

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

Implementación de un programa de mantenimiento en una  
sopladora de envases de polietileno

Trabajo de investigación presentado por:

Jorge Ricardo Cerezo Ramírez

para optar al grado de Licenciado en Ingeniería Mecánica

Guatemala

Septiembre de 2005

Implementación de un programa de mantenimiento en una  
sopladora de envases de polietileno

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

Implementación de un programa de mantenimiento en una  
sopladora de envases de polietileno

Trabajo de investigación presentado por:

Jorge Ricardo Cerezo Ramírez

para optar al grado de Licenciado en Ingeniería Mecánica

Guatemala

Septiembre de 2005

## **PREFACIO**

Para mantener un negocio vigente es necesario buscar herramientas que permitan reducir pérdidas en cada una de las estructuras de costo del negocio. Este trabajo busca modelar un programa de mantenimiento enfocado a la reducción de costos y desarrollo de capacidad en los operadores de una planta. Con esto se pretende evidenciar los beneficios de implementar un programa de mantenimiento bien estructurado y diseñado para entregar un producto terminado de calidad y aumentar la rentabilidad del negocio con foco en la cadena de suministros.

El programa de mantenimiento en una máquina sopladora de envases se logró implementar completamente en el sistema de alimentación y tuvo una duración de seis meses, la expectativa es que el modelo sirva de referencia para ser reaplicado en el resto de sistemas de la máquina.

## **RESUMEN**

La máquina sopladora de envases de polietileno presentaba una gran cantidad de paros no programados por concepto de fallas en su sistema de alimentación de materia prima, esto repercute directamente en el costo del producto terminado, en este caso el envase de polietileno.

Una vez identificado el problema, se diseñó un programa de mantenimiento para el sistema de alimentación de la máquina, el programa tiene como foco principal la eliminación del 75% de las fallas en la máquina lo cual impacta directamente en reducción de tiempo muerto de los operadores y reducción de paros no programados. Para poder alcanzar el objetivo de reducción de fallas se implementó el programa por medio de tres fases y cinco sistemas claves que permiten abarcar la gran mayoría de factores que estaban provocando las fallas.

Los resultados obtenidos después de seis meses de implementación incluyen la reducción del 79% de fallas en base mensual y la certificación del 100% de los operadores de la máquina en la ejecución de actividades de mantenimiento.

Los resultados alcanzados nos permiten concluir que el programa de mantenimiento sugerido para la máquina sopladora de envases de polietileno cumple con el objetivo de reducir costos por lo que se recomienda llevar a cabo el programa en el resto de sistemas de la máquina y, en general, en cualquier máquina de la planta en donde se tengan pérdidas identificadas por un mal manejo del programa de mantenimiento. .

# CONTENIDO

	Página
PREFACIO.....	iv
RESUMEN.....	v
LISTA DE TABLAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
Capítulos	
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. EL ENVASE DE POLIETILENO .....	2
A. Generalidades .....	2
B. Proceso de fabricación del envase de polietileno .....	3
C. Principales pérdidas en la máquina sopladora.....	15
III. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO .....	21
A. Propósito del programa de mantenimiento.....	21
B. Las tres fases del programa de mantenimiento.....	21
C. Sistemas del programa de mantenimiento .....	30
D. Tipos de mantenimiento .....	36
E. Responsabilidad del planeador de mantenimiento .....	40
F. Sistema de fallas.....	41
G. Costos de mantenimiento .....	45
H. Medidas del programa de mantenimiento .....	48
IV. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO EN SOPLADORA DE ENVASES DE POLIETILENO .....	50
A. El modelo .....	50
B. Sistema de alimentación de materia prima.....	51
C. Análisis de pérdidas del sistema de alimentación .....	58
D. Implementación del programa de mantenimiento en el sistema de alimentación ....	65
V. BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA .....	79
A. Reducción de fallas.....	79
B. Personal entrenado.....	80
C. Beneficio en costos.....	81
VI. CONCLUSIONES.....	82

VII.	RECOMENDACIONES .....	83
VIII.	BIBLIOGRAFÍA .....	84
IX.	ANEXOS .....	85

# I. INTRODUCCIÓN

La reducción de costos de operación, y sobre todo el aumento de la confiabilidad de las líneas de producción es un aspecto que todo ingeniero de plantas debe considerar a la hora de diseñar su estrategia de productividad.

El mantenimiento preventivo aplicado de manera sistemática resulta ser una de las herramientas que permite reducir costos de operación y aumentar la confiabilidad de las líneas de producción. Es por esto que este trabajo se enfoca en diseñar un sólido programa de mantenimiento para una máquina sopladora de envases de polietileno. En la actualidad, el proceso de soplado de polietileno es parte importante de la línea de botellas, tomando en cuenta que es la primera estación de trabajo y que marca el la velocidad de salida de producción total de la línea representa un factor importante para determinar el volumen mensual final de producción. Debido a que la velocidad de producción debe estar alineada a la demanda en el mercado, la cual se encuentra en constante crecimiento, es importante minimizar los paros no planeados por deterioro de todos los mecanismos que accionan el sistema de soplado. Sin embargo, dicho proceso no cuenta con un programa de mantenimiento, lo ocasiona que la máquina, constantemente tenga fallas y que el envase no cumpla con los parámetros de calidad necesarios, es decir, la confiabilidad de la máquina no es la que la empresa necesita para manejar la demanda de envases de polietileno. De esta forma se buscó la manera de desarrollar un programa de mantenimiento que reduzca significativamente la cantidad de paros de la máquina, y adicionalmente tenga un impacto en la reducción de costos en términos de mano de obra, repuestos y productividad de la máquina.

Este trabajo puede resumirse en dos partes: la primera, que se enfoca en la descripción completa de todos los sistemas de la máquina sopladora haciendo referencia teórica de las bases de un mantenimiento preventivo; y la segunda parte; que muestra el desarrollo del programa de mantenimiento para la máquina, incluyendo la implementación de estándares para la realización de las tareas de mantenimiento y documentación apropiada para que el proceso de mantenimiento pueda reaplicarse a las demás estaciones de trabajo dentro de la empresa.

La metodología de análisis incluyó un primer paso de investigación en campo del proceso total del soplado en la fabricación de envases de polietileno, donde se identificaron y clasificaron en sistemas los componentes de la máquina, como por ejemplo el motor del molino que pertenece al sistema de alimentación. El segundo paso, fue determinar la frecuencia de cambio de cada componente, el proceso de trabajo correcto y la cantidad de personas adecuadas para realizar dicho proceso. El tercer paso incluye la realización del reporte final que tomó en cuenta los costos de mantenimiento y el ahorro proyectado de seis meses al

implementarse el programa diseñado. El objetivo primordial de este trabajo es que el modelo trabajado pueda ser reaplicado en las demás máquinas de la planta.

## II. EL ENVASE DE POLIETILENO

### A. Generalidades

El envase de polietileno que se produce en la empresa tiene como función envasar Cloro, por lo que el mismo requiere características de diseño que permitan que el Cloro no pierda sus propiedades químicas con el transcurso del tiempo y que el producto no perfora el envase y provoque fugas. Para cumplir con las especificaciones anteriormente mencionadas, se utilizan materias primas de alta calidad como: resina virgen de polietileno y masterbatch.

Actualmente la máquina está diseñada para fabricar dos tipos de presentación: 1000ml. y 3785ml. Los cambios de presentación se realizan aproximadamente una vez a la semana y el volumen que se maneja es de 54% del envase de 1000ml. y 46% del envase de 3785ml. En ambas presentaciones el envase debe pasar por estrictas pruebas de calidad que se le aplican al envase cada 30 minutos, entre las pruebas que se realizan podemos mencionar las pruebas de caída y los pesos del envase, estas pruebas son realizadas por los operadores de la máquina.

La máquina a tratar en este trabajo produce dos presentaciones mencionadas anteriormente para cada presentación se utilizan las siguientes capacidades y versiones:

- Presentación 1000ml.: la máquina tiene capacidad para fabricar 24 envases por minuto y el tiempo de cambio de presentación es de 8 horas. En esta presentación el envase se llena con versión de Cloro regular y Cloro limón.
- Presentación 3785ml.: la máquina tiene capacidad para fabricar 12 envases por minuto y el tiempo de cambio de presentación es de 12 horas. En esta presentación el envase se llena con versión Cloro regular y Cloro limón.

El uso que se le puede dar a este tipo de envases es únicamente para el llenado del producto para el cual fue diseñado, es decir Cloro en sus presentaciones limón o regular. La cantidad de cada material que se adiciona para formar el envase está especialmente calculada para que el producto no sufra degradaciones y que no existan fugas que puedan provocar que el producto dañe cualquier objeto.

En la Figura 1 se puede observar la parte frontal de la máquina sopladora a la cual se le implementará el programa de mantenimiento sugerido.



**Figura 1. Máquina sopladora de envases de polietileno**

## B. Proceso de fabricación del envase de polietileno

Las materias primas, tanto la resina virgen de polietileno como el masterbatch se ingresan al área en sacos y estas son colocadas en un tanque de almacenamiento. Los ingredientes siempre son los mismos pero la cantidad a utilizar varía según la presentación que se va a trabajar, el manejo de los materiales debe ser muy cuidadoso ya que el color es un factor muy importante en este tipo de envases.

Los pasos básicos para la producción de envases de polietileno son la composición de la mezcla, alimentación al tornillo extrusor, dosificación de la mezcla, moldeado, soplado, probado, enfriamiento, y transporte a la línea de llenado.

El primer paso es la elaboración de la mezcla, el proceso se lleva a cabo de la siguiente forma:

- Los sacos de 100 Kg. de resina virgen y de 25 Kg. de masterbatch se colocan cada uno en su respectivo depósito de alimentación al inicio del turno, los

ingredientes son aspirados hacia un mezclador donde se mezclan con el reciclo de la máquina proveniente de un molino triturador. Los tres materiales se someten a una temperatura determinada y se mezclan hasta alcanzar la consistencia deseada. Si en el mezclador no se tiene la temperatura necesaria, la mezcla no se logrará homogenizar de la forma correcta y habrá que reciclar todo el lote de dicha mezcla.

En este momento son cuatro factores los que deben tomarse en cuenta para afirmar que la mezcla es la correcta y puede ir al tornillo extrusor:

- Porcentaje correcto de cada uno de los materiales,
- color blanco puro sin ningún tipo de contaminación,
- temperatura adecuada,
- velocidad del mezclador.

Cada uno de estos parámetros se mide cada 4 horas y lleva un seguimiento diario para asegurar que se cumplen con las regulaciones establecidas por aseguramiento de calidad.

**1. Orden del agregado de las materias primas.** Las materias primas no llevan ningún tratamiento químico previo a ingresar en los tanques de alimentación, solamente el reciclo proveniente de las rebabas o de envases que no cumplieron con el peso es pasado por un molino que se encarga de triturar el reciclo y llevarlo directamente al mezclador. Ya en el mezclador, la mezcla debe alcanzar 53°C y una relación de materias primas que es la siguiente:

- 62.4 % de resina virgen de polietileno
- 2.8% de masterbatch
- 34.8 % de reciclo

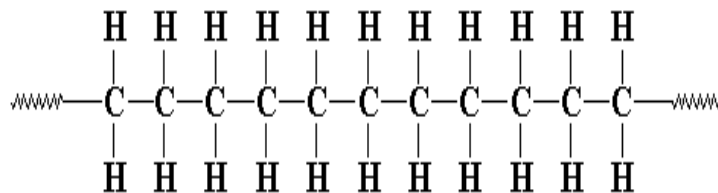
Es de suma importancia que la mezcla contenga el porcentaje exacto de cada material, ya que de lo contrario se tienen variaciones en peso y en el color del envase, la calibración de este sistema se realiza cada tres meses.

**a. Resina virgen de polietileno.** La resina virgen de polietileno que se utiliza en la aplicación de soplado de envases para Cloro es una resina

de alta densidad con densidad de 0.955(g/cm<sup>3</sup>) e índice de fluencia de 10.0 (g/10 min) a (190°C/2.16 kg, ASTM D1238). La cantidad de resina que se utiliza es 42.5Kg. por 1000 envases de 1000ml. y 48.3Kg. por 1000 envases de 3785ml. Se utilizan este tipo de resinas debido a que ofrecen dureza, rigidez y resistencia para aplicaciones de moldeo por soplado, productos extrudidos, films y artículos moldeados por inyección. Para el moldeo por soplado, las resinas de este tipo ofrecen una excelente combinación de rigidez y resistencia al resquebrajamiento por tensiones ambientales, y resultan el material preferido para muchas aplicaciones de productos de cuidado personal, artículos domésticos, envases industriales y para botellas en general. Para el moldeo por inyección, las resinas de alta densidad brindan resistencia y procesabilidad – las dos propiedades que todo procesador de moldeo por inyección desea, pero rara vez obtiene al mismo tiempo. Y esta ventaja está disponible a lo largo de un amplio espectro de aplicaciones de uso final.

Todas estas ventajas de la resina de polietileno de alta densidad se deben a su estructura química y a la forma en que la misma es producida ya que el proceso de polimerización del polietileno de alta densidad se lleva a cabo a baja presión y con catalizadores en suspensión. Se obtiene así un polímero muy cristalino, de cadena lineal muy poco ramificada, la ausencia de la ramificación produce una estructura compacta con una densidad más alta y una resistencia química un poco alta.

La presión en la fabricación de las resinas de alta densidad está por debajo de 14 MPa, en muchos casos, hasta por debajo de 7 MPa. Hay tres procesos comerciales importantes usados en la polimerización de las resinas de alta densidad: los procesos en disolución, en suspensión y en masa. Los catalizadores usados en la fabricación de las resinas de alta densidad, por lo general, son o del tipo óxido de un metal de transición o del tipo Ziegler - Nattalas. Las resinas de las resinas de alta densidad funcionaran adecuadamente, aun si se hacen mediante diferentes procesos.



**Figura 2. Estructura química del polietileno de alta densidad.**

b. Masterbatch. El masterbatch que se utiliza es para darle el color blanco a los envases, es necesario que los envases tengan este color para evitar la degradación del Cloro. La cantidad de masterbatch que se utiliza es 8.65Kg. por 1000 envases de 1000ml. y 8.93Kg. por

1000 envases de 3785ml. Los masterbatch blancos reducen el problema de depósitos en la hilera de extrusión para película de botellas sopladas. Las nuevas resinas de masterbatch se han desarrollado para minimizar este efecto, con un índice de fluidez de 11g/10 min. con valores de 2,16 Kg./190 C que garantiza su incorporación sin dificultades. El uso de este material supone una menor inmovilización de la hilera para su limpieza, por lo que reduce los costos de operación. Otra ventaja de este material es que puede aplicarse añadiéndolo directamente en la tolva o premezclando con el resto de la resina.

c. Reciclo. El reciclo no es más que las rebabas que se generan en el mismo proceso de soplado de envases de polietileno, estas rebabas caen a una banda continua que lleva las rebabas a un molino encargado de triturar las rebabas. Cabe mencionar que todo aquel envase que no cumpla con los pesos o dimensiones establecidas es llevado al molino para ser triturado y no perder el material. Con este tipo de envases se debe tener cuidado ya que si el mismo presenta contaminación de cualquier tipo, por ejemplo polvo, aceite o cualquier agente ajeno a las materias primas, debe ser descartado inmediatamente para no contaminar la mezcla. La importancia del reciclo radica en que no se debe perder ni un poco del material lo cual hace de la máquina sumamente eficiente.

2. Alimentación al tornillo extrusor. Cuando la mezcla ya cuenta con las características deseadas, la misma es bombeada hacia una tolva que se encuentra en la parte superior del tornillo extrusor. La mezcla ya homogenizada, cae directamente a el tornillo extrusor donde es sometida a altas temperatura según el trayecto que vaya recorriendo. Las altas temperaturas del tornillo extrusor se consiguen por medio de resistencias eléctricas que van de 1480 a 2450 Watts a una temperatura definida para cada una de las resistencias, la cual se deberá mantener constante durante todo el proceso.

Las temperaturas del tornillo extrusor en cada una de sus secciones son las siguientes:

- Sección 1 ---- Resistencia de 1480 Watts a 170°C
- Sección 2 ---- Resistencia de 1590 Watts a 170°C
- Sección 3 ---- Resistencia de 2120 Watts a 180°C
- Sección 4 ---- Resistencia de 2120 Watts a 180°C
- Sección 5 ---- Resistencia de 2450 Watts a 185°C

El objetivo primordial del tornillo extrusor es llevar la mezcla hasta el cabezal y calentarla la misma en cada sección del tornillo. El movimiento helicoidal del mismo permite que la mezcla no se pegue a las paredes, dicho movimiento es realizado por medio de un motor de 50 HP de potencia.

3. **Dosificación de la mezcla.** Para dosificar la mezcla a la temperatura necesaria, se requiere utilizar resistencias en todo el cabezal de la máquina, es de suma importancia mantener la temperatura de la mezcla para obtener la consistencia deseada en los envases. Cuando la mezcla se encuentra en la punta del tornillo ésta debe ser dosificada por medio de la manga del cabezal, la dosificación se realiza por medio de dos válvulas cuyo punto muerto es cero, estas válvulas son configuradas electrónicamente desde el panel de control principal de la máquina.

El principal propósito de la dosificación de la mezcla es que el envase tenga la cantidad correcta de material en cada una de sus secciones, esto es de suma importancia ya que en sitios como la parte inferior del envase se requiere una mayor cantidad de material para soportar el peso del producto que contiene el envase. El cabezal de la máquina es uno de los sistemas que requiere un programa de mantenimiento más sólido, ya que en este sitio el polietileno caliente se introduce en las cavidades y se enfría, esto provoca que el polietileno cambie de color y contamine toda la producción de envases de ese turno.

a. **Efectos de una mala dosificación.** La mala dosificación de la mezcla de polietileno puede tener grandes repercusiones en términos de la calidad del envase, el principal problema con la mala dosificación radica en el hecho de que el envase pueda romperse o contener micro agujeros que permitan que el producto que se encuentra en el interior pueda fugar. Es importante tomar en cuenta que los envases que se producen tendrán un trato rudo en diversas bodegas y centros de distribución, de ahí radica la importancia de una buena dosificación en esta parte del proceso.

