

PROCEDIMIENTO PARA LA GESTIÓN DE LA CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS EN FÁBRICAS DE TRANSFORMACIÓN DEL PLÁSTICO. APLICACIÓN EN HOLPLAST

TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN
AL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL

Autora: Amelia Adela Cereijo Arias
Tutora: MSc. Márian Pérez Pérez

HOLGUÍN 2019



PENSAMIENTO

“...Para triunfar en la vida no es importante llegar primero; la esencia está en llegar y saber levantarse cada vez que caemos en el camino...”

Amelia Cereijo Arias

DEDICATORIA

A ti buli, por tu apoyo y sacrificio incondicional, que has puesto toda tu fe en mí.

A mi madre, por ayudarme en todos los años de mi vida.

A mis tíos, que son mi figura paterna.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a Dios por ayudarme a lograr las cosas que me he propuesto en la vida. Y a él le doy gracias por la familia que tengo y que me han apoyado siempre, en especial a mi abuela (buli), por ser mi apoyo y estar conmigo en todos los momentos de mi vida por ser para mí como mi mami porque realmente nunca podré enumerar qué lugar ocupa en mi corazón. A mi mami que ha estado a mi lado y con su carácter bien fuerte me ayudó a ser la mujer que soy hoy. A mis tíos Enrique y Ale que han sido mis papas en todos los años. A Yani por ser una tía de apoyo incondicional. Le agradezco a mis tres amigas Betsy, Jessica y Yaimi por haber estado siempre junto a mí, demostrando que la amistad cuando es verdadera se convierte en familia.

Le agradezco a mi novio Iván por su apoyo y paciencia conmigo. A mi profesora Marian que me ha ayudado más de lo que correspondía y a los demás profes que hicieron esta tesis posible. Quiero agradecer de forma general a mi familia y amistades por ayudarme siempre.

A todos de corazón por confiar en mí y apoyarme en todo momento

GRACIAS.

RESUMEN

En la actualidad existen diferentes enfoques del mantenimiento con los cuales se han logrado muy buenos resultados a nivel mundial, ejemplo de esto es el Sistema Alterno de Mantenimiento, el cual constituye un método avanzado de gestión, que con una correcta implementación garantiza la eficiencia y eficacia del mantenimiento. Basado en un análisis previo de sistemas, resulta conveniente definir los niveles de criticidad de los diferentes equipos, de los que consta cada sistema. Es por ello que se impone la necesidad de desarrollar una metodología para el análisis de la criticidad para ser aplicada en diferentes instalaciones, que incluye la obtención de una expresión matemática y que, basada en ciertos criterios de evaluación, analice la criticidad particular en cada caso sometido a este proceso. La presente investigación tiene como objetivo implementar un procedimiento para la gestión de la criticidad en la línea uno de producción de la empresa HOLPLAST, basado en métodos tradicionales de clasificación, con el fin de realizar el análisis de sistemas y el estudio de criticidad de forma personalizada. Se muestran los resultados de la expresión matemática obtenida en cada caso y su validación. La aplicación de esta metodología ha permitido direccionar los recursos de mantenimiento hacia los subsistemas de mayor criticidad, mejorando significativamente la relación costo-beneficio en esta actividad.

ABSTRAC

At present there are different maintenance approaches with which have achieved very good results worldwide, example of this is the Alternate Maintenance System, which is an advanced method of management, which with proper implementation ensures efficiency and effectiveness of maintenance. Based on a previous analysis of systems, it is convenient to define the criticality levels of the different equipment, of which each system consists. That is why the need to develop a methodology for the analysis of criticality to be applied in different facilities is imposed, which includes obtaining a mathematical expression and that, based on certain evaluation criteria, analyze the particular criticality in each case submitted to this process. The objective of this research is to implement a procedure for the management of criticality in line one of production of the company HOLPLAST, based on traditional methods of classification, in order to carry out the analysis of systems and the study of criticality in a personalized way. The results of the mathematical expression obtained in each case and its validation are shown. The application of this methodology has allowed to direct the maintenance resources towards the subsystems of greater criticality, significantly improving the cost-benefit ratio in this activity.

ÍNDICE	
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL DE LA INVESTIGACIÓN SOBRE LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL	7
1.1. Generalidades del mantenimiento	7
1.2. Confiabilidad Operacional	10
1.3. Análisis de Criticidad	13
1.3.1. Análisis de los procedimientos de criticidad. Selección del más adecuado para fábricas de transformación de plásticos.	14
1.3.2. Descripción del procedimiento de Orrego Barrera, 2018	18
1.4. Análisis de fallas. Definición y generalidades	22
1.4.1. Causas generales de los fallos	23
1.4.2. Criterios de clasificación y consecuencias de los fallos	24
1.5. Mantenimiento en HOLPLAST	25
1.6. Conclusiones parciales	27
CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO PARA LA GESTIÓN DE LA CRITICIDAD EN EMPRESAS DE TRANSFORMACIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS. APLICACIÓN EN LA LÍNEA UNO DE EXTRUSIÓN DE PEAD EN LA EMPRESA HOLPLAST	29
2.1 . Procedimiento para la gestión de la criticidad de los equipos en fábricas de transformación del plástico	29
Etapa 1. Preparación inicial	30
Etapa 2. Análisis de criticidad	32
Etapa 3. Planificación según el análisis de criticidad	35
Etapa 4. Ejecución y control del mantenimiento	37
Etapa Transversal de Formación y Control	39
2.2. Valoración del procedimiento propuesto empleando el método de Delphi.	40
2.3. Aplicación del procedimiento propuesto para la gestión de la criticidad de la línea uno en la Fábrica HOLPLAST de Holguín	42
Etapa 1. Preparación inicial	42
Etapa 2. Análisis de criticidad	45
Etapa 3. Planificación según el análisis de criticidad	50
Etapa 4: Ejecución y control del mantenimiento	52
Etapa Transversal de Formación y comunicación	54
2.4. Conclusiones parciales del capítulo	55
VALORACIÓN DEL IMPACTO ECONÓMICO, SOCIAL Y MEDIOAMBIENTAL	56

CONCLUSIONES..... 57
RECOMENDACIONES..... 58
BIBLIOGRAFÍA 59
ANEXOS 62

INTRODUCCIÓN

La integración regional y el mundo sin fronteras, imponen a las empresas latinoamericanas una urgencia para alcanzar los niveles de competitividad de clase mundial. Por ello, es importante aplicar en el área de mantenimiento la excelencia gerencial y empresarial como práctica sistemática e integral que busque el mejoramiento constante de los resultados, utilizando todos los recursos disponibles al menor costo, teniendo presente que cada empresa y sus sistemas se encuentren en un nivel diferente de desarrollo.

Ya no es suficiente con pensar en el tipo de instalación o en las características del equipo a tratar si se piensa en optimizar, pues es necesario tener en cuenta toda una serie de factores, como el costo de una parada de producción, su influencia en la seguridad, el costo de una reparación, su importancia dentro del flujo productivo, su complejidad técnica, entre otras, que van a determinar las tareas de mantenimiento más convenientes para cada equipo.

En esencia, el mantenimiento del sistema debe tratarse con una base comparable a la del rendimiento del mismo, si verdaderamente se van a satisfacer las necesidades del entorno actual. Debe apreciarse como protagonista ya que puede, incluso, considerarse el centro neurálgico de un entorno que se dirige hacia la meta de la competitividad. Ante la necesidad de mejorar la eficiencia de explotación de una instalación industrial, la optimización del plan de mantenimiento puede ser una importante vía para lograr dicho objetivo.

La experiencia indica que muchos servicios de mantenimiento funcionan con resultados inciertos y a un alto costo resultante, incluyendo no solo el dinero invertido, sino también el esfuerzo del personal, horas extras realizadas en forma habitual, mayor cantidad de materiales y repuestos; en definitiva, la falta de objetivos estables, claros y conocidos, encarece la gestión del área.

El mantenimiento es un proceso con potencialidades para influir positivamente en la competitividad de las empresas cuya importancia se basa, principalmente, en el deterioro de los equipos industriales y de las consecuencias que de este se derivan. Debido al alto costo que supone este deterioro para las empresas, es necesario aumentar la fiabilidad y la seguridad de los equipos así como de las personas.

El incremento de la demanda en nuestro país de objetos, piezas y componentes plásticos, origina la creciente necesidad de crear empresas para la transformación de estos materiales. Es así que surgen las fábricas de transformación de plásticos para la producción de tuberías de Polietilenos de Alta Densidad (PEAD). Estas fábricas requieren la implementación de acciones que contribuyan a la gestión del mantenimiento como tarea de primer orden, pues es uno de los elementos impactantes en sus resultados debido a la influencia directa sobre los tiempos muertos para el área de producción, la entrega oportuna y con calidad a los clientes y la reducción de los costos asociados a los trabajos e inventarios de repuestos.

Por lo anterior, no se concibe una industria moderna, sobre todo en el ámbito de las fábricas transformadoras del plástico, que no posea una correcta gestión de mantenimiento, sencillamente porque de esta actividad depende la funcionalidad, disponibilidad y conservación de su estructura productiva, significando un incremento importante de la vida útil de los equipos y de sus prestaciones (Acosta Palmer, 2013).

En los últimos años, se aprecia un significativo interés por optimizar las actividades de mantenimiento que se desarrollan en las instalaciones industriales. Para gestionar de manera eficiente el mantenimiento en una entidad, es importante realizar el análisis de criticidad del equipamiento, el cual tiene como objetivo principal la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional. En consecuencia, el término análisis de criticidad se utiliza con el fin de facilitar la toma de decisiones en la realización de todas las tareas de mantenimiento de la industria. Posiblemente es parte de un movimiento más amplio de la sociedad para la conformación de un mundo más productivo y menos derrochador.

En el país existen tres empresas de fabricación de tuberías plásticas de PEAD, una en la región occidental, otra en el centro y la tercera en la ciudad de Holguín, en todas se emplea 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, con el objetivo de encaminar su producción hacia los sistemas de acueductos y alcantarillados del país, sobre todo en la región oriental.

Su actividad fundamental está encaminada a producir y comercializar tubos y conexiones de polietileno de alta densidad para la conducción de agua de manera segura, confiable, eficaz y eficiente mediante el mejoramiento continuo de su desempeño para que sean satisfechas las necesidades y expectativas de los clientes internos y externos. Para ello cuenta con tres líneas de producción para la fabricación de tuberías de diámetros desde 16 hasta 110 mm; de 90 hasta 350 mm y otra de 400 hasta 1000 mm con capacidad para procesar 950, 450 y 100 kg/h con la utilización de PEAD como materia prima, así como un taller de conexiones para las tuberías (Batista, D. A., y Leyva, Y. C., 2017).

Debido a la importancia que representa HOLPLAST para la provincia y para la región oriental, ya que es la encargada de abastecer la demanda de tuberías y conexiones de polietileno de alta densidad (PEAD) para la construcción y mantenimiento de sistemas de acueductos y alcantarillados, se realizó un diagnóstico a la gestión de la calidad del mantenimiento donde fue posible analizar cada una de las áreas de este proceso que están vinculadas con esta actividad en la empresa. Se pudo determinar que el área que específicamente se encuentra afectada es la de ingeniería del mantenimiento. Además, mediante el análisis de un estudio realizado por el Ministerio de Industrias para proponer lo que sería la “Política de Mantenimiento en Cuba” (Acosta Palmer, 2013), fue posible identificar los principales problemas que afectaban directamente a HOLPLAST (representados por las siglas que aparecen entre paréntesis al final de cada problema):

1. El proceso de importación de medios y piezas de repuesto, es lento y engorroso (DMP).
2. La política de mantenimiento tiene un enfoque general y no refleja su misión en cada uno de los procesos (PM).
3. Inestabilidad de suministros (IS).
4. La programación del mantenimiento se planifica, pero no se realiza hasta que la producción se detiene por otras causas (PMNEOC).
5. Insuficiente análisis científico en cuanto a la gestión del mantenimiento se refiere (IAC).
6. La planificación de recursos es deficiente y tiende a elaborarse básicamente por experiencia y no por las necesidades del plan de mantenimiento (PR).

7. Deficiente inventario de riesgos de fallos en los equipos asociados al mantenimiento (IR).

8. Los técnicos de calidad no controlan el trabajo de mantenimiento (TC).

En base a lo anterior y para definir el problema clave en este trabajo, se aplicó el método MIC-MAC (Matriz de Impactos Cruzados – Multiplicación Aplicada a una Clasificación) fundamentado en un programa que tiene por objeto ayudar en un estudio de análisis estructural que permite, a partir de una lista de variables y una matriz que representa las influencias directas entre éstas, extraer e identificar las variables claves con la ayuda de cuadros y gráficos mediante los cuales se modeliza el problema a abordar (Escobar Quijano & Franco Fernández, 2005). A continuación, se identificaron los riesgos más influyentes o motrices y menos dependientes, iniciándose con la construcción de la matriz de influencias directas mediante el trabajo con expertos; luego se calculó la matriz de influencia indirecta, así como su respectivo plano factorial representado en la figura 1.

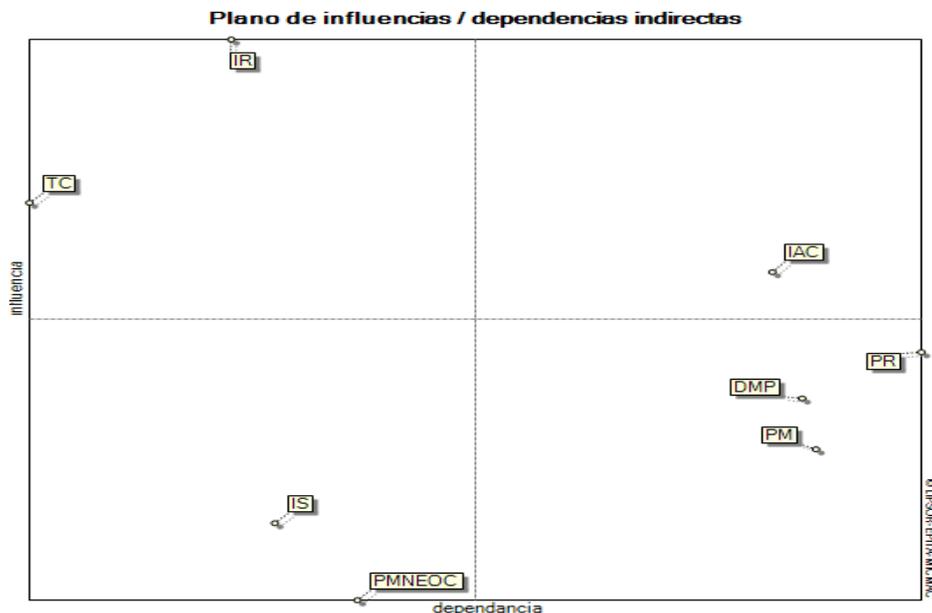


Figura 1. Plano de influencia / dependencia indirectas

Como riesgos más influyentes, se determinaron los siguientes (aparecen en el primer cuadrante):

- ❖ Deficiente inventario de riesgos de fallos en los equipos asociados al mantenimiento (IR).
- ❖ Los técnicos de calidad no controlan el trabajo de mantenimiento (TC).

Lo anterior corrobora el resultado del diagnóstico realizado en la empresa: el mantenimiento en la industria cubana carece de una política que asegure el buen estado técnico de las instalaciones industriales; una parte de las deficiencias corresponden a que los técnicos de calidad no controlan el trabajo de mantenimiento y el mayor peso de estas, está relacionado con la ausencia de un inventario de riesgo actualizado que esté asociados al mantenimiento. Una vez analizados los resultados del Mic-Mac, se pudo determinar que de los 8 problemas existentes el que más influye en la gestión del mantenimiento es la no existencia de un inventario de riesgos totalmente actualizado.

En la empresa HOLPLAST es necesario realizar un análisis de criticidad del equipamiento productivo teniendo en cuenta múltiples criterios, los cuales son importantes a la hora de establecer prioridades para la toma de decisiones en el mantenimiento. Esto constituye, en síntesis, la situación problemática que fundamentó la presente investigación. Además, cabe señalar que se han desarrollado diferentes trabajos académicos y científicos que contribuyen al cumplimiento de los objetivos estratégicos en la fábrica de tubos HOLPLAST, sin embargo no existe ningún trabajo relacionado con el análisis de criticidad del mantenimiento en las líneas de producción, lo que avala la novedad de este trabajo.

Problema de la investigación: Necesidad de realizar un análisis de criticidad en la línea uno de extrusión en la fábrica de tubos HOLPLAST para disminuir el riesgo de fallo de los equipos.

Constituye el **objeto de estudio**, la confiabilidad operacional en el mantenimiento.

Objetivo general: Desarrollar un procedimiento para la gestión de la criticidad en la fábrica de tubos HOLPLAST.

Objetivos específicos:

1. Elaborar el marco teórico referencial – práctico, acerca de la confiabilidad operacional en el mantenimiento, específicamente en el análisis de criticidad en fábricas de transformación del plástico.
2. Diseñar un procedimiento para la gestión de la criticidad que permita jerarquizar los equipos de producción.
3. Aplicar el procedimiento propuesto en la línea de extrusión uno de HOLPLAST.

Campo de acción: el análisis de criticidad en la línea uno de producción en la empresa de tubos plásticos de Holguín.

Idea a defender: la aplicación de un procedimiento para la gestión de la criticidad en la línea uno de HOLPLAST, contribuye a disminuir los riesgos por fallas en los equipos.

