento o recomendada |
| No realiza la extrusión de la tubería | Falla del sistema de transmisión | Transmisión de fuerza | Las poleas están desgastadas | Parada total de la producción | Reemplazar las poleas |
| | | Sistema de extrusión | Desgaste en el tornillo sinfín y el cilindro | Disminución de la productividad | Sustituir el tornillo sinfín y el cilindro |
| | Falla en la unidad de extrusión | Bandas calefactoras | Las bandas calefactoras están flojas | Parada de la producción | Volver a ajustar las bandas calefactoras |
| | | | Sensor sucio o con defectos | | Verificar el sensor, de ser necesario, limpiar el sensor y orificio |
| | Sobre calentamiento del panel eléctrico. | Sistema de enfriamiento del panel | Obstrucción del intercambiador de calor. | | Limpieza del intercambiador de calor. |
| | Disparo del sistema eléctrico de fuerza. | Fusibles eléctricos | Corto circuito en el motor principal | | Revisar caja de conexiones del motor y aislamiento del enrollado. |
| | | | Corto circuito en las bandas calefactoras. | | Verificar continuidad de la resistencia y sustituir si es necesario. |

Tabla 2.2 Análisis de Modos de Fallas y Efectos (AMFE) de la línea 3 de producción (continuación).

| Extrusora | | | | | |
|---------------------------------------|--|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|--|
| Falla funcional | Modo de falla (síntomas) | Parte del equipo afectada | Causas de falla | Efecto de falla | Actividad de mantenimiento recomendada |
| No realiza la extrusión de la tubería | Disparo del sistema eléctrico de fuerza. | Fusibles eléctricos | Contactores defectuosos | Parada de la producción | Sustituir contactor dañado. |
| | Fallo en el control de temperatura | Zona de calentamiento afectada. | Sensor defectuoso | | Sustituir el sensor. |
| | | | Relé de control dañado | | Sustituir relé. |

2.4.2- Clasificación de las fallas de la línea 3 de producción

La clasificación de las fallas de la línea 3 de producción es de gran importancia para la asignación del tipo de mantenimiento a ejecutar sobre el activo. Para ello se utilizó como criterio de clasificación la frecuencia de ocurrencia de las mismas (ver figura 2.1).

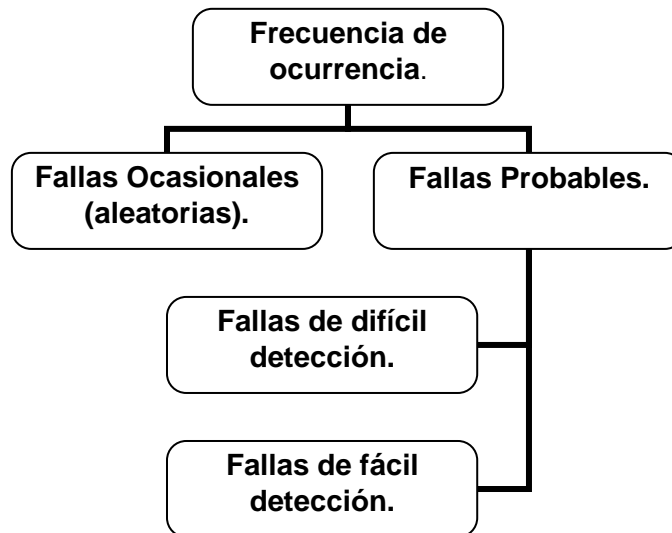


Figura 2.1. Criterio de clasificación de las fallas. Fuente: Labañino, (2013).

Según este criterio de clasificación las fallas se pueden denominar como probables y ocasionales.

Fallas ocasionales (aleatorias): por lo general no siguen un patrón previsible, por lo que es muy difícil estimar en qué momento se van a presentar, por ejemplo falla de componentes eléctricos y electrónicos, atascamientos, golpes de los equipos con objetos externos, etcétera.

Fallas probables: generalmente son fallas cíclicas, o sea, que están relacionadas al deterioro por fatiga, desgaste, desajuste o falta de calibración del equipo o pieza. Estas fallas se dividen a la vez en fallas de difícil detección y fallas de fácil detección.

Fallas de difícil detección: por las condiciones de operación y montaje del equipo la identificación de la falla es de alta complejidad.

Fallas de fácil detección: son aquellas fallas que se pueden ubicar rápidamente, es decir, es fácil conocer el momento en que se presentan.

A continuación se presentan los resultados obtenidos basados en la clasificación expuesta, tabla 2.3. Ver clasificación de los fallos del resto de los equipos en el Anexo 5.

Tabla 2.3 Clasificación de las fallas de la línea 3 de producción. Ejemplo Extrusora.

| Extrusora | | | Clasificación de la falla | |
|---------------------------------------|---------------------------|--|---------------------------|-------------------|
| Fallas Funcionales | Parte del equipo afectada | Causa de la Falla | Según Frecuencia | Según detección |
| No realiza la extrusión de la tubería | Motor principal | Las esteras de filtros están sucias | Cíclica | Fácil detección |
| | | Daño incipiente en los cojinetes | Cíclica | Difícil detección |
| | | El arranque está bloqueado por el sistema de comando | Aleatorio | |

Tabla 2.3 Clasificación de las fallas de la línea 3 de producción. Ejemplo Extrusora (continuación).

| Extrusora | | | Clasificación de la falla | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------|-------------------|
| Fallas Funcionales | Parte del equipo afectada | Causa de la Falla | Según Frecuencia | Según detección |
| No realiza la extrusión de la tubería | Transmisión | Demasiada tensión en la correa trapezoidal de transmisión | Aleatorio | |
| | | Bajo nivel del lubricante y de las grasas | Cíclica | Difícil detección |
| | | Daños en cojinetes o bien reductores a engranaje | Cíclica | Difícil detección |
| | Transmisión de fuerza | Las poleas están desgastadas | Cíclica | Difícil detección |
| | Sistema de extrusión | Desgaste en el tornillo sinfín y el cilindro | Cíclica | Difícil detección |
| | Bandas calefactoras | Las bandas calefactoras están flojas | Aleatoria | |
| | | Sensor sucio/con defectos | Aleatoria | |
| | Sistema de enfriamiento del panel | Obstrucción del intercambiador de calor. | Aleatoria | |

Tabla 2.3 Clasificación de las fallas de la línea 3 de producción. Ejemplo Extrusora (continuación).

| Extrusora | | | Clasificación de la falla | |
|---------------------------------------|--------------------------------|---|---------------------------|-----------------|
| Fallas Funcionales | Parte del equipo afectada | Causa de la Falla | Según Frecuencia | Según detección |
| No realiza la extrusión de la tubería | Fusibles eléctricos | Corto circuito en el motor principal | Aleatoria | |
| | | Corto circuito en las bandas calefactoras | Aleatoria | |
| | | Contactores defectuosos | Aleatoria | |
| | Zona de calentamiento afectada | Sensor defectuoso | Aleatoria | |
| | | Relé de control dañado | Aleatoria | |

2.4.3- Análisis lógico para la toma de decisiones

El diagrama que se muestra en la figura 2.2 permite realizar, a través de sus pasos, el análisis correcto para la toma de decisiones en la aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

En este diagrama aparecen de forma organizada, lógica y detallada cada una de las interrogantes y condiciones a tener en cuenta en el proceso de análisis de los fallos, sus causas y consecuencias y el actuar ulterior en la solución de los mismos.

El proceso tiene como objetivo la búsqueda de las tareas de mantenimiento técnico más eficiente y económicas, a través de la determinación de los requerimientos de mantenimiento de los elementos físicos de los equipos y máquinas, en dependencia del contexto operacional en que son explotados, para que continúen funcionando.

La explicación al proceso de decisión lógica, sería:

Al ocurrir una falla funcional hay que analizar si es evidente para el operario. Si el fallo no se puede detectar durante la operación habría que dilucidar si se pueden prevenir o evitar los riesgos de fallos múltiples. En caso afirmativo se realizarían tareas a condición o cíclicas (reacondicionamiento o sustitución) en dependencia de la condición técnica del sistema. En caso contrario se pueden realizar tareas de búsqueda de fallos. En algunos casos el rediseño puede ser obligatorio.