Un segundo problema que está relacionado con la mala dosificación de la mezcla de polietileno, es la ausencia del color blanco del envase en las superficies laterales del mismo. Cuando la capa de material es demasiado escasa para la zona lateral, se forma una capa tan delgada que su nivel de transparencia es bastante alto.

El problema con este defecto no es solamente la percepción que el consumidor final tendrá acerca del envase, sino que el producto que se almacena en los envases tiene un tiempo de vida que se acorta con la exposición al sol. La degradación total del Cloro en un envase con una buena dosificación de material es de aproximadamente 12 meses, mientras que en envases con cierto grado de transparencia el producto puede degradarse en 6 meses.

b. **Muestras de calidad para controlar dosificación.** Para asegurar que la línea de llenado de envases no recibe envases con defectos por mala

dosificación, se ejecuta un sistema que monitorea la calidad de los envases.

Este sistema consiste en sacar una muestra de envases en la operación normal durante intervalos de tiempo especificados según la prueba que se deba ejecutar y aplicarles pruebas destructivas y no destructivas. El resultado de dichas pruebas se ingresa a una base de datos que permite visualizar tendencias y generar reportes en base mensual.

La importancia de estas pruebas radica en mantener bajo control la operación, es por esto que todos los operadores de la máquina están certificados en prácticas correctas de ejecución de pruebas y contramedidas a realizar en caso las pruebas den un resultado negativo.

Los restos de los envases que son destruidos en las pruebas, son colocados manualmente en el molino y son reutilizados por la máquina, por lo que las pruebas no representan un gasto en materiales para la operación. En la Tabla No. 1 se encuentra una breve descripción del muestreo de calidad que se realiza para controlar el proceso de dosificación.

<b>NOMBRE DE LA PRUEBA</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>PRUEBA POSITIVA</b>	<b>PRUEBA NEGATIVA</b>
Prueba de caída	6 envases cada 30 min.	Continuar operando	Ajuste de presión en molde y manga.
Prueba de pesos	6 envases cada 30 min.	Continuar operando y notificar al líder de línea.	Ingresar al programa y ajustar dosificación, revisar válvulas.
Prueba de rosca	6 envases cada 60 min.	Continuar operando	Retener 60 minutos de producción, parar y revisar molde.
Prueba de color	6 envases cada 60 min.	Continuar operando	Retener 60 minutos de producción y ajustar dosificación de masterbatch.
Prueba de dimensiones	6 envases cada 30 min.	Continuar operando y notificar al líder de línea.	Ajustes en manga y revisión de moldes.

**Tabla 1. Pruebas de aseguramiento de calidad en máquina sopladora**

La garantía que el producto salga de manera correcta depende de las pruebas mencionadas anteriormente, el sistema de dosificación puede ser el causante de cualquiera de los defectos que las pruebas intentan detectar, es por eso que este sistema es uno de los que requiere tener un programa de mantenimiento que permita que los componentes no pierdan propiedades físicas y provoquen defectos en operación.

**4. Moldeado.** Luego de que la mezcla baja por cada una de las mangas, la misma es capturada por los moldes, estos moldes se mueven por medio de una bomba hidráulica que permite el movimiento de los pistones hidráulicos que sostienen el molde. En la máquina se colocan dos moldes, cada uno recibe la mezcla de una manga, cada molde trabaja con dos cavidades, es decir la máquina trabaja con cavidades en operación normal.

Los moldes son de una aleación de aluminio con níquel, esto les permite resistir altas temperaturas y a la vez no ser tan pesados, el peso debe ser manejable ya que el cambio de estos moldes es frecuente debido a que en la máquina se trabajan dos presentaciones. Cada uno de los moldes cuenta con ocho mangueras de entrada y ocho de salida de agua de enfriamiento, el enfriamiento en los moldes resulta ser crítico para facilitar la homogenización de la mezcla de polietileno. En el momento en que los moldes cierran la mezcla debe enfriarse pero gradualmente, ya que un cambio brusco de temperaturas puede provocar una fractura en el momento en que el envase se forma.

El mantenimiento a los moldes es muy importante, sin embargo éste no puede realizarse en la planta ya que no se cuenta con el equipo necesario para realizar dichas actividades. El principal problema que sufren los moldes es desgaste por exceso de presión y en algunos casos corrosión por exceso de humedad. Los moldes deben recibir un tratamiento en un taller de metal mecánica especializado en tratamiento de aleaciones de aluminio, en algunos casos se requiere soldadura fina para poder refrentar y posteriormente pulir el molde. En la Tabla No. 2 se encuentra una breve descripción de los impactos y requerimientos necesarios para realizar los cambios de presentación en el proceso de soplado.

<b>PRESENTACION</b>	<b>TIEMPO DE CAMBIO</b>	<b>PERSONAS NECESARIAS PARA REALIZAR EL CAMBIO</b>	<b>PORCENTAJE DE ENVASES RECICLADOS EN ARRANQUE</b>
Litro	8 horas	1 persona	0.3% de la producción total del turno.

Galón	6 horas	2 personas	0.5% de la producción total del turno.
-------	---------	------------	--

**Tabla 2. Tiempos de cambio de formato en máquina sopladora**

**5. Soplado.** En el instante que la mezcla de polietileno se encuentra dentro del molde, la misma se sopla dentro de éste, resultando en el proceso la formación del envase. Los dispositivos que se encargan de soplar el aire dentro del molde son los sopladores, existe un soplador para cada molde y su diámetro es muy importante ya que debe penetrar el molde y sellarlo por completo para evitar fugas de aire.

Los pines de soplado tienen un movimiento lineal vertical manejado por medio de un pistón neumático, el material de estos sopladores es acero inoxidable, esto debido a que el aire, a pesar de ser filtrado varias veces durante el proceso contiene condensado que puede corroer pines de soplado. El efecto que la corrosión puede tener sobre el molde es tan fuerte que puede llegar a dañarlo permanentemente, la contaminación del envase sería un efecto secundario del daño eminente que el molde puede sufrir.

La presión de aire que llega a los pines es una variable de proceso crítica y que debe ser monitoreada constantemente para evitar tener envases con consistencia que no cumpla con los requerimientos de control de calidad.

En la Tabla No.3 muestra los requerimientos de aire comprimido y la capacidad del compresor que alimenta el proceso de soplado según la presentación que se este trabajando, también se considera el caudal requerido.

<b>PRESENTACIÓN</b>	<b>CAPACIDAD COMPRESOR</b>	<b>PRESIÓN DE OPERACIÓN</b>	<b>CAUDAL REQUERIDO</b>
Litro	50HP	60 bares	55 cfm.
Galón	50HP	90 bares	83 cfm.

**Tabla 3. Requerimientos de aire comprimido en máquina sopladora.**

**6. Sistema de pruebas.** Luego de realizarse el proceso de soplado y al tener como resultado un envase de polietileno, se realizan las pruebas de calidad descritas anteriormente. Sin embargo, las pruebas de calidad no detectan agujeros en el envase y daños en la boquilla, para contrarrestar estos defectos la máquina cuenta con dos dispositivos que descartan automáticamente la presencia de este tipo de defecto en el envase y permiten tener un control de calidad instalado en el proceso.

- Agujeros en cualquier superficie del envase, incluye cualquier agujero por donde pueda salir el aire. Los dispositivos que se utilizan para detectar este defecto se llaman probadores y consisten en un mecanismo que sopla aire dentro del envase y detecta pérdidas de presión en su sistema. Aseguramiento de calidad realiza auditorias trimestrales para probar este sistema, ya que es la primer barrera para evitar que el producto terminado tenga fugas. Si el probador no detecta fuga, el envase continúa su camino hacia la línea de llenado, pero si el probador detecta una fuga automáticamente un pistón horizontal retira golpea el envase hasta la banda de transporte de recicló. La ventaja de este sistema es que es muy eficiente y a la vez permite llevar un control de la cantidad de defectos que se generan, esto debido a que el pistón cuenta con un contador que nos permite visualizar en el panel principal de la máquina la cantidad de veces que el mismo ha sido activado.
- El segundo defecto que cuenta con un dispositivo de pruebas, es la dimensión de la boquilla del envase, este probador tiene en la punta un cono con la diámetro interno que debe tener la boquilla del envase. Si este cono no entra de manera directa hasta determinada posición previamente definida, al envase se le rechaza utilizando el mismo mecanismo que el defecto de los agujeros en el envase. Este defecto, aunque se da en menor proporción puede provocar dificultades en la línea de llenado, el problema radica en la dificultad para que la tapa concuerde con la boquilla, lo crítico de este defecto es que el envase puede ir mal tapado y fugar durante toda la cadena de distribución provocando la pérdida de la caja completa.

**7. Almacenamiento de los envases.** Los envases que han pasado las pruebas salen por un transportador lineal que los dirige a la línea de llenado, los envases pueden ser utilizados directamente en la línea o pueden ser almacenados para su uso posterior. El hecho de contar con un procedimiento para almacenar los envases hace que la línea sea más flexible ya que se puede estar soplando y llenando diferentes presentaciones según la necesidad de embarques programados.

Sin embargo, el factor fundamental por el cual se requiere almacenar envases es porque la capacidad de la línea de llenado es superior al de la línea de soplado, esto obliga a tener que operar la línea de soplado a dos turnos de 12 horas, mientras que la línea de llenado

opera solamente un turno de 12 horas. En la Tabla No.4 se muestra la capacidad de llenado según presentación que se esta trabajando.

PRESENTACIÓN	VERSIÓN	CAPACIDAD
Litro	Limón	33 Litros por min.
Litro	Regular	40 Litros por min.
Galón	Limón	17 Galones por min.
Galón	Regular	20 Galones por min.

**Tabla 4. Capacidades de la línea de llenado.**

Como se puede observar en la Tabla 4, las capacidades de la llenadora son bastante más altas que las capacidades de la sopladora, esto provoca tener que almacenar el envase que se produce cuando la línea de llenado no está en funcionamiento. El proceso de almacenaje de envase resulta ser sumamente crítico ya que puede sufrir daños en el transporte y alojamiento en bodega, esto provocaría que el envase tenga que ser descartado y no se pueda volver a utilizar incluso ni como recicló.

Si el envase adquiere una mínima cantidad de polvo o cualquier otro contaminante, el mismo ya no podrá ser molido como parte del recicló de la mezcla de polietileno. Esto debido a que la mezcla puede llegar a tener una variación en su color blanco, lo cual traería como resultado el bloqueo del lote completo de producción y un paro de 12 horas para remover toda la mezcla de la máquina.

Los envases que reciben suciedad son apartados y juntados en un área específica de la bodega, cuando se juntan 1,500 envases sucios, se muelen con la máquina apagada y los restos molidos del envase se venden a una empresa encargada en manejo de polietileno. A pesar de no perder el 100% del valor del envase, la pérdida del valor del mismo oscila entre un 60-70% ya que no solamente se pierde el valor de los materiales y el tiempo de la máquina sino también las horas de los trabajadores que ocupan su tiempo para moler el envase sucio y almacenarlo en costales para su posterior venta.

En general, los modos de defecto que se pueden generar en el almacenamiento de envases son de dos tipos, el impacto de cada uno de los defectos es diferente y la pérdida en términos de costos también varía significativamente. Los defectos pueden ser los siguientes:

- El envase se golpea y cualquiera de sus superficies sufre abolladuras lo cual provoca que ya no pueda ser utilizado debido a que sus dimensiones se han modificado y los parámetros de

calidad no permiten llenar un envase con dimensiones diferentes al estándar. Este tipo de defecto puede suceder debido al mal manejo del envase cuando este es colocado en las tarimas de almacenamiento, otro factor puede ser que los envases se golpean contra cualquier estructura en la bodega. El plan de acción con este tipo de envases es simplemente juntarlos en una bolsa limpia y colocarlos nuevamente en el molino de la máquina, como estos solamente sufren de abolladuras y no de suciedad, los mismos pueden ser colocados mientras la máquina está operando. La mezcla de polietileno no sufre ninguna variación cuando estos envases se colocan en el molino, por lo que la única pérdida apreciable cuando ocurre este defecto es el tiempo de las personas que separan el envase y lo colocan nuevamente al molino.

- El defecto más común cuando se está almacenando el envase es la contaminación de sus superficies con polvo o cualquier otro agente del ambiente en donde se almacenan los mismos. La contaminación se puede dar por un mal flejado de la tarima de almacenamiento, por un exceso de contaminación en las bodegas o por una larga exposición al ambiente sin protección alguna. Con este tipo de defecto la pérdida es significativa ya que los envases no pueden ser reciclados en la máquina sopladora, el procedimiento en estos casos es moler el envase y vender la resina a una empresa que se dedica a exclusivamente a tratar polietileno.

El proceso ideal es que las dos líneas manejen la misma capacidad para poder llenar envases que acaban de salir de la línea de soplado y evitar así tener que almacenar envases en bodega. Sin embargo en esta planta no es ese el caso por lo que se tiene que utilizar el procedimiento de almacenamiento de envases. El proceso de llenado de envase en línea y el proceso de llenado de envase almacenado tienen algunas diferencias significativas que se explican a continuación.

- a. Proceso de soplado de envases con línea de llenado en línea. Este procedimiento se utiliza regularmente en todos los turnos de día de lunes a domingo, en este proceso los envases que van saliendo de la sopladora se dirigen por medio de dos transportadores a la línea de llenado. Lo único que se necesita en este caso es que el operador de sopladora realice sus muestreos de calidad para que los operadores de la línea de llenado tengan certeza de que el envase que están utilizando cumple con los parámetros necesarios. A pesar de las pruebas realizadas por la operación de soplado, también se realizan pruebas con producto terminado, es decir envase con producto.
- b. Proceso de soplado de envases con línea de llenado fuera de línea. La línea de llenado se encuentra fuera de línea en todos los turnos de noche, esto debido a que la capacidad de la línea de llenado es suficiente para satisfacer la demanda de producto y también debido a la limitante de la capacidad de la línea de soplado de envases. El

procedimiento para almacenar los envases debe ser claro y tomar en cuenta todos los factores que puedan provocar cualquiera de los defectos mencionados anteriormente, las personas que realizan esta actividad están debidamente certificadas para realizar la tarea.

Los dispositivos que se utilizan para almacenar envases en las tarimas se conocen como bandejas de corrugado, para darle mayor estabilidad a la tarima se utilizan rollos de fleje y por último se utilizan boletas para identificar el número de lote y la cantidad de envases que hay en cada tarima. Para almacenar las bandejas de corrugado vacías también se utilizan tarimas y fleje, en una tarima caben 44 bandejas de corrugado. La capacidad de almacenaje para cada presentación se describe en la siguiente tabla.

<b>PRESENTACIÓN</b>	<b>ENVASES POR BANDEJA</b>	<b>ENVASES POR TARIMA</b>	<b>TARIMAS POR TURNO</b>
Litro	35 envases por bandeja	560 envases por tarima	28 tarimas por turno
Galón	12 envases por bandeja	192 envases por tarima	41 tarimas por turno

**Tabla 5. Capacidad de almacenamiento de envases**

El procedimiento comienza cuando el corrugado llega a la planta sin tener aún su forma de bandeja, el corrugado trae cuatro pliegues que se cierran colocando tres grapas en cada lado, las personas encargadas de realizar las bandejas son dos personas contratistas que trabajan temporalmente en la línea de botellas. Las bandejas se construyen en una sección al lado de la línea de botellas, para ello se utilizan pistolas neumáticas y guantes para proteger al personal. Se pueden construir un total de 700 bandejas en un turno y se revisan bandejas dos veces al mes, el stock mínimo que debe mantenerse es de 1400 bandejas. Las bandejas tienen una duración en operación de aproximadamente seis meses, por lo que el recambio es mínimo y resultan una opción económicamente viable.

Cuando las bandejas se van armando se colocan en tarimas, se puede colocar un total de 44 bandejas por tarima. Para darle estabilidad a la tarima es necesario colocarle fleje, la tarima debe llevar su boleta de identificación para que los pilotos del montacargas puedan identificarlas fácilmente. Luego de que las tarimas con las 44 bandejas están debidamente flejadas e identificadas el piloto del montacargas procede a llevarlas a la bodega y colocarlas en una ubicación específica para bandejas de corrugado vacías.

Cuando llega el turno de noche, el operador de la línea de soplado solicita, por medio de una requisición de materiales, una determinada cantidad de tarimas de bandejas de corrugado vacías, la cantidad que solicita va directamente relacionado con la cantidad de envases que tenga en su plan de producción. El piloto de montacargas procede a llevar las tarimas con bandejas vacías al área de soplado, en ese lugar la persona encargada de almacenaje de envases recibe las bandejas y procede a realizar camas de cuatro bandejas sobre

tarimas vacías, ahí empieza a colocar los envases que van saliendo de la sopladora. Realiza cuatro camas de envases y utiliza 32 bandejas ya que cubre los envases en la parte inferior y en la parte superior para que la tarima tenga mejor estabilidad, al terminar de colocar las 32 bandejas en la tarima con los envases ya estables, procede a flejar la tarima y a colocarle su boleta de identificación.

Este proceso lo realiza durante todo el turno, cada seis tarimas de envase almacenado notifica al piloto de montacargas quien se encarga de llevar las tarimas a la ubicación especificada para almacenaje de envases. Al final del turno, el operador de sopladora cuantifica la cantidad de tarimas que se entregaron a bodega y realiza un cierre en el sistema.

La segunda parte del procedimiento empieza cuando la línea de llenado se encuentra en funcionando a su capacidad normal, el encargado de materiales de la línea de llenado realiza una requisición de tarimas de envase según su plan de producción del turno. El piloto de montacargas lleva la cantidad de tarimas solicitadas al área de materiales, la persona designada para colocar los envases almacenados en la línea de llenado lleva una tarima de envases y una tarima vacía enfrente de la mesa de acumulación de envases, el montacarguista debe surtir la cantidad de tarimas con bandejas necesarias para producir seis horas, es decir solamente se surtirán bandejas dos veces al turno. El área para almacenar tarimas con bandejas de corrugado está diseñada para poder guardar seis horas de producción.

En ese momento la persona coloca las bandejas en la tarima vacía y el envase lo coloca en la mesa de acumulación donde se junta con el envase que viene de la sopladora. El proceso continúa hasta que la persona junta 44 bandejas vacías en la tarima, entonces fleja la tarima y notifica al piloto de montacargas para que retire las bandejas para bodega.