Métodos Teóricos:

El análisis y síntesis de la información obtenida a partir de la revisión de la literatura, tanto internacional como nacional, de la documentación especializada así como de la experiencia de especialistas y trabajadores consultados para desarrollar el diagnóstico de los riesgos, llegando a establecer las pautas necesarias para el desarrollo del procedimiento a emplear.

Métodos Empíricos:

Entrevistas, observación directa, revisión de documentos, la consulta o criterio de expertos para alcanzar consenso, trabajo en grupo (tormenta de ideas y dinámica de grupo), método Delphi, así como la utilización de técnicas para el procesamiento de la información y las herramientas del paquete de Microsoft Office.

Estructura de la investigación:

La investigación queda estructurada en dos capítulos: un primer capítulo que contiene el marco teórico referencial que sustentó el estudio realizado y que permite sintetizar los antecedentes teóricos encontrados sobre el tema objeto de estudio así como los principales conceptos y enfoques utilizados para la determinación del análisis de criticidad de fallos; un capítulo dos que hace referencia a la aplicación del procedimiento para la gestión de la criticidad. Finalmente, el trabajo brinda un conjunto de conclusiones y recomendaciones específicas obtenidas de la investigación realizada, así como la bibliografía que fue consultada y anexos de necesaria inclusión para facilitar y comprender los resultados obtenidos en el cuerpo del documento.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL DE LA INVESTIGACIÓN SOBRE LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL

En el presente capítulo se realiza un análisis de los aspectos fundamentales que permiten la comprensión de la investigación. En este se abordan de forma sintetizada, los principales conceptos y definiciones relacionados con la confiabilidad operacional en el mantenimiento, partiendo de la información actualizada tanto nacional como internacional proveniente de autores de relevancia respecto al tema. Para el desarrollo del marco teórico-referencial, se siguió el hilo conductor que se muestra en la figura 2.

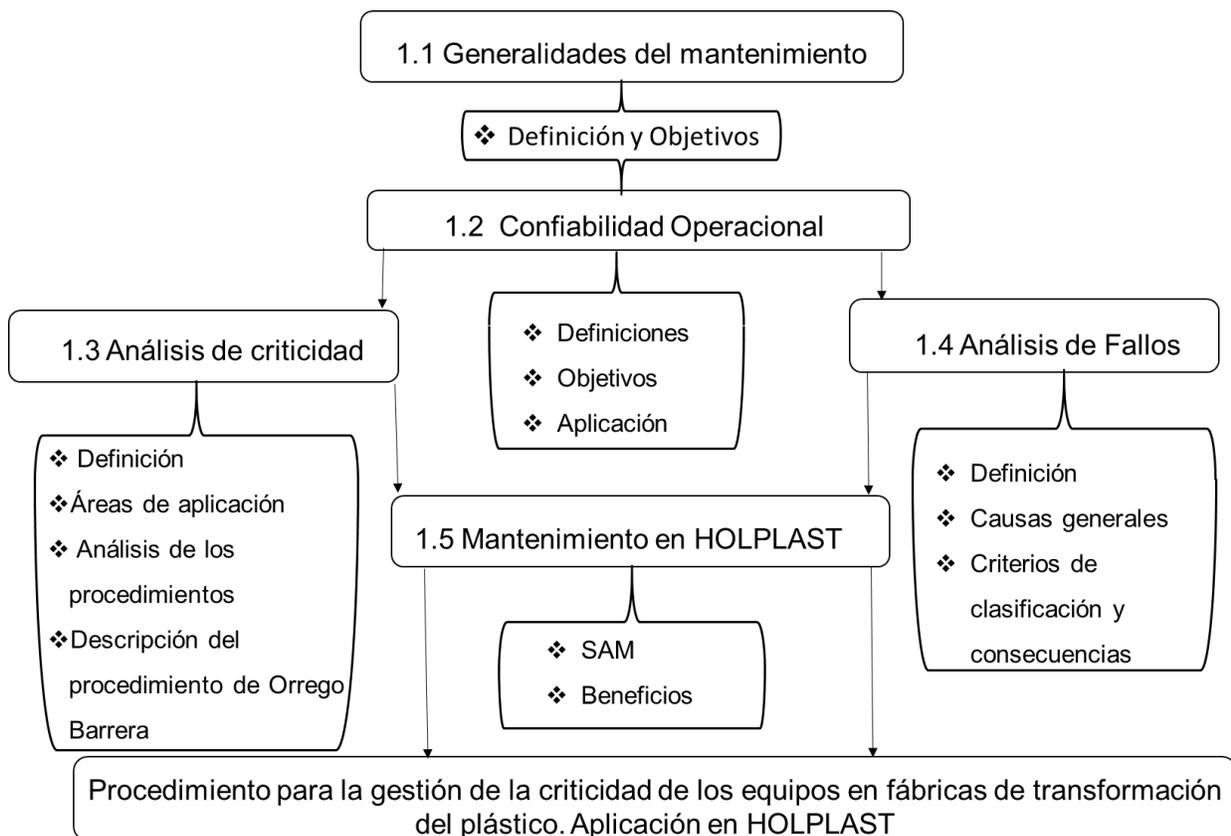


Figura 2. Estrategia seguida para la elaboración de los antecedentes y el estado actual de la temática.

1.1. Generalidades del mantenimiento

En la literatura consultada, la palabra mantenimiento hace alusión a aquella actividad a partir de la cual es posible mantener un producto, una máquina, un equipo, entre otros, para que el mismo funcione del modo correcto o, en su defecto, la que permite practicarles a algunos de estos una reparación en caso que así lo demanden, para que

pueda recuperar su funcionamiento tradicional. Según García Garrido (2012), el objetivo fundamental de esta actividad no es reparar urgentemente las averías que surjan, sino que debe dirigir su trabajo a:

- ❖ Cumplir un valor determinado de disponibilidad,
- ❖ cumplir un valor determinado de fiabilidad,
- ❖ asegurar una larga vida útil de la instalación en su conjunto, al menos acorde con el plazo de amortización de la planta,
- ❖ conseguir todo ello ajustándose a un presupuesto dado, normalmente el presupuesto óptimo de mantenimiento para esa instalación.

El mantenimiento es, además, una disciplina integradora que ha tenido un desarrollo progresivo en la industria y es el encargado de garantizar la disponibilidad del equipamiento en la empresa a un costo mínimo. No se concibe una industria moderna sin una correcta política de mantenimiento, sencillamente porque de esta acción depende la funcionalidad, disponibilidad y conservación de su estructura productiva, significando un incremento importante de la vida útil de los equipos y de sus prestaciones (Acosta Palmer, 2013). Esta es la razón por la que en el mantenimiento se desarrollan técnicas y métodos para la detección, control y ejecución de actividades que garanticen el buen desempeño de la maquinaria.

En la última década, las estrictas normas de calidad certificadas que se deben cumplir así como la intensa presión competitiva entre industrias del mismo rubro para mantenerse en el mercado nacional e internacional, han motivado 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, a asegurar los niveles de producción. Es necesario hacer notar que la actividad de “mantener”, si es llevada a cabo de la mejor manera, puede generar un buen producto lo que significa una producción de excelente calidad, en mayor cantidad y con bajos costos (Aldana, 2014). Además, según un artículo publicado y avalado por [Creative Commons Attribution/Share Alike](#)¹ de Estados Unidos (2014), el mantenimiento es definido como “el

¹ [Creative Commons Attribution/Share Alike](#) es una organización sin fines de lucro dedicada a promover el acceso y el intercambio de cultura. Desarrolla un conjunto de instrumentos jurídicos de carácter gratuito

conjunto de operaciones para que un equipamiento reúna las condiciones para el propósito que fue construido”.

En 2015 De La Paz Martínez, planteó que el mantenimiento es la integración de las acciones técnicas, organizativas y económicas encaminadas a conservar o restablecer el buen estado de los activos, a partir de la observancia y reducción de su desgaste y con el fin de alargar su vida útil económica, con una mayor disponibilidad y confiabilidad para cumplir con calidad y eficiencia sus funciones, conservando el ambiente y la seguridad durante su ciclo de vida. A partir de los conceptos propuestos respecto al tema, la autora de la presente investigación coincide con De la Paz Martínez (2015), quien en su definición del mantenimiento tiene en cuenta tanto la seguridad del personal de mantenimiento como la protección ambiental, aspectos que están muy vinculados en el análisis conceptual de los últimos años.

La gestión² del mantenimiento tiene como fin planificar, organizar, dirigir y controlar las actividades necesarias para obtener y conservar un apropiado costo del ciclo de vida de los activos para así obtener unas ventajas competitivas adecuadas, tratando de asegurar la competitividad de la empresa para que logre sus objetivos; por esto se afirma que “...una adecuada gestión del mantenimiento en el marco de un desarrollo tecnológico creciente y de una política de personal orientada hacia la calidad, ayuda a mejorar la productividad bajo la forma de un incremento en la rentabilidad” (Torres García, 2005 & Velázquez Pérez, 2014; Pérez Pérez, 2016). Al respecto, Fuentes del Olmo & Hernández (1999) citado por Borroto Pentón (2005) y Pérez Pérez, 2016, plantean que “...algunos análisis sobre la efectividad de la gestión del mantenimiento indican que un tercio de todos los costos de mantenimiento se deben a una mala gestión”.

El objetivo básico de cualquier gestión del mantenimiento, consiste en incrementar la disponibilidad de los activos tangibles³, a bajos costos, partiendo de la ejecución y permitiendo que dichos activos funcionen de forma eficiente y confiable dentro de un contexto operacional. En otras palabras, el mantenimiento debe asegurar que los activos

que facilitan usar y compartir tanto la creatividad como el conocimiento. Su sede central se encuentra en Mountain View, en California. Wikipedia, 2018.

https://es.wikipedia.org/wiki/Creative_Commons).

² Gestión: Para fines de este estudio el vocablo gestión tiene el mismo significado que el vocablo administración.

³ Activos tangibles: término que está relacionado con la presencia física o material de los activos.

continúen cumpliendo las funciones para las cuales fueron diseñadas, es decir, debe de estar centrado en la Confiabilidad Operacional.

1.2. Confiabilidad Operacional

La Confiabilidad Operacional (CO) es una de las más recientes estrategias que generan grandes beneficios a quienes la han aplicado; se basa en los análisis estadísticos y en los estudios de condición, orientados a mantener la confiabilidad de los equipos, con la activa participación del personal de la empresa. Un programa de Confiabilidad Operacional es una mezcla única de soluciones técnicas, pensamientos estructurados, motivación de trabajadores y desarrollo organizacional, todo avalado por experiencias probadas a través de datos e informaciones creíbles y demostrables en la práctica internacional. Además, se define como una cadena de técnicas de mejora continua, que introducen métodos de análisis y nuevas tecnologías, con el propósito de perfeccionar el servicio, planeación, ejecución y control de la producción (de bienes o servicios) (Espinosa, 2011).

Según Alfonso Llanes (2009), el análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, al crear una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, que dirige el esfuerzo y los recursos hacia las áreas donde sea más importante y/o necesario, mejorar la confiabilidad operacional. Es importante puntualizar que en un programa de optimización de la confiabilidad operacional de un sistema, es necesario el análisis de los siguientes parámetros operacionales: confiabilidad humana, confiabilidad de los procesos, mantenibilidad y confiabilidad de los equipos (figura 3), los cuales interactúan de forma óptima para obtener un mejoramiento duradero y a largo plazo. A continuación, se describen cada uno de estos parámetros:

Confiabilidad de proceso: se asocia con el correcto desempeño de los procedimientos para la obtención de los parámetros establecidos a manera de respetar las condiciones implantadas (Arata, 2009).

Confiabilidad de equipo: o también conocida como confiabilidad de los suministros, se refiere a la integración entre los distintos procesos o unidades internas como operación, abastecimiento y desarrollo para contar con el suministro cuando sea requerido (Arata, 2009).

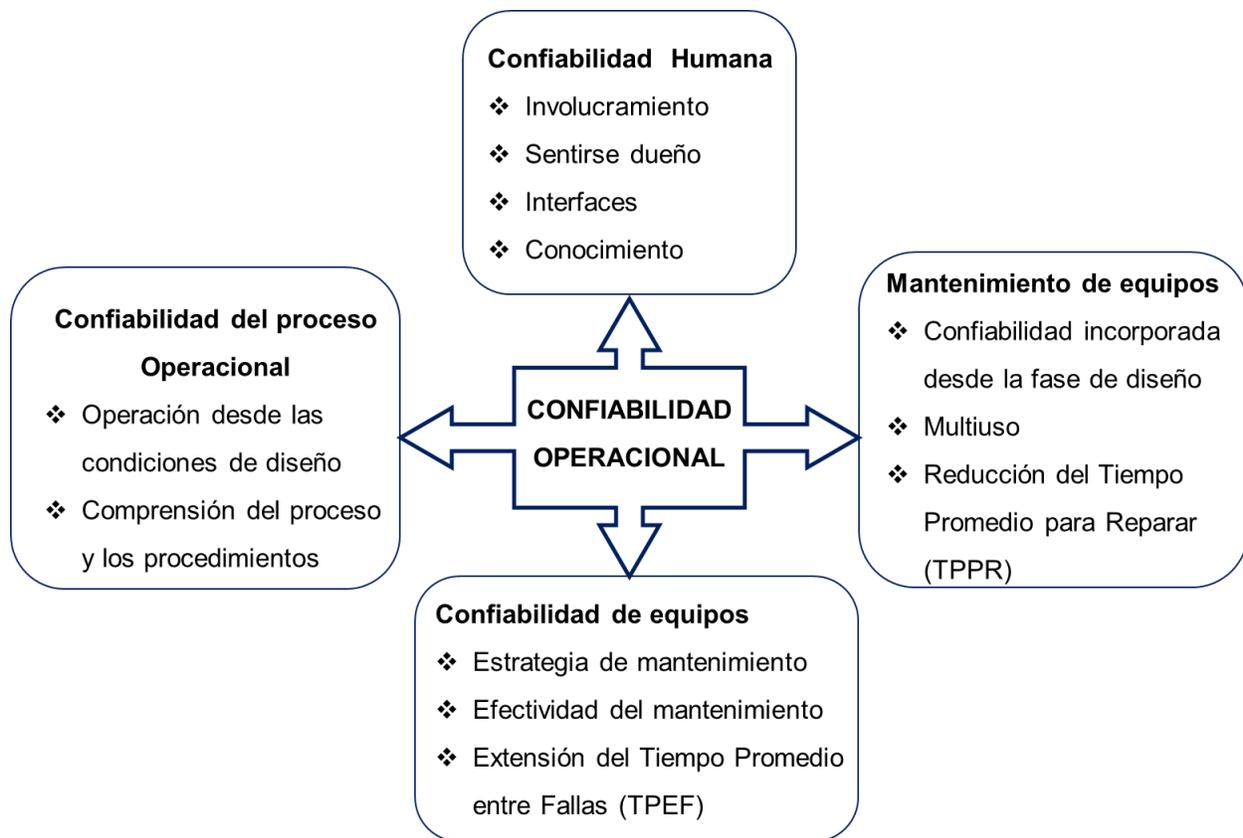


Figura 3. Sistema de confiabilidad operacional

Confiabilidad humana: se relaciona con el involucramiento, compromiso y competencias de que disponen las personas con las actividades que les corresponde realizar y la estructura organizacional para lograrlo (Arata, 2009).

Mantenibilidad: conjunto de acciones destinadas a mantener o reacondicionar un componente, equipo o sistema, en un estado en el cual sus funciones pueden ser cumplidas, entendiendo como función cualquier actividad que un componente, equipo o sistema desempeñan bajo el punto de vista operacional (Arata 2009).

La variación, en conjunto o individual, que puedan sufrir cada uno de los cuatro parámetros presentados, afectará el comportamiento global de la confiabilidad operacional de un determinado sistema.

Para la ejecución de un programa de CO, es necesario establecer una estrategia que permita la creación de un terreno clave para el éxito. Podemos mencionar los siguientes aspectos:

- ❖ Evaluación de la situación en cuanto a tipo de equipos, modos de fallos relevantes, ingresos y costos, entorno organizacional, síntomas percibidos, posibles causas y toma de decisiones,
- ❖ diseño de ruta: para visualizar la secuencia de metodologías que mejor se adapten a las situaciones,
- ❖ priorización de iniciativas con el propósito de estimar el impacto potencial de cada una de ellas visualizando el valor agregado y
- ❖ definición de proyectos identificando actores, nivel de conocimientos, anclas, combinación de metodologías y pericias.

La Confiabilidad Operacional se aplica sustancialmente en los casos relacionados con:

- ❖ Elaboración/Revisión de los planes de mantenimiento e inspección en equipos estáticos y dinámicos,
- ❖ establecer el alcance y la frecuencia óptima de paradas de plantas,
- ❖ solución de problemas recurrentes en equipos e instalaciones que afectan los costos y la confiabilidad de las operaciones,
- ❖ establecer procedimientos operacionales y prácticas de trabajo seguro y
- ❖ determinación de las tareas que permitan minimizar los riesgos en los procesos, instalaciones, equipos y el ambiente.

Constituye este, el caso que se tendrá presente mediante el desarrollo de la presente investigación con la finalidad de disminuir los riesgos reales en los equipos que son objeto de estudio dentro de la empresa.