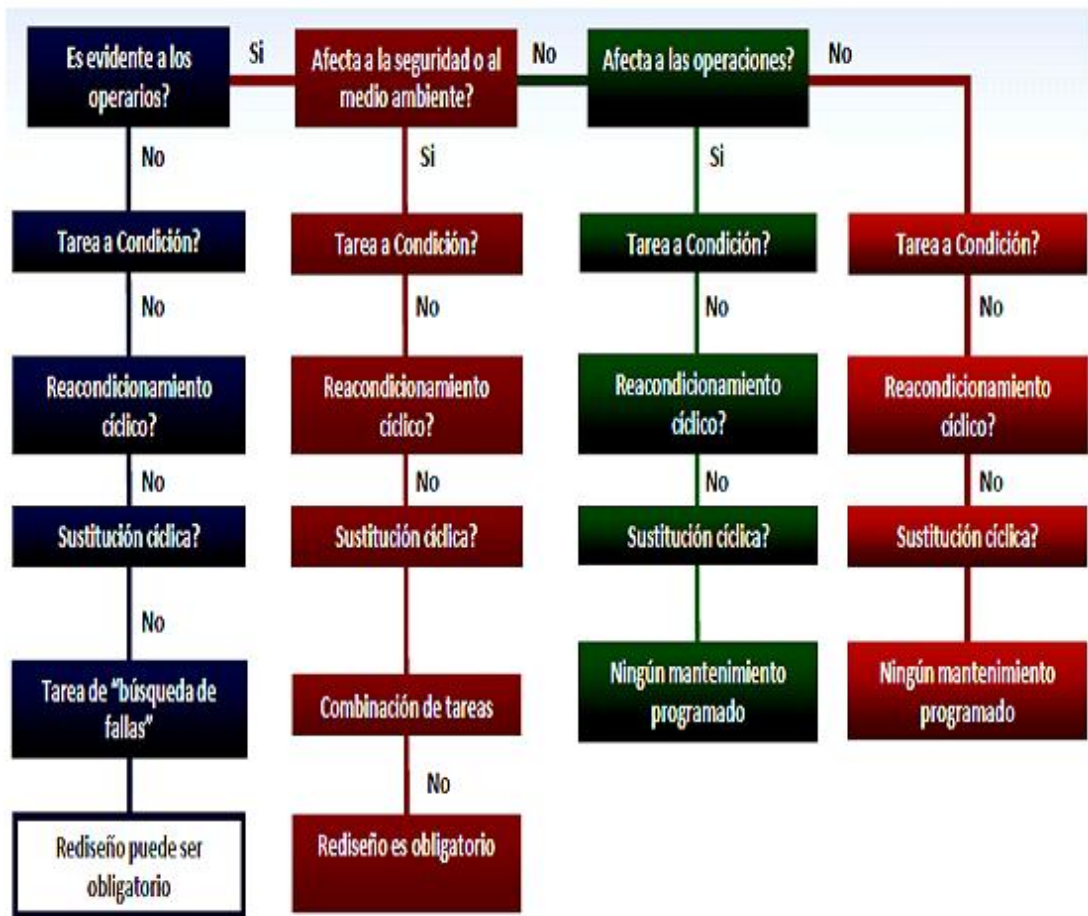


Figura 2.2. Proceso de decisión lógica. Fuente: Poveda, (s/f).

Si el fallo se puede detectar durante la operación hay que considerar si afecta la seguridad o el medio ambiente, si esto ocurre se deben realizar tareas de mantenimiento para su prevención. Si no se puede prevenir, el rediseño es obligatorio.

Si el fallo no afecta la seguridad o al medio ambiente se evaluaría su comportamiento respecto a las operaciones (parada de la producción, afectación de la calidad, afectación del servicio al cliente, afectación de los costos operacionales).

De fallar algo, y detener o disminuir los niveles de producción o afectar la calidad, se debe estimar si es más barato prevenir el fallo que los costos que se generarían por la inactividad del sistema. Las tareas de mantenimiento se realizarían de ser muy elevados los costos por inactividad del sistema. En caso contrario, lo lógico es esperar hasta que falle el sistema.

Si el fallo no detiene o disminuye significativamente los niveles productivos, se valoraría si es más económico prevenir el fallo que los costos que se generarían por la acción directa para el restablecimiento del sistema, habría que hacer las tareas preventivas; de lo contrario se esperaría hasta que falle el sistema.

2.4.4- Análisis de los fallos para facilitar la elaboración del nuevo sistema de mantenimiento de la línea 3 de producción

Para definir el nuevo sistema de mantenimiento, es necesario definir las tareas precisas y necesarias para evitar los fallos y mantener la funcionalidad y funcionabilidad de la línea 3 de producción, para lo cual se realizó un análisis de los fallos utilizando el diagrama del proceso de decisión lógica. Los resultados de este análisis se pueden ver en la tabla 2.4. Ver análisis de los fallos del resto de los equipos en el Anexo 6.

Atendiendo a la información que brinda la tabla 2.4, se concluye que en la línea 3 de producción los fallos posibles pueden ser prevenidos por medio de tareas de mantenimiento, ya sean de tipo cíclicas (de acondicionamiento o de sustitución) o por su estado de condición, y en algunos casos se puede esperar la ocurrencia del fallo.

Tabla 2.4 Análisis de los fallos. Ejemplo Extrusora.

| Extrusora | | | | | | | | | |
|--|---------------------|----|----------------------------|-------------|---------------------|----|---------------------|---------|---------------|
| Fallo | ¿Se puede detectar? | | Afectación | | ¿Se puede prevenir? | | Tareas planificadas | | Esperar fallo |
| | Si | No | Seguridad, Medio Ambiente. | Operacional | Si | No | Condición | Cíclica | |
| 1- Las esteras de filtros están sucias | X | | | X | X | | | X | |
| 2- Daño incipiente en los cojinetes | | X | | X | X | | X | | |
| 3- El arranque está bloqueado por el sistema de comando | X | | | X | | X | | | X |
| 4. Demasiada tensión en la correa trapezoidal de transmisión | X | | | X | X | | | X | |
| 6- Daños en cojinetes o reductores de engranaje | | X | | X | | X | X | | |
| 7- Las poleas están desgastadas | X | | | X | | X | | X | |

Tabla 2.4 Análisis de los fallos. Ejemplo Extrusora (continuación).

| Extrusora | | | | | | | | | |
|---|---------------------|----|--------------------------|-------------|---------------------|----|---------------------|---------|---------------|
| Fallo | ¿Se puede detectar? | | Afectación | | ¿Se puede prevenir? | | Tareas planificadas | | Esperar fallo |
| | Si | No | Seguridad Medio Ambiente | Operacional | Si | No | Condición | Cíclica | |
| 8- Desgaste en el tornillo sinfín y el cilindro | X | | | X | | X | X | | |
| 9- Las bandas calefactoras están flojas | X | | | X | X | | X | | |
| 10- Sensor sucio/con defectos | | X | | X | | X | | | X |
| 11- Obstrucción del intercambiador de calor. | X | | | X | | X | | X | |
| 12- Corto circuito en el motor principal | | X | | X | | X | | | X |
| 13- Corto circuito en las bandas calefactoras. | | X | | X | | X | | | X |
| 14- Contactores defectuosos. | | X | | X | | X | | | X |
| 15- Sensor defectuoso | | X | | X | | X | | | X |
| 16- Relé de control dañado | | X | | X | | X | | | X |

2.4.5- Selección del sistema de mantenimiento según el análisis de fallos

De acuerdo al análisis desarrollado en la tabla 2.4 se selecciona el sistema de mantenimiento según el tipo de fallo, tabla 2.5, (ver la selección del sistema de mantenimiento del resto de los equipos en el Anexo 7).