El proceso completo ha sido utilizado en los últimos tres meses con buenos resultados, el costo que se tiene es básicamente en las dos personas que colocan el envase, en las bandejas de corrugado ya que hay que invertir una vez al año en la compra del lote completo, esta opción es más viable ya que el precio del corrugado disminuye considerablemente si se compran lotes grandes. Otro factor que genera costo es el fleje que se utiliza para estabilizar las bandejas en la tarima, esto costo aunque pareciera mínimo resulta ser significativo por el elevado costo por unidad de este suministro.

En general, la cantidad de envases que se dañan con este método de almacenaje es muy poca, por lo que los costos operativos de utilizar este procedimiento resultan ser rentables a comparación de estar destruyendo envases y vendiendo la resina a un proveedor externo.

## C. Principales pérdidas en la máquina sopladora

Existen diversas pérdidas asociadas al proceso de producción de envases de polietileno, algunas de éstas están identificadas y otras aún no se han descubierto. El potencial para generar ahorros a la empresa en el proceso de producción de envases de polietileno es muy grande, uno de los objetivos de este trabajo es implementar planes de acción para reducir las pérdidas identificadas relacionadas con un mal manejo de los programas de mantenimiento.

Para poder entender mejor las pérdidas es necesario clasificarlas según la causa básica que la provoca, esto nos permitirá tener un mejor enfoque a la hora de erradicar la causa básica que ocasiona la pérdida. El mantenimiento suele ser un área de oportunidad en la mayoría de industrias, es por eso que involucra las cuatro posibles causas básicas de una pérdida, en el capítulo 4 cuantificaremos las principales pérdidas relacionadas a malos manejos del programa de mantenimiento de la máquina sopladora y calcularemos los ahorros que se entregarán a la empresa por implementar el programa de mantenimiento sugerido.

Para entender la importancia de aplicar el programa de mantenimiento sugerido, es necesario adentrarnos en la parte teórica de las causas básicas de una pérdida y cómo las mismas se relacionan con la máquina sopladora a la cual le queremos aplicar el programa de mantenimiento.

**1. Pérdidas por materiales.** Cuando hablamos de materiales, no solamente nos referimos a materias primas o material de empaque primario y secundario, también nos referimos a producto terminado, es decir ya todos los materiales procesados y listos para ser distribuidos. En el caso de la máquina sopladora, los materiales iniciales son la resina virgen de polietileno, el masterbatch y el recicló. El producto terminado es el envase de polietileno que es producto de los siete procesos mencionados anteriormente.

En el caso de los materiales, la mayoría de pérdidas se tienen identificadas mas no cuantificadas, es decir no se han trabajado o aún no se ha identificado el potencial ahorro. Se puede llegar a pensar que los materiales iniciales y el producto terminado no están muy relacionados con un programa de mantenimiento, a lo largo de este trabajo nos daremos cuenta de lo contrario y se trabajarán las principales pérdidas por concepto de mal manejo del programa de mantenimiento.

La materia prima más costosa para realizar un envase de polietileno es la resina virgen, esto debido a su proporción en volumen, ya que el precio por kilogramo del masterbatch es mayor que el de la resina virgen. La mayor pérdida en materiales es la cantidad de envases que se deben separar y moler para proceder a vender el producto de estos envases molidos, existen dos razones por las cuales el envase debe ser molido y no puede volver a ser utilizado como recicló.

- El envase se contamina en su proceso de almacenaje, para eliminar esta pérdida debemos crear un sistema de entrenamiento robusto y un método que no permita que el envase esté en contacto con los agentes contaminantes.
- La segunda forma en que el envase se contamina y no puede ser utilizado nuevamente tiene que ver con la contaminación de la mezcla de polietileno, en este caso el envase sale con pequeños puntos negros en su superficie. Esta contaminación no es más que grasa que se va cristalizando o incluso mezcla de polietileno que se ha ido quedando en algunas cavidades y ha perdido sus propiedades. Este problema se puede resolver con un programa de mantenimiento que se enfoque en los componentes que provocan este tipo de contaminación, como por ejemplo el tornillo extrusor y las cavidades secundarias de la manga de dosificación. El problema principal con este tipo de contaminación es que aparece en cada arranque en frío de la máquina, y por lo regular hay que aislar un 0.7% de los envases, lo cual es un costo considerable e innecesario.

Otra pérdida relacionada con la parte de materiales es cuando una de las bombas del sistema de alimentación se daña, en este caso la mezcla no es homogénea y puede que un envase salga transparente por falta de masterbatch o peor aún que se dosifique mayor cantidad de masterbatch y la consistencia del envase no sea la adecuada.

Esta pérdida resulta ser costosa, ya que muchas veces, a pesar de los muestreos de calidad, la variación en el color del envase cuesta que se detecte por lo que en muchas ocasiones se pierde el lote completo de producción. Para evitar esta pérdida también se debe reforzar el entrenamiento en muestreos a los operadores de la máquina, ya que si el defecto se detecta a tiempo, las pérdidas no son tan considerables.

La otra pérdida relacionada a materiales que puede ser erradicada con un buen programa de mantenimiento, es cuando alguna de las resistencias se daña y provoca que la mezcla se enfríe y el envase salga con algunas deformaciones en la superficie.

En este caso el envase se puede reprocesar, sin embargo las pérdidas pueden ser mayores si algún componente de la máquina se daña permanentemente, un claro ejemplo de un componente que se puede dañar son las cavidades del cabezal, esto provocaría tener que parar la máquina una semana completa y comprar las cavidades nuevas. Estas cavidades no sólo son muy costosas sino también difíciles de conseguir.

Como se puede observar en las tres pérdidas mencionadas anteriormente se puede trabajar y entregar algunos ahorros implementando un programa de mantenimiento preventivo que evite daños al equipo y retrabajo para los operadores.

**2. Pérdidas por métodos.** Por métodos se entiende todos aquellos procedimientos que nos indiquen como realizar una tarea, en este aspecto se pueden tener dos áreas de oportunidad, la primera es que los métodos no existan y la segunda es que los métodos no sean los correctos. La forma correcta de cuantificar este tipo de pérdida es analizar la cantidad de incidentes y defectos se tienen por no contar con un procedimiento correcto o por seguir un procedimiento equivocado.

Lo crítico de los métodos es que no sólo puede provocar daños en nuestros equipos sino también puede provocar un accidente en donde alguno de nuestros operadores salga lesionado. En la máquina sopladora se tienen muy pocos métodos autorizados y revisados por alguna persona experta en la tarea, sobre todo en la parte de actividades de mantenimiento. En este trabajo se intentará realizar todos los procedimientos de las actividades de mantenimiento que sean necesarios, y se incluirá en ellos la parte de equipo de protección personal para evitar incidentes en los operadores de la máquina.

La mayor pérdida que se tiene en la máquina sopladora por la parte de métodos es que no existe un procedimiento bien definido para realizar los arranques escalonados en el equipo, esto provoca grandes pérdidas en términos de consumo eléctrico. Al no existir un procedimiento bien definido, los operadores arrancan todos los motores al mismo tiempo, lo cual provoca penalizaciones por superar el pico definido para la empresa.

Un ejemplo exitoso de lo que un buen procedimiento puede significar en términos de eliminación de pérdidas es el proceso de almacenaje de envases. En un principio no se tenía contemplado en el procedimiento la cantidad de bandejas que cabían en una tarima ni la forma correcta de colocar el fleje en la tarima de bandejas con envase. El problema que ocurría era que las personas encargadas de colocar las bandejas vacías colocaban hasta 60 bandejas en una tarima, esto provocaba que las tarimas no entraran en las ubicaciones destinadas para guardar bandejas en la bodega. Entonces se realizaron medidas de las ubicaciones y se definió por medio de un procedimiento escrito que el estándar debía ser 44 bandejas por tarima, cada una de las personas de la línea de botellas firmó el procedimiento y desde ese momento no se ha tenido ningún problema de espacios en bodega.

Con la parte del fleje en la tarima con envases, los operadores colocaban el fleje a partir de la segunda o tercera cama, lo que sucedía es que todos los envases de la primera cama se lastimaban o se contaminaban. Por otra parte, al no colocar fleje desde la primera cama las bandejas se movían durante su traslado a bodega, lo cual en algún momento determinado puede provocar un incidente de seguridad. Lo que se trabajó en este caso fue realizar pruebas de la mejor forma de colocar el fleje en las tarimas, con esta información se llegó a la conclusión de que la mejor forma era colocar el fleje desde la parte de abajo de la tarima. Se tomaron fotos y se documentó el procedimiento, nuevamente todos los operadores lo firmaron y no se ha tenido reporte de envases sucios desde que el procedimiento se ejecuta correctamente.

Estos fueron solamente dos ejemplos exitosos de procedimientos correctos, a lo largo del trabajo se irán implementando procedimientos escritos según la necesidad de cada actividad.

**3. Pérdidas por máquina.** Las pérdidas provocadas por defectos en máquina pueden ser eliminadas en su mayoría aplicando un buen programa de mantenimiento preventivo, debido a que fácilmente es minimizada por un buen mantenimiento en los componentes de los equipos en operación.

Los costos relacionados a equipos parados por componentes dañados son muy altos si se toma en cuenta que se está perdiendo el tiempo muerto del personal dedicado a la línea, los impactos en el resto de la cadena, como gasto operacionales en bodega, transporte y manejo del cliente y adicionalmente el costo de oportunidad de entregar en tiempo producto terminado para la venta. Sin embargo, las pérdidas pueden ser aún más costosas si consideramos que un componente dañado provoque defectos de calidad en el producto y el mismo tenga que ser destruido, o peor aún que la imagen de la marca se vea dañada por algún defecto perceptible para el consumidor final del producto.

Ejemplos muy comunes de pérdidas en las empresas causados por fallas en máquinas son paros en producción por motores eléctricos que se disparan debido a exceso de temperatura, esto es un claro síntoma de un mal programa de mantenimiento. El hecho de tener parado un motor representa que probablemente no se podrá bombear o generar movimiento en alguna parte crítica del proceso y por lo regular esto representa tener parada la planta.

El problema no termina ahí, ya que por lo regular estos equipos son muy caros y muchas veces el proveedor no es local por lo que el repuesto o reemplazo puede tardar hasta meses para ingresar nuevamente en la planta. La necesidad de mantener los inventarios bajos en el almacén de la planta provoca que no se tengan todos los repuestos necesarios dentro del almacén y si a eso le agregamos la falta de proveedores confiables para reparar y entregar a tiempo los equipos, caemos en la cuenta de que la falla del motor eléctrico se traduce en una gran pérdida para la planta.

Todo este problema puede ser evitado aplicando un programa de mantenimiento predictivo combinado con un buen mantenimiento planeado, realizar termografías y pruebas de vibración es un excelente parámetro que seguramente nos hubiese indicado el estado real del motor.

Para los líderes de mantenimiento de muchas plantas, el mantenimiento predictivo es un costo adicional a la operación, el valor agregado de este tipo de pruebas no es analizado y por ende rara vez presupuestado. Al no tener un programa de mantenimiento predictivo se pierde la oportunidad de monitorear el comportamiento de los componentes del equipo, sin embargo lo peor es no tener inclusive un programa de

mantenimiento preventivo con frecuencias de cambio de componentes definidas. El tipo de mantenimiento que aplican algunas empresas es el de tipo correctivo, es decir, esperan a que el componente se rompa y luego lo buscan en el almacén o con su proveedor, este tipo de mantenimiento no es recomendable cuando el equipo que se daña es crítico ya que los costos de tener parada la planta son muy altos y por ende es justificable manejar un tipo de mantenimiento que me permita programar los paros y no impactar los planes de producción ni la entrega en tiempo del producto terminado al cliente.

Al realizar el costo beneficio de aplicar los programas adecuados de mantenimiento y reducir la cantidad de paros no programados se puede observar una clara inclinación a aplicar los programas de mantenimiento. En el capítulo III se explicará más despacio cada uno de los diferentes tipos de mantenimiento y los beneficios de cada uno, pero será en el capítulo IV en donde se realice un estudio costo beneficio de la implementación del programa de mantenimiento adecuado en la máquina sopladora.

**4. Pérdidas por gente.** Cuando nos referimos a pérdidas por gente, no precisamente estamos hablando de líneas de producción no automatizadas y con costos altos por exceso de personal empacando o realizando tareas manuales. Este tipo de pérdidas no será tratado en este trabajo ya que los programas de mantenimiento no tienen relación con los proyectos de productividad que se pueden manejar en una planta, sin embargo para realizar un proyecto de productividad es necesario contar con un buen programa de mantenimiento que permita tener una operación estable.

Las pérdidas de gente que sí pueden ser erradicadas con un buen programa de mantenimiento son las pérdidas provocadas por algún error humano durante operación o durante alguna actividad de mantenimiento, el entrenamiento al personal es algo que un programa de mantenimiento eficiente no puede dejar pasar. El sistema de entrenamientos es sin duda alguna la herramienta más adecuada para evitar las fallas operacionales provocadas por falta de conocimiento de algún procedimiento en operación. Lo crítico de no tener al personal bien entrenado es que nuestros equipos pueden sufrir fallas, nuestro producto puede dañarse y lo más crítico nuestro personal puede sufrir lesiones o incluso alguna fatalidad.

Entre los casos más comunes de incidentes de seguridad y defectos de máquina provocados por error humano se puede mencionar las instalaciones eléctricas realizadas a cualquier tipo de máquina o sistema. Lo ideal en el caso de las instalaciones eléctricas es que el personal que ejecuta la tarea se encuentre entrenado en seguridad eléctrica y que tenga alguna certificación que lo acredite como electricista calificado.

Puede ser que se tenga un plan de mantenimiento con frecuencias bien definidas e incluso un programa de mantenimiento predictivo que permita monitorear correctamente los equipos, sin embargo si las personas que ejecutan las actividades de mantenimiento no están entrenadas y realizan incorrectamente las mismas, el número de fallas e incidentes de seguridad no mejorará e incluso puede llegar a aumentar.

Las plantas de producción son un negocio, y como en cualquier negocio lo que se necesita es obtener ganancias, para ello el foco de la planta debe ser la eliminación de pérdidas para aumentar la rentabilidad. El mantenimiento bien aplicado es una perfecta herramienta para erradicar las principales pérdidas de las cuatro causas básicas revisadas anteriormente, en el momento de cuantificar los beneficios a largo plazo resulta sencillo comprender la importancia del mismo.

### III. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

Existen diversos modelos para la implementación de un programa de mantenimiento, de acuerdo a las necesidades y estructura organizacional de la planta donde se encuentra la máquina sopladora a la cual se le implementará el programa de mantenimiento, se definió un programa de mantenimiento modelo el cual tiene la capacidad de ser reaplicado en otros equipos dentro de la planta. El modelo que se explica a continuación no es rígido ya que se pueden adaptar otros sistemas y metodologías según requerimientos de la planta donde se aplique.

#### A. Propósito del programa de mantenimiento

El objetivo fundamental de aplicar un programa de mantenimiento es establecer sistemas que permitan mantener los equipos en niveles de cero fallas y cero defectos de calidad. Para esto, es necesario intentar maximizar la vida útil de los componentes del equipo tratando de realizar este monitoreo al menor costo posible.

Tal y como se mencionó en la parte de pérdidas por gente, crear capacidad en los operadores es uno propósito fundamental de un buen programa de mantenimiento. Esto nos asegurará que la operación es capaz de detectar defectos y eliminar fallas en los equipos, resultando en una menor cantidad de tiempo muerto y un elevado control de calidad.

El mejor indicador de que nuestro programa de mantenimiento cumple con su objetivo es tener los equipos funcionando cuando la planta lo requiera y tener el proceso en condiciones óptimas al menor costo y mayor eficiencia posible.

#### B. Las tres fases del programa de mantenimiento

Para alcanzar los objetivos, la implementación de un programa de mantenimiento se divide en tres fases, las primeras dos fases se enfocan a mejorar las condiciones de los equipos para evitar posibles defectos en sus componentes mientras que la tercera fase se enfoca a mantener el sistema de una manera eficiente y con un enfoque predictivo y de bajo costo.

Cada una de las tres fases tiene un diferente objetivo y cuenta con sus respectivas medidas que indican si el programa está listo para avanzar a la siguiente fase, cada una de las fases está diseñada para que los resultados obtenidos complementen el arranque de la siguiente fase y sean sostenibles a lo largo de toda la implementación.

**1. Enfoque en condición inicial del equipo.** Este es el nombre que recibe la fase 1 del programa de mantenimiento que se implementará en la sopladora de envases de polietileno, el primer aspecto a tomar en consideración es que se debe evaluar el estado inicial de los componentes y de los equipos para poder determinar la criticidad de la situación. La parte de restauración de los componentes dañados debe realizarse utilizando una estrategia de priorización ya que se hace muy difícil poder restaurar todos los componentes debido al factor costo.

En esta fase inicial también se debe crear una base de datos para recolectar toda la información que se ha encontrado en esta inspección inicial, la información debe contener una lista de todos los componentes de cada equipo de la máquina. La idea de este trabajo es conocer cada uno de los componentes del equipo y documentar el estado de cada uno de ellos. Ya que se tienen identificados todos los componentes de la máquina, se debe realizar la parte de investigación que incluye realizar cálculos para determinar tiempos de vida de componentes como cojinetes y fajas, tomando en cuenta la hoja técnica proporcionada por el proveedor. En esta etapa inicial es importante estandarizar la marca de los componentes con base en la hoja técnica brindada por el proveedor, resultando este proceso en una definición de tiempos de vida y costos de mantenimiento más eficientes.

Lo recomendable para estandarizar las marcas es dividir la máquina en sistemas, por ejemplo sistema neumático, hidráulico, etc. En cada sistema buscar dos marcas confiables y analizar cual es la mejor opción por costos y tiempos de entrega, es muy importante tener por lo menos dos proveedores para manejar el concepto de competencia y contar con una segunda opción en caso de emergencias.

Para tener un mayor entendimiento de los requerimientos en los resultados de la fase 1 se definen como la reducción a 0 de paros no planeados en los equipos. Para poder llegar a nuestro objetivo debe implementarse un sistema de seguimiento sistemático de detección de paros no programados para atacar los problemas desde su causa básica.