Cuando una organización decide implementar un programa de mejora de la confiabilidad operacional, suele encontrarse con el dilema de disponer de una gran cantidad de activos, subsistemas y sistemas por examinar y un volumen de recursos limitado para llevar a cabo la compleja tarea. Por tanto, resulta sumamente saludable implementar algún procedimiento que permita establecer un orden que indique cuáles serán los activos a incluir primero en el programa, los que se incorporarán después y cuáles no se incorporarán, dado que no valga la pena hacerlo porque con las tareas de mantenimiento actuales sea más que suficiente. El primer paso para llevar a cabo un plan de mejora de la CO y poder aplicar uno de sus métodos de calidad es realizar un análisis de criticidad.

1.3. Análisis de Criticidad

Según varios autores (De la Paz Martínez, 1996; Borroto Pentón, 2005; Alfonso Llanes, 2009), el análisis de criticidad es un proceso mediante el cual se realiza la clasificación del equipamiento según su nivel de importancia. Constituye un procedimiento que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario, mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual⁴.

El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable.

Elementos a tener en cuenta en el análisis de criticidad

1. ¿Cuándo se debe aplicar un análisis de criticidad?

Un análisis de criticidad tiene su máxima aplicabilidad cuando se han identificado al menos una de las siguientes necesidades:

- ❖ Fijar prioridades en sistemas complejos,
- ❖ administrar recursos escasos,
- ❖ crear valor,
- ❖ determinar impacto en el negocio y
- ❖ aplicar metodologías de confiabilidad operacional.

2. ¿Cuáles serán las áreas de aplicación?

El análisis de criticidad se aplica en cualquier conjunto de procesos, plantas, sistemas, equipos y/o componentes que requieran ser jerarquizados en función de su impacto en el proceso o negocio donde formen parte. Sus áreas comunes de aplicación se orientan a establecer programas de implantación y prioridades en los siguientes campos:

- ❖ En el ámbito del mantenimiento: al tener plenamente establecido cuales sistemas son más críticos, se podrá establecer de una manera más eficiente la priorización de los programas y planes de mantenimiento de tipo predictivo, preventivo, correctivo y detectivo e inclusive posibles rediseños al nivel de procedimientos y modificaciones

⁴ 2019 Reliabilityweb.com

menores; además, se puede establecer la prioridad para la programación y ejecución de órdenes de trabajo.

- ❖ En el ámbito de la inspección: el estudio de criticidad facilita y centraliza la implantación de un programa de inspección, dado que la lista jerarquizada indica donde vale la pena realizar inspecciones y ayuda en los criterios de selección de los intervalos y tipo de inspección requerida para sistemas de protección y control (presión, temperatura, nivel, velocidad, espesores, flujo, etc.), así como para equipos dinámicos, estáticos y estructurales.
- ❖ En el ámbito de los materiales: la criticidad de los sistemas ayuda a tomar decisiones más acertadas sobre el nivel de equipos y piezas de repuesto que deben existir en el almacén central, así como los requerimientos de partes, componentes, materiales y herramientas que deben estar disponibles en los almacenes de la planta, es decir, podemos sincerar el stock de materiales y repuestos de cada sistema y/o equipo, logrando un costo óptimo de inventario.
- ❖ En el ámbito de la disponibilidad de planta: los datos de criticidad permiten una orientación certera en la ejecución de proyectos, dado que es el mejor punto de partida para realizar estudios de inversión de capital y renovaciones en los procesos, sistemas o equipos de una instalación, basados en el área de mayor impacto total, que será aquella con un alto nivel de criticidad.
- ❖ A nivel del personal: un buen estudio de criticidad permite potenciar el adiestramiento y desarrollo de habilidades en el personal, dado que se puede diseñar un plan de formación técnica, artesanal y de crecimiento personal, basado en las necesidades reales de la instalación tomando en cuenta las áreas más críticas, que es donde se concentra las mejores oportunidades iniciales de mejora y de agregar el máximo valor.

1.3.1. Análisis de los procedimientos de criticidad. Selección del más adecuado para fábricas de transformación de plásticos.

Los procedimientos de análisis de criticidad son herramientas que permiten identificar y jerarquizar, por su importancia, los activos de una instalación sobre los cuales vale la pena dirigir recursos. En otras palabras, el proceso de análisis de criticidad ayuda a determinar la importancia y las consecuencias de los eventos potenciales de fallos de los sistemas de producción dentro del contexto operacional en el cual se desempeñan.

Para determinar cuál es el procedimiento más adecuado para desarrollar la investigación, es necesario analizar un determinado grupo de autores que han desarrollado investigaciones en cuanto a criticidad se refiere. Para ello se elaboró la tabla 1 con los principales aportes que brinda cada uno de ellos.

Tabla 1. Análisis de la definición de criticidad por autores.

Autores	Año	Principales aportes
Fernández Campuzano (Huerta)	2008	Con los datos recopilados se obtiene una lista jerarquizada del equipamiento productivo. Teniendo en cuenta criterios como tiempo medio entre fallo, tiempo medio para la reparación y costo de reparación. Se describe posteriormente el modo de fallo de los equipos críticos. Finalmente, los resultados son representados en distintas matrices (una para cada criterio).
Paneque Leyva	2009	Establece la jerarquía en los subsistemas los cuales son ordenados de manera descendente en un gráfico de barra, agrupados en una escala de mayor, mediana y baja criticidad. Se logra recoger la mayor cantidad de afectaciones. Los resultados son representados en un gráfico de barras.
Quintero Castillo, et al.	2013	Se basa en la matriz de riesgo de la Norma API 581, y solo aplica a aquellos equipos sometidos a los mecanismos de deterioro como la corrosión. Gráficamente, esta metodología permite la ubicación del nivel de riesgo de los equipos analizados en una matriz de 5 x 5 que presenta cuatro niveles de clasificación de riesgo que son: riesgo bajo representado típicamente en color blanco o verde, riesgo medio presentado en amarillo, riesgo medio – alto graficado en naranja y alto riesgo mostrado en rojo.
Morocho y Moisés (NORSOK Z-008)	2014	El propósito del estándar NORSOK Z-008, es establecer las criticidades de los componentes de un sistema de producción; dentro de la misma norma incluye un procedimiento para la optimización de programas de mantenimiento para facilidades nuevas y en servicio, ubicadas en tierra y costa afuera, considerando los riesgos relacionados con personal, ambiente, pérdida de

		producción y costos económicos directos (todos los costos aparte de los costos de la pérdida de producción)
Morocho y Moisés (<u>Hazard Analysis Study HAZOP</u>)	2014	Para priorizar el mantenimiento de equipos para las industrias del gas y el petróleo y las industrias de procesamiento de productos petroquímicos; es muy similar al método de mantenimiento basado en la condición (CBM por sus siglas en inglés) el cual sopesa equitativamente el impacto en el proceso y seguridad para establecer la criticidad del activo. Este enfoque optimiza la eficacia de programas de integridad mecánica enfocados en los activos más importantes o críticos.
Juan Carlos Orrego Barrera	2018	Permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, activos en general, sistemas, equipos y componentes. Teniendo en cuenta criterios como frecuencia de fallas, impacto operacional, flexibilidad operacional, costo del mantenimiento y seguridad y medio ambiente, analizados en una sola matriz donde son considerados la frecuencia de los fallos y sus consecuencias. Con la finalidad de representar los resultados en una matriz de criticidad los clasifica en No Críticos, Semicríticos o Críticos.

Este análisis permitió definir 14 variables indispensables para el estudio de los procedimientos existentes relacionados con el análisis de criticidad: jerarquía de subsistemas, jerarquía de equipamiento productivo, equipos estáticos, mantenimiento predictivo, mantenimiento correctivo, orden descendente de los fallos, frecuencia de fallos, impactos en seguridad y salud del trabajo, gráfico de barras, distintas matrices, tiempo medio entre fallos, impacto en medio ambiente, costo del mantenimiento, flexibilidad operacional y sistema alterno de mantenimiento. Para determinar el procedimiento que más se adecua a la fábrica de tubos HOLPLAST, se elaboró la tabla 2 donde se indican las diferentes variables que contiene cada procedimiento.

Tabla 2. Procedimientos desarrollados por distintos autores con las variables que contienen.

Autores	Variables														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Fernández Campuzano (2008)		X								X	X		X		

Paneque Leyva (2009)	X					X	X		X						X
Quintero Castillo et al. (2014)	X		X			X			X						X
Morocho y Moisés NORSOK Z-008 (2014)	X			X	X	X	X	X					X	X	
Morocho y Moisés (<i>Hazard Analysis Study</i> HAZOP) (2014)		X		X			X			X					X
Juan Carlos Orrego Barrera (2018)	X		X			X	X	X				X	X	X	X

Leyenda

1. Jerarquía Subsistemas.
2. Jerarquía de equipamiento productivo.
3. Equipos estáticos.
4. Mantenimiento predictivo.
5. Mantenimiento correctivo.
6. Orden descendente de los fallos.
7. Frecuencia de fallos.
8. Impactos en seguridad y salud del trabajo.
9. Gráfico de barras.
10. Distintas matrices.
11. Tiempo medio entre fallos.
12. Impacto en medio ambiente.
13. Costo del mantenimiento.
14. Flexibilidad operacional.
15. Sistema Alternativo de Mantenimiento.

Una vez que se han identificado las seis metodologías y en trabajo con los expertos, se generó en UCINET 6 versión 5.452 la matriz de impactos cruzados; con la información obtenida se realizó el análisis de las medidas de centralidad para determinar el número

de veces que una metodología está directamente relacionado con otra (Velázquez Álvarez & Aguilar Gallegos, 2005). La información obtenida se muestra en la figura 4.

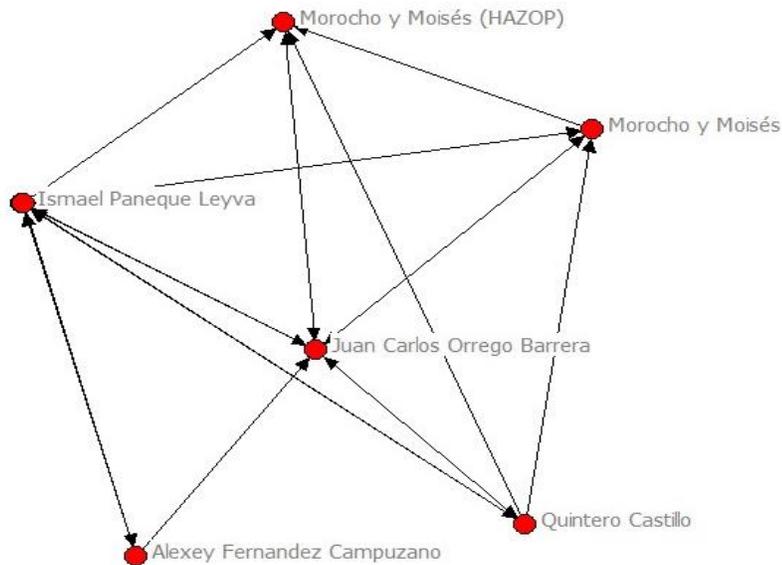


Figura 4. Matriz de impactos cruzados

Al trabajar el grado de intermediación se obtuvo que la metodología más conveniente para llevar a cabo esta investigación, es la desarrollada por Juan Carlos Orrego Barrera (2018). A pesar de ser la más completa, esta presenta algunas deficiencias como carecer de un procedimiento a seguir ya que no cuenta con pasos lógicos y tareas, además, no posee rango de clasificación para los factores analizados. Sin embargo, conserva elementos comunes con el resto y sus ventajas superan a las metodologías analizadas. De igual manera y debido a las características presentes en las fábricas transformadoras de plásticos, constituye el más adecuado según el criterio del grupo de expertos. Constituye una ventaja, la actualidad de su aplicación.

1.3.2. Descripción del procedimiento de Orrego Barrera, 2018

Criterios y definición matemática de la criticidad

El uso del análisis de criticidad permite la toma de decisiones acertadas y adicionalmente se encuentra en beneficios por redireccionar el presupuesto en áreas de mayor rentabilidad para la empresa. El objetivo fundamental de esta tarea, es la identificación

de los componentes que se consideran críticos para el adecuado funcionamiento del sistema en cuestión. La definición de un componente como crítico supondrá la exigencia de establecer alguna tarea eficiente de mantenimiento preventivo que permita detener sus posibles causas de fallo.

Los criterios para realizar un análisis de criticidad están generalmente asociados con: frecuencia de fallas, impacto operacional, flexibilidad operacional, costo del mantenimiento y seguridad y medio ambiente. Como se muestra en la ecuación (1) la criticidad es igual al producto de la frecuencia de fallas por la consecuencia.

Criticidad = Frecuencia x Consecuencia (1)

Donde la frecuencia de fallas, como su nombre lo indica, es el número de veces que se repite un evento considerado como falla dentro de un período de tiempo, que para esta investigación será de tres años. Tendremos entonces 4 posibles calificaciones para este ítem⁵.

Consecuencia está referida con: el impacto y flexibilidad operacional, los costos de reparación (mantenimiento) y los impactos en seguridad y ambiente. En la ecuación (2) se muestra esta relación.

Consecuencia = (Impacto Operacional x Flexibilidad Operacional) + (Costo Mantenimiento) + (Impacto Seguridad y Medio Ambiente) (2)

En función de lo antes expuesto, se establecen como criterios fundamentales para realizar un análisis de criticidad, los siguientes:

- ❖ Impacto operacional: entendiéndose como los efectos causados en la producción.
- ❖ Flexibilidad operacional: definida como la posibilidad de realizar un cambio rápido para continuar con la producción sin incurrir en costos o pérdidas considerables.
- ❖ Costo del mantenimiento: tomando todos los costos que implica la labor de mantenimiento, dejando por fuera los costos inherentes a los costos de producción sufridos por la falla.
- ❖ Impacto de seguridad y medio ambiente: enfocado a evaluar los posibles inconvenientes que puede causar sobre las personas o el medio ambiente.

Estos criterios se relacionan con una ecuación matemática, que genera puntuación para cada elemento evaluado. La lista generada, por cada uno de estos elementos, es el

⁵ Ítem: cada uno de los elementos que forman parte de un dato.

resultado de un trabajo de equipo que permite nivelar y homologar criterios para establecer prioridades y focalizar el esfuerzo que garantice el éxito maximizando la rentabilidad (Orrego Barrera, 2018). La misma se resume en la tabla 3:

Tabla 3. Factores del análisis de criticidad

Frecuencia de fallo por línea	Valores
Más de 20 fallas por año	4
11 a 20 fallas por año	2
0 a 10 fallas por año	1
Impacto operacional	Valores
Parada inmediata de toda la línea	10
Impacta los niveles de producción o calidad	5
Repercute en costos operacionales adicionales asociados a la disponibilidad del equipo	1
Flexibilidad operacional	Valores
No existe función de respaldo (<i>backup</i> ⁶)	4
Existe opción de respaldo compartido	2
Existe opción de respaldo disponible	1
Costo de mantenimiento (CUP)	Valores
5 000 – 10 000	10
1 000 – 5 000	5
0 – 1 000	1
Impacto en seguridad	Valores
Afecta la seguridad humana produciendo daños severos	15
Provoca daños menores (accidentes o incidentes) personal propio	5
No provoca ningún daño a la salud del trabajador	1
Impacto en medio ambiente	Valores
Afecta al medio ambiente produciendo daños severos	15
Afecta las instalaciones y equipos causando daños menores	5
El efecto de la falla no viola las normas ambientales	1

⁶ Backup: su significado en español es respaldo

^a Adaptado de Orrego Barrera, 2018

Con estos datos es posible confeccionar la matriz de criticidad que está conformada según la frecuencia de los sucesos y con la escala de los valores (consecuencias).

Estimación de la frecuencia de fallas

La estimación de la frecuencia de fallas y el impacto total o consecuencia de éstas, se realiza utilizando los siguientes criterios y rangos preestablecidos:

- ❖ Estimación de la frecuencia de la falla funcional: Para cada equipo puede existir más de un modo de falla, el más representativo será el de mayor impacto en el proceso o sistema.
- ❖ La frecuencia de ocurrencia del evento se determina por el número de eventos por año.
- ❖ Se utiliza el Tiempo Promedio entre Fallas (TPEF) o la frecuencia de falla en número de eventos por año que presenta un equipo.

Para determinar la criticidad de una unidad o equipo, se utiliza una matriz de frecuencia por consecuencia de la falla. En un eje se representa la frecuencia de fallas y en otro los impactos o consecuencias en los cuales incurrirá la unidad o equipo en estudio si le ocurre una falla. Como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4. Matriz de clasificación

Frecuencia	4	SC	SC	C	C	C
	3	SC	SC	SC	C	C
	2	NC	NC	SC	SC	C
	1	NC	NC	NC	SC	C
		0 – 300	301- 600	601 - 900	901 - 1200	1201 y más
		Consecuencia				

Leyenda:

- (NC) No crítico
- (SC) Semicrítico
- (C) Crítico

La matriz tiene un código de colores que permite identificar la menor o mayor intensidad de riesgo relacionado con el Valor de Criticidad de la instalación, sistema o equipo bajo

análisis; en este caso, se hace referencia a los equipos que conforman la línea de producción, donde es posible determinar la criticidad cuantitativamente, multiplicando la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de una falla por la suma de las consecuencias de la misma y estableciendo rasgos de valores para homologar los criterios de evaluación (Orrego Barrera, 2018). Mediante la expresión 1 se calcula la criticidad. Una vez clasificados los equipos en dicha matriz, es posible determinar cuál de ellos representa un elemento crítico en la línea de producción, pero primeramente es necesario explicar detalladamente qué se entiende por falla.