Tabla 2.5 Selección del sistema de mantenimiento. Ejemplo Extrusora.

| Extrusora | | | |
|--|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Fallos | Sistemas de mantenimiento | | |
| | Mantenimiento Correctivo | Mantenimiento Planificado | Mantenimiento Predictivo |
| 1- Las esteras de filtros están sucias | | X | |
| 2- Daño incipiente en los cojinetes | | | X |
| 3- El arranque está bloqueado por el sistema de comando | X | | |
| 4- Demasiada tensión en la correa trapezoidal de transmisión | | X | |
| 5- Desgastes de medios de lubricación y engrase | | X | |
| 6- Daños en cojinetes o reductores de engranaje | | | X |
| 7- Las poleas están desgastadas | | X | |
| 8- Desgaste en el tornillo sinfín y el cilindro | | | X |
| 9- Las bandas calefactoras están flojas | | | X |
| 10- Sensor sucio/con defectos | X | | |
| 11- Obstrucción del intercambiador de calor. | | X | |

Tabla 2.5 Selección del sistema de mantenimiento. Ejemplo Extrusora (continuación).

| Extrusora | | | |
|--|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Fallos | Sistemas de mantenimiento | | |
| | Mantenimiento Correctivo | Mantenimiento Planificado | Mantenimiento Predictivo |
| 12- Corto circuito en el motor principal | X | | |
| 13- Corto circuito en las bandas calefactoras. | X | | |
| 14-Contactores defectuosos. | X | | |
| 15- Sensor defectuoso | X | | |
| 16- Relé de control dañado | X | | |

De acuerdo con la información que se muestra en la tabla 2.5 y los anexos, se concluye que el sistema de mantenimiento a aplicar en la línea 3 de producción está compuesto por una combinación de varios tipos de mantenimiento, el 39 % de MPP, un 25 % de predictivo y un 36 de mantenimiento correctivo.

2.5 Algunas consideraciones del sistema de mantenimiento propuesto. Análisis económico y medio ambiental

El sistema alterno de mantenimiento definido par línea 3 de producción permitirá:

1. Aplicar un mantenimiento más adecuado a las características de la línea.
2. Debe garantizar un trabajo con un mínimo de fallos hasta el momento en que se haya previsto que se debe realizar una reparación.
3. Disminuir las posibilidades de provocar desajustes y errores al evitar el arme y desarme con una regularidad no siempre necesaria.

Análisis económico.

Los costos de mantenimiento de la línea 3 de producción deben reducirse al efectuarse los trabajos imprescindibles lo que disminuye el costo de mano de obra, mejor manejo del inventario de piezas de repuestos e insumos de mantenimiento de la línea, por ejemplo el mantenimiento de limpieza actual del filtro del tanque de calibración se realiza cuatro veces al mes con un costo de mantenimiento de 62,64 CUP, con el nuevo sistema de mantenimiento propuesto la limpieza se realizará una vez al mes con un costo de 15,51 CUP lo que conlleva a un ahorro de 47,13 CUP.

Análisis medio ambiental.

En el país se llevan a cabo importantes programas de protección ecológica y medioambiental, haciendo énfasis en las industrias, debido a que la mayoría utiliza sustancias químicas perjudiciales para el medio ambiente como lubricantes, grasas entre otros.

Este trabajo tiene como fin la definición a través de la aplicación del AMFE de un nuevo sistema de mantenimiento para la línea 3 de producción, de este estudio se ha llegado a la conclusión que ninguna de las fallas detectadas en los siete equipos que componen esta línea de producción afectan al medio ambiente.

2.6 Conclusiones parciales

1. El sistema de mantenimiento definido para la línea 3 es el sistema alternativo de mantenimiento.
2. Se han definido las tareas a cumplir en cada equipo de la línea 3.

CONCLUSIONES

Después de realizado el trabajo se llegó a las conclusiones siguientes:

1. Se diseñó un nuevo sistema de mantenimiento para la línea 3 de producción de tuberías plásticas de alta densidad en la Fábrica HOLPLAST de la provincia de Holguín. Para este fin se utilizó el Análisis de modo y efecto de fallas (AMFE) así como las condiciones de explotación del equipamiento y las indicaciones de los fabricantes.
2. El sistema de mantenimiento a aplicar en la línea 3 de producción está compuesto por una combinación de varios tipos de mantenimiento, el 39 % de MPP, un 25 % de predictivo y un 36 de mantenimiento correctivo.
3. La aplicación del Análisis de Modos de Fallos y Efectos (AMFE) en la línea 3 de producción permitió identificar un total de 83 causas de fallos y sus consecuencias (16 en la extrusora, 14 en el tanque de calibración, 6 del tanque de enfriamiento, 12 en la máquina de marcado, 16 del carro de arrastre, 13 de la cortadora y 6 en el volcador), lo que sirvió de base para la selección del sistema de mantenimiento.
4. La identificación de las 83 causas de fallos existentes en los equipos de la línea 3 de producción permitió definir las tareas y el tipo de mantenimiento a realizar para solucionar a las mismas.
5. El sistema de mantenimiento definido presenta las ventajas siguientes: debe garantizar un trabajo con un mínimo de fallos hasta el momento en que se haya previsto que se debe realizar una reparación y disminuir las posibilidades de provocar desajustes y errores al evitar el arme y desarme con una regularidad no siempre necesaria.

RECOMENDACIONES

1. Aplicar en la línea 3 de producción el nuevo sistema de mantenimiento definido.
2. Realizar el cálculo de la frecuencia de las tareas a realizar en el sistema de mantenimiento propuesto.
3. Determinar el equipo más crítico de la línea número 3.
4. Que este trabajo sirva como material de consulta para los técnicos y especialistas de las fábricas de tuberías plásticas del país.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aldana Tardo, Osmar. "El análisis del comportamiento modal vibratorio en máquinas rotatorias: Aplicaciones con fines didácticos". Director: Fernando D. Robles Proenza. Tesis presentada en opción al Título de Ingeniero Mecánico Universidad de Holguín. Departamento de Mecánica. 2014.
2. Arroyo Mendizábal, Ramiro. *Análisis de fallos y riesgo*. Facultad Nacional de Ingeniería, Oruro, Bolivia, 2003. 15pp.
3. Batista, Carlos. *Análisis de fallos y confiabilidad operacional*. Dpto. Mecánica Aplicada, Facultad Ingeniería, UHO, 2009.
4. Balarón Pérez, Luís. Tuberías de polietileno. Manual técnico. Editorial AENOR. España, 2008. 88 pp. ISBN: 978-84-8143-563-4.
5. Chang Nieto, Enrique. "Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento preventivo para una pequeña empresa del rubro de minería para reducción de costos del servicio de alquiler". Director: Narciso Armestar. Tesis presentada en opción al Título Académico de Ingeniero Industrial. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Departamento de ingeniería Industrial, 2008.
6. Cabrera Gómez, Jesús. *Plataforma básica para un mantenimiento centrado en la confiabilidad*. Ed. Vibrosoft. CEIM-CUJAE. Ciudad Habana, 2003. 86 pp.
7. De la Paz, Estrella. Actualidad y Perspectivas del Mantenimiento en los servicios públicos. Curso del V Congreso Cubano de Mantenimiento. Universidad Central de Villa Clara Martha Abreu, 2003. 37pp.
8. Ferret Campoverde, Juan Luis. "Rehabilitación, operación y mantenimiento de una extrusora de compuestos de polímeros". Director: M.Sc Andrés Rigai. Tesis presentada en opción al Título Académico de Ingeniero Mecánico. Escuela Superior Politécnica del Litoral de Ecuador, Departamento de Ingeniería Mecánica. 2008
9. García Palencia, Oliverio. Estrategia de Confiabilidad Operacional. Evento Lubrication Excellence, México, Junio 2005. Disponible en: <http://norcia.com/sp/rw2005/memorias/ogarcia.pdf> [Consultado 8 de marzo de 2016].
10. Lojo Cera, Carlos. "Estudio del portador " Electricidad" en la Unidad Militar Instrucción y Procesamiento Penal de la Provincia Holguín". Director: M.Sc. Elio Rafael Hidalgo Batista. Departamento de Ingeniería Mecánica. Tesis presentada en opción al Título Académico de Ingeniero Mecánico. Universidad Oscar Lucero Moya de Holguín. 2010.