Otro tipo de documentación que es indispensable manejar en esta fase son la cantidad y el tipo de fallas que ocurren en la máquina, debemos empezar a clasificar si las fallas y los paros no programados son debidos a componentes del equipo o algún sistema de suministros como pueden ser compresores o dispositivos generadores de energía eléctrica. La información debe determinar la cantidad de paros no programados por fallas en los componentes y ser el resultado directo en ahorros de mantenimiento. Este proceso nos servirá para crear un sistema de recompensa por reducción de pérdidas y como incentivo real de los impactos que las acciones de mantenimiento tienen en el negocio.

Con la información técnica obtenida de los proveedores y con la información histórica de paros y fallas se debe empezar a trabajar un plan anual de actividades de mantenimiento con frecuencias definidas y con responsables designados para cada actividad.

La base de datos debe indicarnos si la actividad es de inspección, lubricación o cambio del componente así como también debe tener períodos semanales por si alguna actividad se requiere realizar en lapsos menores al mes. Cuando el plan ya se encuentre terminado es necesario realizar una base de datos que permita revisar el cumplimiento a tiempo de cada una de las actividades del plan, es de suma importancia realizar una revisión mensual del porcentaje de cumplimiento a las actividades.

Para que las personas encargadas de realizar las actividades de mantenimiento puedan ejecutar su trabajo de manera correcta es necesario que tengan las herramientas correctas para llevar a cabo cada una de las actividades que indica el plan. Para contar con las herramientas correctas cuando las mismas se necesiten es importante implementar un sistema de herramientas, éste consiste en asignar una persona responsable de las herramientas en cada turno de producción. Esta persona se hace responsable por el buen funcionamiento de las herramientas y utiliza un control en donde cada persona que solicite una herramienta debe dejar su carné de identificación y llenar un vale con la herramienta que necesita. Al final de cada mes, el encargado del sistema de herramientas realiza una especie de inspección para cuantificar la cantidad de herramienta extraviada y determinar el estado de cada una de las herramientas.

Ya que se tiene identificado el plan de actividades de mantenimiento, es necesario ir a al siguiente nivel que consiste en determinar que tan crítico es cada equipo de la máquina en base a los criterios de calidad, seguridad, producción y costo. Lo que esta priorización permite es determinar qué equipos debemos mantener en el almacén y cuáles de ellos simplemente pueden ser conseguidos con nuestro proveedor sin tener un impacto directo en la operación. Por otro lado, los equipos que casi no fallan no deben tener un reemplazo en almacén a menos que su tiempo de entrega sea muy amplio y nos provoque tener la máquina totalmente parada.

El concepto de mantenimiento correctivo debe empezar a cambiar, las personas deben saber que el mantenimiento correctivo no puede ser aplicado a cualquier equipo, es decir solamente se debe aplicar a equipos que no sean críticos y que no provoquen ningún defecto de calidad. Para cada uno de estos equipos debe identificarse la factibilidad de conseguir el repuesto rápidamente y el costo de conseguir el mismo en tiempos cortos.

Es importante que desde la primera fase de los modelos se empiece a considerar la parte de costos, sobre todo costos de mano de obra y repuestos, en esta fase es muy complicado empezar a cuantificar los ahorros de la implementación de la primera fase ya que por lo regular en la fase de restauración de los equipos los costos aumentan y los beneficios a largo plazo aún no son tangibles.

La recolección de información de paros por componentes que fallan y la información de tiempos de mantenimiento es importante en la segunda parte para empezar a cuantificar los ahorros por paros no programados y tiempo de mano de obra realizando mantenimiento.

En el momento en que las actividades se empiezan a realizar es necesario contar con un sistema de documentación de las actividades, este sistema tiene como objetivo tener evidencia documentada de todas las actividades que se les han realizado a los equipos. La información que es fundamental es el tiempo que las personas se tardan en realizar la actividad, el estado de los componentes y las fallas que han ocurrido debido a ese componente en específico. Toda esta información se convierte en un factor fundamental a la hora de cuantificar los ahorros y mostrar las mejoras del sistema como consecuencia de la implementación del programa de mantenimiento.

En el periodo en que se están realizando las actividades, se vuelve crítico el monitoreo de las fallas de la máquina, es importante llevar el registro de la cantidad de fallas y el tiempo muerto que las mismas provocan. La clasificación de fallas en este momento se vuelve de gran importancia, las fallas deben clasificarse como mayores o menores según la cantidad de minutos que la máquina se encuentre parada como consecuencia de la falla. Para la máquina sopladora de envases de polietileno se definió como una falla mayor aquella que provoque que la máquina se encuentre parada por 60 minutos o más, la otra clasificación que debe realizarse con las fallas es la causa de las mismas. Los tres tipos de causas que se deben identificar son fallas por suministro, por error humano o por defecto de algún componente. Las fallas a las cuales se les hará mayor énfasis en las fases 1 y 2 son las fallas mayores y las fallas provocadas por algún defecto de componente, estas son las fallas que tienen mayor impacto en término de costos y por lo tanto deben ser eliminadas en las primeras fases.

Con todo lo que se ha implementado de la fase es importante tener un lugar en donde se puedan observar los resultados y los siguientes pasos de la metodología, en este momento ya se tiene información de las actividades de mantenimiento, se tiene información de la cantidad de fallas y mucha información técnica del equipo. La información debe encontrarse centralizada en un pizarrón o alguna carpeta que permita tener disponible cualquier dato que se necesite y que todas las personas puedan observar el trabajo que se está implementando y los resultados cuantificados.

El trabajo que se realiza con almacén o bodega de repuestos en esta fase es revisar la cantidad de inventario muerto y actualizar la necesidad que se tiene de acuerdo a las actividades programadas y la priorización que se realizó de los equipos de la máquina.

En este punto también se debe empezar a trabajar con el departamento de compras para conseguir la mejor opción de proveedores y para conseguir talleres capacitados para reparar componentes que no pueden

ser reparados en planta. Es importante que, tanto las personas del almacén, como las personas de compras entiendan que se está implementando un nuevo programa de mantenimiento en donde ellos deben estar involucrados también.

Las personas que realizan las actividades de mantenimiento han aprendido muchas cosas, tanto de la metodología como aspectos técnicos de la máquina, esta información es necesaria documentarla en un entrenamiento para que todas las personas del área empiecen a involucrarse con la metodología y empiecen a comprender aspectos técnicos importantes.

La mejor forma de entrenar a todas las personas es documentando un entrenamiento y creando los procedimientos de mantenimiento, en estos procedimientos se muestra con fotografías la forma secuencial de cómo realizar cada una de las actividades de mantenimiento que se planearon. En los procedimientos se debe definir los tiempos por actividad y las herramientas necesarias para realizar la actividad.

La restricción más importante en la implementación de la fase 1 es el cambio cultural del equipo de trabajo, debido a que el esfuerzo debe realizarse integralmente no solo en la estación de trabajo sino con otros departamentos involucrados.

**2. Corregir debilidades del sistema y monitorear equipos.** La fase 2 intenta dar continuidad a los resultados de la fase 1. En ésta se pretende implementar las herramientas y aplicación por parte de los operadores del análisis que permita una reducción dramática respecto a fallas y paros no programados. La parte de entrenamiento se vuelve crítica y surge la necesidad de que toda la operación se entrene en sistemas neumáticos, hidráulicos y eléctricos.

El inicio de la fase 2 se marca por los entrenamientos en diferentes sistemas como son: el sistema neumático, hidráulico, eléctrico y mecánico de los equipos, estos entrenamientos deben ser implementados a nivel de todos los operadores. La idea de entrenar a todas las personas en estos sistemas es crear la capacidad de análisis que debe aplicarse en toda la fase 2, por otro lado, tener personal entrenado permite que los tiempos que los operadores se tardan en realizar las actividades de mantenimiento se verá dramáticamente reducido.

Para la parte de fallas, se pone un foco especial en la reducción de aquellas fallas que son recurrentes, el foco ya no es solamente las fallas mayores o aquellas provocadas por ruptura de un componente de la máquina, ahora se da un especial énfasis en las fallas que son recurrentes y que no permiten que el número de paros no programados mejore. Las fallas por error humano deben reducir considerablemente debido a que el personal ya se encuentra entrenado en los sistemas técnicos de la máquina y existen procedimientos de cómo realizar correctamente las actividades de mantenimiento que fueron planeadas. En la fase 2 se sigue

monitoreando los diferentes tipos de fallas y se empieza a aplicar análisis para las fallas provocadas por ruptura de componentes y las que son provocadas por error humano.

Las ventajas que nos brinda tener personal entrenado van más allá de la simple reducción de defectos de componente y análisis de paros no programados, al tener a todas las personas de la operación entrenadas se construye la capacidad de que todos en la operación tengan ojos críticos y empiecen a hacer mejoras en el diseño de la máquina. Estas mejoras pueden provocar que las actividades se vuelvan más sencillas de realizar e incluso algunas mejoras pueden traer beneficios en la confiabilidad y productividad de los equipos. Es importante crear la cultura de implementar mejoras enfocadas a alarga la vida útil de los componentes, ejemplo de esto pueden ser mejoras que reduzcan la fricción de algunos componentes por medio de un lubricante adecuado para realizar dicha operación.

El sistema de herramientas debe seguir siendo monitoreado y un nuevo enfoque debe ser aplicado al mismo, las herramientas deben estar lo más disponibles que se puedan y deben estar ordenadas según actividad a ejecutar. El objetivo de estructurar de esta manera el sistema de herramientas es mejorar los tiempos en que las personas buscan las herramientas, todo esto enfocado a la parte de reducir el tiempo en que el equipo esta parado.

La priorización con base en producción, calidad y seguridad que anteriormente se realizó para cada equipo de la máquina, debe ser implementada a nivel de componente, esto permitirá tener un control más estricto sobre los componentes que son críticos. La priorización se debe realizar anualmente y la implementación del programa de mantenimiento junto a las mejoras que se han desarrollado debe ayudar a que cada año existan menos componentes críticos.

Un paso fundamental en la fase 2 es la creación de las rutas de inspección diaria en la máquina, el objetivo fundamental de estas inspecciones es detectar los defectos que puedan ocasionarnos fallas. La inspección debe realizarse diariamente para que el operador se asegure que su máquina se encuentra limpia y sin ningún defecto perceptible, debe llevarse un monitoreo de la cantidad de defectos encontrados y sobre todo el monitoreo de la cantidad de defectos corregidos. La reducción de defectos en la máquina es una medida crítica de la fase 2.

El cambio más significativo que la fase 2 representa es la integración del sistema de lubricación al programa de mantenimiento, en este punto se debe definir un dueño de lubricación a nivel departamento, esta persona es la encargada de dar los lineamientos y encargarse del monitoreo del sistema. El sistema de lubricación inicia identificando todos los puntos que requieran lubricación en la planta, en nuestro caso específico se determinaron los puntos de lubricación de la máquina sopladora de envases de polietileno. Cuando se tienen identificados todos los puntos de lubricación es necesario definir la frecuencia de lubricación, el tipo de lubricante, la herramienta para lubricar y si la lubricación puede hacerse con el equipo

funcionando o es necesario parar el equipo. Para la parte de lubricación también debe utilizarse la ayuda de los proveedores de lubricantes y los proveedores de los equipos a lubricar, con esta información debe intentarse estandarizar la cantidad de aceites y grasas a utilizar en la planta.

Todos los puntos de lubricación deben contar con su respectiva etiqueta de identificación en donde nos muestre el tipo de lubricante a utilizar y el número de procedimiento de lubricación que le aplica. Así como para las actividades de mantenimiento se crearon procedimientos para realizar las tareas, para lubricación también deben crearse estos procedimientos para evitar que las personas que están lubricando se equivoquen. Cuando se tengan definidas todas las tareas de lubricación estas deben integrarse al plan de mantenimiento que se desarrollo en la fase1, la idea de esto es complementar dichas actividades y tener un plan mas completo.

Las actividades de mantenimiento en fase 2 no solamente son más sencillas debido a la implementación de mejoras y el entrenamiento al que las personas de la operación son sometidas, también es necesario empezar a colocar etiquetas y rótulos que ayuden a identificar los componentes. Un ejemplo de esto se da cuando el operador de la máquina debe estar monitoreando diversos manómetros y termómetros simultáneamente, en este caso una opción que le puede facilitar la tarea es colocar una etiqueta en todo el diámetro interno del manómetro o termómetro, esta etiqueta deberá tener un color verde en donde los parámetros de presión y temperatura sean los correctos y color rojo cuando la medida esté fuera de rango de operación normal. Este tipo de mejora permite al operador visualizar cuando algún parámetro no se encuentra en condiciones normales.

De todas las inspecciones diarias y las actividades planeadas en el programa de mantenimiento, se van encontrando muchos errores de diseño y construcción de la máquina, en fase 2 es cuando toda esta información es trasladada al área de ingeniería para retroalimentar los futuros proyectos y no incurrir en los mismos defectos. Ejemplos de los tipos de defectos que pueden ayudar al departamento de ingeniería son el diseño de las tuberías y la colocación de tanques de almacenamiento.

La parte de analizar constantemente las fallas permite que la reducción de las mismas sea considerable, para empezar a entender las tendencias y capturar el impacto que las mejoras tienen sobre la reducción de fallas es necesario crear una carpeta o un pizarrón con la información exclusiva del comportamiento de las fallas en la máquina. Como consecuencia de la reducción de fallas, los niveles de inventario del almacén disminuyen sorprendentemente, esto debido a que la rotación de los repuestos es menor y los inventarios pueden mantenerse en niveles más bajos lo cual se traduce en un beneficio en costos.

Como parte del estricto seguimiento a las fallas, se empiezan a utilizar herramientas de análisis como el porqué – porqué conocido como diagrama Ishikawa o diagrama de espina de pescado, la idea fundamental con esto es hallar la causa básica de la falla y generar planes de acción que erradiquen la causa básica del

problema. Los planes de acción deben tener un responsable asignado y se deben revisar a diario para asegurar que las tareas se ejecutan y que se trabaja en la eliminación de fallas.

Para cerrar la fase 2 es necesario que la parte de entrenamientos para la operación no solamente quede en algo teórico, la fase requiere que se hayan creados módulos prácticos de entrenamiento de neumática, tortillería etc. La razón por la cual se requiere tener estos módulos es para que las personas puedan identificar los principales componentes de cada sistema funcionando y a la vez que el personal nuevo se entrene en la operación de los sistemas.

Por último, es necesario que en esta fase ya todos los procedimientos y formatos que se utilizan sean estándar, es decir todos cumplen con los requerimientos necesarios y nadie puede modificarlos sin previa autorización del dueño del sistema. La calibración de los instrumentos de medición también se incluye en el plan de actividades de mantenimiento, terminando de fortalecer el mismo.

**3. Sistematización del programa de mantenimiento.** El objetivo de la fase 3 es hacer del programa de mantenimiento un sistema sólido, para esto se utilizan diversas herramientas electrónicas y programas de computadora que permiten el ordenamiento y despliegue claro de los resultados y tareas por realizar.

El primer paso que debe realizarse en la fase 3 es crear algún programa que permita visualizar las actividades diarias de mantenimiento y que permita ingresar la información en la computadora, las gráficas de las tendencias deben ser claras y en este punto ya debe haber suficiente información para observar las mejoras en el sistema.

En términos de paros no programados y fallas, lo ideal es tener contadores en la máquina que cuantifiquen la cantidad de veces que la máquina para, esta información debe ser complementada por el operador colocando la causa y realizando el análisis de la falla. En este nivel del programa las fallas deben ser algo sumamente raro y cada falla que se tenga debe documentarse y analizarse hasta erradicar la causa básica, por ningún motivo debe dejarse de analizar alguna falla.

En la parte de costos, todos los gastos deben ser cuantificados, es decir se debe manejar un presupuesto mensual para mantenimiento, tanto para repuestos, mano de obra y paros no programados. En este punto del programa, se presenta una gráfica mensual que cuantifica las pérdidas causadas por fallas y también se muestran los ahorros que el programa entrega, estos ahorros deben tomarse en cuenta para la estructura del presupuesto del siguiente año. En fase 3 es muy importante tener el detalle de cuanto se gasta por cada repuesto y cada suministro mensualmente, esto permite tener información de cuáles son los repuestos y suministros más caros y en los cuales se debe poner un principal enfoque para reducir costos. Con esta

información se debe retroalimentar al departamento de compras para buscar mejores opciones en el mercado, la información a esos niveles de detalle permite beneficiar a otras áreas como el almacén o bodega de repuestos ya que ellos pueden manejar mejor su inventario de suministros y repuestos al conocer la rotación exacta de los mismos.

La documentación técnica que se ha recuperado hasta este momento debe almacenarse en una base de datos electrónica que pueda ser consultada en cualquier momento por cualquier persona de la planta o incluso de otras plantas que manejen una tecnología similar. En esta documentación técnica deben incluirse todos los procedimientos de cómo realizar actividades de mantenimiento, inspección y lubricación, además puede incluirse una sección de entrenamientos para que todas las personas puedan capacitarse.

El enfoque de los entrenamientos en fase 3 ya es a nivel componente y no sistema completo, en estos entrenamientos se enseñan cosas más específicas como calcular el tiempo de vida de un cojinete en base a la carga que recibe y las revoluciones por minuto que sufre. Este tipo de entrenamientos ya no se enfoca en todas las personas de la operación, solamente aquellos expertos técnicos que deben soportar los análisis cuando sea necesario intervenir con conceptos de mecánica de fluidos o termodinámica por ejemplo. Estas personas que se han desarrollado para ser expertos técnicos del área son enviados a institutos tecnológicos y a entrenamientos que les permitan aumentar su nivel técnico, estas personas son constantemente evaluadas y sus conocimientos son utilizados por el departamento de ingeniería para desarrollar nuevos proyectos y mejoras en diseños.

Los módulos de entrenamiento cada vez son más completos, al punto de prácticamente tener todos los sistemas críticos de las máquinas en los módulos. Cuando una persona nueva ingresa a operar la máquina, no debe aprender enfrente de la máquina en funcionamiento ya que puede utilizar los módulos que son muy parecidos a la realidad pero sin tener el riesgo de seguridad que implica una máquina en operación. En los módulos de entrenamiento se deben colocar componentes que han fallado anteriormente, esto se hace para que las personas aprendan de cuales pueden ser las posibles fallas que se pueden dar y cual es la mejor forma de resolver el problema.