1.4. Análisis de fallas. Definición y generalidades

La definición del término fallo o falla, ha sido expresada en diferentes libros, revistas y otros documentos con puntos de vista similares y pequeñas diferencias o adaptaciones al caso que se trate. Dentro del concepto de fallo, se han hecho investigaciones durante el pasado y presente siglo, que han definido distintos estilos o filosofías de mantenimiento, las cuales han facilitado y definido cómo debe ser la aplicación y la administración de procesos básicos como la reparación, inspección y monitoreo de equipos y componentes.

Se entiende por fallo de un sistema, al suceso que provoca la pérdida de su capacidad inherente para realizar la función requerida o satisfacer las prestaciones especificadas (Labañino, 2013). Cada fallo que se puede presentar en una planta de proceso, representa un riesgo potencial por lo cual es esencial entender cómo se presenta; entendiendo la forma en que los equipos fallan, se pueden diseñar mejores acciones correctivas o preventivas. En este caso, las acciones son tareas de mantenimiento. Estas labores, son derivadas del proceso de análisis de modos de falla, de forma que a cada modo de falla le corresponda una tarea. Podemos definir entonces un modo de falla, como “la forma” en que un equipo o activo falla.

Los cambios aleatorios están relacionados con sobrecargas inesperadas, objetos extraños que interfieren en el funcionamiento, atascamiento de los órganos de trabajo, tirones y 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.

1.4.1. Causas generales de los fallos

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, montaje, ajustes y tolerancias.
2. Influencias aleatorias: condiciones ambientales, malas prácticas de operación, mantenimiento inadecuado, control del proceso ineficaz.
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.

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 sin analizar las causas de los fallos y, con ellos, los riesgos del no mantenimiento de los equipos o del mantenimiento inadecuado; basados 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:

1. Identificación del fallo.
2. Evaluación de las consecuencias del fallo.
3. Aplicación de medidas de control.

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

1. Método de análisis o Diagrama de Pareto.
2. Método Análisis Causa Raíz (ACR).
3. Método Análisis de Modos de Fallo y Efectos (AMEF).

Este último método es una metodología simple, que de forma clara y concisa nos permite entender la forma en la que opera un sistema, pero sobre todo la forma en la que falla. Además, un AMEF es el cuello de botella en el proceso de planeación del mantenimiento, por lo que se debe entender claramente y aplicar por personal con suficiente experiencia.

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. 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 AMEF tienen muchas variantes según los sectores de que se traten, en todos ellos su desarrollo e implementación se basan en cuantificar y calificar los efectos inducidos por los fallos, priorizando las acciones según los niveles de riesgos que tiene su repercusión (Labañino, 2013).

1.4.2. Criterios de clasificación y consecuencias de los fallos

Para analizar la naturaleza de los fallos así como para elaborar las medidas encaminadas a pronosticarlos o preverlos, se realiza su clasificación atendiendo a diversos criterios tal y como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Criterios de clasificación de los fallos (De la Paz Martínez, 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 su frecuencia de ocurrencia	Frecuente Probable Ocasional Remoto Extremadamente remoto

Según Aguilar José (2015), los fallos funcionales no son más que aquellos que pueden ocurrir en determinados elementos. Se definen como la incapacidad de un elemento o

componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado.

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.

Consecuencias de los fallos: Es la respuesta a ¿cómo y cuánto importa un fallo?. Las consecuencias de cada fallo nos dicen si necesitamos prevenirlos y se clasifican en:

1. Consecuencias de los fallos no evidentes: dispositivos de seguridad, redundancias.
2. Consecuencias a la seguridad de las personas y al medio ambiente.
3. Consecuencias operacionales: si afecta a la producción en capacidad, calidad del producto, servicio al cliente, costos de operación.
4. Consecuencias no operacionales: no afectan ni a la seguridad ni a la producción, por lo que el único gasto directo es el de la reparación.

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 se debe responder a la siguiente interrogante: ¿qué nivel de mantenimiento sería necesario?.

Si un fallo tiene consecuencias significativas en los términos de cualquiera de estas categorías, sería importante preguntar ¿qué 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. La decisión de aplicar uno u otro, debería ser el resultado de un análisis casuístico de cada entidad, grupo de equipos, línea de fabricación o equipo individual, procurando alcanzar la más alta confiabilidad operacional combinadamente con el mínimo costo de mantenimiento, todo esto acorde con la estrategia empresarial establecida. Bajo esta concepción es que surge una nueva modalidad que va cobrando la denominación de Sistema Alternativo de Mantenimiento (SAM).

1.5. Mantenimiento en HOLPLAST

Según Portuondo Fernando, por Sistema Alternativo de Mantenimiento (SAM) se entiende la combinación en un sistema único de mantenimiento, en calidad de subsistemas del

mismo, de al menos cuatro de los sistemas tradicionales más conocidos, a saber, el mantenimiento contra avería, el MPP, el mantenimiento por diagnóstico (inspectivo o predictivo) y el mantenimiento regulado.

El SAM puede calificarse como un sistema flexible, es por esto que el sistema de mantenimiento aplicado en la Fábrica de Tubos de Holguín HOLPLAST, es una combinación de varios tipos de mantenimiento: el MPP, el predictivo y el correctivo. Siendo el sistema de arranque de los equipos un gran demandante de energía, el régimen de trabajo es de 24 horas; y esto constituye una debilidad para la gestión del mantenimiento porque a pesar de que se pueda programar dicha actividad, solo se puede ejecutar cuando se modifica el diámetro para la producción de tubos (Hernández Paneque, 2016). La descripción del proceso tecnológico en la producción de tubos de polietileno de alta densidad (PEAD) se encuentra en el Anexo 1.

Entre sus ventajas está que es la combinación en un sistema único de mantenimiento de los sistemas tradicionales más conocidos, además:

1. Implica la aplicación del sistema de mantenimiento más adecuado a las condiciones y características de cada equipo de la línea de producción. A los equipos más imprescindibles, automatizados, complejos, modernos, costosos, prevé que se aplique el mantenimiento por inspección, lo que debe permitir que se le programen los trabajos de mantenimiento según los resultados de la misma.
2. Por ajustarse a las circunstancias específicas de cada equipo, debe lograrse una alta disponibilidad de los mismos.
3. Los costos de mantenimiento deben reducirse al efectuarse los trabajos solo realmente necesarios en muchos casos.
4. Para los equipos más imprescindibles debe garantizar trabajo sin fallas hasta el momento que se haya previsto que se debe ejecutar un trabajo de reparación.
5. Con respecto a los equipos auxiliares o pocos principales, debe implicar un importante ahorro de recursos, al aplicárseles el sistema contra averías, sin que esto necesariamente implique a que se espere a que se rompa el equipo.

Esta breve numeración conduce a considerar que el sistema alterno puede resultar más conveniente ya que tiende a nutrirse de los rasgos positivos o ventajosos de los cuatro subsistemas que básicamente lo conforman. Por lo tanto, tiende a resolver

aquellos problemas que quedaban sin solución cuando cualquiera de los otros sistemas se aplicaba por separado, independientemente uno de otro. Es cierto que en la empresa existen tres líneas de producción, las cuales reciben el mismo tipo de mantenimiento (SAM), pero en particular se hará referencia a la línea 1, cuyo diámetro es de 400 hasta 1000 mm. Es necesario para la empresa que se analicen los fallos de la misma y la gravedad de estos debido a que es la línea que mayor demanda de materia prima (PEAD) tiene. Además, por sus dimensiones, se convierte en la línea más compleja para realizar el mantenimiento; es por esto que se debe ser lo más acertada posible en cada intervención que se le realice a cada uno de los elementos que conforman la misma.

1.6. Conclusiones parciales

1. Se consultaron varios conceptos acerca de la confiabilidad operacional definiéndose como una cadena de técnicas de mejora continua, que introducen métodos de análisis y nuevas tecnologías, con el propósito de perfeccionar el servicio, planeación, ejecución y control de la producción (de bienes o servicios).
2. Se realizó un análisis de los elementos a tener en cuenta en un análisis de criticidad el cual consiste en establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable.
3. Se analizaron varios procedimientos para la determinación de la criticidad del fallo de un equipo donde deben considerarse dos aspectos: su probabilidad de aparición y su severidad. En este sentido, se toma como base el desarrollado por Orrego Barrera, 2018.

CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO PARA LA GESTIÓN DE LA CRITICIDAD EN EMPRESAS DE TRANSFORMACIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS. APLICACIÓN EN LA LÍNEA UNO DE EXTRUSIÓN DE PEAD EN LA EMPRESA HOLPLAST

Tomando en cuenta lo analizado en el capítulo I, queda evidenciada la necesidad de aportar soluciones mediante el análisis de criticidad en la línea uno de extrusión de PEAD en la fábrica de transformación de plásticos HOLPLAST. En tal sentido, se propone un procedimiento que consta de 4 etapas y 11 tareas como se muestra en la figura 5.

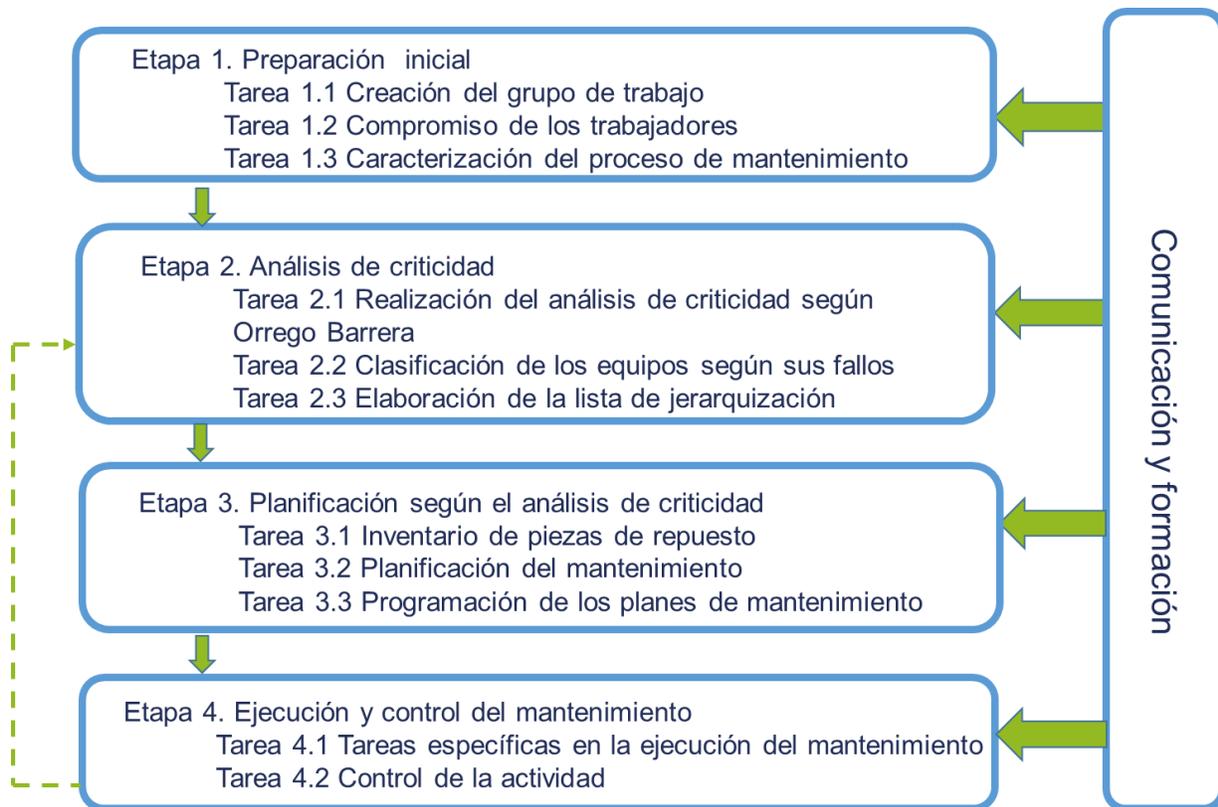


Figura 5. Procedimiento para la gestión de la criticidad en fábricas de transformación de plásticos.

2.1. Procedimiento para la gestión de la criticidad de los equipos en fábricas de transformación del plástico.

El diseño del procedimiento toma como base la propuesta de Orrego Barrera (2018) adaptándola a las características específicas de las empresas de transformación del plástico. El procedimiento acoge el enfoque basado en procesos, pues implica la definición y gestión sistemática de los procesos y sus interacciones, con el fin de alcanzar los resultados previstos. El proceso de integración que propone el procedimiento está

basado en el ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar), por considerarse un método de probada eficacia y rentabilidad que facilita el proyecto (norma UNE 66177:2005). Se concibe para ser aplicada a una organización, sin tener en cuenta el tipo o tamaño de la misma, independientemente del grado de madurez que pueda presentar en los sistemas de gestión que poseen. El procedimiento comprende 4 etapas, así como una etapa transversal de formación y comunicación que se aplica a lo largo de todo el proceso.

Etapa 1. Preparación inicial

La etapa 1 tiene como objetivo crear el punto de partida para ejecutar eficazmente el análisis de criticidad y alcanzar un mayor compromiso, preparación y participación activa de todo el personal implicado, desde la alta dirección hasta el personal que participa en el proceso, con la finalidad de llevar a cabo de forma eficaz la planificación y organización para garantizar la fluidez y calidad de las fases posteriores. En la figura 6 se describen los pasos a seguir y las técnicas a utilizar.

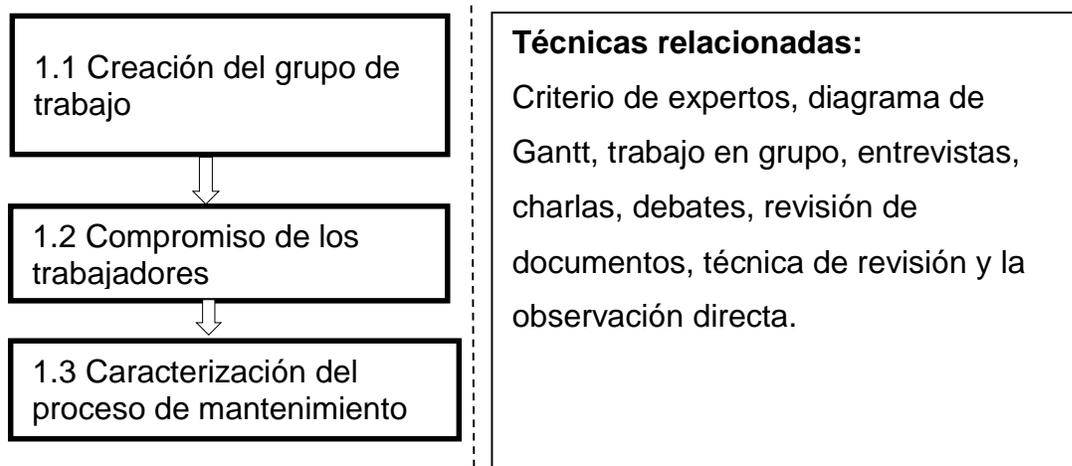


Figura 6. Descripción de la etapa 1.

Tarea 1.1. Creación del grupo de trabajo

Para la conformación del equipo de trabajo, deben seleccionarse como miembros, a especialistas que posean conocimientos generales sobre el mantenimiento (de ser necesario se realizará la capacitación de los expertos involucrados en las técnicas y métodos a emplear) estableciendo el plan de trabajo del equipo. Los miembros tienen que ser capaces de llevar a cabo las siguientes tareas:

1. Organizar el trabajo del equipo (tarea específica del jefe del equipo de trabajo).

2. Recopilar la información necesaria para desarrollar cada una de las etapas del procedimiento propuesto.

3. Cumplir con lo establecido en cada etapa.

Técnicas a utilizar: criterio de expertos (Anexo 2), trabajo en grupo, diagrama de Gantt y revisión documental.

Tarea 1.2. Compromiso de los trabajadores.

Desarrollar una reunión de intercambio con todo el personal de mantenimiento y los directivos para esclarecer la necesidad, las ventajas y los métodos que se emplearán para atenuar la resistencia al cambio que todo proceso trae aparejado. Además, se deben intercambiar criterios sobre el tema con los trabajadores y directivos.

Tarea 1.3 Caracterización del proceso de mantenimiento.

En esta descripción se debe detallar misión, objetivos, análisis de las materias primas y materiales, así como un levantamiento de los equipos de producción de la entidad. El proceso de mantenimiento se caracterizará según los siguientes elementos:

1) Misión

La misión del mantenimiento debe estar encaminada a implementar y mejorar, en forma continua, la estrategia establecida para esta actividad para asegurar el máximo beneficio a los clientes mediante prácticas innovadoras, económicas y seguras.

2) Objetivo

Los objetivos forman parte de las metas organizacionales y se definen como los resultados que se espera alcanzar en un período determinado. Se clasifican según diversos criterios:

- ❖ Por el tiempo: Objetivos de largo, mediano y corto plazo.
- ❖ Por su carácter: Cualitativos o cuantitativos.
- ❖ Por el grado de precisión: Objetivos trayectoria, normativos o tarea.
- ❖ Por su contenido: Objetivos económicos, políticos, culturales, tecnológicos o medioambientales.