11. Labañino Fernández, Jorge Enrique. “Análisis del sistema de mantenimiento del decorador 6cmpx800 de la empresa de envases de aluminio (ENVAL)”. Director: Dr. C. Fernando Robles Proenza. Tesis presentada en opción al Título Académico de Máster en Mantenimiento y Reacondicionamiento de Máquinas. Universidad Oscar Lucero Moya de Holguín, Departamento de Ingeniería Mecánica. 2013
12. Moubray, John. *Introducción a Reliability – centred Maintenance* (Mantenimiento centrado en la Fiabilidad). Aladon Ltd, EE.UU, 1991. 102pp.
13. Norma Española UNE-EN 13306:2002. Terminología del Mantenimiento.
14. Norma Española UNE-EN 200001-3-1:1998. Gestión de la Confiabilidad. Técnicas de análisis de la confiabilidad.
15. Poveda Guevara, Alejandro J. (s/f). *Aplicación de la Metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para el desarrollo de Planes de Mantenimiento*. Disponible en:
<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/20586/1/Articulo%20CICYT%20APOVEDA%20RCM.pdf> [Consultado 28 de marzo de 2016].
16. Romero Ramírez, Yosvel. “Tecnología para la producción de tubos de polietileno de alta densidad para la conducción de agua en la empresa Holplast de Holguín”. *Ciencia & Futuro*. 2014, vol. 4, núm. 2, 34-36 pp.
17. Valdivieso Torres, Juan Carlos. “Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la empresa Extruplast S.A.”. Director: Ing. Marco Amaya. Tesis presentada en opción al Título Académico de Ingeniero Mecánico. Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca. 2010.
18. Sitio Web 1: Análisis modal de fallo y efecto. Disponible en:
http://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis_modal_de_fallos_y_efectos.
[Consultado: 28 de marzo de 2016].
19. Sitio Web 2: Análisis de Pareto. Disponible en:
http://www.fundibeq.org/opencms/export/sites/default/PWF/downloads/gallery/methodology/tools/diagrama_de_pareto.pdf. [Consultado: 28 de marzo de 2016].
20. Sitio Web 3: Análisis modal de fallos y efectos (AMFE). Disponible en:
<http://www.fundibeq.org/opencms/export/sites/default/PWF/downloads/gallery/methodology/tools/amfe.pdf> . [Consultado 28 de marzo de 2016].
21. Sitio Web 4: Análisis modal de fallo y efecto. Disponible en:
http://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis_modal_de_fallos_y_efectos.
[Consultado: 28 de marzo de 2016].

ANEXOS

Anexo 1. Equipamiento de las líneas.

La línea 1 cuenta con los siguientes equipos, según el flujo tecnológico, que es el mismo para las tres líneas de producción:

Extrusora tipo: PO 1000 VS 418 FS

Tanque calibrador: V 1001 VA

Tanque de enfriamiento: K 1001 VA

Máquina de marcado: MAC 1200-RLD-2

Máquina de arrastre: R 250/6E

Cortadora de tubos: TU 1000 P

La línea 2 cuenta con los siguientes equipos en su flujo de producción:

Extrusora tipo: PO 1000 VS 418 FS

Tanque calibrador: V 500 VA

Tanque de enfriamiento: CB-500

Máquina de marcado: MAC 500-CCRD-2

Máquina de arrastre: R 500-6E

Cortadora satelitales: TU 500 P

La línea 3 cuenta con los siguientes equipos:

Extrusora: NE 530D

Tanque calibrador: CV-2C-125-6V3F

Tanque de enfriamiento: VRT-125-6

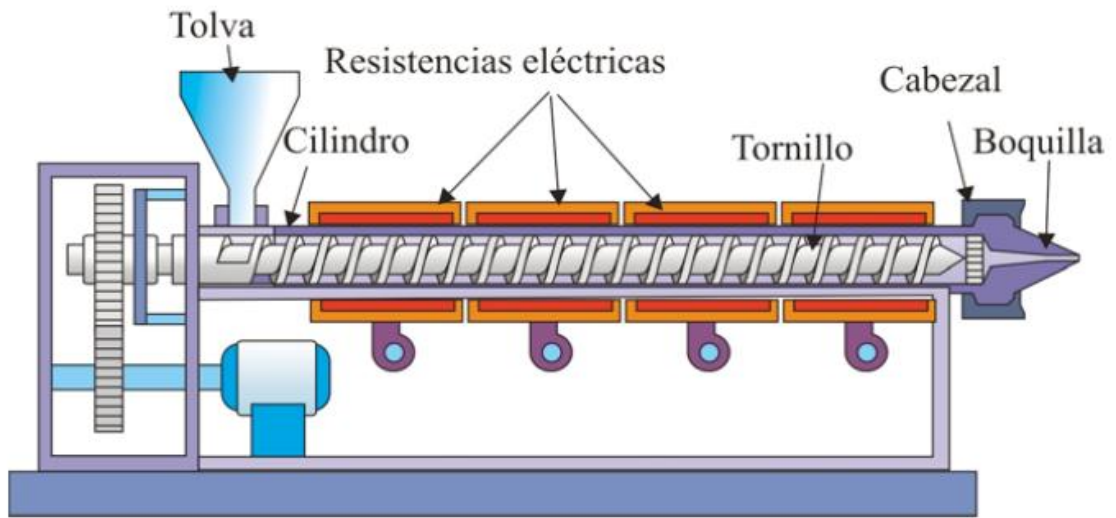
Máquina de marcado: TAN-T1-10-200

Máquina de arrastre: TR 125-3

Cortadora de tubos: TS 125

Los equipos de las líneas de producción 1 y 2 son de procedencia alemana. La línea 3 es mixta, procedente de Italia y Alemania.

Anexo 2. Representación esquemática de una extrusora de husillo sencillo.



Anexo 3. Mantenimiento actual de la línea 3 de producción.

| Extrusora | | |
|-------------------------------------|--|------------|
| Componente | Actividad de mantenimiento | Frecuencia |
| Motor de accionamiento | Verificar ruido de funcionamiento | Diario |
| | Reengrasar | 100 horas |
| | Cambiar o limpiar filtros, aspirar carcasa | Semanal |
| | Verificar escobilla de carbón | 500 horas |
| Caja reductora | Verificar existencia de derrame en las carcasas de reductores y circuitos de enfriamiento de reductores y comprobar estado de circulación, verificar ruido de marcha | Diario |
| Unidad de filtración de aceite | Controlar el indicador de ensuciamiento | Diario |
| Zona de carga | Aspirar el ámbito exterior | Diario |
| Zonas de calentamiento | Aspirar el ámbito exterior | Diario |
| Zonas de calentamiento/enfriamiento | Aspirar la zona exterior Aspirar las aletas de refrigeración | Diario |
| Sensor de presión y de temperatura | Aspirar el ámbito exterior | Diario |
| | Desmontar y limpiar el sensor y el orificio | 2000 horas |
| Armario eléctrico | Cambiar o limpiar las esteras de filtros | Diario |
| | Revisar el área interior para ver si presenta sedimento de partículas | 500 horas |
| Intercambiador de calor | Inspeccionar la descarga de condensado de ser necesario limpiar | Semanal |
| Husillo de extrusión | Inspección visual y medición del desgaste | 2000 horas |

Anexo 3. Mantenimiento actual de la línea 3 de producción (continuación).

| Extrusora | | |
|--|--|----------------------|
| Componente | Actividad de mantenimiento | Frecuencia |
| Cilindro de extrusión | Inspección visual y medición del desgaste | 2000 horas |
| Transmisión por correa/acoplamiento del eje | Verificar el desgaste y en caso necesario efectuar el recambio | 2000 horas |
| Caja reductora | Cambio de aceite | 4000 horas |
| Equipamiento eléctrico | Comprobar según norma DIN EN 50110-2 Y BGV 3 | Anual |
| Tanque de calibración | | |
| Componente | Actividad de mantenimiento | Frecuencia |
| Máquina general | Limpiar con dispositivos de aspiración y paño | Una vez a la semanal |
| Seguros y dispositivos de emergencia | Verificación del funcionamiento | Una vez a la semanal |
| Tornillos de piezas en movimiento y de la estructura | Verificar el apriete | Una vez a la semanal |
| Final de carrera movimiento longitudinal | Verificar el funcionamiento | Una vez a la semanal |
| Motores | Verificar el funcionamiento | Una vez a la semanal |
| Filtro | Limpiar el filtro | Una vez a la semanal |
| Bombas | Verificar el funcionamiento de la estanquidad en vacío | Una vez a la semanal |
| Boquilla de nebulización | Verificar el funcionamiento | Una vez a la semanal |

Anexo 3. Mantenimiento actual de la línea 3 de producción (continuación).