Facilitar las tareas es uno de los objetivos de fase 3, para ello se debe trabajar mucho en implementar mejoras que faciliten las tareas de mantenimiento, inspección y lubricación. Se debe crear un mapa en donde se indiquen los puntos y los tiempos en donde se van a realizar las actividades, con esto se estará evitando tiempo muerto de los operadores, este tiempo puede ser aprovechado para que las personas se entrenen y desarrollen mejoras para el equipo.

Los puntos de contaminación son algo que no se puede permitir en la fase 3, fugas en tuberías, derrames de producto terminado o exceso de polvo y suciedad en los equipos deben ser totalmente eliminados. Para ello es necesario crear una inspección de tuberías y realizar un procedimiento de la forma correcta de pegar

las tuberías para evitar goteo, para los derrames en tanques de producto terminado debe contarse con sensores de nivel que permitan parar y arrancar las bombas de suministro según el nivel de producto del tanque. Con el punto de suciedad y polvo, la mejor herramienta es la limpieza diaria y las mejoras que eviten que el polvo caiga en los equipos.

La parte de herramientas puede ser administrada por almacén o bodega de repuestos ya que como se sigue un plan de actividades a nivel diario y la cantidad de fallas e intervenciones es mínima, la herramienta puede ser administrada como un suministro más. Los beneficios que se tiene con esta implementación son muy grandes, ya que el control de herramientas se integra al programa de repuestos y la cantidad de herramientas extraviadas disminuye considerablemente. Se puede llegar a un nivel de detalle tan grande que cada repuesto o suministro se puede ligar con las herramientas necesarias para colocarlo, en este caso el operador llega a almacén y pide el repuesto, en el sistema al encargado de el almacén le aparece el listado de herramientas necesarias para realizar la actividad y le entrega sus repuestos con todo y las herramientas. Por otro lado, los muebles para almacenar herramientas ocupan mucho espacio dentro de las operaciones y deben mantenerse bajo llave por razones de seguridad, mientras que almacenando las herramientas se puede destinar un lugar para almacenar las herramientas de todas las áreas de la planta, por lo que la cantidad de herramientas será menor y se encontrará en un lugar más segura.

La fase 3 pide que exista un grupo de personas a nivel comité que se reúnan semanalmente para evaluar las mejoras y debilidades del programa de mantenimiento, los planes de acción de las fallas que se generaron en la semana se revisan en esa reunión. El pizarrón de actividades se presenta en esta reunión y es la herramienta que se utiliza para monitorear los resultados del grupo, existe un líder de cada sistema en cual debe presentar brevemente los avances y contratiempos de la semana.

## C. Sistemas del programa de mantenimiento

El programa de mantenimiento que se está implementando en la sopladora de envases de polietileno cuenta con cinco sistemas bases que deben ser monitoreados a lo largo de las tres fases del programa, cada uno de estos sistemas debe tener un responsable definido y tener objetivos cuantificables para cada una de las fases. El responsable del sistema es el encargado de desarrollar habilidades relacionadas con su sistema y brindar el soporte en el análisis de defectos de calidad y paros no programados. Los objetivos de cada uno de los sistemas van cambiando según la fase que se esté trabajando en ese momento. Cuando se habla de un sistema del programa de mantenimiento, nos referimos a toda una estructura organizacional enfocada en realizar mejora constante en algún punto crítico del programa de mantenimiento. Los cinco sistemas son del programa de mantenimiento son:

- Control de repuestos y herramientas
- Priorización y costos de mantenimiento

- Programación del mantenimiento
- Procedimientos y documentación técnica
- Inspección y lubricación

1. **Control de repuestos y herramientas.** Este sistema es de suma importancia a lo largo de las tres fases, ya que del buen funcionamiento de este sistema depende que los equipos se encuentren parados por falta de repuestos y de que los tiempos de las actividades de mantenimiento no se alarguen debido a la falta de la herramienta correcta.

El dueño del sistema de control de repuestos y herramientas debe ser una persona que conozca los procesos internos del almacén y que tenga la capacidad de administrar un sistema como el de herramientas, cabe mencionar que todos los sistemas tienen un presupuesto asignando por lo que la personas que maneje el sistema debe tener la capacidad de llevar el control de los costos que se realizan en el sistema. Como en todos los demás sistemas, se debe tener un avance por fase del sistema, este avance va ligado a la necesidad de evolución del programa de mantenimiento y la necesidad que los costos de la planta requiera. En la Tabla 6 se muestra el avance que se debe de tener en la implementación del sistema de control de repuestos y herramientas a través de las fases que se van realizando.

SUB SISTEMA	FASE 1	FASE 2	FASE 3
Repuestos	Al inicio de esta fase no se sabe la cantidad exacta de repuestos para cada equipo en el almacén. Se encuentran repuestos en todas las áreas y se empieza a hacer el esfuerzo de priorizar los repuestos.	Al inicio de la fase se identifican todos los repuestos que tienen muchos tiempo de estar en almacén. Se sacan los costos de no tener disponibles a tiempo los repuestos y se empieza a dar un foco especial a los suministros de operación. El seguimiento a costos de repuestos se incluye en el reporte mensual.	En la fase final se debe iniciar el trabajo con el área compras, la negociación de mejores opciones de proveedores es clave en este punto. La reducción en costos de inventario muerto debe reducir considerablemente.
Herramientas	No se tiene un inventario definido de herramientas y no se cuantifica la cantidad de herramientas pérdidas por área. Se inicia el esfuerzo por trabajar un procedimiento para la utilización de herramientas.	Existe un dueño del sistema realizando auditorias de las herramientas. Se empieza a trabajar en un sistema para agilizar la disponibilidad de las herramientas.	En esta fase es donde se debe hacer la migración de las herramientas hacia el almacén. El sistema debe empezar a ser administrado por el personal del almacén y se crea un sistema que relaciona cada repuesto con las respectivas herramientas necesarias para realizar la

			actividad.
--	--	--	------------

**Tabla 6. Desarrollo del sistema de repuestos y herramientas por fase**

2. **Priorización y costos de mantenimiento.** Este sistema tiene como objetivo monitorear los costos e identificar las principales pérdidas de máquina, la forma en que este sistema clasifica los componentes es utilizando criterios de calidad, producción y seguridad. La parte de costos es crítica ya que al final de toda la implementación del programa, la medida que todas las personas deben seguir es la de costo, un beneficio en costo se traduce en rentabilidad para la planta y entrega beneficios a todo nivel.

Con la priorización de los componentes se logra definir los niveles de inventarios y el tipo de mantenimiento que cada componente requiere, se determina qué tan crítico puede ser no darle mantenimiento a un componente y los impactos que esto pueda significar. Para que el sistema sea totalmente efectivo es necesario iniciar definiendo criticidad de los equipos para luego pasar a los componentes de dichos equipos. En la Tabla 7 se muestra el avance que se debe tener en la implementación del sistema de priorización y costos de mantenimiento a través de las fases que se van realizando.

SUB SISTEMA	FASE 1	FASE 2	FASE 3
Priorización	Cuando arranca fase 1 no se sabe que equipos de la máquina pueden tener un impacto en paros no programados y defectos de calidad. Se inicia el programa de priorización de equipos en base a calidad, seguridad y producción.	Para el arranque de fase 2 se necesita que todos los equipos de la máquina se encuentren con su respectiva priorización. Con esta priorización se empiezan a determinar los niveles de inventario en el almacén. Se empieza el esfuerzo para priorizar hasta niveles de componente.	Para la última fase todos los componentes de la máquina deben tener definida su criticidad y en base a esto tener el número necesario de los mismos en el almacén. Por otro lado, los componentes que no son críticos pueden ser sometidos a un mantenimiento correctivo media vez no afecta en tiempo muerto de la máquina.
Costos	No se tiene definida una estructura de costos por mantenimiento ni se cuantifican las pérdidas relacionadas a malos manejos del programa. En esta fase se crean las bases para empezar a cuantificar los ahorros y pérdidas del sistema. Se trabaja muy fuerte en recopilar información de fallas y paros no programados.	Se empiezan a cuantificar los costos, se realizan gráficas mensuales con tendencias según presupuesto asignado. Se intenta integrar al sistema de compras para obtener mejores precios en los repuestos y suministros de operación.	Los costos se llevan a niveles de mano de obra, repuestos y paros no programados. Se cuantifican y analizan las pérdidas mensualmente, estableciendo objetivos claros para cada pérdida.

**Tabla 7. Desarrollo del sistema de priorización y costos por fase**

3. Programación del mantenimiento. La programación de las actividades de mantenimiento es un factor crítico para que todo se desarrolle correctamente. Una buena programación evita paros no programados y mantiene clara la frecuencia de cada actividad para las personas que ejecuten el mantenimiento. El sistema de programación de mantenimiento incluye el subsistema de paros programados, esta herramienta se utiliza para programar actividades que surgen debido a defectos de los componentes y que están fuera del plan anual. Cada vez que ocurre un paro por falta de producción o por falta de algún suministro como la energía eléctrica, se realizan las actividades del paro programado, estas actividades tienen predefinido quién es la persona que las va a ejecutar y cuanto tiempo debe llevarse esa persona en volver a poner en funcionamiento la máquina.

Tanto para las actividades del plan como para aquellas que se desarrollan en los paros programados, se debe llevar un registro de la cantidad de actividades realizadas y también es importante ver si se cumple con los tiempos predefinidos. Las actividades que no se logren realizar deben ser reprogramadas para la siguiente actividad de mantenimiento, es muy importante no dejar actividades sin hacer ya que esto puede provocar que algún componente se rompa y ocasione una falla. En la Tabla 8 se muestra el avance que se debe tener en la implementación del sistema de Programación del Mantenimiento respecto a un plan anual y paros programados a través de las fases que se van realizando.

SUB SISTEMA	FASE 1	FASE 2	FASE 3
Plan anual de mantenimiento	El plan de mantenimiento anual no existe al iniciar esta fase, las actividades de mantenimiento se realizan según el operador calcule el tiempo de vida de los componentes y se aplica mantenimiento cuando algún componente falla.	Al iniciar fase 2 se debe tener un plan de mantenimiento anual basado en las investigaciones e históricos de fallas de cada componente. Las actividades de mantenimiento se realizan documentándolas todas.	En fase 3 se revisan los porcentajes de cumplimiento a las actividades de mantenimiento. Se utiliza una base de datos electrónica que notifica diariamente a los operadores las actividades programadas.
Paros programados	No existe el concepto de planeación de actividades en caso de algún paro programado. Se implementa el formato en donde se debe colocar la actividad, el responsable y el tiempo total.	En fase 2 se empiezan a realizar las primeras actividades cuando ocurre un corte de cualquier suministro. Se documenta el tiempo y el resultado de realizar la actividad programada.	En fase 3 se lleva una tendencia de cuantas actividades se logran terminar y cuantas personas se requieren para realizar las diferentes actividades. Con esta información se retroalimenta el plan de mantenimiento anual.

**Tabla 8. Desarrollo del sistema de programación de mantenimiento por fase**

4. **Procedimientos y documentación técnica.** Este sistema está muy relacionado con la parte de entrenamiento que recibe la operación, como ya se menciono anteriormente tener a todas las personas entrenadas nos trae beneficios en términos de eliminación de pérdidas y aumento de la capacidad de los operadores. Para asegurarnos de que las actividades de mantenimiento, las inspecciones diarias y las actividades de lubricación se realizan de una forma consistente por todas las personas, es necesario documentar la forma correcta de realizar las tareas y entrenar a todas las personas en estos procedimientos.

La documentación técnica que se obtiene de los proveedores se debe almacenar en un archivo de documentación técnica de la máquina, la información técnica que las personas que realizan las actividades van recopilando también debe almacenarse para entrenar a las personas que van a aprender a realizar las mismas tareas. Con la documentación técnica se pueden calcular tiempos de vida de los componentes y se pueden realizar mejoras en el diseño de la máquina, por otro lado, el departamento de ingeniería puede utilizar esta información para el desarrollo de nuevos proyectos. En la Tabla 9 se muestra el avance que se debe tener en la implementación del sistema de procedimientos y documentación técnica a través de las fases que se van realizando.

SUB SISTEMA	FASE 1	FASE 2	FASE 3
Procedimientos	Las pocas actividades que se realizan en esta fase no tienen un procedimiento definido, es decir, cada persona realiza la tarea de una forma diferente y no se tiene documentado cual es la forma correcta de realizar las cosas. Se inicia el proceso de documentar los procedimientos de las actividades definidas.	Para el arranque de fase 2 todas las actividades del plan de mantenimiento deben tener su procedimiento definido. Todas las personas que realizan actividades de mantenimiento deben estar entrenadas en los procedimientos.	Las actividades de lubricación e inspección diaria deben estar documentadas en un procedimiento. Los procedimientos se utilizan para entrenar a todo el personal nuevo que ingresa a operar la máquina.
Documentación técnica	No se tiene mayor documentación técnica en la operación, los conocimientos técnicos que se tienen del equipo son empíricos y no muy confiables. Se empieza a buscar la información de los proveedores de los componentes que utiliza la máquina.	En fase 2 la documentación técnica que se tiene es para ayudar a calcular tiempos de vida de los componentes y poder diseñar mejoras en los equipos. Las personas aprenden más de la máquina con la documentación técnica que se tiene.	En fase 3 la documentación técnica forma una parte importante de los proyectos que se piensan trabajar a futuro en la planta, el departamento de ingeniería utiliza la documentación técnica para implementar mejoras en la línea o en algún proyecto.

**Tabla 9. Desarrollo del sistema de procedimientos y documentación técnica por fase**

**5. Inspección y lubricación.** El programa de mantenimiento debe incorporar el sistema de inspección y lubricación a sus sistemas, esto es sumamente necesario para evitar el deterioro natural que sufren los equipos en operación. El subsistema de inspecciones diarias es de mucha importancia para mantener el estándar de limpieza y sin defectos de la máquina, por otro lado, este sistema permite que defectos como fugas o cualquier fuente de contaminación sean detectados rápidamente y permite que el operador conozca de una mejor manera su máquina. Las inspecciones diarias deben enfocarse en hallar defectos en la máquina, estos defectos deben intentar eliminarse en el mismo momento, de no ser posible el defecto debe alimentar el sistema de paro programado que permite eliminar los defectos encontrados en la inspección.

El subsistema de lubricación debe complementar las actividades de mantenimiento e incluso debe integrarse al plan anual de mantenimiento, se deben crear procedimientos con frecuencias y tipos de lubricante bien definidos. Es importante estandarizar los tipos de lubricante a utilizar y tener las herramientas adecuadas para poder lubricar correctamente la máquina. En la Tabla 10 se muestra el avance que se debe de tener en la implementación del sistema de inspección y lubricación a través de las fases que se van realizando.

SUB SISTEMA	FASE 1	FASE 2	FASE 3
Inspecciones	Las inspecciones prácticamente no existen en la fase 1. En esta fase no se trabajan inspecciones diarias, sin embargo se empieza a crear la capacidad en los operadores para detectar los defectos de la máquina.	En la fase 2 se empiezan a realizar las inspecciones diarias, se les da un enfoque en los estándares de limpieza y fugas que puedan existir dentro de la máquina.	Al inicio de fase 3 las inspecciones diarias se están ejecutando frecuentemente. El enfoque que se le da a las inspecciones en fase 3 es la de encontrar defectos e intentar corregirlos inmediatamente. En caso los defectos no se puedan eliminar, estos deben retroalimentar el plan de paros .
Lubricación	La lubricación que se realiza en esta fase es muy periódica y únicamente se da cuando alguno de los componentes hace ruidos o provoca una falla.	La lubricación en fase 2 se realiza según frecuencias definidas y se investiga para saber cual es el lubricante correcto y la forma adecuada de aplicarlo. Se realiza un mapa con todos los puntos de lubricación de la máquina.	En fase 3 se integran las actividades de lubricación al plan anual de mantenimiento, todas las actividades de mantenimiento cuentan con su procedimiento definido. Se trabaja en colocar etiquetas para identificar los puntos y que tipo de lubricante es el correcto.

**Tabla 10. Desarrollo del sistema de inspección y lubricación por fase.**

## D. Tipos de mantenimiento

El modelo de programa de mantenimiento que se implementó en la máquina sopladora de envases de polietileno es un programa completo que incluye los diferentes tipos de mantenimiento. Se manejaron tres tipos de mantenimiento para el programa: un sistema de mantenimiento correctivo, uno de mantenimiento preventivo y uno de mantenimiento predictivo. Cada uno de los tipos de mantenimiento se complementa con el otro, como ya veremos más adelante en esta sección cada uno debe ser aplicado en donde es conveniente y se deben utilizar los tres tipos de mantenimiento para tener un programa completo.

Se tiene la percepción de que el tipo de mantenimiento que debe utilizarse siempre es el preventivo; sin embargo, esto no siempre es compatible con la estructura de costos de la planta, ya que cabe mencionar que este tipo de mantenimiento es el que resulta más costoso. Los costos asociados al mantenimiento preventivo no solamente son por concepto de cambio de repuestos con frecuencia definida, también resulta sumamente costoso planificar los paros constantemente y quitarle flexibilidad a la planeación de la producción. Este concepto es solamente uno de muchos que deben manejarse a la hora de definir los tipos de mantenimiento que se utilizan en el programa de mantenimiento.

**1. Mantenimiento preventivo.** El mantenimiento preventivo es la herramienta que se utiliza con mayor frecuencia para evitar fallas o defectos que deterioren las condiciones óptimas del equipo, la base de este tipo de mantenimiento es realizar cambio de accesorios, ensambles, lubricación y todo tipo de pieza de la máquina en un período determinado de tiempo previamente definido. En el mantenimiento preventivo se toma muy en cuenta el estado de las estructuras de la máquina y sus alrededores, el hecho de planificar las actividades permite prevenir corrosión, desgaste y deterioro de las estructuras.