3) Análisis de las materias primas y materiales

Las materias primas y los materiales constituyen los elementos a transformar en los procesos. El manejo y empleo inadecuado de las materias primas y de los materiales, incrementa la probabilidad de ocurrencia de incidentes, accidentes o enfermedades

profesionales, debido a los disímiles factores presentes en ellos. Las características de las materias primas y materiales se mencionan a continuación:

- ❖ Estado en que se encuentran,
- ❖ manuales para su manipulación y uso (señalizaciones),
- ❖ equipos de protección personal para su manipulación y
- ❖ existencia de las materias primas y materiales en el momento oportuno en el puesto de trabajo.

Para el desarrollo continuo de todo proceso, se requiere que todas las materias primas y materiales se encuentren físicamente en el momento en que se requiera. El atraso de la llegada de cualquiera de estos elementos provocaría demoras en los procesos con consecuencias perjudiciales para la organización. Además, la interrupción del proceso puede generar tensión en el obrero al sentirse presionado por la necesidad de cumplir con la norma de trabajo establecida.

4) Realizar un levantamiento de los equipos de producción de la entidad

elaborando un inventario de todos los equipos existentes en la empresa objeto de estudio a partir de los elementos siguientes:

- ❖ Nombre y modelo del equipo
- ❖ Año de fabricación
- ❖ Lugar de procedencia
- ❖ Función
- ❖ Estado técnico
- ❖ Años de explotación
- ❖ Averías más frecuentes
- ❖ Frecuencia con que ocurren dichas averías

Etapas 2. Análisis de criticidad

Esta etapa es de gran importancia pues pretende identificar las principales deficiencias en los equipos que conforman la línea de producción. En la figura 7 se muestran los pasos a seguir y las técnicas a utilizar

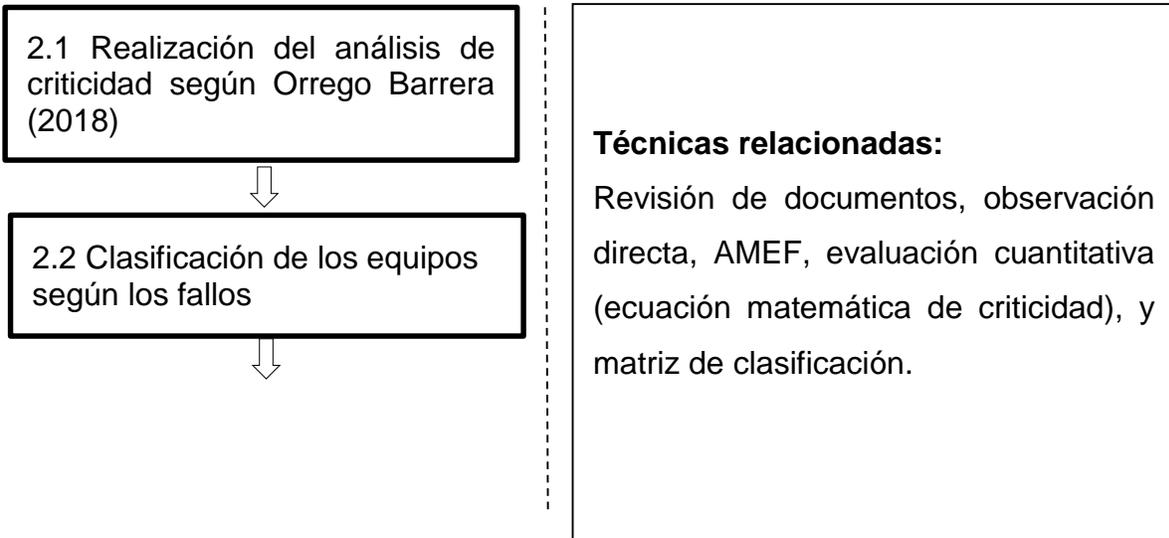


Figura 7. Descripción de la etapa 2



Tarea 2.1. Realización del análisis de criticidad según Orrego Barrera (2018)

Para la realización del análisis de criticidad, se propone utilizar el procedimiento diseñada por Orrego Barrera (2018); el mismo fue explicado en el acápite 1.3.1. En este se define la criticidad como un conjunto de requisitos que permiten definir la jerarquía o prioridades de un proceso, sistema y equipos, según el parámetro de valor conocido como “Criticidad” que es proporcional al “Riesgo”, generando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas.

Técnicas a utilizar: método de expertos, consulta de documentos que resumen el comportamiento de la actividad del mantenimiento en la empresa durante el periodo analizado, la observación directa y la realización de entrevistas a personal especializado.

Método de análisis de fallos (AMEF) es un procedimiento que permite identificar fallas en productos, procesos y sistemas así como evaluar y clasificar de manera objetiva sus efectos y elementos de clasificación para de esta forma evitar su ocurrencia y tener un método documentado de prevención. Al realizar un análisis de los fallos mediante AMEF aplicado al mantenimiento se sugiere crear una hoja de trabajo que contenga los datos que se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Tabla para información primaria de la AMEF.

		¿Se puede detectar?		Afectación			¿Se puede prevenir?	
Equipo	Fallos	Si	No	Operacional	SST	Seg. Medio ambiente	Si	No

Además de la utilización de la ecuación (1):

$$\text{Críticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia (1)},$$

para determinar la frecuencia de los distintos fallos analizados durante el periodo analizado, que se determina por el número de eventos ocurridos. Para determinar la consecuencia de los mismos se procede a la multiplicación de los distintos valores de clasificación de los factores examinados. La tabla 7 muestra un fragmento de cómo deben ser analizados cada uno de los equipos que conforman las líneas de producción de las fábricas de transformación de plásticos.

Tabla 7. Análisis de los fallos de las líneas de producción en HOLPLAST

Análisis de los fallos de las líneas de producción en HOLPLAST
Equipo

Fallo	Número de fallo	Frecuencia de fallo	Impacto operacional	Flexibilidad operacional	Costo del mantenimiento	Impacto en Seguridad	Impacto en Medio ambiente

Tarea 2.2. Clasificación de los equipos según los fallos

Una vez analizados los fallos se determinará la criticidad de los equipos mediante la matriz de clasificación.

Técnicas a utilizar: recopilación de los datos agrupados en la tabla del análisis de los fallos.

Para la estimación de las consecuencias o impactos de la falla, se emplean los valores numéricos según la tabla 3 de factores del análisis de criticidad. Así queda conformada la matriz de criticidad-frecuencias contra consecuencias. La misma tiene un código de colores que permite identificar los equipos no críticos, semicríticos o críticos.

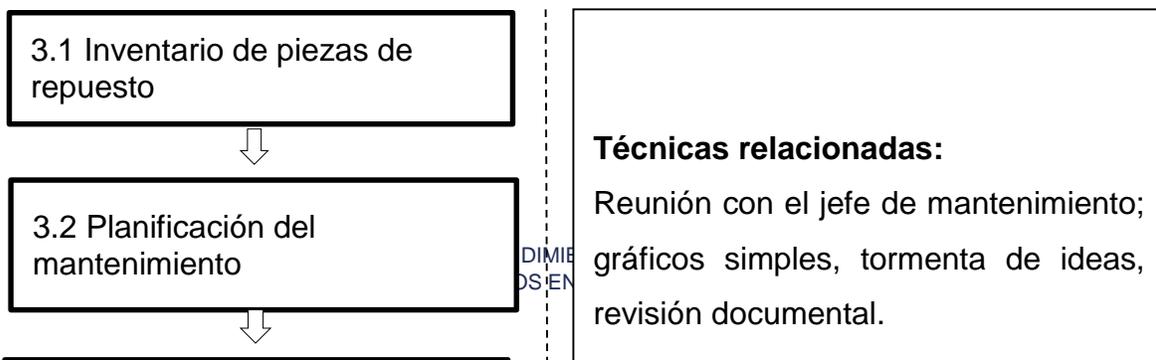
Tarea 2.3. Elaboración de la lista de Jerarquización.

Se procede a la elaboración de la lista de jerarquización basado en el análisis de criticidad que se ha desarrollado con establecimiento de criterios, selección del método de evaluación y con el cumplimiento del procedimiento diseñado. Con la información obtenida de la matriz de criticidad es posible orientar la toma de decisiones, focalizando los esfuerzos en la zona de alta criticidad, donde se ubica la mejor oportunidad de aumentar la fiabilidad del equipo.

Técnicas a utilizar: revisión documental de los resultados del análisis de criticidad.

Etapas 3. Planificación según el análisis de criticidad

En esta etapa se deben trazar acciones de mejora, las que deben ser reflejadas en un plan de acción definiendo la actividad, el responsable y período a ejecutar.



Tarea 3.1. Inventario de piezas de repuesto

Con la realización de esta tarea se plantea confeccionar un inventario de piezas de repuesto con la finalidad de tener un registro propio de las piezas que se deben de tener para los fallos que presenten los equipos. En la tabla 8 se resume cómo se llevará a cabo el mismo.

Tabla 8. Inventario de piezas de repuesto

Equipo	Piezas a utilizar	No. de piezas

Tarea 3.2. Planificación del mantenimiento

En esta tarea se establece la situación específica en la cual se debe aplicar cada plan de mantenimiento para poder implementar un SAM:

Mantenimiento correctivo

En este tipo de mantenimiento, también llamado mantenimiento “a rotura”, solo se interviene en los equipos cuando el fallo ya se ha producido (los equipos que clasificarán como no crítico). Se trata, por tanto, de una actitud pasiva frente a la evolución del estado de los equipos, a la espera de la avería o fallo (Quintero Reyes, 2012).

Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo se realiza con la finalidad de reducir o evitar la reparación mediante una rutina de inspecciones periódicas y la renovación de los elementos deteriorados. Este mantenimiento se le realiza a los equipos que clasificaron como semicríticos (Quintero Reyes, 2012).

Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo surge como respuesta a la necesidad de reducir los costos de los métodos tradicionales (correctivo, preventivo). Este tipo se da mediante el seguimiento del adecuado funcionamiento de los componentes de las máquinas y a los equipos que se encuentran clasificados como críticos (Quintero Reyes, 2012).

Técnicas a utilizar: revisión documental y tormenta de idea.

Tarea 3.3. Programación de los planes de mantenimiento

Una vez que la actividad de mantenimiento ha pasado por la etapa de clasificación de los equipos según su criticidad, es fundamental estimar el tiempo necesario para completar el trabajo. Los patrones de tiempo realistas representan un elemento muy ventajoso para controlar e incrementar la eficacia de los trabajadores y, de esta forma, reducir al mínimo el tiempo muerto de la organización. La programación del mantenimiento debe efectuarse a corto (< 1 año), mediano (1-5 años) y largo plazo (> 5 años) a través de técnicas como el Gantt.

Técnicas a utilizar: Diagrama de Gantt.

Etapa 4. Ejecución y control del mantenimiento

En esta etapa se desarrolla el mantenimiento planificado para los equipos de la empresa según el grupo al que pertenece. Este se puede realizar con los medios propios o a través de la contratación de terceros (Gamerro D., 2013). Para ello, se debe garantizar la seguridad y salud de los trabajadores reduciendo al mínimo los riesgos potenciales. Además, se debe definir período y responsable de controlar las medidas propuestas, según se muestra en la figura 9.

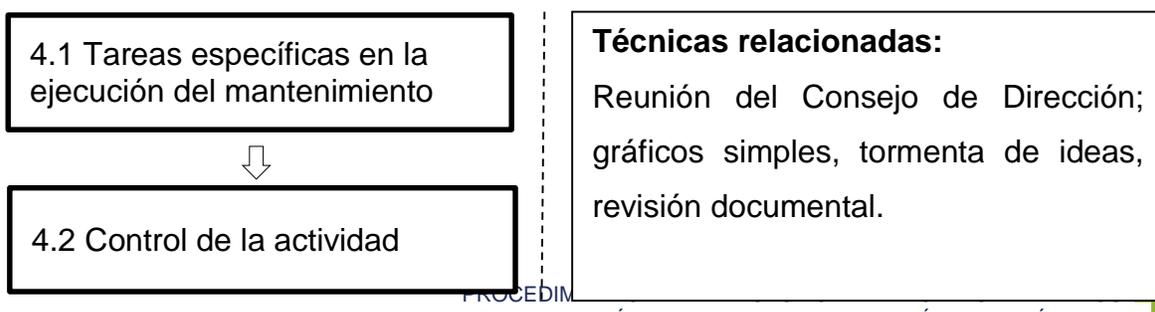


Figura 9. Descripción de la etapa 5

Tarea 4.1. Tareas específicas en la ejecución del mantenimiento

Las tareas específicas en la ejecución del mantenimiento son las siguientes:

- ❖ Servicios técnicos: revisión, limpieza y fregado, lubricación, pruebas de regulación (ajustes y tolerancias perdidas por causas imprevistas) y conservación para la no operación.
- ❖ Protección contra la corrosión activa o pasiva: pintura y protecciones especiales.
- ❖ Inspecciones: controles del desgaste, revisión de los instrumentos de medición y revisión de los dispositivos de seguridad.
- ❖ Reparaciones: pequeñas, medianas y generales (según la criticidad de los equipos).

En el caso de que el mantenimiento se realice con los medios propios, la empresa debe disponer de personal calificado y de los recursos materiales que se necesitan para desarrollar las labores. Se emplea cuando el volumen de trabajo de mantenimiento asegura una adecuada utilización de personal calificado y de los recursos materiales. En el caso de la contratación implica encargar a una organización especializada, mediante contrato, la ejecución de determinados trabajos para los cuales la empresa necesitada no se encuentra apta (Viñals T., 2015) ya que requiere de personal y medios especializados. El motivo esencial de la contratación lo constituye el que, a través de ella, puede cumplirse con mayor eficacia el objetivo del mantenimiento con un grado de garantía mayor en muchos casos, que usando medios propios (Corretger Rauet, 2001).

Para determinar las tareas específicas por equipos se confeccionó la tabla 9.

Tabla 9. Tareas específicas para la ejecución del mantenimiento

Equipo	Servicios técnicos	Protección contra la corrosión		Inspecciones (control)	Reparación		
		Activa	Pasiva		Pequeña	Mediana	General

Tarea 4.2. Control de la actividad

Parte del éxito de un buen análisis de criticidad del mantenimiento, se basa en el control

y seguimiento adecuado que se efectúe de las obligaciones de cada una de las partes, con el objetivo de analizar si el desempeño se encuentra acorde a los niveles de servicio convenidos y aplicar medidas proactivas oportunamente. Esto debe hacerse bajo los parámetros e índices establecidos conjuntamente para los suministros y ejecución de las actividades de mantenimiento.

En esta etapa es realmente importante establecer un método de control. Se deberán realizar revisiones periódicas en pos de mejorar y no de sancionar. Principalmente, debe evaluarse la existencia de desvíos o incumplimientos respecto a los estándares establecidos. Referente a las desviaciones debe analizarse:

- ❖ Su importancia.
- ❖ Su impacto.
- ❖ Su frecuencia y ocurrencia.
- ❖ Las acciones correctivas implementadas y su efectividad.
- ❖ La respuesta del proveedor a las acciones correctivas.

La confección de los planes de acción, contribuirá al cumplimiento para dar solución a las dificultades que limiten el desempeño de la organización. Para su elaboración (tabla 10), se deben tener en cuenta los aspectos siguientes:

1. El contenido de la acción que se ejecutará;
2. el personal encargado de ejecutar y dirigir;
3. las fechas y plazos de ejecución.

Tabla 10. Confección de los planes de acción

Medidas de control	Responsable	Fecha de control	Fecha de Ejecución	Materiales

Técnicas a utilizar: Tormenta de idea, trabajo en equipo y revisión documental

Etapas Transversales de Formación y Control

El objetivo de esta etapa es asegurar que el personal asimile los conocimientos fundamentales y adquiera conciencia sobre la importancia de sus actividades en la aplicación progresiva del procedimiento para la integración y el logro de los objetivos

propuestos, en correspondencia con su nivel de participación.

Se considera una etapa transversal pues se realizan intervenciones prácticamente en todas las etapas del procedimiento propuestas, mediante las modalidades de cursos, talleres, conferencias y charlas (Tabla 11).

Técnicas a utilizar: cursos, talleres, conferencias, charlas, trabajo en grupo.

Tabla 11. Acciones preventivas a los elementos críticos

Etapa	Contenido de la actividad	Modalidad	Responsable	Fecha de control	Fecha de cumplimiento

2.2. Valoración del procedimiento propuesto empleando el método de Delphi.

Mediante el método de Delphi⁷ se realizó la valoración del procedimiento. La fase inicial consistió en realizar un análisis de concordancia y significación de juicios (Anexo 2), para la selección del grupo de expertos⁸ y la determinación de sus coeficientes de competencias. Los datos obtenidos se muestran en las tablas 12,13 y 14.

Tabla 12. Determinación del coeficiente de conocimiento (Kc)

Posibles Expertos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	Moda	Media	Kc
1								2	3	2	7	9	9	0.9
2									3	7	10	10	9.7	0.97
3								1	4	5	10	10	9.4	0.94
4									2	6	8	10	9.75	0.98
5									1	9	10	10	9.9	0.99
6										10	10	10	10	1
7									2	8	10	10	9.6	0.96
8								3	4		7	9	8.57	0.86
9								3	3		6	9	8.5	0.85

⁷ El método de Delphi consiste en la selección de un grupo de expertos a los que se les pregunta su opinión sobre cuestiones referidas a acontecimientos del futuro. Las estimaciones de los expertos se realizan en sucesivas rondas, anónimas, al objeto de tratar de conseguir consenso, pero con la máxima autonomía por parte de los participantes. Por lo tanto, la capacidad de predicción del Delphi se basa en la utilización sistemática de un juicio intuitivo emitido por un grupo de expertos (Santana Tamayo, 2017).