| Tanque de calibración | | |
|--|--|----------------------|
| Componente | Actividad de mantenimiento | Frecuencia |
| Grupo del movimiento transversal y vertical | Lubricar con grasa | Una vez a la semanal |
| Tanque de enfriamiento | | |
| Componente | Actividad de mantenimiento | Frecuencia |
| Máquina general | Limpiar con dispositivos de aspiración y paño | Una vez a la semanal |
| Seguros y dispositivos de emergencia | Verificación del funcionamiento | Una vez a la semanal |
| Filtro | Limpiar el filtro | Una vez a la semanal |
| Bombas | Verificar el funcionamiento de la estanquidad en vacío | Una vez a la semanal |
| Boquilla de nebulización | Verificar el funcionamiento | Una vez a la semanal |
| Grupo del movimiento transversal y vertical | Lubricar con grasa | Una vez a la semanal |
| Máquina de marcado | | |
| Componente | Actividad de mantenimiento | Frecuencia |
| Seguros y dispositivos de emergencia | Verificación del funcionamiento | Una vez a la semanal |
| Máquina general | Limpiar con dispositivos de aspiración y paño | Una vez a la semanal |
| Tornillos de piezas en movimiento y de la estructura | Verificar el apriete | Una vez a la semanal |

Anexo 3. Mantenimiento actual de la línea 3 de producción (continuación).

| Máquina de marcado | | |
|---|--|----------------------|
| Componente | Actividad de mantenimiento | Frecuencia |
| Seguros y dispositivos de emergencia | Verificación del funcionamiento | Una vez a la semanal |
| Máquina general | Limpiar con dispositivos de aspiración y paño | Una vez a la semanal |
| Tornillos de piezas en movimiento y de la estructura | Verificar el apriete | Una vez a la semanal |
| Grupo de regulación, numerador y partes en movimiento | Lubricar con grasa | Una vez a la semanal |
| Carro de arrastre | | |
| Componente | Actividad de mantenimiento | Frecuencia |
| Máquina general | Engrases varios | 100 horas |
| Taza de recolección | Mantenimiento del grupo de tratamiento de aire | 50 horas |
| Tanque de aire comprimido | Descargar el aire del tanque | 6 meses |
| Máquina de corte | | |
| Componente | Actividad de mantenimiento | Frecuencia |
| Máquina general | Engrases varios | 100 horas |
| Taza de recolección | Mantenimiento del grupo de tratamiento de aire | 50 horas |
| Tanque de aire comprimido | Descargar el aire del tanque | 6 meses |
| Volcador | | |
| Componente | Actividad de mantenimiento | Frecuencia |
| Máquina general | Engrases varios | 100 horas |

Anexo 4.

Tabla. Análisis de Modos de Fallas y Efectos (AMFE) de la línea 3 de producción.

| Tanque de Calibración | | | | | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|--|---|--|
| Falla Funcional | Modo de falla (síntomas) | Parte del equipo afectada | Causas de falla | Efecto de falla | Actividad de mantenimiento recomendada |
| Falta de enfriamiento en la Tubería | Falla en el sistema de enfriamiento | Tuberías | Obstrucción en las tuberías | Mala calidad en la tubería | Limpiar o sustituir tuberías |
| | | Aspersores | Suciedad en los aspersores | | Limpiar aspersores |
| | | Filtros | Obstrucción en el filtros | | Limpiar filtros |
| | Falla en el sistema de bombeo | Bombas | Motor eléctrico dañado | | Reparar motor |
| | | | Salidero por sello mecánico | | Sustituir sello |
| | | | Desgastes en el impelente | | Sustituir impelente |
| Tubería fuera de parámetros | Error de calibración | Calibrador | Rotura o desgaste en el calibrador | Reparar o sustituir calibrador | |
| | Falla en el sistema de vacío | Bombas de vacío | Rotura en el motor eléctrico | Reparar motor | |
| | | | Rotura en el sello mecánico | Sustituir sello | |
| | | | Válvula de regulación dañada | Cambiar válvulas | |
| | | | Falta de hermeticidad en la junta de vacío | Fabricar juntas y sustituir las dañadas | |
| La tubería no se traslada a la bañera | Falla en el sistema de traslación | Reductor | Rodamiento dañados | Mal funcionamiento del equipo | Sustituir rodamientos |
| | | | Dientes desgastados o fracturados | | Cambiar engranes |
| | | | Falta de lubricación | | Completar nivel de aceite |

Anexo 4. Continuación.

Tabla. Análisis de Modos de Fallas y Efectos (AMFE) de la línea 3 de producción.

| Tanque de enfriamiento | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--|
| Falla Funcional | Modo de falla (síntomas) | Parte del equipo afectada | Causas de falla | Efecto de falla | Actividad de mantenimiento recomendada |
| Falta de enfriamiento en la tubería | Falla en el sistema de enfriamiento | Tuberías | Obstrucción en las tuberías | Mala calidad en la tubería | Limpiar o sustituir tuberías |
| | | Aspersores | Suciedad en los aspersores | | Limpiar los aspersores |
| | | Filtros | Obstrucción en los filtros | | Limpiar los filtros |
| | Falla en el sistema de bombeo | Bombas | Motor eléctrico dañado | | Reparar motor |
| | | | Salidero por sello mecánico | | Sustituir sello |
| | | | Desgaste en el impelente | | Sustituir impelente |
| Máquina de marcado | | | | | |
| Falla Funcional | Modo de falla (síntomas) | Parte del equipo afectada | Causas de falla | Efecto de falla | Actividad de mantenimiento recomendada |
| No realiza el marcaje de la tubería | Falla en el sistema de regulación | Mecanismo de elevación | Rotura de la cremallera | Mal funcionamiento del equipo | Reparar o cambiar cremallera |
| | | | Falta de lubricación | | Lubricar el mecanismo |
| | Falla en el sistema de transmisión | Transmisión por correa | Rotura de las correas | | Sustituir correas dañadas |
| | | | Rodamientos de las poleas | | Rotura de los rodamientos |
| | | Mala lubricación de los rodamientos | | | Lubricar rodamientos |

Anexo 4. Continuación.

Tabla. Análisis de Modos de Fallas y Efectos (AMFE) de la línea 3 de producción

| Máquina de marcado | | | | | |
|-------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|---|
| Falla Funcional | Modo de falla (síntomas) | Parte del equipo afectada | Causas de falla | Efecto de falla | Actividad de mantenimiento recomendada |
| No realiza el marcaje de la tubería | Falla en el sistema de marcaje | Rueda de marcaje | Resistencia dañada | Mal funcionamiento del equipo | Cambiar resistencia |
| | | | Troqueles desgastados | | Ajustar troqueles |
| | Falla en el sistema neumático | Cilindro neumático | Sellas del cilindro dañados | | Sustituir sellos |
| | | | Electroválvula | | Bobina dañada |
| | | Atascamiento en la electroválvula | | | Limpiar la electroválvula |
| | | Regulador de presión | Sello dañado | | Sustituir sello |
| | | Mangueras neumáticas | Salidero en las mangueras | | Sustituir mangueras |
| | | Carro de arrastre | | | |
| Falla funcional | Modo de falla (síntoma) | Parte del equipo afectada | Causas de falla | Efecto de falla | Actividad de mantenimiento recomendad |
| No realiza la tracción de tubería | Fallo en el sistema de tracción | Cadenas | Rotura o desgaste de las cadenas | Parada de la producción | Sustituir cadenas y tensar |
| | | | Desgastes de los <u>sprockets</u> | | Sustituir <u>sprockets</u> |
| | | | Desgaste de los tacos de arrastre | | Sustituir tacos desgastados |
| | | | Atascamiento de los tacos de arrastre | | Desatascar, alinear y reapretar tornillos |

Anexo 4. Continuación.

Tabla. Análisis de Modos de Fallas y Efectos (AMFE) de la línea 3 de producción.

| Carro de arrastre | | | | | | |
|--------------------------------------|---|---------------------------------|--|-------------------------|--|---------------------------|
| Falla funcional | Modo de falla (síntoma) | Parte del equipo afectada | Causas de falla | Efecto de falla | Actividad de mantenimiento recomendada | |
| No realiza la tracción de la tubería | Fallo en el sistema de transmisión | Reductores de velocidad | Rodamientos dañados | Parada de la producción | Sustituir rodamientos | |
| | | | Falta de lubricación | | Lubricar | |
| | | | Elemento elástico del acoplamiento deteriorado | | Sustituir elemento elástico | |
| | | | Engranajes desgastados | | Sustituir engranaje | |
| | Fallo en el sistema de neumáticos | Cilindros neumáticos | Sellos de los cilindros dañados | | Sustituir sello | |
| | | | Electroválvulas | | Bobina dañada | Cambiar bobina |
| | | | | | Electroválvula atascada | limpiar la electroválvula |
| | | | Acumulador de presión | | Condensado en los acumuladores | Drenar acumuladores |
| | | | Regulador de presión | | Sistema de regulación con salideros | Sustituir sello |
| | | | Mangueras neumáticas | | Rotura de las mangueras | Sustituir mangueras |
| | | | No realiza el ajuste del equipo al diámetro indicado | | Fallo en el sistema de regulación | Brazos de regulación |
| | Cadenas de ajustes y <u>sprockets</u> desgastados | Sustituir elementos desgastados | | | | |

Anexo 4. Continuación.