La forma en que se maneja el mantenimiento preventivo es por medio de un plan de mantenimiento anual que incluye actividades de limpieza, inspección, lubricación, cambio o reparación de los diversos componentes de la máquina. Este plan de mantenimiento se realiza tomando como base la información de los proveedores de componentes y del proveedor de la máquina, muchas actividades del plan son definidas en base a la cantidad de fallas y experiencia de los operadores del equipo. Es de suma importancia tomar en cuenta los datos históricos de fallas para realizar el plan, esto permite definir con un factor de seguridad correcto la frecuencia de cambio de los componentes, a un mayor factor de seguridad mayor costo.

Todas las actividades del plan de mantenimiento deben tener un procedimiento que sea claro y visual para permitir a todos los operadores realizar las actividades de una manera correcta, estos procedimientos deben ser utilizados para entrenar al nuevo personal.

El programa de mantenimiento no debe componerse únicamente de mantenimiento preventivo, esto puede provocar que los costos de mantenimiento sean muy altos y que las personas de la operación no

analicen las posibles mejoras que eviten estar realizando una gran cantidad de actividades de mantenimiento. Los costos de mantenimiento se elevan utilizando mantenimiento preventivos siempre, ejemplo de esto es un cojinete que se establece debe cambiarse cada año y que el proveedor recomienda cambiarlo cada año y medio. Lo que debe analizarse en esta situación es la cantidad de fallas que este componente provoca, la disponibilidad del componente, la facilidad de realizar el cambio, el impacto que tiene sobre nuestro producto y equipo. Con base en estos factores puede aplicar un factor de seguridad que me permita reducir costos, en este ejemplo el factor de seguridad que se está utilizando es de seis meses, si el componente no impacta en los factores mencionados el factor de seguridad puede reducirse a tres meses, lo cual instantáneamente se traduce en ahorros.

En el ejemplo anterior puede parecer como que un simple cojinete al cual le reducimos tres meses de factor de seguridad no es mucho dinero; sin embargo si multiplicamos la cantidad de componentes a los cuales puedo aplicar la reducción del factor en toda la máquina estaremos manejando una cantidad de ahorros considerable y un mantenimiento más eficiente.

El monitoreo y la reprogramación de las actividades es un factor clave para que este tipo de mantenimiento funcione. Una base de datos que permita visualizar la cantidad de actividades diarias planeadas contra la cantidad de actividades ejecutadas es de suma importancia para monitorear y reprogramar aquellas actividades que no se ejecuten en la fecha programada.

El monitoreo debe llegar a niveles de porcentajes de cumplimiento por persona y porcentaje de cumplimiento total área, las actividades que no se realizan deben ser sujetas a un análisis que permita definir la causa por la cual las mismas no se ejecutaron.

Tener un objetivo de actividades del plan ejecutadas contra planeadas es muy importante, esta medida no debe ser menor al 85% ya que esto inminentemente provoca un aumento significativo en la cantidad de fallas en los componentes por falta de mantenimiento. Además debe revisarse si el 15 % que no se cumplió no forma parte de los componentes críticos de la estación de trabajo.

Para poder definir las actividades de mantenimiento es importante saber si se requiere la máquina parada o puede estar en funcionamiento para realizar la actividad. Es necesario colocar la mayor cantidad de actividades que requieren equipo parado juntas, esto para evitar tener demasiados paros programados e intervenir con la planeación de producción.

El plan de actividades de mantenimiento debe compartirse con el departamento de producción encargado de realizar la planeación de la producción en la planta, esto se debe hacer para que todas las personas involucradas estén de acuerdo y las actividades se puedan ejecutar sin afectar el plan de producción.

**2. Mantenimiento predictivo.** El mantenimiento predictivo es una herramienta que debe servir como complemento al mantenimiento preventivo, el mantenimiento predictivo permite diagnosticar las condiciones de los componentes y la máquina de forma continua o en períodos de tiempo definidos. El mantenimiento predictivo debe convertirse en un conjunto de técnicas para verificar las condiciones del equipo e identificar señales de cambio, las técnicas a utilizar deben ser no destructivas y la frecuencia de ejecución de las pruebas se realiza en base a las condiciones reales del equipo.

El plan de mantenimiento que se realiza en el mantenimiento preventivo debe alimentarse con base en información del proveedor pero también debe utilizarse la herramienta de mantenimiento predictivo para corroborar y actualizar la información. En el ejemplo del cojinete cuyo tiempo de vida se definió en base a información del proveedor, también puede utilizarse la herramienta de mantenimiento predictivo para definir el tiempo de vida del componente, en este caso una prueba de vibraciones puede indicar que el componente aún funciona correctamente después de dos años y esto se debe a que las condiciones en máquina son diferentes a las que el proveedor consideró en su análisis.

Los tipos de análisis de mantenimiento predictivo que se realizan en el programa de mantenimiento propuesto para la sopladora de envases de polietileno son análisis de vibraciones, análisis de lubricantes y termografías. Estos análisis se deben realizar según las condiciones de la máquina, al inicio de la implementación del programa se debe realizar un barrido de pruebas predictivas en todos los componentes críticos, esto se realiza para determinar las frecuencias en el plan de mantenimiento y para determinar el estado inicial de la máquina.

Tener un sistema de mantenimiento predictivo puede resultar en un costo elevado para el programa de mantenimiento, es por eso que se debe priorizar a que equipos se les aplica este tipo de mantenimiento. En general, todos los componentes que son considerados críticos deben sufrir una prueba predictiva, por lo menos una vez al año, esto para confirmar que las frecuencias definidas en el plan de mantenimiento son correctas y que los componentes no están sufriendo deterioro anticipado.

Se debe buscar comprar las herramientas para realizar las pruebas predictivas, ya que si se contrata a personal contratista las pruebas pueden resultar muy caras y el análisis no es tan eficiente como si lo realiza una persona que conoce la máquina. La inversión inicial de adquirir las herramientas de análisis predictivo es alta pero necesaria si se quiere implementar un buen programa de mantenimiento, por otro lado estas herramientas pueden ser utilizadas en toda la planta y no solamente en la máquina a la cual se le está implementando el programa. La única prueba que es recomendable hacer con el proveedor es la de lubricantes, esto debido a que las pruebas químicas que se le aplican al lubricante y la capacidad de interpretar los resultados requieren de una persona capacitada. En muchos casos es posible negociar con el proveedor las pruebas gratuitas si el volumen de lubricante que se consume es considerable.

**3. Mantenimiento correctivo.** El concepto de mantenimiento correctivo muchas veces se asocia con un mal programa de mantenimiento con un programa que maneja muchas pérdidas por concepto de fallas y paros no programados. La realidad es que el mantenimiento correctivo es una herramienta necesaria en un buen programa de mantenimiento, de hecho es un complemento tanto para el mantenimiento preventivo como para el predictivo.

El mantenimiento correctivo se divide en dos grupos: por emergencias y complemento. En ambos casos la clave es tener un buen manejo de criticidad de componentes y tener los repuestos necesarios en el almacén, es muy importante entender los impactos de tener un componente bajo el tipo de mantenimiento correctivo.

En el caso de mantenimiento por emergencias, simplemente se espera que el componente falle para realizar la intervención y cambiarlo, esto puede parecer una idea descabellada en términos de paros no programados; sin embargo al realizar el tiempo de paro y el tiempo de recambio puede resultar insignificante en términos de producción. Los costos se ven sumamente beneficiados cuando se le aplica este mantenimiento a un componente, esto debido a que se utiliza el máximo de su capacidad y se mantiene un nivel de inventario sano en almacén.

Un ejemplo de este tipo de mantenimiento puede ser el que se le aplica a un engrane de un motor que mueve un transportador, si se sabe que el engrane puede ser maquinado en 30 minutos y el transportador no funciona continuamente podemos darnos el lujo de esperar a que la cadena empiece a tener síntomas de un engrane dañado. El cambio de engrane no lleva más de 15 minutos, los cuales pueden tomarse cuando el transportador esté parado, en este caso se ahorro tener inventario muerto en almacén y se ahorro el factor de seguridad desperdiciado en el componente.

El otro tipo de mantenimiento correctivo es al que se le denomina mantenimiento complemento, en este mantenimiento se realizan ajustes y reparación de defectos que no estaban planeados en las actividades de mantenimiento. Es por eso que se dice que es un complemento del mantenimiento preventivo, ya que la corrección de los defectos se realiza durante las actividades de mantenimiento preventivo, el fin del mantenimiento complementario es ahorrar tiempo y utilizar el paro programado para mejorar aquellas cosas que no están en su lugar.

Para aplicar este tipo de mantenimiento se necesita entrenar a los operadores para que sean capaces de encontrar defectos en la máquina durante la realización de las actividades de mantenimiento. Esta habilidad es muy importante debido a que permite a los operadores tener un ojo más crítico y conocer mejor la máquina.

## E. Responsabilidad del planeador de mantenimiento

El planeador de mantenimiento es la persona encargada de administrar el programa de mantenimiento de la máquina o área de la cual es responsable, sus medidas centrales deben ser costos de mantenimiento y fallas en la máquina. El planeador de mantenimiento debe darle al programa un enfoque de constante mejora al proceso para obtener buenos resultados y asegurar el cumplimiento de cada uno de los sistemas del programa.

La recopilación de información histórica para el inicio de la implementación del programa debe ser conducida por el planeador de mantenimiento y todo el equipo de operaciones del área, esta persona debe crear las estructuras electrónicas para almacenar la información histórica y de crear las bases de datos para monitorear la información de todos los sistemas.

Dirigir las actividades de mantenimiento y asignar los recursos para cada sistema del programa es responsabilidad del planeador de mantenimiento, la asignación de recursos se hace en base a la experiencia de las personas trabajando en cada sistema. El responsable del sistema de costos y fallas en máquina siempre debe ser el planeador de mantenimiento, todas las personas que conforman el grupo de mantenimiento deben tener clara la visión de que el objetivo es reducir costos por medio de la eliminación de fallas en máquina.

La experiencia como administrador de un programa es esencial para el planeador de mantenimiento, esta persona debe tener experiencia a nivel técnico, debe ser capaz de soportar a los operadores en decisiones técnicas referentes al equipo. Es sumamente deseable que la persona maneje conceptos de neumática, electricidad y otros, esto se requiere para ser una herramienta que aporte a la hora de realizar los análisis de alguna falla. El conocimiento de todos los sistemas y tipos de mantenimiento se hacen un requisito para que el planeador de mantenimiento dirija con eficacia el programa de mantenimiento en su área.

Como se ha mencionado a lo largo de este trabajo, el entrenamiento es un factor clave en un programa de mantenimiento, es por ello que el planeador de mantenimiento debe tener la capacidad de entrenar a todas las personas de la operación en los diversos sistemas del programa de mantenimiento, y debe tener la capacidad de explicar el funcionamiento de las máquinas en su área.

Por último, se requiere que el planeador de mantenimiento consolide todas las medidas de cada sistema del programa y las consolide en una tabla con sus respectivas gráficas, el planeador de mantenimiento debe reportar los avances del sistema a la gerencia de la planta y debe cuantificar los ahorros y pérdidas causados por el programa de mantenimiento.

## F. Sistema de fallas

La medida final por la cual se aplica el programa de mantenimiento es la de costos y la causa principal de la reducción de costos es la reducción de fallas en máquina, las fallas impactan el costo tanto por la parte

de paros no programados como por la parte de recambio de repuestos y tiempo muerto de las personas. Por falla se entiende todo aquel evento que interrumpa el funcionamiento normal de una máquina o proceso, las fallas pueden ser de diversos tipo, sin embargo para el programa de mantenimiento que se le aplica a la máquina sopladora de envases de polietileno solamente se diferenciarán tres tipos de fallas.

Los tres tipos de fallas que se consideran son: De componentes, operacionales y De suministro. Los tres tipos de fallas pueden ser erradicados hasta cierto punto aplicando un buen programa de mantenimiento. La estructura que se crea para identificar y monitorear las fallas debe incluir los tres tipos de fallas, ya que si bien es cierto que las fallas de componentes son las que debemos eliminar, es importante darle el enfoque de eliminación total al programa.

**1. Fallas de componentes.** Es toda aquella falla en donde uno o más de los componentes de la máquina no realizan la tarea para la cual fueron diseñados y provocan el paro de la máquina. La principal herramienta para erradicar las fallas de componente es implementar un programa de mantenimiento sobre todo basada en un buen plan de actividades preventivas y de predicción de los componentes de la máquina.

Las fallas por componentes deben reducirse en un 90% al terminar la fase 3 del programa de mantenimiento, para realizar esto es necesario implementar todos los sistemas del programa y que los tres tipos de mantenimiento se encuentren en fase 3. Este tipo de fallas se caracteriza por tener una solución no tan costosa si la falla presenta síntomas y es detectable, también debe considerarse la existencia del repuesto en almacén.

Cuando una falla por componente no presenta síntomas y el componente simplemente se rompe, puede haber consecuencias que pueden provocar que alguna persona se lesione o que el producto terminado se dañe de tal manera que no exista forma de recuperarlo.

Un típico ejemplo de una falla por componente es cuando una válvula se cristaliza debido al material químico que pasa por su cuerpo, en este ejemplo la falla del componente se debe al ambiente al que se expone la válvula y también a la falta de inspección sobre la misma. Si la válvula está disponible en almacén y el cambio puede realizarse rápidamente, el impacto será mínimo; sin embargo si la válvula no se encuentra disponible y el impacto sobre el producto terminado es que no se pudo adicionar la cantidad correcta de determinado material esta falla se convierte en crítica.

**2. Fallas operacionales.** Pueden ser erradicadas con el programa de mantenimiento. El foco que se le da a este tipo de fallas es muy diferente que el foco que se aplica a las fallas de componentes. Las fallas operacionales son aquellas en donde la máquina o proceso sufre una desviación a su procedimiento normal de operación debido a un error humano, el error humano puede ser tanto por falta de atención como por falta de conocimiento de la persona. Los errores humanos pueden manifestarse de diversas formas, una

de ellas es realizando un procedimiento de operación distinto al correcto o simplemente por no realizar el procedimiento, en ambos casos la máquina sufrirá las consecuencias inminentes de una falla.

En estos casos la solución para eliminar la recurrencia de estas fallas es entrenar a las personas en los procedimientos y evaluarlos periódicamente para asegurarnos que conocen el procedimiento. Si las personas conocen el procedimiento y no lo realizan, la acción correctiva es distinta ya que esa persona dejó de hacer su trabajo lo cual provocó pérdidas a la planta. El sistema de entrenamientos debe estar diseñado para que, por lo menos, una vez al año los operadores reciban entrenamientos en los procedimientos de operación de la máquina que operan.

La reducción de fallas operacionales en fase 3 debe ser de al menos de 75%, este porcentaje se debe alcanzar realizando procedimientos de todas las actividades de mantenimiento y dándole seguimiento al sistema de entrenamiento. Por otro lado, el cambio cultural que sufren los operadores con la implementación del programa hace que las fallas operacionales se reduzcan considerablemente y que las mejoras en la máquina sean perceptibles.

**3. Fallas por suministro.** Los suministros de cada máquina varían según sus características, para la máquina sopladora de envases de polietileno los suministros que se necesitan son corriente eléctrica, agua de enfriamiento y aire comprimido. Las fallas en donde la máquina o el proceso varían debido a la falta o distorsión de alguno de sus suministros se conoce como fallas por suministro, estas fallas deben ser analizadas y cuantificadas al igual que los otros dos tipos de fallas. El impacto que una falla por suministro puede tener es muy alta, por ejemplo una variación de voltaje puede llegar a quemar las tarjetas electrónicas de un equipo o la falta de aire comprimido puede provocar que el producto terminado no salga con las dimensiones requeridas por aseguramiento de calidad.

Las fallas por suministro deben ser analizadas por la persona dueña de los equipos periféricos, esta persona es responsable por aplicar el programa de mantenimiento a dichos equipos. La reducción de las fallas por suministro en la máquina deben reducir un 25% con la implementación de las tres fases del programa, esta reducción va de la mano con las habilidades que adquieren los operadores en entender la función de los sistemas neumáticos y eléctricos de sus equipos y las mejoras que con ello pueden generar.

**4. Clasificación de fallas.** Las fallas en la máquina se clasifican según el tiempo que la máquina se encuentra parada y sin entregar producto, las fallas mayores son aquellas en donde el equipo se encuentra detenido más de 60 minutos, las fallas menores son aquellas en donde el equipo se encuentra sin producir menos de 60 minutos y las micro fallas son aquellas en donde el equipo se encuentra parado menos de 3 minutos.

Las fallas mayores impactan por la gran cantidad de tiempo en que el equipo se encuentra parado, lo cual probablemente puede significar que algún componente crítico se rompió y la falla requiere una intervención de muchas personas y departamentos incluyendo compras y planeación de producción.

Las fallas menores no dejan de ser igual de críticas; sin embargo el enfoque que de les aplica a la hora de analizarlas es diferente, por lo regular en la máquina sopladora de envases de polietileno las fallas menores son las que más recurrencia y las que aparecen con mayor cantidad.

Las micro fallas son aquellas provocadas por falta de materiales o suministros irregulares, en la máquina sopladora de envases de polietileno este tipo de fallas es muy rara ya que cada vez que la máquina se detiene, el proceso de arranque puede durar de 2 – 5 minutos por lo que cualquier interrupción es casi considerada una falla menor.

**5. Recurrencia de fallas.** Para poder erradicar las fallas es necesaria monitorear cada una de ellas y realizar un análisis mensual de cuales son las fallas que más se repiten en la máquina, debe monitorearse los tiempos de cada falla y que sistema del programa de mantenimiento debió haber cubierto o identificado la falla.

El equipo de personas dueñas del sistema de fallas debe escoger las tres fallas que más se repitieron en todo el mes y aplicar alguna herramienta de análisis que permita eliminar la causa básica de cada falla, estas fallas son trabajadas durante el tiempo que sea necesario para eliminarla completamente de la máquina.

La importancia de implementar un programa de recurrencia es que se puede priorizar aquellas fallas que provocan más tiempo muerto total mes, es decir se puede tener un modo de falla que solamente se haya presentado dos veces en el mes pero cada falla significo 350 minutos de paro. Por otro lado se puede tener un modo de falla que se presentará 25 veces en el mes, pero como tiempo total de paro solamente significo 65 minutos, en este caso se debe enfocar la energía del grupo para eliminar el modo de fallas que me impacto con 350 minutos de paro la operación, a pesar de haber tenido solamente dos fallas de ese tipo. El dueño del sistema de recurrencias en el programa es el planeador de mantenimiento ya que él es el encargado del sistema de fallas.