⁸ Los grupos de expertos utilizan como fuente de información a un grupo de personas que se supone poseen conocimientos teóricos elevados de la materia que se va a tratar (Santana Tamayo, 2017).

10							2	5		7	9	8.71	0.87
----	--	--	--	--	--	--	---	---	--	---	---	------	------

Tabla 13. Determinación del coeficiente de argumentación (Ka) y competencia (K) de los posibles expertos y su selección

Posibles expertos	Kc	Ka	K	Investigador seleccionado como experto
A	0.85	0,7	0.775	-
B	0.97	0,9	0.935	x
C	0.94	0,8	0.87	x
D	0.98	1	0.98	x
E	0.99	1	0.99	x
F	1	0,9	0.9	x
G	0.96	0,8	0.88	x
H	0.86	0,9	0.88	x
I	0.9	0,7	0.8	x
J	0.87	0,8	0.835	x

Estos resultados permitieron determinar el grupo de expertos seleccionando siete de ellos, pues sus coeficientes de conocimiento fueron altos (mayor que 0,8), los que contribuyeron con la valoración del procedimiento.

En la segunda fase se procedió a aplicar el método de Delphi, realizando la primera ronda con la variante 1 del procedimiento propuesto con el objetivo de evaluar el grado de relevancia y calidad del mismo donde fueron tomados los criterios de los expertos; al tener nivel de concordancia total del 81, 43 % entre los expertos se procedió a aplicar la segunda ronda con la variante 2. La encuesta para validar el procedimiento de esta última ronda se encuentra en el anexo 3, la misma ya ha sido utilizada para estos fines por lo que se encuentra validada, debido a sus diversas aplicaciones en contextos similares. Una vez aplicada, se procesaron los resultados obtenidos (aparecen en la tabla 14), que muestra la existencia de concordancia $\geq 75\%$ en todas las etapas del procedimiento, decidiéndose parar el proceso.

Tabla 14. Resultados obtenidos de la aplicación del método de Delphi

Expertos	A	B	C	D	E	F	G	Cc
Etapas								

Etapa I					x		x	87,5 %
Etapa II								100 %
Etapa III		x					x	87,5 %
Etapa IV								100%
General								100 %
Contenido								95 %

A partir de la aplicación del método de Delphi, se valoró el procedimiento propuesto para el análisis de criticidad en las fábricas de transformación del plástico, existiendo un nivel de concordancia total del 95% entre los expertos.

2.3. Aplicación del procedimiento propuesto para la gestión de la criticidad de la línea uno en la Fábrica HOLPLAST de Holguín.

Etapa 1. Preparación inicial

Luego de las reuniones iniciales con la alta dirección, el jefe de mantenimiento y resto del equipo de trabajo de la Fábrica de Tubos HOLPLAST de Holguín, se procedió al cumplimiento de esta etapa como estaba previsto.

Tarea 1.1. Creación del grupo de trabajo

El grupo de trabajo quedó constituido por 7 personas que poseen experiencia y conocimientos para implementar el procedimiento para el análisis de criticidad en las fábricas de transformación de plásticos. Entre el personal que pertenece a este grupo se encuentran los responsables de la organización, el jefe de mantenimiento de HOLPLAST, el resto del equipo de mantenimiento de la empresa y profesores de la Universidad de Holguín. A continuación, se recogen los nombres de los mismos:

- ❖ Jorge Labañino Fernández
- ❖ Márian Pérez Pérez
- ❖ Ángel Tomas Pérez Rodríguez
- ❖ Elio Rafael Hidalgo Batista
- ❖ Iliana Tapia Claro
- ❖ Maira Moreno Pino
- ❖ Gerardo Capo Neyra

Tarea 1.2. Compromiso de los trabajadores

Se desarrolló una reunión con el personal de mantenimiento y los directivos en el cual se esclareció la necesidad, las ventajas y los métodos que se emplearon con el objetivo de atenuar la resistencia al cambio que todo proceso trae aparejado. Además, se intercambiaron criterios sobre el tema con los trabajadores y directivos. Al finalizar esta tarea, se pudo apreciar una gran aceptación con el trabajo que se está llevando a cabo.

Tarea 1.3. Caracterización del proceso de mantenimiento.

En HOLPLAST el mantenimiento es como un proceso de apoyo, el cual tiene bien definido su propósito. Su **misión**, es:

“Alcanzar la disponibilidad del equipamiento tecnológico necesaria para disminuir las pérdidas de producción por productos dejados de elaborar o productos defectuosos y consecuentemente las pérdidas económicas. Garantizar la seguridad del personal y de las instalaciones, así como la conservación del medio ambiente”.

Objetivos:

1. Asegurar un 93% de disponibilidad técnica, para garantizar una utilización óptima de las capacidades de producción.
2. Lograr la planificación y ejecución de un plan de mantenimiento objetivo en función de la producción, que permita cumplir en más del 93% con el plan de mantenimiento aprobado para el año.
3. Reducir el porcentaje de las intervenciones por mantenimiento correctivo a menos del 7%.

El área de mantenimiento está conformada por 5 operarios de los cuales existe un especialista en mantenimiento eléctrico, un especialista en mantenimiento mecánico, dos técnicos en mantenimiento y un especialista en asistencia técnica (especialista principal); de ellos, los especialistas tienen un nivel superior de escolaridad y los técnicos de mantenimiento poseen un técnico medio.

Análisis de las materias primas y materiales

La firma alemana Battenfeld es el fabricante del equipamiento en HOLPLAST, esta visita la entidad una vez al año para evaluar el estado técnico de las instalaciones y en función de ello, sugiere y proporciona la pieza a utilizar. Pero en la actualidad existen dificultades serias con el suministro estable de piezas, componentes e insumos para asegurar el mantenimiento del equipamiento.

Levantamiento de los equipos de producción

El sistema de mantenimiento aplicado en la Fábrica de Tubos de Holguín HOLPLAST, es una combinación de varios tipos de mantenimiento: el MPP, el predictivo y el mantenimiento correctivo. Siendo el sistema de arranque de los equipos un gran demandante de energía, el régimen de trabajo es de 24 horas lo que constituye una debilidad para la Gestión del Mantenimiento porque a pesar de que se pueda programar dicha actividad, solo se puede ejecutar cuando se modifica el diámetro para la producción de tubos. Los equipos con los que cuenta la fábrica se muestran en las tablas 15 y 16.

Tabla 15. Características técnicas de los equipos

Equipo	Modelo	Fabricante	País	Año
Extrusora	BEX- 120	Battenfeld	Alemania	2006
Tanque de calibración	V 1000 VA	Battenfeld	Alemania	2006
Tanque de enfriamiento	K 1000 VA	Battenfeld	Alemania	2006
Máquina de marcado	MAC 1200	Battenfeld	Alemania	2006
Carro de arrastre	1000 / 8 VE	Battenfeld	Alemania	2006
Cortadora	TU 1000 P	Battenfeld	Alemania	2006
Mesa de salida	RG 1000	Battenfeld	Alemania	2006
Deshumidificador	D – 2800	Somos	Alemania	2006
Equipos auxiliares	SX - 6(compresor)	Kaeser	Alemania	2006
	SKLC - 300 (enfriadora)	GWK		
	NUB - 32 (bomba)	EDUR		

Tabla 16. Características técnicas de los equipos

Equipo	Función	Cantidad	Estado técnico	Años de explotación
Extrusora	Procesar la materia prima sólida en forma de pellets, la fusiona y homogeniza	1	Bueno	13
Tanque de calibración	Formar el tubo con su diámetro y espesor	2	Bueno	13
Tanque de enfriamiento	Enfriar el tubo según el diámetro del mismo	4	Bueno	13

Máquina de marcado	Su función es la de marcar los tubos plásticos	1	Regular	13
Carro de arrastre	Su función principal es la de trasladar el tubo a lo largo de la línea de extrusión	1	Bueno	13
Cortadora	La máquina se utiliza para cortar tubos en piezas de diferentes longitudes	1	Bueno	13
Mesa de salida	Se utiliza para transportar las tuberías después de realizado el corte de la misma	2	Regular	13
Deshumidificador	Realiza la extracción de la humedad de la materia prima	1	Mal	13
Equipos auxiliares	Garantizan el aire comprimido, el agua y la temperatura de la misma	3	Regular	13

Etapa 2. Análisis de criticidad

Tarea 2.1. Realización del análisis de criticidad

Para llevar a cabo esta etapa es necesario seguir cada uno de los pasos que conforman el procedimiento de Orrego Barrera y los aportes que se le añadieron al mismo. En esta tarea se toma como base el estudio realizado por Hernández Paneque (2016), correspondiente a la aplicación del Análisis de Modos de Efectos y Fallos (AMEF) en la línea 3 de producción.

Se realizó una identificación por cada elemento de los equipos que componen la línea 1 de las distintas fallas y sus consecuencias; este análisis permitió identificar los efectos sobre la organización. En la tabla 17, se muestra la información arrojada por la aplicación

de la AMEF en la extrusora; el resto de los elementos de la línea se presentan en el Anexo 4.

Tabla 17. Aplicación de la AMEF

Equipo	Fallos	¿Se puede detectar?		Afectación			¿Se puede prevenir?	
		Sí	No	Operacional	SST	Seg. Medio Ambiente	Si	No
EXTRUSORA	Avería en los tiristores del variador de potencia	X		X				X
	Avería en el motor principal	X		X			X	
	Salideros en la manguera del sistema de alimentación	X		X		X		X
	Tupición del cilindro		X				X	
	Fallo de las escobillas del motor principal	X		X				X
	Pesa gravimétrica (cilindro neumático dañado)	X		X				X
	Salideros de aceite en el reductor	X				X	X	
	Problemas en el dosificador de materia prima		X	X				X

Para determinar los valores de criticidad se conformó la tabla 18 que agrupa cada uno de los equipos con el respectivo análisis de cada uno de los factores analizados y así fue

posible conocer el motivo de cada una de las paradas que había presentado la línea de producción durante los 3 años estudiados.

Para sintetizar la investigación fue necesario direccionar el tema hacia una línea específica de producción por lo que se escogió la línea 1 de producción pues es la línea que mayor diámetro (400 – 1000 mm) presenta en la fábrica y por ende mayor consumo de materia prima (PEAD). Una vez realizada la aplicación de la AMEF (tabla 17), se procede a determinar la frecuencia (Anexo 5) de los distintos fallos analizados durante el periodo en estudio, la cual se determina por el número de eventos ocurridos. Además, se determina la consecuencia (Anexo 5) de los mismos, y se evalúan de acuerdo con los factores analizados en la tabla 3. En la tabla 18, se muestra el cumplimiento de este análisis para la extrusora, la continuación de la misma para el resto de los equipos de la línea se encuentra en el Anexo 6.

Tabla 18. Análisis de los fallos de la línea 1 en los años 2016 - 2017 - 2018

Análisis de los fallos de la línea 1							
Extrusora							
Fallo	No. de fallos	Frecuencia de fallo	Impacto operacional	Flexibilidad operacional	Costo del mantenimiento	Impacto en SST	Impacto en Medio ambiente
Avería en los tiristores del variador de potencia	1	4	10	4	5	1	1
Avería en el motor principal	1		10	4	5	1	1
Salideros en la manguera del sistema de alimentación	1		5	4	1	1	5
Tupición del cilindro	1		10	4	5	1	1
Fallo de las escobillas del motor principal	3		10	4	5	1	1

A continuación, se procede al desarrollo de la ecuación 1 de criticidad, la cual se le aplicó a cada uno de los 9 equipos que componen esta línea de producción; los resultados se exponen en la tabla 19.

Tabla 19. Resultados de la ecuación matemática de criticidad

Equipos	Criticidad = Frecuencia x Consecuencia =(Impacto * Flexibilidad) + Costo + I. Seguridad + I. Medio A					
	Impacto operacional	Flexibilidad operacional	Costo de mantenimiento	Impacto en seguridad	Impacto en medio ambiente	Resultados
Extrusora	61	30	28	8	16	1882
Bañera de calibración	57	32	11	11	15	1861
Bañera de enfriamiento	10	3	6	6	2	44
Marcadora	5	4	1	1	1	23
Arrastre	25	1	20	4	4	428
Cortadora	31	17	7	7	7	548
Mesa de salida	0	0	0	0	0	0
Deshumidificador	15	8	3	3	3	129
Equipos auxiliares	40	20	17	5	17	839

Tarea 2.2. Clasificación de los equipos según los fallos

Con los resultados anteriores fue posible clasificar cada uno de los equipos, en la matriz de clasificación (tabla 20) teniendo en cuenta la frecuencia de las fallas según las características del equipamiento tecnológico instalado, la clasificación de los equipos se realiza en los grupos I, II y III donde:

- Grupo I: Críticos.
- Grupo II: Semicríticos.

- Grupo III: No críticos.

y los rangos de valores para las consecuencias surgen a raíz de los valores predeterminados por el procedimiento de Orrego Barrera.

Tabla 20. Matriz de clasificación

Frecuencia	4		6			
	3					1 – 2
	2	8	5			
	1	3 – 4 – 7		9		
		0 – 300	301- 600	601 - 900	901 - 1200	1201 y más
		Consecuencia				

Leyenda:

1. Extrusora
2. Bañera de calibración
3. Bañera de enfriamiento
4. Marcadora
5. Arrastre
6. Cortadora
7. Mesa de salida
8. Deshumidificador
9. Equipos auxiliares

Los equipos clasificados en el **grupo I** se encuentran en estado crítico y es fundamental para la empresa. Su régimen de mantenimiento debe ser más riguroso que para los demás equipos. En este grupo se encuentran la extrusora y la bañera de calibración.

Los equipos pertenecientes al **grupo II** son semicríticos, o sea que, resultan significativos para la producción. Solo por las características de la frecuencia de los fallos se encuentran en esta clasificación la cortadora, debido a que su rotura no produce afectaciones considerables a la producción.

Los equipos clasificados en el **grupo III** de criticidad, son no críticos lo que significa que es poco probable que ocurran fallas en cuanto a la funcionabilidad de los mismos. En esta clasificación y como ventaja para HOLPLAST, se encuentran la mayor cantidad de equipos, en ellos están la bañera de enfriamiento, marcadora, arrastre, mesa de salida, deshumidificador y los equipos auxiliares.

Tarea 2.3. Elaboración de la lista de Jerarquización

Partiendo de los resultados obtenidos, podemos jerarquizar los equipos que conforman la línea 1 de producción. Con la información obtenida fue posible orientar la toma de decisiones, focalizando los esfuerzos en la zona de alta criticidad donde se ubica la mejor oportunidad de agregar valor, rentabilidad y aumentar la fiabilidad de los equipos (figura 10).

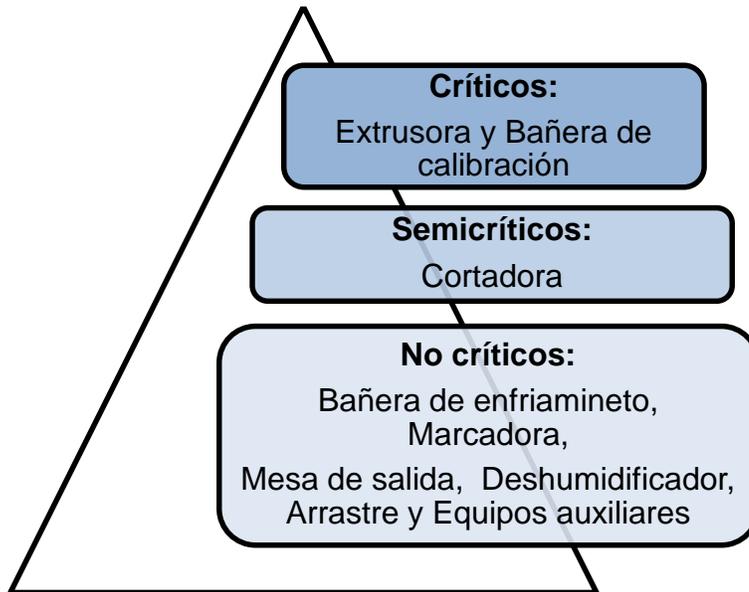


Figura 10. Jerarquización de los equipos

Etapas 3. Planificación según el análisis de criticidad

Tarea 3.1. Inventario de piezas de repuesto

El inventario que se muestra a continuación resume solo la información relacionada con la extrusora (tabla 21); el resto del inventario de las piezas se muestra en el anexo 7.

Tabla 21. Inventario de piezas de repuesto para la extrusora

Equipo	Recursos a utilizar
--------	---------------------

Extrusora	Escobillas Estopa Filtro Tela filtrante Cinta de teflón
-----------	---

Tarea 3.2 y 3.3. Planificación y programación del mantenimiento

El plan mensual de mantenimiento correspondiente al mes de diciembre de 2018 (tabla 22) se realizó según el modelo RP05-44-03 Plan Mensual de Mantenimiento según lo establecido en HOLPLAST.