Tabla. Análisis de Modos de Fallas y Efectos (AMFE) de la línea 3 de producción.

| Cortadora | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------|--|
| Falla funcional | Modo de falla (síntoma) | Parte del equipo afectada | Causas de falla | Efecto de falla | Actividad de mantenimiento recomendada |
| No realiza el corte de la tubería | Fallo en el sistema de corte | Disco de corte | Rotura del disco de corte | Parada de la máquina | Sustituir disco |
| | | Tornillos de ajuste | Desajuste de los tornillo | | Ajustar tornillos |
| | | Eje de sujeción del disco de corte | Desajuste o flexión del eje | | Sustituir eje |
| | Fallo en el sistema motriz | Motor eléctrico | Rodamientos desgastados | | Sustituir rodamientos |
| | | Reductor de velocidad | Rodamientos dañados | | Sustituir rodamientos |
| | | | Engranajes deteriorados | | Cambiar engranes |
| | | | Falta de lubricación | | Lubricar |
| | Transmisión por correa | Rotura de la correa | Reponer correa | | |
| | Fallo en el sistema de traslación | Sensor de posición | Sensor fuera de posición | | Colocar sensor |
| | | Guías | Guías desalineadas | | Alinear guías y lubricar |
| | | Cilindro neumático | Rotura de sellos | | Sustituir sellos |
| | | Electroválvula | Bobina dañada | | Cambiar bobina |
| | | | Atascamiento en la electroválvula | | Limpieza de la electroválvula |

Anexo 4. Continuación.

Tabla. Análisis de Modos de Fallas y Efectos (AMFE) de la línea 3 de producción.

| Volcador | | | | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|---|----------------------|--|
| Falla funcional | Modo de falla (síntoma) | Parte del equipo afectada | Causas de falla | Efecto de falla | Actividad de mantenimiento recomendada |
| No voltea la tubería para su acomodo | Fallo en el sistema de elevación | Tornillos de elevación | Deterioro de los tornillos de elevación | Parada de la máquina | Sustituir tornillos |
| | Fallo en el sistema de volteo | Cilindros neumáticos | Rotura de sellos | | Cambiar sellos |
| | | Electroválvula | Bobina dañada | | Cambiar bobina |
| | | | Atascamiento | | Limpiar la electroválvula |
| | | Mangueras neumáticas | Rotura de las mangueras | | Sustituir mangueras |
| | | Regulador de presión | Sistema de regulación con salideros | | Cambiar sellos |

Anexo 5.

Tabla. Clasificación de las fallas de la línea 3 de producción.

| Tanque de calibración | | | Clasificación de la falla | |
|-------------------------------------|---------------------------|--|---------------------------|-------------------|
| Fallas Funcionales | Parte del equipo afectada | Causa de la Falla | Según Frecuencia | Según detección |
| Falta de enfriamiento en la Tubería | Tuberías | Obstrucción en las tuberías | Aleatoria | |
| | Aspersores | Suciedad en los aspersores | Aleatoria | |
| | Filtros | Obstrucción en los filtros | Cíclico | |
| | Bombas | Motor eléctrico dañado | Aleatoria | |
| | | Salidero por sello mecánico | Aleatoria | |
| | | Desgastes en el impelente | Cíclica | Difícil detección |
| Tubería fuera de parámetros | Calibrador | Rotura o desgaste en el calibrador | Cíclica | Difícil detección |
| | Bombas de vacío | Rotura en el motor eléctrico | Aleatoria | |
| | | Rotura en el sello mecánico | Aleatoria | |
| | | Válvula de regulación dañada | Cíclica | Fácil detección |
| | | Falta de hermeticidad en la junta de vacío | Aleatoria | |
| No se traslada la bañera | Reductor | Rodamiento dañados | Cíclica | Difícil detección |
| | | Dientes desgastados o fracturados | Cíclica | Difícil detección |
| | | Falta de lubricación | Aleatoria | |

Anexo 5. Continuación.

Tabla. Clasificación de las fallas de la línea 3 de producción.

| Tanque de enfriamiento | | | Clasificación de la falla | |
|-------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|---------------------------|-------------------|
| Fallas Funcionales | Parte del equipo afectada | Causa de la Falla | Según Frecuencia | Según detección |
| Falta de enfriamiento en la tubería | Tuberías | Obstrucción en las tuberías | Aleatoria | |
| | Aspersores | Suciedad en los aspersores | Aleatoria | |
| | Filtros | Obstrucción en los filtros | Cíclica | Fácil detección |
| | Bombas | Motor eléctrico dañado | Aleatoria | |
| | | Salidero por sello mecánico | Aleatoria | |
| | | Desgaste en el impelente | Cíclica | Difícil detección |
| Máquina de marcado | | | Clasificación de la falla | |
| Fallas Funcionales | Parte del equipo afectada | Causa de la Falla | Según Frecuencia | Según detección |
| No realiza el marcaje de la tubería | Mecanismo de elevación | Rotura de la cremallera | Aleatorio | |
| | | Falta de lubricación | Aleatoria | |
| | Transmisión por correa | Rotura de las correas | Cíclica | Fácil detección |
| | Rodamientos de las poleas | Rotura de los rodamientos | Cíclica | Difícil detección |
| | | Mala lubricación de los rodamientos | Aleatoria | |

Anexo 5. Continuación.

Tabla. Clasificación de las fallas de la línea 3 de producción.

| Máquina de marcado | | | Clasificación de la falla | |
|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------|-------------------|
| Fallas Funcionales | Parte del equipo afectada | Causa de la Falla | Según Frecuencia | Según detección |
| No realiza el marcaje de la tubería | Rueda de marcaje | Resistencia dañada | Cíclica | Fácil detección |
| | | Troqueles desgastados | Cíclica | Fácil detección |
| | Cilindro neumático | Sellos del cilindro dañados | Aleatoria | |
| | Electroválvula | Bobina dañada | Aleatoria | |
| | | Atascamiento en la electroválvula | Aleatoria | |
| | Regulador de presión | Sello dañado | Cíclica | |
| | Mangueras neumáticas | Salidero en las mangueras | Aleatoria | |
| Carro de arrastre | | | Clasificación de la falla | |
| Fallas Funcionales | Parte del equipo afectada | Causa de la Falla | Según Frecuencia | Según detección |
| No realiza la tracción de tubería | Cadenas | Rotura o desgaste de las cadenas | Cíclica | Fácil detección |
| | | Desgastes de los <u>sprockets</u> | Cíclica | Fácil detección |
| | | Desgaste de los tacos de arrastre | Cíclica | Fácil detección |
| | | Atascamiento de los tacos de arrastre | Aleatoria | |
| | Reductores de velocidad | Rodamientos dañados | Cíclica | Difícil detección |
| | | Falta de lubricación | Aleatoria | |

Anexo 5. Continuación.

Tabla. Clasificación de las fallas de la línea 3 de producción.

| Fallas Funcionales | Carro de arrastre | | Clasificación de la falla | |
|--|---------------------------|--|---------------------------|-------------------|
| | Parte del equipo afectada | Causa de la Falla | Según Frecuencia | Según detección |
| No realiza la tracción de tubería | Reductores de velocidad | Elemento elástico del acoplamiento deteriorado | Cíclica | Difícil detección |
| | | Engranajes desgastados | Cíclica | Difícil detección |
| | Cilindros neumáticos | Sellos de los cilindros dañados | Aleatoria | |
| | Electroválvulas | Bobina dañada | Aleatoria | |
| | | Electroválvula atascada | Aleatoria | |
| | Acumulador de presión | Condensado en los acumuladores | Aleatoria | |
| | Regulador de presión | Sistema de regulación con salideros | Aleatoria | |
| | Mangueras neumáticas | Rotura de las mangueras | Cíclica | Fácil detección |
| No realiza el ajuste del equipo al diámetro indicado | Brazos de regulación | Desajustes de los tornillos | Cíclica | Fácil detección |
| | | Cadenas de ajustes y sprockets desgastados | Cíclica | Fácil detección |

Anexo 5. Continuación.