**6. Análisis de fallas.** La herramienta que permite eliminar la causa básica de cada falla es el análisis de la misma, para poder realizar efectivamente este tipo de análisis es muy importante entrenar a todas las personas de la operación para utilizar la herramienta cada vez que sea necesario. La definición básica de un análisis de fallas es identificar la falla y realizar un estudio de la causa básica de la falla, con esta información generar planes de acción para evitar recurrencia.

El primer paso que se debe seguir cuando ocurre una falla es solucionar la misma, es decir lo primero que se debe tener en mente es levantar la máquina para que la producción pueda continuar y no se impacte tan drásticamente los costos. Luego de que la máquina ya se encuentra funcionando, el operador de la máquina debe llenar un formato de fallas en donde indique la hora, los síntomas y cualquier información que le pueda servir al equipo de gente que maneja el sistema de fallas del programa de mantenimiento.

Con este formato interviene el equipo de gente encargada de analizar las fallas, este equipo se conforma de personas expertas técnicamente en los componentes de la máquina y por personas que conocen muy bien la herramienta de análisis de fallas. Este equipo de personas analiza todas las fallas mayores y las fallas menores que son muy recurrentes, no es necesario invertir tiempo y esfuerzo en las micro fallas a menos que estas impacten de sobre manera el funcionamiento de la máquina.

El análisis de la falla se debe realizar físicamente en donde el componente falló, es decir, debe realizarse enfrente de la máquina y no en un escritorio aislado. Para poder realizar un análisis efectivo es necesario que el operador de turno de la máquina participe en el análisis de la falla con el equipo de gente encargado del sistema. En algunos casos el problema es tan complicado que se debe recurrir al proveedor o incluso a algún recurso externo de ingeniería para poder identificar y corregir el problema en la máquina.

El foco del análisis siempre debe ser eliminar la causa básica del problema, sin embargo las soluciones que se alcancen siempre deben ser razonables en términos de implementación y costo, las mejores soluciones son aquellas en donde algún sistema del programa de mantenimiento puede intervenir y erradicar la causa básica, es muy importante no complicar la operación diaria del equipo ni agregar trabajo que no agregue valor a los operadores.

Las mejoras que se propongan deben ser documentadas para poder entrenar a las personas, se debe contar con una base de datos para darle seguimiento a los planes de acción que se generen del análisis de la falla, se debe contar con responsables y fechas compromiso para cada plan de acción que surja, el monitoreo es de vital importancia en estos casos.

Las mejoras que puedan ser aplicadas a otras máquinas de la planta deben ser identificadas inmediatamente para que los dueños de dichas máquinas implementen la mejora. De aquí la importancia de que todas las personas de la planta se encuentren entrenadas en el sistema de análisis de fallas, esto permite que las mejoras puedan ser reaplicadas en todas las áreas.

Adicionalmente al obtener resultados positivos a partir de la recolección de datos históricos y graficación de las tendencias de paros no programados y fallas eliminadas por aplicar la herramienta de análisis, da el sentido de pertenencia y aprendizaje al programa de mantenimiento y fácilmente puede visualizarse los avances y esfuerzos que el equipo de trabajo realiza en la estación de trabajo.

**7. Sistema de seguimiento de fallas.** El seguimiento a las fallas es crítico desde el arranque de la implementación del programa de mantenimiento, en un inicio se hace crítico recopilar toda la información de fallas histórica para poder diseñar el plan de mantenimiento. Las gráficas deben indicar la tendencia de cada tipo de falla y se deben monitorear los resultados contra los objetivos de cada tipo de falla, el cierre de la fase 3, es decir el cierre de la implementación del programa debe tener como medida de salida la reducción del 90% de las fallas por componente, el 75% de fallas operacionales y el 25% de las fallas por suministro.

El seguimiento a las fallas no debe incluir solamente la cantidad de fallas por mes, se debe incluir el tiempo de paro que éstas significan y cuantificar en dinero el impacto de cada una de las mismas. Este nivel de profundidad se requiere para poder cuantificar las pérdidas y los ahorros de implementar el programa de mantenimiento, ya que no hay que olvidar que la reducción de fallas no es más que una consecuencia de aplicar efectivamente los sistemas del programa de mantenimiento.

Los reportes mensuales de reducción de fallas deben ser desplegados en todos los niveles de la planta y debe ser integrado con los reportes de cada una de las áreas para sacar un consolidado y presentarlo a gerencia general.

Para que todas las fallas se documenten e ingresen a la base de datos de seguimiento de fallas, se debe crear un reporte electrónico que alimente directamente la base de datos para que no exista la necesidad de que los operadores manejen dos bases de datos cada vez que ocurre una falla.

Así como existe un dueño del sistema de fallas por programa de mantenimiento del área, es necesario que exista un dueño del sistema en toda la planta para poder consolidar la información y ser el experto en análisis.

## **G. Costos de mantenimiento**

La implementación de todos los sistemas del programa de mantenimiento y el seguimiento riguroso de cada uno de ellos tiene como objetivo reducir costos a la planta, es decir implementar las tres fases y trabajar en entrenar a las personas es algo que al final debe justificarse en términos de costos ya que nada tienen sentido si la planta no es lo suficientemente rentable como para mantenerse vigente en el mercado y tener aceptación por parte del consumidor.

La estructura de costos de una planta en desarrollo debe exigirse una reducción del 10% anual en sus costos de mantenimiento, el programa de mantenimiento que se implemento en la máquina sopladora de

envases de polietileno permite obtener esos resultados e incluso permite superar por mucho el objetivo del 10% una vez que el programa se encuentra en fase 3.

Por otro lado, este programa de mantenimiento no considera únicamente reducción de costos por recorte anual de presupuesto para compra de repuestos y suministros de operación, la mayor reducción de pérdidas y entrega de ahorros para la planta se encuentra en el factor de erradicar un 75% de las fallas que ocasionan paros no programados, esto resulta ser mucho dinero si se cuantifica el costo de oportunidad de venta del producto terminado, el tiempo muerto de operación en la estación de trabajo y los impactos que se generan en toda la cadena de suministro (bodegas, transportes, etc.) hasta que llega el producto al cliente.

La medida de costos se convierte en la salida final de cualquier programa o proyecto que se intente implementar en la planta, es decir, si se intenta realizar un proyecto de remodelación de maquinaria o cambio de proveedores de materia prima estos deben enfocarse siempre en la entrega de ahorros o mejora de la calidad del producto, lo cual al final se traduce en beneficios en rentabilidad e imagen para la planta y la marca en general.

Debido a que la variable de costos es tan crítica para el programa de mantenimiento, se recomienda que sea el líder del área quién junto al planeador de mantenimiento manejen la medida y realicen los reportes mensuales con el mayor detalle posible. El planeador de mantenimiento debe encargarse de recopilar toda la información de los tres rubros que forman la estructura de costos del programa de mantenimiento, es decir paros no programados, costo de repuesto e inventarios en almacén y costo de gente del equipo de mantenimiento.

La parte de paros no programados se calcula con el total de minutos provocados por paros no programados, estos minutos se deben pasar a horas para poder calcular el costo de oportunidad y las horas hombres que se han perdido. Es importante mencionar que en este rubro debe integrarse las pérdidas ocasionadas por producto terminado dañado en alguna falla, es importante tomar en cuenta el costo de toda la materia prima y de el reciclo que la falla provoco. El costo por paros no programados suele ser muy alto por lo que hay que definir un objetivo de reducción en base a los históricos y utilizando como objetivo la reducción de fallas que se pide en la fase 3.

El segundo rubro es el de costos de repuestos e inventarios en almacén, el sistema se debe monitorear comparando la cantidad de repuestos que el plan de mantenimiento solicita contra la cantidad de repuestos que se utilizaron al final del mes. Este sistema monitorea dos cosas, la primera es la cantidad de repuestos que se utilizaron por actividades de emergencia y la segunda es la cantidad de repuestos que mi plan de actividades de mantenimiento solicitaba pero no utilice por lo que estoy generando un inventario muerto en el almacén. Para ambos casos, se debe cuantificar la pérdida en términos de lo que cuesta mantener un repuesto muerto durante un mes en el almacén y la cantidad de dinero que se gasto en actividades no planeadas.

El monitoreo de la cantidad de actividades no planeadas es una medida que permite visualizar la exactitud y eficiencia del programa de mantenimiento, se debe establecer un objetivo para la reducción de este tipo de actividades.

Los costos de gente son siempre un rubro importante y por lo regular un rubro alto y fijo de la estructura de costos de cualquier organización, para reducir o mantener estable estos costos es necesario controlar las horas extras del personal y evitar la contratación de personas que no son necesarias en los diversos roles del programa.

El programa de mantenimiento que se implementó en la sopladora de envases de polietileno está diseñado para no aumentar el personal actual de la planta y a la vez no contempla las horas extras del personal dedicado al mantenimiento. En muchas de las plantas el equipo de mantenimiento trabaja en domingos y feriados lo cual encarece mucho este tipo de mano de obra, con el programa propuesto no se hace necesario este tipo de cosas ya que el mantenimiento e inspección es constante lo cual permite tener un control constante de la máquina para mantenerla en condiciones básicas.

La reducción del 50% de fallas también impacta directamente en las horas extras del personal, cuando se tienen muchas fallas se hace necesario que el personal trabaje muchas horas extras para cubrir el plan de producción que no se pudo entregar debido a las constantes fallas. Por otro lado, en muchas plantas se tienen un equipo técnico de emergencia 24 horas, este grupo de gente siempre se mantiene pendiente a la hora de tener una falla, con el programa de mantenimiento propuesto los mismos operadores de la máquina están capacitados para resolver las fallas.

Aunque el programa de mantenimiento no compromete la reducción de personas del equipo de mantenimiento, el entrenamiento y capacidad generada en los operadores de la máquina permite ir teniendo personas que sean capaces de operar la máquina y administrar el programa de mantenimiento en su área de trabajo. Incluso las mismas personas del equipo de mantenimiento van adquiriendo habilidades para operar la máquina y pueden convertirse en operadores con un nivel técnico que beneficie a la máquina y la confiabilidad de la misma.

## H. Medidas del programa de mantenimiento

Las medidas de fallas y costos de mantenimiento son las dos medidas de salida del programa de mantenimiento; sin embargo es importante considerar que no son las únicas medidas que se deben llevar para alcanzar los objetivos del programa, cada sistema cuenta con sus medidas intermedias las cuales deben ser monitoreadas mensualmente.

Para todas las medidas intermedias se debe colocar un objetivo y graficar las tendencias contra ese objetivo, cada vez que una medida no alcance el objetivo definido se debe realizar un análisis para determinar la causa por la cual no se alcanzó el objetivo. Los objetivos deben ir variando y siendo más estrictos según avanza el programa de mantenimiento, cada objetivo debe ser definido por el dueño del sistema y estar alineado con la medida de salida de costos, el objetivo debe establecerse de acuerdo a los objetivos de cada fase.

Los tipos de mantenimiento son un factor susceptible a monitoreo mensual, ya que en un principio se tienen muchas actividades que se realizan por correctivo y en fase 3 este tipo de actividades de emergencia reducen drásticamente, en la siguiente tabla se puede observar los objetivos definidos para los diferentes tipos de mantenimiento durante cada una de las fases del programa de mantenimiento propuesto para la máquina sopladora de envases de polietileno.

<b>TIPO DE MANTENIMIENTO</b>	<b>FASE 1</b>	<b>FASE 2</b>	<b>FASE 3</b>
Mantenimiento predictivo	5% de actividades	15% de actividades	30% de actividades
Mantenimiento correctivo	60% de actividades	20% de actividades	5% de actividades
Mantenimiento preventivo	35 % de actividades	65% de actividades	65% de actividades

**Tabla 11. Porcentaje de actividades según tipo de mantenimiento por fase**

Como se puede observar en la tabla, los objetivos para los tipos de mantenimiento deben estar bien definidos con lo cual su monitoreo mensual permita visualizar en qué fase del programa de mantenimiento se encuentra el sistema de tipos de mantenimiento.

Tal y como se expuso en la sección de costos, la reducción de fallas es el principal factor de reducción de costos que ofrece el programa de mantenimiento, es por eso que se debe llevar tendencia de cada una de las medidas del sistema de fallas. Una medida a la cual se le deben colocar objetivos claros es al porcentaje de reducción de fallas por fase, para ello se deben tener los históricos de cada tipo de falla y graficar contra las actuales, los objetivos definidos para el programa de mantenimiento en la sopladora de envases de polietileno se muestran en la siguiente tabla.

<b>TIPO DE FALLA</b>	<b>FASE 1</b>	<b>FASE 2</b>	<b>FASE 3</b>
Fallas por componente	20% de reducción contra línea base	50% de reducción contra línea base	90% de reducción contra línea base
Fallas operacionales	10% de reducción contra línea base	30% de reducción contra línea base	50% de reducción contra línea base
Fallas por suministro	No hay reducción	10% de reducción contra línea base	25% de reducción contra línea base

### **Tabla 12. Porcentaje de reducción de fallas por fase**

Como se puede observar en ambas tablas los objetivos están definidos utilizando como criterio las fases del programa, esto es muy importante ya que permite visualizar en qué fase se encuentra cada sistema y su avance.

## IV. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO EN SOPLADORA DE ENVASES DE POLIETILENO

### A. El modelo

Implementar las tres fases del programa de mantenimiento sugerido en una máquina como la sopladora de envases de polietileno puede llevar hasta un lapso de tres años debido a la gran cantidad de sistemas y la complejidad de los componentes de la máquina. Es por ello que se ha decidido implementar las tres fases del programa en un solo sistema de la máquina, al resto de sistemas también se les está implementando el programa en paralelo pero no con la velocidad a la que se trabaja el sistema modelo.

Para de conocer la metodología y poder identificar las fortalezas y áreas de oportunidad, aplicar el programa a este modelo y documentar el mismo es un parámetro para poder reaplicar el mismo en todos los demás sistemas de la máquina e incluso en otras máquinas de cualquier planta que se interese en implementar el programa.

El sistema que se escogió como modelo para implementar el programa de mantenimiento en la máquina sopladora de envases de polietileno es el de alimentación de materia prima. Este sistema se eligió debido a la gran cantidad de fallas y paros no programados que se generan en este sistema, por otro lado este sistema presenta un alto grado de complejidad en donde los operadores de la máquina necesitan reforzar sus conocimientos.

El tiempo de implementación de las tres fases en el modelo fue de seis meses, se utilizaron tres personas para trabajar la metodología, se logró entrenar a siete personas en como reaplicar la metodología en otros sistemas de la máquina y se generó un plan de actividades con frecuencias definidas para todos los sistemas de la máquina. Se definió un líder del programa en la máquina, esa persona recibió los entrenamientos de cómo calcular los costos y cómo enfocarse en la eliminación de fallas para alcanzar los objetivos de cada una de las fases.

Al principio de la implementación del programa en el modelo se logró cuantificar las pérdidas mensuales generadas exclusivamente por el sistema a trabajar, para esto se utilizó información de los últimos 18 meses. Al cierre de la fase 3 se revisó la tendencia de los seis meses para cuantificar las diferencias respecto a los 18 meses anteriores a la implementación del programa, los resultados son muy positivos para el sistema de alimentación de materia prima. La inversión para iniciar la implementación del programa también fue cuantificada, en este rubro se tomó en cuenta el tiempo de las personas que estuvieron implementando la metodología y los repuestos que se tuvieron que comprar para sustituir los componentes críticos que estaban muy dañados.

## B. Sistema de alimentación de materia prima

1. **Proceso de alimentación de materia prima.** El sistema de alimentación de materia prima tiene como función primordial trasladar las materias primas a un punto, en éste se hace la mezcla correcta de cada una de las materias primas y se forma la mezcla de polietileno que se utilizará para formar los envases.

Como ya se mencionó en capítulos anteriores, los tres tipos de materias primas que se utilizan para fabricar los envases de polietileno son resina virgen de polietileno de alta densidad, masterbatch y reciclado generado por la misma máquina. Para poder formar un envase de polietileno se requiere tener una mezcla muy bien definida, es decir la cantidad de cada uno de los materiales debe ser la correcta para que la mezcla final sea lo más homogénea.

El proceso inicia con la colocación de resina virgen en el depósito de resina y la colocación de masterbatch en su respectivo depósito, este trabajo se realiza manualmente, es decir el operador de la máquina abre dos sacos de 25 Kg. de resina virgen y los coloca en el depósito al inicio del turno y coloca un saco de 10 Kg. de masterbatch en el depósito. Cuando el operador arranca la máquina se inicia el proceso de succión de la resina y el masterbatch al depósito mezclador, en ese mismo momento se inicia la succión del reciclado, el operador debe asegurarse que la olla de reciclado tenga cierta cantidad de material antes de iniciar el proceso de arranque.

En todos los casos la succión se realiza por medio de turbinas, este banco de turbinas cuenta con cuatro turbinas, cada una de ellas de diferente diámetro según la cantidad de material que se necesita succionar. Las turbinas funcionan por medio de motores de corriente directa que son independientes para cada turbina, el funcionamiento de las turbinas no es constante, ya que durante el periodo de mezclado las turbinas no continúan con el proceso de succión.

El reciclado de la máquina se genera de las rebabas que se desprenden del mismo proceso de fabricación de los envases y de los envases defectuosos que son rechazados por no cumplir con los parámetros de calidad, todos los envases pueden ser reciclados media vez no sufran contaminación que pueda variar el color de la mezcla final del envase. Las rebabas caen directamente a una banda transportadora recta que las lleva directamente a una banda inclinada con cangilones, la banda inclinada se encarga de depositar las rebabas a un molino. Los envases que son rechazados y pueden ser utilizados para reciclado se colocan manualmente en la banda inclinada con cangilones, el molino tiene la capacidad de triturar por completo los envases y las rebabas al mismo tiempo. La banda inclinada con cangilones cuenta con un detector de metales que automáticamente para la banda transportadora a la hora de que esta transporte alguna pieza de metal, esto se

hace con el fin de evitar que alguna herramienta o componente ingrese al molino y destruya las cuchillas metálicas del molino.