Tabla 22. Plan mensual de mantenimiento

MANTENIMIENTO MENSUAL PLANIFICADO		Horas	Recursos
1- EXTRUSORA			
1.1	Revisar escobillas, cambiar si es necesario.	2	1- Escobillas 40u 2-Estopa 1kg. 3-Filtro. 4-Tela filtrante
1.2	Limpieza del filtro del sistema de enfriamiento, cambiar si es necesario.	0.25	
1.3	Limpieza del filtro del ventilador, cambiar si es necesario.	0.25	
1.4	Revisar sistema neumático, eliminar salideros.	1.25	
2- BAÑERAS DE CALIBRACIÓN		Horas	Recursos
2.1	Chequear el funcionamiento de las bombas de recirculación, reparar si es necesario.	1	1-Filtros. 2-Aspersores. 3-Manguera 6mm
2.2	Revisar los aspersores, limpiar si están obstruidos.	2	
2.3	Limpieza de filtros de agua, sustituir si están dañados.	1.5	
2.4	Chequear el funcionamiento de las bombas de vacío, reparar si es necesario.	2	
2.5	Limpieza de las mangueras bombas de vacío, sustituir si es necesario.	0.5	

El plan de mantenimiento mensual para los restantes equipos se encuentra en el anexo 8.

Etapa 4: Ejecución y control del mantenimiento

Tarea 4.1 Tareas específicas en la ejecución del mantenimiento

Para dar solución a esta tarea se analizaron cada uno de los equipos que conforman la línea de producción. Las tareas específicas para la ejecución del mantenimiento se muestran en la tabla 23.

Tabla 23. Tareas específicas para la ejecución del mantenimiento

Equipo	Servicios Técnicos	Protección contra la corrosión		Inspecciones (control)	Reparación		
		Activa	Pasiva		Pequeña	Mediana	General
Extrusora	Revisión Limpieza	Pintura		Del desgaste			X
Bañera de calibración	Limpieza	Pintura		Revisión de los instrumentos			X
Bañera de enfriamiento	Limpieza	Pintura		Revisión de los instrumentos		X	
Marcadora	Revisión		Especial	Del desgaste		X	
Arrastre	Lubricación Pruebas de regulación		Especial	Del desgaste		X	
Cortadora	Revisión Lubricación		Especial	Del desgaste Revisión de los dispositivos de seguridad	X		
Mesa de salida	Limpieza	Pintura		Del desgaste		X	
Deshumidificador	Revisión Limpieza		Especial	Del desgaste		X	
Equipos auxiliares	Revisión Limpieza	Pintura		Revisión de los dispositivos de seguridad		X	

Tarea 4.2 Control de la actividad

Para dar cumplimiento a esta tarea se confeccionó el plan de acción (tabla 24) teniendo

en cuenta el contenido de la acción que se ejecutará, el personal encargado de ejecutarla y dirigirla, así como las fechas y plazos de ejecución y los materiales.

Tabla 24. Plan de acción

Medidas de control	Responsable	Fecha de control	Fecha de Ejecución	Materiales
Realizar el análisis de criticidad para las restantes líneas de extrusión	Especialista de mantenimiento	Abril/2019	Mayo/2019	Informe
Elaborar el plan de mantenimiento mensual para las restantes líneas de extrusión	Especialista de mantenimiento	Abril /2019	Mayo/2019	Informe
Ejecutar el plan de mantenimiento mensual para las restantes líneas de extrusión	Especialista de mantenimiento	Abril /2019	Mayo/2019	Recursos definidos en el plan mensual (Escobillas 40u, Estopa 1kg, Filtro, Tela filtrante)
Mantener el 93% de la Disponibilidad Técnica del equipamiento.	Trabajadores de mantenimiento	Todo el año	Todo el año	Cálculo de la Disponibilidad Técnica del equipamiento $DT = \frac{TMEF}{(TMEF + TMPR)}$ <p>TMEF: Tiempo medio entre fallos. TMPR: Tiempo medio para reparar</p>
Cumplir con el índice de rotura por debajo del 7%.	Trabajadores de mantenimiento	Todo el año	Todo el año	Ejecución eficiente del plan de mantenimiento

Etapa Transversal de Formación y comunicación

Para la formación del personal se propone la siguiente planificación de actividades y de comunicación de las mismas, en correspondencia con las diferentes etapas del procedimiento las cuales se muestran en la siguiente tabla 25.

Tabla 25. Actividades de capacitación para la aplicación del procedimiento

Etapa	Contenido de la actividad	Modalidad	Responsable	Fecha de control	Fecha de cumplimiento
Etapa I	Necesidad de los análisis de criticidad.	Conferencia	Empresa HOLPLAST UHo	20 de marzo 2019	25 de marzo 2019
	Procedimiento para el análisis de criticidad.	Curso			
	Técnicas y herramientas	Conferencia			
Etapa II	Diferentes técnicas de recogida de información.	Curso	Personal seleccionado	28 de marzo de 2019	1 de abril de 2019
	Aplicación de la AMEF.				
	Análisis de criticidad	Curso	Grupo de trabajo	5 de abril de 2019	8 de abril de 2019
Etapa III	Elaboración de los planes de mantenimiento	Capacitación	Todos los trabajadores	16 de abril de 2019	20 de abril de 2019
	Elaboración de un plan de acción				
	Indicadores de eficiencia y eficacia				

2.4. Conclusiones parciales del capítulo

1. El estudio de los diversos enfoques y materiales bibliográficos existentes sobre la temática, sirvieron de base para la confección del procedimiento para el análisis de criticidad en HOLPLAST, el cual consta de 4 etapas y una transversal y 11 tareas. Además, emplea un conjunto de técnicas y herramientas, constituyendo este el aporte fundamental de la investigación.
2. El procedimiento permite realizar un análisis de criticidad de los equipos y su jerarquización en las fábricas de transformación de materiales plásticos, así como la elaboración del plan de mantenimiento mensual.
3. La aplicación del procedimiento en HOLPLAST, permitió definir como equipos críticos la extrusora y la bañera de calibración, como equipo semicrítico la cortadora y no críticos la bañera de enfriamiento, la marcadora, la mesa de salida, el deshumidificador, el arrastre y los equipos auxiliares

VALORACIÓN DEL IMPACTO ECONÓMICO, SOCIAL Y MEDIOAMBIENTAL

Al evaluar los resultados obtenidos en la investigación, se puede plantear que la misma puede reportar impactos económicos, sociales y medioambientales muy positivos. Desde el punto de vista económico y medioambiental, el procedimiento permite optimizar los recursos y materiales teniendo un impacto directo en la disminución de los gastos. Además, tiene en cuenta la compra de productos amigables con el medio ambiente. Desde el punto de vista social, se considera que el trabajo realizado puede originar los siguientes efectos:

- ❖ Incentivar el trabajo en grupo y permitir la participación de los trabajadores en la toma de decisiones en aras de cumplir los objetivos trazados.
- ❖ Ofrecer un adecuado soporte documental actualizado y de fácil utilización, con la finalidad de posibilitar una eficiente y eficaz ejecución de procesos, actividades y tareas de mantenimiento.
- ❖ Propiciar la solución a los problemas detectados, logrando que los trabajadores se desempeñen adecuadamente y que esto implique un incremento de sus expectativas y competencias laborales.
- ❖ Contribuir con el cumplimiento de los lineamientos de la política económica y social aprobados en el VII Congreso del PCC.
- ❖ Contribuir a mitigar el impacto negativo que puedan ocasionar al medio ambiente, los fallos detectados en los distintos equipos.

CONCLUSIONES

1. El estudio bibliográfico realizado para la construcción del marco teórico referencial de la presente investigación, confirma la existencia de una amplia base conceptual sobre la confiabilidad del mantenimiento, como también existe un gran número de procedimientos diseñados para el análisis de la criticidad en el sector industrial, aunque no se encontró ninguno aplicado a las fábricas de transformación de plástico.
2. El análisis de la situación problemática que fundamentó la investigación, permitió elaborar un procedimiento para la gestión de la criticidad en fábricas de transformación de plásticos que sigue el ciclo de Planificar, Hacer, Verificar, Actuar.
3. Se perfeccionó un procedimiento para el análisis de criticidad en HOLPLAST el cual está conformado por 4 etapas y 11 tareas y una etapa transversal de comunicación y formación.
4. La clasificación del equipamiento según su nivel de importancia, permitió definir como equipos críticos la extrusora y la bañera de calibración, como equipo semicrítico la cortadora y no críticos la bañera de enfriamiento, la marcadora, la mesa de salida, el deshumidificador, el arrastre y los equipos auxiliares

RECOMENDACIONES

1. Aplicar el procedimiento en las restantes líneas de producción y las medidas de control propuestas.
2. Generalizar el procedimiento a otras fábricas de transformación de materiales plásticos en Cuba.
3. Continuar la divulgación de las experiencias y resultados obtenidos en el trabajo de investigación, a través de publicaciones en revistas de alto prestigio académico y participación en eventos científicos lo que contribuirá, de manera significativa, a la generalización de los resultados obtenidos.

BIBLIOGRAFÍA

1. (2019) El Análisis de Criticidad, una Metodología para mejorar la Confiabilidad Operacional Reliabilityweb.com
2. Acosta Palmer, H. R. Evaluación de la Gestión de la Calidad en el MANTENIMIENTO
3. Acosta Palmer, H. R. (2013). "Resumen del diagnóstico del estado de la gestión del mantenimiento en las empresas seleccionadas por el Ministerio de Industrias.
4. Aguilar-Otero, J. R. Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. joseaguilaro@comimsa.com
5. Arata, A. (2009). Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales. Santiago de Chile.
6. Association, A. P. W. (2018). "Preventive Maintenance for Roadway Surfaces."
7. Barrera, J. C. O. (2018). " Preparación y Evaluación de Proyectos." www.mantonline-rcm.com.
8. Borroto Pentón , Y. T. e. o. a. g. c. d. D. e. C. T. (2005). Contribución al mejoramiento de la gestión del mantenimiento en hospitales en Cuba. Aplicación en hospitales de la provincia Villa Clara. Santa Clara, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
9. Campuzano, A. F. Análisis de Criticidad del Equipamiento Productivo en UEB Pasteurizadora de Santa Clara.
10. Corporation, C. (2018). "Maintenance planner."
11. De la Paz Martínez, E. (1996). "Perfeccionamiento del sistema de mantenimiento en la industria textil cubana: un proceso de mejora continua"
12. Espinosa, F. (2011). Confiabilidad operacional de Equipos. Chile.
13. Fernández, E. Q. F. (2005). Sistema de mantenimiento.
14. García Garrido, S. (2012). Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento. E. Renovetec. Madrid.
15. Hernández Paneque, Y. (2016). Sistema de mantenimiento para la línea de extrusión de polietileno de alta densidad (PEAD) en Holplast. Holguín.
16. Huerta Mendoza, R. I. R. C. d. M., No. 6. Consultado en febrero, and e. h. w. c. n. a. R. r. p. 10 (2001). "El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la

Confiabilidad Operacional." [www.confiabilidad.net/ art_05/RCM/rcm_8](http://www.confiabilidad.net/art_05/RCM/rcm_8) Revista Club de Mantenimiento, No. 6.

17. Kendall, J. (2018). Maintenance and reliability improvement.
18. Labañino Fernández, J. E. (2013). Análisis del sistema de mantenimiento del decorador 6cmpx800 de la empresa de envases de aluminio
19. Llanes, A. (2009). Procedimiento para la asistencia decisional al proceso de tercerización de la ejecución del mantenimiento. Santa Clara, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
20. Martínez, E. M. D. L. P., Ed. (2015). Temas especiales de Ingeniería y Gestión del Mantenimiento (asociados a la Ingeniería Industrial).
21. Moreno Escudero, E. y. J. R. S. (2010). Modelo de un Plan de Mantenimiento basado en la Metodología RBI (Inspección Basada en Riesgo). Bogotá. Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander Asedius Bogotá. Bucaramanga.
22. Morocho, A. M. (2014). Análisis e Identificación de Riesgos de Operabilidad en Procesos Críticos de Servicios Petroleros, Mediante la Aplicación de la Metodología HAZOP, en la Empresa Baker Hughes-Ecuador. Ecuador
23. Paneque Leyva, I. (2009). El análisis de criticidad para el estudio de confiabilidad operacional de la cosechadora de caña CASE IH - 7000.
24. Pérez Velázquez, O. J. (2018). PROCEDIMIENTO PARA LA SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO Y LA PROTECCIÓN AMBIENTAL EN EL MANTENIMIENTO. APLICACIÓN EN LA FÁBRICA DE TUBOS HOLPLAST DE HOLGUÍN. Holguín Oscar Lucero Moya
25. Pichardo, F. P. Sistema Alternativo de Mantenimiento
26. Quintero Castillo, A. A. P., J; Uribe Pérez, I; & Aguirre Rodríguez, L; (2013). Diseño de un software para el análisis y evaluación del riesgo basado en las normas API 580 Y 581.
27. R. Stegmaier, e. a. (2013). "Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo."
28. Rojas Batista, D. A. (2018). PROCEDIMIENTO PARA LA PLANIFICACIÓN Y ORGANIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO EN FÁBRICAS DE TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS. Holguín.

29. Services, A. H., M. Entrepeunorship, et al. ". "Job Maintenance Guide."
30. Yorlan Castillo, L. (2018). PROCEDIMIENTO PARA EL CONTROL DEL MANTENIMIENTO EN FÁBRICAS DE TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS. APLICACIÓN EN LA FÁBRICA DE TUBOS DE HOLGUÍN (HOLPLAST).

ANEXOS

Anexo 1. Descripción del proceso tecnológico en la producción de tubos de polietileno de alta densidad (PEAD).

La producción de tubos por extrusión es un proceso continuo que cuenta con tres líneas de producción, 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 funde 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. 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

Descripción del proceso tecnológico en la producción de tubos de polietileno de alta densidad (PEAD) (continuación). 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.

Anexo 2. Selección del grupo de expertos⁹ y determinación de sus coeficientes de competencias. Análisis de concordancia y significación de juicios. Fuente: Pérez Campaña (2005).

(A) La cantidad de expertos depende de la complejidad y las características del trabajo a realizar. El grupo de expertos debe estar entre 7 y 15 para mantener un nivel de confianza y calificación elevado (NC 49:1981 C. Calidad. Métodos de expertos). La determinación del número de expertos se realiza utilizando criterios basados en la distribución binomial de probabilidad. Para esto se utiliza la siguiente expresión:

$$M = \frac{P * (1 - P) * K}{i_2}$$

Donde:

M: Cantidad de expertos

i: Nivel de precisión deseado

P: Proporción estimada de errores de los expertos

K: Constante cuyo valor está asociado al nivel de confianza elegido

Los valores de K se ofrecen a continuación:

Nivel de confianza (%)	Valor de K
99	6,6564
95	3,8416
90	2,6896

(B) Para la selección de la comunidad de expertos a utilizar en la obtención de los pesos de importancia relativa de los atributos (Wad), en la que se establecen los siguientes requisitos generales:

- ❖ Interés en participar en el estudio: el personal experto debe estar de antemano motivado a participar y a ofrecer sus criterios sin prejuicios de ninguna índole;

⁹ Los grupos de expertos utilizan como fuente de información a un grupo de personas que se supone poseen conocimientos teóricos elevados de la materia que se va a tratar (Santana Tamayo, 2017).

- ❖ Objetividad: ser profundo y objetivo en los análisis y juicios aportados;
- ❖ No estar comprometido con los resultados, de manera tal que sus motivaciones e intereses individuales no se superpongan con el problema abordado, evidenciando imparcialidad.

(C) Análisis de la concordancia y la significación de los juicios de los expertos:

Con el resultado de la evaluación de los expertos se deberá evaluar el grado de concordancia o de acuerdo existente entre ellos, utilizándose para ello el Coeficiente de Concordancia W de Kendall que se representa por la expresión siguiente:

$$W = \frac{12 * \sum(\Delta)^2}{M^2 * (k^3 - k)}$$

Donde:

M: Cantidad de expertos

K: Número de atributos, características o criterios a evaluar

Δ : Desviación del valor medio de los juicios emitidos. Este valor se determina a través de la siguiente expresión:

$$\Delta = \sum_{j=1}^m a_{ij} - T$$

Donde:

a_{ij} : Juicio de importancia del atributo i dado por el experto j.

T: Factor de comparación (valor medio de los rangos)

$$T = 0,5 * M * (k+1)$$

El coeficiente de concordancia de Kendall expresa el grado de asociación (concordancia) entre los M y los expertos, por tanto, es una medida de correlación utilizando rangos. Para analizar la significación y/o grado de confiabilidad del juicio de los expertos, se emplean las siguientes pruebas estadísticas.

Anexo 3. Encuesta para la valoración del procedimiento para la valoración de la criticidad en fábricas de transformación del plástico. Aplicación en HOLPLAST.

Con la intención de evaluar el grado de eficacia que usted, como experto, le amerita al procedimiento propuesto; a continuación, se presentan en síntesis las etapas de la misma para analizar la gestión de la criticidad de los equipos en fábricas de transformación del plástico. El procedimiento tiene como objetivo disponer de una herramienta útil para la mejora de la confiabilidad operacional del mantenimiento. Además, cada etapa posee su objetivo, la descripción de la misma, los métodos y herramientas utilizados respectivamente.