Tabla. Clasificación de las fallas de la línea 3 de producción.

| Cortadora | | | Clasificación de la falla | |
|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------|
| Fallas Funcionales | Parte del equipo afectada | Causa de la Falla | Según Frecuencia | Según detección |
| No realiza el corte de la tubería | Disco de corte | Rotura del disco de corte | Cíclica | Fácil detección |
| | Tornillos de ajuste | Desajuste de los tornillo | Cíclica | Fácil detección |
| | Eje de sujeción del disco de corte | Desajuste o flexión del eje | Aleatoria | |
| | Motor eléctrico | Rodamientos desgastados | Cíclica | Difícil detección |
| | Reductor de velocidad | Rodamientos dañados | Cíclica | Difícil detección |
| | | Engranajes deteriorados | Cíclica | Difícil detección |
| | | Falta de lubricación | Aleatoria | |
| | Transmisión por correa | Rotura de la correa | Cíclica | Fácil detección |
| | Sensor de posición | Sensor fuera de posición | Aleatoria | |
| | Guías | Guías desalineadas | Aleatoria | |
| | Cilindro neumático | Rotura de sellos | Aleatoria | |
| Electroválvula | Bobina dañada | Aleatoria | | |
| | Atascamiento en la electroválvula | Aleatoria | | |

Anexo 5. Continuación.

Tabla. Clasificación de las fallas de la línea 3 de producción.

| Fallas Funcionales | Volcador | | Clasificación de la falla | |
|--------------------------------------|---------------------------|---|---------------------------|-----------------|
| | Parte del equipo afectada | Causa de la Falla | Según Frecuencia | Según detección |
| No voltea la tubería para su acomodo | Tornillos de elevación | Deterioro de los tornillos de elevación | Cíclica | Fácil detección |
| | Cilindros neumáticos | Rotura de sellos | Aleatoria | |
| | Electroválvula | Bobina dañada | Aleatoria | |
| | | Atascamiento | Aleatoria | |
| | Mangueras neumáticas | Rotura de las mangueras | Cíclica | Fácil detección |
| | Regulador de presión | Sistema de regulación con salideros | Aleatoria | |

Anexo 6. Tabla. Análisis de los fallos.

| Tanque de calibración | | | | | | | | | |
|---|----------------------|----|----------------------|-------------|---------------------|----|---------------------|---------|---------------|
| Fallo | ¿Se puede detectar ? | | Afectación | | ¿Se puede prevenir? | | Tareas planificadas | | Esperar fallo |
| | Si | No | Seg. Medio Ambiente. | Operacional | Si | No | Condición | Cíclica | |
| 1- Obstrucción en las tuberías. | X | | | X | X | | | X | |
| 2- Suciedad en los aspersores. | X | | | X | X | | | X | |
| 3- Obstrucción en los filtros. | X | | | X | | X | X | | |
| 4- Motor eléctrico dañado bombas de recirculación. | X | | | X | X | | | X | |
| 5- Salidero por sello mecánico bombas de recirculación. | X | | | X | | X | | | X |
| 6- Desgastes en el impelente. | X | | | X | | X | X | | |
| 7- Rotura o desgaste en el calibrador. | X | | | X | | X | X | | |
| 8- Rotura en el motor eléctrico bombas de vacío. | X | | | X | X | | | X | |
| 9- Rotura en el sello mecánico bombas de vacío. | X | | | X | | X | | | X |
| 10- Válvula de regulación de vacío dañada. | X | | | X | | X | X | | |
| 11-Faltade hermeticidad en la junta de vacío. | X | | | X | | X | | X | |
| 12-Rodamientos dañados del reductor de traslación. | X | | | X | | X | X | | |
| 13- Dientes desgastados o fracturados | X | | | X | | X | | | X |
| 14- Falta de lubricación | X | | | X | X | | | X | |

Anexo 6. Análisis de los fallos (continuación).

| Tanque de enfriamiento | | | | | | | | | |
|--|---------------------|----|----------------------|-------------|---------------------|----|---------------------|---------|---------------|
| Fallo | ¿Se puede detectar? | | Afectación | | ¿Se puede prevenir? | | Tareas planificadas | | Esperar fallo |
| | Si | No | Seg. Medio Ambiente. | Operacional | Si | No | Condic. | Cíclic. | |
| 1- Obstrucción en las tuberías | X | | | X | X | | | X | |
| 2- Suciedad en los aspersores | X | | | X | X | | | X | |
| 3- Obstrucción en los filtros | X | | | X | | X | X | | |
| 4- Motor eléctrico dañado | X | | | X | X | | | X | |
| 5- Salidero por sello mecánico | X | | | X | | X | | | X |
| 6- Desgaste en el impelente | X | | | X | | X | X | | |
| Máquina de marcado | | | | | | | | | |
| Fallo | ¿Se puede detectar? | | Afectación | | ¿Se puede prevenir? | | Tareas planificadas | | Esperar fallo |
| | Si | No | Seg. Medio Ambiente. | Operacional | Si | No | Condic. | Cíclic. | |
| 1- Rotura de la cremallera | X | | | X | | X | | | X |
| 2- Falta de lubricación | X | | | X | X | | | X | |
| 3- Rotura de las correas | X | | | X | X | | | X | |
| 4- Rotura de los rodamientos | X | | | X | X | | | X | |
| 5- Mala lubricación de los rodamientos | X | | | X | X | | | X | |
| 6- Resistencia dañada | X | | | X | | X | | | X |
| 7- Troqueles desgastados | X | | | X | | X | | | X |

Anexo 6. Análisis de los fallos (continuación).

| Máquina de marcado | | | | | | | | | |
|---|---------------------|----|----------------------|-------------|---------------------|----|---------------------|---------|---------------|
| Fallo | ¿Se puede detectar? | | Afectación | | ¿Se puede prevenir? | | Tareas planificadas | | Esperar fallo |
| | Si | No | Seg. Medio Ambiente. | Operacional | Si | No | Condic. | Cíclic. | |
| 8- Sellos del cilindro dañados | X | | | X | | X | | | X |
| 9- Bobina dañada | X | | | X | | X | | | X |
| 10- Atascamiento en la electroválvula | X | | | X | X | | | X | |
| 11- Sello dañado | X | | | X | | X | | | X |
| 12- Salidero en las mangueras | X | | | X | | X | X | | |
| Carro de arrastre | | | | | | | | | |
| Fallo | ¿Se puede detectar? | | Afectación | | ¿Se puede prevenir? | | Tareas planificadas | | Esperar fallo |
| | Si | No | Seg. Medio Ambiente. | Operacional | Si | No | Condic. | Cíclic. | |
| 1- Rotura o desgaste de las cadenas | X | | | X | | X | | X | |
| 2- Desgastes de los <u>sprockets</u> | X | | | X | | X | | X | |
| 3- Desgaste de los tacos de arrastre | X | | | X | | X | | X | |
| 4- Atascamiento de los tacos de arrastre | X | | | X | | X | | | X |
| 5-Rodamientos dañados | X | | | X | | X | | X | |
| 6- Falta de lubricación | X | | | X | X | | | X | |
| 7- Elemento elástico del acoplamiento deteriorado | X | | | X | | X | X | | |

Anexo 6. Análisis de los fallos (continuación).

| Carro de arrastre | | | | | | | | | |
|---|---------------------|----|----------------------|-------------|---------------------|----|---------------------|---------|---------------|
| Fallo | ¿Se puede detectar? | | Afectación | | ¿Se puede prevenir? | | Tareas planificadas | | Esperar fallo |
| | Si | No | Seg. Medio Ambiente. | Operacional | Si | No | Condic. | Cíclic. | |
| 8- Engranajes desgastados | X | | | X | | X | X | | |
| 9- Sellos de los cilindros dañados | X | | | X | | X | | | X |
| 10- Bobina dañada | X | | | X | | X | | | X |
| 11- Electroválvula atascada | X | | | X | X | | | X | |
| 12- Condensado en los acumuladores | X | | | X | X | | | X | |
| 13- Sistema de regulación con salideros | X | | | X | | X | | | X |
| 14- Rotura de las mangueras | X | | | X | | X | | | X |
| 15- Desajustes de los tornillos | X | | | X | X | | | | X |
| 16- Cadenas de ajustes y <u>sprockets</u> desgastados | X | | | X | X | | | X | |
| Cortadora | | | | | | | | | |
| Fallo | ¿Se puede detectar? | | Afectación | | ¿Se puede prevenir? | | Tareas planificadas | | Esperar fallo |
| | Si | No | Seg. Medio Ambiente. | Operacional | Si | No | Condic. | Cíclic. | |
| 1-Rotura del disco de corte | X | | | X | | X | | | X |

Anexo 6. Análisis de los fallos (continuación).

| Cortadora | | | | | | | | | |
|---|---------------------|----|----------------------|-------------|---------------------|----|---------------------|---------|---------------|
| Fallo | ¿Se puede detectar? | | Afectación | | ¿Se puede prevenir? | | Tareas planificadas | | Esperar fallo |
| | Si | No | Seg. Medio Ambiente. | Operacional | Si | No | Condic. | Cíclic. | |
| 2-Desajuste de los tornillo | X | | | X | X | | | X | |
| 3-Desajuste o flexión del eje | X | | | X | X | | | X | |
| 4-Rodamientos desgastados | X | | | X | | | X | | |
| 5-Rodamientos dañados | X | | | X | | X | X | | |
| 6-Engranés deteriorados | X | | | X | | X | | | X |
| 7-Falta de lubricación | X | | | X | X | | | X | |
| 8-Rotura de la correa | X | | | X | | X | X | | |
| 9-Sensor fuera de posición | X | | | X | | X | | | X |
| 10-Guías desalineadas | X | | | X | X | | X | | |
| 11-Rotura de sellos | X | | | X | X | | X | | |
| 12-Bobina dañada | X | | | X | | X | | | X |
| 13-Atascamiento en la electroválvula | X | | | X | X | | | X | |
| Volcador | | | | | | | | | |
| Fallo | ¿Se puede detectar? | | Afectación | | ¿Se puede prevenir? | | Tareas planificadas | | Esperar fallo |
| | Si | No | Seg. Medio Ambiente. | Operacional | Si | No | Condic. | Cíclic. | |
| 1-Deterioro de los tornillos de elevación | X | | | X | X | | | X | |

Anexo 6. Análisis de los fallos (continuación).

| Volcador | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|---------------------|----|----------------------|-------------|---------------------|----|---------------------|---------|---------------|
| Fallo | ¿Se puede detectar? | | Afectación | | ¿Se puede prevenir? | | Tareas planificadas | | Esperar fallo |
| | Si | No | Seg. Medio Ambiente. | Operacional | Si | No | Condic. | Cíclic. | |
| 2-Rotura de sellos | X | | | X | X | | X | | |
| 3-Bobina dañada | X | | | X | | X | | | X |
| 4-Atascamiento | X | | | X | X | | | X | |
| 5-Rotura de las mangueras | X | | | X | | X | | | X |
| 6-Sistema de regulación con salideros | X | | | X | | X | | | X |

Anexo 7. Selección del sistema de mantenimiento.

| Tanque de calibración | | | |
|---|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Fallos | Sistemas de mantenimiento | | |
| | Mantenimiento Correctivo | Mantenimiento Planificado | Mantenimiento Predictivo |
| 1- Obstrucción en las tuberías. | | X | |
| 2- Suciedad en los aspersores. | | X | |
| 3- Obstrucción en el filtro. | | | X |
| 4- Motor eléctrico dañado bombas de recirculación. | | X | |
| 5- Salidero por sello mecánico bombas de recirculación. | X | | |
| 6- Desgastes en el impelente. | | | X |
| 7- Rotura o desgaste en el calibrador. | | | X |
| 8- Rotura en el motor eléctrico bombas de vacío. | | X | |
| 9- Rotura en el sello mecánico bombas de vacío. | X | | |
| 10- Válvula de regulación de vacío dañada. | | | X |
| 11-Faltade hermeticidad en la junta de vacío. | | X | |
| 12-Rodamientos dañados del reductor de traslación. | | | X |
| 13- Dientes desgastados o fracturados | X | | |
| 14- Falta de lubricación | | X | |

Anexo 7. Selección del sistema de mantenimiento (continuación).

| Tanque de enfriamiento | | | |
|--|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Fallos | Sistemas de mantenimiento | | |
| | Mantenimiento Correctivo | Mantenimiento Planificado | Mantenimiento Predictivo |
| 1- Obstrucción en las tuberías | | X | |
| 2- Suciedad en los aspersores | | X | |
| 3- Obstrucción en los filtros | | | X |
| 4- Motor eléctrico dañado | | X | |
| 5- Salidero por sello mecánico | X | | |
| 6- Desgaste en el impelente | | | X |
| Máquina de marcado | | | |
| Fallos | Sistemas de mantenimiento | | |
| | Mantenimiento Correctivo | Mantenimiento Planificado | Mantenimiento Predictivo |
| 1- Rotura de la cremallera | X | | |
| 2- Falta de lubricación | | X | |
| 3- Rotura de las correas | | X | |
| 4- Rotura de los rodamientos | | X | |
| 5- Mala lubricación de los rodamientos | | X | |
| 6- Resistencia dañada | X | | |
| 7- Troqueles desgastados | X | | |
| 8- Sellos del cilindro dañados | X | | |
| 9- Bobina dañada | X | | |
| 10- Atascamiento en la electroválvula | | X | |

Anexo 7. Selección del sistema de mantenimiento (continuación).

| Máquina de marcado | | | |
|---|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Fallos | Sistemas de mantenimiento | | |
| | Mantenimiento Correctivo | Mantenimiento Planificado | Mantenimiento Predictivo |
| 11- Sello dañado | X | | |
| 12- Salidero en las mangueras | | | X |
| Carro de arrastre | | | |
| Fallos | Sistemas de mantenimiento | | |
| | Mantenimiento Correctivo | Mantenimiento Planificado | Mantenimiento Predictivo |
| 1- Rotura o desgaste de las cadenas | | X | |
| 2- Desgastes de los <u>sprockets</u> | | X | |
| 3- Desgaste de los tacos de arrastre | | X | |
| 4- Atascamiento de los tacos de arrastre | | | X |
| 5-Rodamientos dañados | | X | |
| 6- Falta de lubricación | | X | |
| 7- Elemento elástico del acoplamiento deteriorado | | | X |
| 8- Engranajes desgastados | | | X |
| 9- Sellos de los cilindros dañados | X | | |
| 10- Bobina dañada | X | | |
| 11- Electroválvula atascada | | X | |

Anexo 7. Selección del sistema de mantenimiento (continuación).

| Carro de arrastre | | | |
|---|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Fallos | Sistemas de mantenimiento | | |
| | Mantenimiento Correctivo | Mantenimiento Planificado | Mantenimiento Predictivo |
| 12- Condensado en los acumuladores | | X | |
| 13- Sistema de regulación con salideros | X | | |
| 14- Rotura de las mangueras | X | | |
| 15- Desajustes de los tornillos | X | | |
| 16- Cadenas de ajustes y <u>sprockets</u> desgastados | | X | |
| Cortadora | | | |
| Fallos | Sistemas de mantenimiento | | |
| | Mantenimiento Correctivo | Mantenimiento Planificado | Mantenimiento Predictivo |
| 1-Rotura del disco de corte | X | | |
| 2-Desajuste de los tornillo | | X | |
| 3-Desajuste o flexión del eje | | X | |
| 4-Rodamientos desgastados | | | X |
| 5-Rodamientos dañados | | | X |
| 6-Engranajes deteriorados | X | | |
| 7-Falta de lubricación | | X | |
| 8-Rotura de la correa | | | X |
| 9-Sensor fuera de posición | X | | |
| 10-Guías desalineadas | | | X |

Anexo 7. Selección del sistema de mantenimiento (continuación).

| Cortadora | | | |
|---|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Fallos | Sistemas de mantenimiento | | |
| | Mantenimiento Correctivo | Mantenimiento Planificado | Mantenimiento Predictivo |
| 11-Rotura de sellos | | | X |
| 12-Bobina dañada | X | | |
| 13-Atascamiento en la electroválvula | | X | |
| Volcador | | | |
| Fallos | Sistemas de mantenimiento | | |
| | Mantenimiento Correctivo | Mantenimiento Planificado | Mantenimiento Predictivo |
| 1-Deterioro de los tornillos de elevación | | X | |
| 2-Rotura de sellos | | | X |
| 3-Bobina dañada | X | | |
| 4-Atascamiento | | X | |
| 5-Rotura de las mangueras | X | | |
| 6-Sistema de regulación con salideros | X | | |