Dichas etapas se describen a continuación para que usted responda el grado de relevancia de cada uno de los momentos de la propuesta para el desarrollo del procedimiento en la entidad; los mismos se evaluarán de la manera siguiente:

MR: Muy relevante	BR: Bastante relevante	R: Relevante	PR: Poco relevante	NR: No relevante
-------------------	------------------------	--------------	--------------------	------------------

Etapas 1: Preparación inicial_____

Esta etapa tiene como objetivo: crear el punto de partida para ejecutar eficazmente el análisis de criticidad y alcanzar un mayor compromiso, preparación y participación activa de todo el personal implicado, desde la alta dirección hasta el personal que participa en el proceso.

Tarea 1.1: Creación del grupo de trabajo.

Tarea 1.2: Compromiso de los trabajadores.

Tarea 1.3: Caracterización del proceso de mantenimiento.

Etapas 2: Análisis de criticidad_____

Esta etapa tiene como objetivo identificar las principales deficiencias en los equipos que conforman la línea de producción. Además, permite conocer cuáles de ellos según sus fallos son considerados elementos críticos para la empresa

Tarea 2.1: Realización del análisis de criticidad según metodología de Orrego Barrera.

Tarea 2.2: Clasificación de los equipos según los fallos.

Tarea 2.3: Elaboración de la lista de Jerarquización.

Etapa 3: Planificación según el análisis de criticidad _____

En esta etapa se deben trazar acciones de mejora, las que deben ser reflejadas en un plan de acción definiendo la actividad, el responsable, recursos y período a ejecutar. También se debe definir período y responsable de controlar las medidas propuestas.

Tarea 3.1: Inventario de piezas de repuesto.

Tarea 3.2: Planificación del mantenimiento.

Tarea 3.3: Programación de los planes del mantenimiento

Etapa 4: Ejecución y control del mantenimiento _____

En esta etapa se desarrolla el mantenimiento planificado para los equipos de la empresa según el grupo al que pertenecen. Para ello se deben garantizar la seguridad y salud de los trabajadores reduciendo al mínimo los riesgos potenciales. Además, se debe definir periodo y responsable de controlar las medidas propuestas.

Tarea 4.1: Tareas específicas de la ejecución del mantenimiento.

Tarea 4.2: Control de la actividad.

Etapa Transversal de Formación _____

El objetivo de esta etapa es asegurar que el personal asimile los conocimientos fundamentales y adquiera conciencia sobre la importancia de sus actividades en la aplicación progresiva del procedimiento para la integración y el logro de los objetivos propuestos, en correspondencia con su nivel de participación.

El procedimiento ha sido confeccionado sobre la base del estudio de metodologías y procedimientos existentes para determinar la criticidad de los equipos en estudio, buscando la posibilidad de contextualizarlos al objetivo de la investigación. Nos urge su valoración del mismo, por lo que le agradecemos que complete la información solicitada y responda con transparencia las cuestiones siguientes:

Marque con una X (en una escala del 1 al 5) si usted considera que la propuesta realizada posee las cualidades siguientes:

Cualidades	1	2	3	4	5
Utilidad práctica					
Importancia					
Vigencia					
Validez					
Valor metodológico					
Adaptabilidad					
Integralidad					
Actualización					

Sugerencias:

Muchas Gracias

Anexo 4. Aplicación de la AMEF (Continuación)

Equipo	Fallos	¿Se puede detectar?		Afectación			¿Se puede prevenir?	
		Sí	No	Operacional	SST	Seg. Medio Ambiente	Sí	No
Bañera de calibración	Problemas en la instalación eléctrica de la bañera 3	X			X			X
	Juntas de las bañeras de calibración dañadas	X				X		X
	Faltan sellos para las bombas de vacío	X		X			X	
	Bomba de vacío defectuosa	X		X				X
	Disparo por sobrecarga de la bomba de vacío	X		X				X
	Sobrecalentamiento del armario eléctrico	X		X				X
	Faltan sellos para las bombas	X		X			X	
	Electroválvulas del sistema	X		X				X

	hidráulico de desplazamiento con escapes de aceite							
	Cilindro del sistema hidráulico dañado	X		X				X
	Rotura de los tornillos de sujeción del mecanismo de regulación de la ovalidad del tubo	X		X				X
	Rotura del sello de la bomba de la bomba de recirculación	X		X				X
Bañera de enfriamiento	Problemas en la instalación eléctrica de la bañera 3	X		x	x			X
	Faltan componentes eléctricos	x		x			x	
Marcadora	Problemas en el sistema de calentamiento	x		x				x

Arrastre	Dos reductores de velocidad fuera de servicio	x		x			x	
	Dificultades en el arrastre	X		x				X
	Rotura de las guías	X		X				X
	Rotura de las cadenas (taco de goma atascado)	x		x				x
Cortadoras	Rotura de las cuchillas	X		x				x
	Rotura de las correas	x		x			N	
	Problemas en el brazo de la cortadora y rotura de los discos de corte	X		x				X
	Problema en el sistema de sujeción del brazo de marcado	X		x			X	
	Rotura de los discos de corte	X		X				X
	Salidero de aire por los cilindros neumáticos	X		x				x

	Falta de cuchillas	X		x			x	
Mesa de salida	No presenta							
Deshumidificador	Rotura de la tapa del alimentador del silo 1	x		x				x
	Rotura del conducto interior	x		x				x
	Soplador alimentador del silo con el motor dañado	x		x			x	
Auxiliares	Avería en las bombas de las enfriadoras y de servicio de las líneas de producción	x		x				x
	Exceso de humedad en las bombas de recirculación de las enfriadoras	x		x		x		x
	Motor eléctrico de la bomba de suministro de agua a la enfriadora 1 dañado	x		x		x	x	

	Inundación del foso de las enfriadoras	x		x		x		x
	Tupición del impelente de la bomba	x		x			x	

Anexo 5: Determinación de la frecuencia y consecuencia para determinar la criticidad de un equipo.

1. Estimación de la frecuencia de falla

La estimación de la frecuencia de falla y el impacto total o consecuencia de las fallas, se realiza utilizando criterios y rangos preestablecidos:

Estimación de la frecuencia de la falla funcional: Para cada equipo puede existir más de un modo de falla, el más representativo será el de mayor impacto en el proceso o sistema.

La frecuencia de ocurrencia del evento se determina por el número de eventos por año.

La tabla 26 muestra los criterios para estimar la frecuencia. Se utiliza el Tiempo Promedio entre Fallas (TPEF) o la frecuencia de falla en número de eventos por año.

Tabla 26. Criterios para estimar la frecuencia de las fallas

Categoría	Número de fallas	Interpretación
4	31 y más	Es probable que ocurra mucha veces.
3	21 – 30	Es probable que ocurra varias fallas.
2	11 – 20	Es probable que ocurra varias fallas. Pero es poco probable
1	0 – 10	Es poco probable que ocurra

Anexo 6. Análisis de los fallos de la línea 1 en los años 2016 - 2017 - 2018

Análisis de los fallos de la línea 1								
Extrusora								
Fallo	No. de fallos	Frecuencia de fallo	Impacto operacional	Flexibilidad operacional	Costo del mantenimiento	Impacto en Seguridad	Impacto en Medio ambiente	
Avería en los tiristores del variador de potencia	1	4	10	4	5	1	1	
Avería en el motor principal	1		10	4	5	1	1	
Salideros en la manguera del sistema de alimentación	1		5	4	1	1	5	
Tupición del cilindro	1		10	4	5	1	1	
Fallo de las escobillas del motor principal	3		10	4	5	1	1	
Pesa gravimétrica (cilindro neumático dañado)	5		5	4	1	1	1	
Salideros de aceite en el reductor	7		1	4	1	1	5	
Problemas en el dosificador de materia prima	3		10	2	5	1	1	
Total de fallos	22			61	30	28	8	
Bañera de calibración								
Fallo	Número de fallos	Frecuencia de fallo	Impacto operacional	Flexibilidad operacional	Costo del mantenimiento	Impacto en Seguridad	Medio ambiente	
Problemas en la instalación eléctrica de la bañera 3	1	4	1	4	1	1	1	
Juntas de las bañeras de calibración dañadas	2		1	2	1	1	5	
Faltan sellos para las bombas de vacío	1		5	2	1	1	1	

Bomba de vacío defectuosa	9		5	2	1	1	1
Disparo por sobrecarga de la bomba de vacío	2		5	2	1	1	1
Sobrecalentamiento del armario eléctrico	1		10	4	1	1	1
Faltan sellos para las bombas de vacío	3		5	2	1	1	1
Electroválvulas del sistema hidráulico de desplazamiento con escapes de aceite	5		5	4	1	1	1
Cilindro del sistema hidráulico dañado	1		10	2	1	1	1
Rotura de los tornillos de sujeción del mecanismo de regulación de la ovalidad del tubo	1		5	4	1	1	1
Rotura del sello de la bomba de la bomba de recirculación	2		5	4	1	1	1
Total de fallos	28		57	32	11	11	

Bañera de enfriamiento

Fallo	Número de fallos	Frecuencia de fallo	Impacto operacional	Flexibilidad operacional	Costo del mantenimiento	Impacto en Seguridad	Medio ambiente
Problemas en la instalación eléctrica de la bañera 3 de la línea 1	1	1	5	2	1	5	1
Faltan componentes eléctricos	3		5	1	5	1	1
Total de fallos	4		10	3	6	6	

Marcadora

Fallo	Número de fallos	Frecuencia de fallo	Impacto operacional	Flexibilidad operacional	Costo del mantenimiento	Impacto en Seguridad	Medio ambiente

Problemas en el sistema de calentamiento	1	1	5	4	1	1	1
Total de fallos	1		5	4	1	1	

Arrastre

Fallo	Número de fallos	Frecuencia de fallo	Impacto operacional	Flexibilidad operacional	Costo del mantenimiento	Impacto en Seguridad	Medio ambiente
Dos reductores de velocidad fuera de servicio	4	2	5	4	5	1	1
Dificultades en el arrastre	1		5	4	5	1	1
Rotura de las guías	2		5	4	5	1	1
Rotura de las cadenas (taco de goma atascado)	5		10	4	5	1	1
Total de fallos	12		25	16	20	4	

Cortadora

Fallo	Número de fallos	Frecuencia de fallo	Impacto operacional	Flexibilidad operacional	Costo del mantenimiento	Impacto en Seguridad	Medio ambiente
Rotura de las cuchillas	7	4	5	4	1	1	1
Rotura de las correas	3		1	1	1	1	1
Problemas en el brazo de la cortadora y rotura de los discos de corte	3		5	4	1	1	1
Problema en el sistema de sujeción del brazo de marcado	3		5	4	1	1	1
Rotura de los discos de corte	6		5	4	1	1	1
Salidero de aire por los cilindros neumáticos	2		5	4	1	1	1
Falta de cuchillas	7		5	4	1	1	1
Total de fallos	31		31	17	7	7	

Mesa de salida

Fallo	Número de fallos	Frecuencia de fallo	Impacto operacional	Flexibilidad operacional	Costo del mantenimiento	Impacto en Seguridad	Medio ambiente
0	0	1	0	0	0	0	0
Total de fallos	0	1	0	0	0	0	0

Deshumificador

Fallo	Número de fallos	Frecuencia de fallo	Impacto operacional	Flexibilidad operacional	Costo del mantenimiento	Impacto en Seguridad	Medio ambiente
Rotura de la tapa del alimentador del silo 1	6	2	5	2	1	1	1
Rotura del conducto interior	4		5	2	1	1	1
Soplador alimentador del silo con el motor dañado	5		10	4	1	1	1
Total de fallos	15		15	8	3	3	

Equipos auxiliares

Fallo	Número de fallos	Frecuencia de fallo	Impacto operacional	Flexibilidad operacional	Costo del mantenimiento	Impacto en Seguridad	Medio ambiente
Avería en las bombas de las enfriadoras y de servicio de las líneas de producción	2	1	5	2	1	1	1
Exceso de humedad en las bombas de recirculación de las enfriadoras	2		10	4	5	1	5
Motor eléctrico de la bomba de suministro de agua a la enfriadora 1 dañado	3		10	4	5	1	5
Inundación del foso de las enfriadoras	1		10	4	5	1	5
Tupición del impelente de la bomba	1		5	2	1	1	1
Total de fallos	9		40	20	17	5	

Anexo 7. Inventario de piezas de repuestos

Equipo	Recursos a utilizar
Extrusora	Escobillas Estopa Filtro Tela filtrante Cinta de teflón
Bañera de calibración	Filtros Aspersores Electro-válvulas Válvula ½"
Cortadora	Expansiones Grasa Lisan Cuchillas Correas Aceite reductor Accesorios neumáticos
Bañera de enfriamiento	Filtros Aspersores Electroválvulas
Marcadora	Correas
Mesa de salida	Manguera neumática. Conexiones
Deshumificador	Correas Filtros
Arrastre	Cadenas Guías Tacos Tornillos
Equipos auxiliares	Estopa Aceite Perfecto T 68. 10 L.

Anexo 8. Plan de mantenimiento mensual (diciembre de 2018)

1	Extrusora	Horas	Recursos
1.1	Revisar escobillas, cambiar si es necesario.	2	Escobillas 40u Estopa 1kg. Filtro. Tela filtrante Cinta de teflón
1.2	Limpieza del filtro del sistema de enfriamiento, cambiar si es necesario.	0.25	
1.3	Limpieza del filtro del ventilador, cambiar si es necesario.	0.25	
1.4	Revisar sistema neumático, eliminar salideros.	1.25	
1.5	Revisión de la transmisión por correas, tensar si es necesario.	1	
1.6	Limpieza del sistema de enfriamiento.	0.5	
2	Bañeras de refrigeración	Horas	Recursos
2.1	Chequear el funcionamiento de las bombas de recirculación, reparar si es necesario.	1	Filtros Aspersores Electro- válvulas Válvula ½"
2.2	Revisar los aspersores, limpiar si están obstruidos.	1.25	
2.3	Limpieza de filtros de agua, sustituir si están dañados.	1.5	
2.4	Comprobar el funcionamiento del sistema de llenado, reparar si es necesario.	1	
2.5	Limpieza de las mangueras bomba de vacío, sustituir si es necesario	0.5	
2.6	Comprobar funcionamiento del sistema de alimentación de agua del calibrador, limpiar o reparar si es necesario.	2	
2.7	Comprobar funcionamiento bombas de vacío (ruido, vibración, salideros), reparar si es necesario.	3	
2.8	Comprobar funcionamiento bombas de recirculación y drenaje (ruido, vibración, salideros), reparar si es necesario.	1	
3	Cortadora	Horas	Recursos
3.1	Chequear el funcionamiento del moto-reductor (ruido, vibraciones, nivel de aceite), reparar si es necesario.	0.25	Expansiones Grasa Lisan Cuchillas Correas
3.2	Drenar tanques de aire comprimido.	0.10	
3.3	Eliminar salideros de aire en electroválvulas, mangueras y accesorios.	0.5	

3.4	Revisar el funcionamiento de los cilindros neumáticos, reparar en caso necesario.	0.25	Aceite reductor
3.5	Revisar disco de corte, reajustar o sustituir si es necesario.	0.25	Accesorios neumáticos
3.6	Revisar transmisión por correas, tensar o sustituir si es necesario.	0.5	
3.7	Comprobar estado de los discos de corte, ajustar o sustituir si es necesario.	0.5	
3.8	Revisar sistema hidráulico de los brazos, eliminar salideros de aceite.	3	
3.9	Revisión apriete y estado de la cuchilla.	2	
4	Bañera de Enfriamiento	Horas	Recursos
4.1	Revisar los aspersores, limpiar si es necesario.	3	Filtros. Aspersores Electro-válvulas
4.2	Limpieza de los filtros, sustituir si es necesario.	0.5	
4.3	Comprobar funcionamiento bomba de recirculación (ruido, vibración, salideros), reparar si es necesario.	1	
4.4	Chequear el funcionamiento de las bombas de recirculación, reparar si es necesario.	1.25	
4.5	Limpieza de filtros de agua, sustituir si están dañados.	1.5	
4.6	Comprobar el funcionamiento del sistema de llenado, reparar si es necesario.	1.3	
5	Marcadora	Horas	Recursos
5.1	Revisión de la transmisión y sustitución de correas dañadas.	1	Correas
6	Mesa de salida	Horas	Recursos
6.1	Comprobar tensado de las cadenas, tensar en caso necesario.	0.5	Manguera neumática. Conexiones
6.2	Limpieza de los tacos de goma de las orugas.	2	
6.3	Eliminar posibles salideros de aire.	0.5	
7	Deshumificador	Horas	Recursos
7.1	Revisión transmisión por correas, tensar o sustituir si es necesario.	3	Correas Filtros
7.2	Revisión de los filtros, cambiar si es necesario	0.25	
8	Arrastres	Horas	Recursos

8.1	Revisión y tensado de las cadenas, sustituir cadenas en mal estado.	3	Cadenas. Guías. Tacos. Tornillos.
8.2	Sustituir guías defectuosas.	1	
8.3	Sustituir tacos de goma de las orugas en mal estado.	4	
9	Equipos auxiliares	Horas	Recursos
9.1	Limpieza general de los compresores.	1	Estopa. Aceite Perfecto T 68. 10 L.
9.2	Revisión del sistema eléctrico.	1	
9.3	Revisión de filtros de aire y de aceite, cambiar si es necesario.	1	
9.4	Revisión del tensado de la correa	0.5	
9.5	Revisión del nivel de aceite, completar si es necesario	0.25	