El molino cuenta con dos tipos de cuchillas, las fijas y las rotatorias, el juego de cuchillas rotatorias cuenta con tres filas de cuchillas de aluminio con un ángulo definido entre cada una de ellas, mientras que las cuchillas fijas se encuentran incrustadas en la estructura del molino. El espacio entre las cuchillas fijas y las rotatorias es muy importante para definir el tamaño de la partícula de reciclaje que se utilizará en la mezcla, es muy importante monitorear el tamaño de la partícula para saber cuando debe ajustarse la distancia entre cuchillas. El filo de las cuchillas es otro punto a tomar en consideración ya que el mismo proceso hace que las cuchillas vayan sufriendo desgaste y perdiendo su capacidad de triturar el material, en caso algún metal ingrese en el molino es muy probable que las cuchillas se rompan y pierdan propiedades de corte.

Cuando el material de reciclaje se encuentra ya triturado, la turbina de reciclaje se encarga de llevarlo a la olla de reciclaje, esta olla hace la función de tanque buffer para el reciclaje, la cantidad de cada material que se succionará al depósito de mezclado se determina por las revoluciones por minuto de cada motor de las turbinas. Esto se puede monitorear y calibrar desde un panel de control que indica la velocidad de succión de cada turbina, este panel de control se debe mantener bajo llave debido a que la alteración de cualquiera de los parámetros puede provocar defectos de calidad en el producto final. La calibración de las turbinas se debe realizar una vez cada trimestre para asegurar que no se tienen variaciones en la mezcla de materia prima.

Cuando los materiales se encuentran correctamente dosificados en el depósito de mezclado, éste comienza a mezclar utilizando un motor con seis aspas que mueve la mezcla constantemente, para que la mezcla adquiera su consistencia pastosa se aplica calor durante el proceso de mezclado por medio de dos resistencias colocadas en el depósito de mezclado.

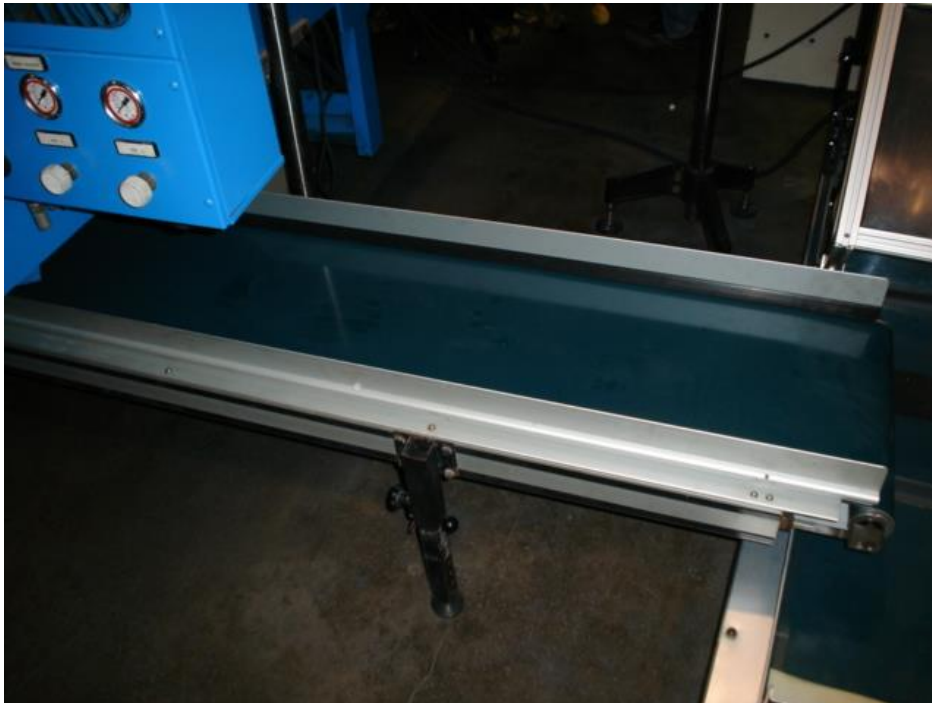
Una vez homogenizada la mezcla, arranca la turbina principal que se encarga de succionar la mezcla desde el depósito de mezclado hasta la tolva central que se encuentra ubicada en la parte superior del tornillo extrusor. El proceso del sistema de alimentación termina con la colocación de la mezcla en la tolva, es decir, el último componente que se considerará dentro de este sistema es la turbina principal de succión mezcla.

El proceso, en general, tiene una duración de 4 minutos de ciclo a ciclo, en donde el ciclo inicia con la succión de cada una de las tres materias primas y termina con la colocación de la mezcla en la tolva, estos cuatro minutos son los que almacena de mezcla la tolva para alimentar de material al tornillo extrusor de la máquina. El tiempo de cada ciclo es de crucial importancia para que la máquina no se quede sin material en el sistema de extrusión, aunque la máquina cuenta con un sensor que la apaga en el momento en que se detecta ausencia de material en la tolva de alimentación de mezcla. La complejidad de este sistema radica en la calibración de los tiempos y la velocidad de cada turbina para tener la dosificación exacta de cada material.

2. Componentes de sistema de alimentación. El sistema de alimentación cuenta con cinco subsistemas en su proceso, en cada subsistema se localizan diversas componentes que deben ser identificados para generar el plan de actividades de mantenimiento y para poder inspeccionar el estado inicial de los mismos.

a. Banda transportadora recta. Esta banda que se utiliza para transportar las rebabas generadas en la parte frontal de la máquina hacia la banda inclinada de cangilones cuenta con cinco componentes. Esta banda transportadora trabaja continuamente durante el funcionamiento de la máquina por lo que sus componentes sufren desgaste continuo. Los componentes de la banda transportadora recta son:

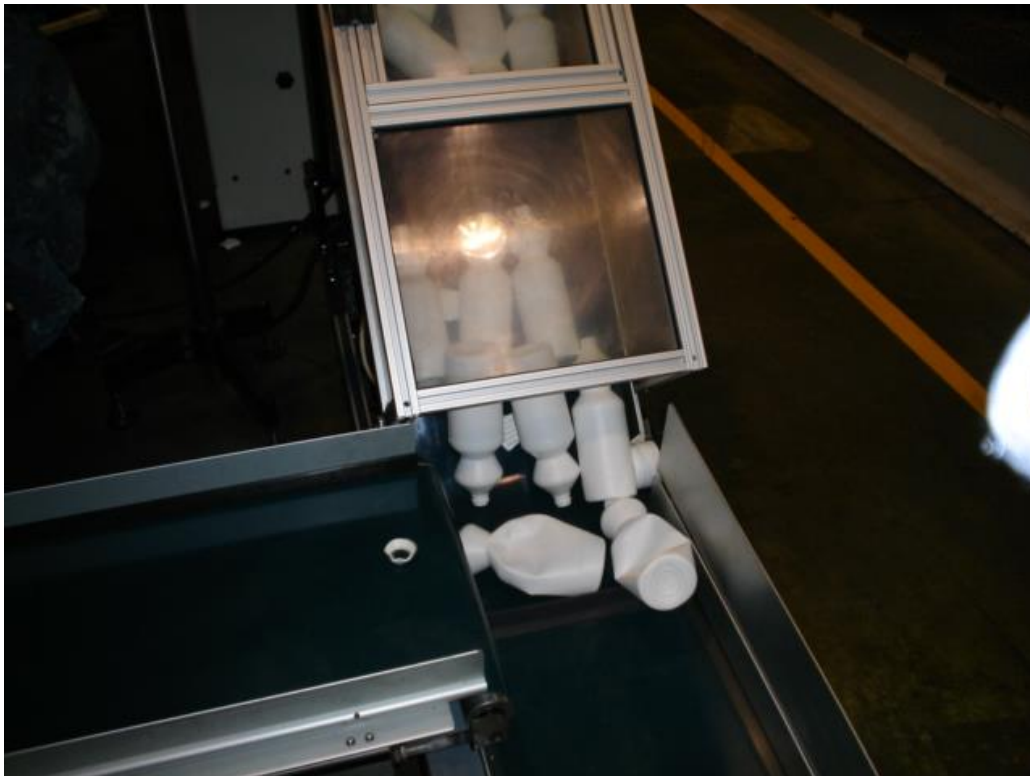
- Banda transportadora de tela de 12 pulgadas.
- Estructura de aluminio de 18.6\*225 pulgadas.
- Tensores de tornillo
- Moto reductor trifásico de 1 HP y 60 revoluciones por minuto.
- Chumaceras de base cuadrada de 5 pulgadas de diámetro.



**Figura 3. Banda transportadora recta**

b. **Banda inclinada con cangilones.** La banda inclinada de cangilones tiene la función de recoger las rebabas que van casi al nivel del piso en la banda transportadora recta y colocar las rebabas en la entrada del molino que se encuentra en la parte superior de la estructura del molino. Los cangilones se utilizan para que las rebabas no se resbalen a pesar de la inclinación de la banda y para direccionar las rebabas en la entrada del molino. Los componentes de esta banda transportadora son siete y son los siguientes:

- Banda transportadora de tela de 10 pulgadas con cangilones de hule de 2.3 pulgadas de alto y 6.5 pulgadas de separación entre sí.
- Estructura de aluminio de 12.6\*115 pulgadas
- Tensores de tornillo
- Moto reductor trifásico de 1 HP y 60 revoluciones por minuto.
- Chumaceras de base cuadrada de 5 pulgadas de diámetro.
- Sistema de detección de metales con dispositivo que apaga el motor automáticamente al detectar algún metal.
- Guarda de acrílico para que los envases no se salgan de la banda



**Figura 4. Banda inclinada con cangilones**

c. **Molino.** El molino se utiliza para que el tamaño de las partículas de reciclaje sea el necesario para poder ingresar al proceso de mezclado de materia prima, para ello utiliza como base dos tipos de cuchillas que le permiten triturar el material. Cabe mencionar que el molino es el causante de un 35% de las fallas del sistema de alimentación por lo que el programa de mantenimiento debe enfocarse mucho en este componente del sistema. El molino cuenta con seis componentes que son los siguientes:

- Fajas dentadas tamaño 84
- Motor trifásico de 5 HP 1,255 revoluciones por minuto
- Estructura de galvanizado
- Tensores con radio 35.3 y 12.96 pulgadas.
- Cuchillas fijas de aluminio con ángulo de 3 grados.
- Cuchillas rotatorias de aluminio con ángulo de 12 grados.



**Figura 5. Molino triturador de reciclaje**

d. Banco de turbinas. Las turbinas se utilizan para succionar el material desde los diferentes depósitos donde se encuentren los materiales, cada turbina tiene un diferente diámetro según la cantidad de material que debe succionar, siendo la turbina de succión de mezcla la más grande y la turbina de succión de masterbatch la más pequeña. Cada turbina se compone de sus aspas, un eje y la estructura externa que la protege, las turbinas cuentan con un motor independiente que es el encargado de regular la cantidad de material que se dosifica por medio de las revoluciones por minuto que tenga programado. El panel de mando es parte de este subsistema y el mismo cuenta con una guarda para poder colocar un candado y evitar modificaciones en la configuración. Son cuatro turbinas las que se encuentran en el banco y sus características se pueden apreciar en la siguiente tabla.

<b>NOMBRE DE LA TURBINA</b>	<b>DIÁMETRO</b>	<b>REVOLUCIONES POR MINUTO</b>
Turbina de succión de resina virgen	18 pulgadas	1300 rpm.
Turbina de succión de masterbatch	12 pulgadas	750 rpm.
Turbina de succión de recicló	16 pulgadas	900 rpm.
Turbina de succión de mezcla homogénea	24 pulgadas	1700 rpm.

**Tabla 13. Características de turbinas de succión**



**Figura 6. Banco de turbinas**

e. Depósitos de materia prima. Los depósitos que se utilizan para almacenar la materia prima deben ser capaces de poder contener el material sin causar fuentes de contaminación o significar un peligro para cualquiera de las personas que intenten colocar material en los depósitos. El depósito debe estar diseñado para que las personas puedan colocar el material fácilmente y para que las mangueras de succión puedan entrar al depósito y ajustarse bien para iniciar la succión del material. Cada material cuenta con su propio depósito el cual está diseñado para manejar la cantidad necesaria de material para no tener que dosificar en medio del turno, los depósitos de cada material tienen diversas características las cuales se pueden observar en la siguiente tabla.

<b>MATERIAL</b>	<b>CAPACIDAD DEL DEPÓSITO</b>	<b>MATERIAL DEL DEPÓSITO</b>
Resina Virgen	700 Kg. de resina virgen	Polietileno
Masterbatch	150 Kg. de masterbatch	Polietileno
Reciclo	550 Kg. De reciclo molido	Acero Inoxidable
Mezcla Homogénea	850 Kg. De mezcla homogénea	Hierro Colado

**Tabla 14. Características de los depósitos del sistema de alimentación**



**Figura 7. Depósito de mezcla homogénea**

## C. Análisis de pérdidas del sistema de alimentación

El primer paso para decidir si es conveniente implementar las tres fases del programa de mantenimiento es analizar el costo – beneficio que la planta va a obtener al finalizar la implementación del programa. Para ello es necesario cuantificar las pérdidas, esto debe realizarse de manera ordenada tomando en cuenta las cuatro posibles causas básicas que generan pérdidas, cada una de las variables que generan pérdidas debe cuantificarse en términos de quetzales para poder determinar el impacto en la estructura de costos de la planta.

1. **Pérdidas en el sistema de alimentación por materiales.** El sistema de alimentación de materia prima tiene como principal función evitar las pérdidas causadas por materiales ya que es en este sistema donde los materiales se distribuyen para fabricar el producto terminado que en este caso es el envase.

Las pérdidas por materiales en este sistema se pueden dar por diversas razones como la contaminación de alguno de los materiales o como la falta de temperatura para homogenizar correctamente la mezcla. La tarea que se debe realizar en este punto es identificar todas aquellas pérdidas de material que ocurren en este sistema, determinar la frecuencia de cada una de ellas, determinar el impacto en términos de paros no programados y material reciclado y por último cuantificar las pérdidas en términos de quetzales, para obtener esta información se utilizó como referencia los últimos 18 meses de producción de la máquina.

Para los últimos 18 meses se encontraron 14 diferentes eventos que provocaron pérdidas de material en la máquina sopladora, de esos 14 eventos solamente nueve de esos eventos tuvieron un impacto considerable al costo en términos de frecuencia y cantidad de dinero que cada uno de los eventos represento en términos de paros no programados o pérdida de producto. En la siguiente tabla se puede observar la recopilación de la información de esos eventos y el costo que cada uno represento para la planta.

Las pérdidas en donde se ve involucrado el material como causa básica, por lo regular el mayor impacto en costos se observa por la gran cantidad de material que hubo que tirar o reciclar, es decir el tiempo de paro no programado no es el factor que más costos representa en este tipo de pérdida. En el caso de los materiales que aún se pueden reciclar y no se pierden totalmente, el costo de las personas y la máquina para realizar dos veces el mismo trabajo implica una parte importante del costo que no puede obviarse a la hora de realizar los cálculos.

Para ir compensando la cantidad de pérdidas por material tan alta, es necesario trabajar con el departamento de compras y buscar proveedores que sean una alternativa más barata y de la misma calidad, por otro lado, en muchas ocasiones el material contaminado que la máquina ya no puede utilizar puede ser vendido a algún proveedor que le interese ese tipo de desperdicios.

<b>EVENTO</b>	<b>RECURRENCIA EN 18 MESES</b>	<b>TIEMPO DE PARO NO PROGRAMADO</b>	<b>MATERIAL DESPERDICiado</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
Ruptura de depósito de resina virgen	2	185 minutos	30 Kg. de Resina Virgen	Q. 6,250.00
Pedazo de cuchilla contamina mezcla.	4	490 minutos	225 Kg. de Mezcla Homogénea	Q. 15,330.00
Manguera de succión de reciclo botando material.	10	150 minutos	75 Kg. de Reciclo	Q. 5,930.00
Cangilón de banda inclinada se fue en molino y contaminó material.	3	230 minutos	350 Kg. de Mezcla Homogénea	Q. 11,250.00
Exceso de lubricante en chumaceras contaminó mezcla.	1	130 minutos	120 Kg. de Mezcla Homogénea	Q. 4,500.00
Tapón en salida de depósito de masterbatch provoco mala homogenización de mezcla.	2	623 minutos	190 Kg. de Mezcla Homogénea	Q. 23,500.00
Resina virgen contaminada por depósito con polvo.	6	725 minutos	165 Kg. de Resina Virgen.	Q. 16,300.00
Fuga de mezcla homogénea en depósito.	1	95 minutos	55 Kg. de Mezcla Homogénea	Q. 3,200.00
Contaminación de reciclo por óxido del depósito.	1	128 minutos	90 Kg. de Reciclo	Q. 1850.00

**Tabla 15. Pérdidas por material en los últimos 18 meses en sistema de alimentación.**

Para calcular el costo total de las pérdidas por cada evento, fue necesario conseguir el valor del Kg. de cada material incluyendo la mezcla homogénea. El tiempo que implica el paro no programado incluye los costos de las personas que provocan tiempo muerto, incluye el costos de la cantidad de envases que no se pudo entregar y el costos de energía eléctrica que implica arrancar la máquina cada vez que se tiene un paro no programado. El total de minutos de paro no programado por estos eventos es de 2,756 minutos lo que equivale a 3.82 turnos. Las pérdidas por estos eventos puntuales equivalen a Q. 88,100.00.

2. Pérdidas en el sistema de alimentación por métodos. Los métodos o procedimientos son la herramienta fundamental para realizar las actividades de una manera correcta y consistente a lo largo de los procesos. La ausencia de procedimientos o la mala interpretación de los mismos pueden provocar que se generen fallas que puedan resultar en paros no programados o producto que no cumple con los estándares de calidad. Para identificar las pérdidas por deficiencias en métodos fue necesario buscar información de eventos en donde la causa básica del problema es la ausencia de un procedimiento para

realizar la actividad que provoco el paro no programado o incluso seguir un procedimiento que no cuente con la información correcta y por eso se provoquene una falla.

Se buscó información de los últimos 18 meses y se encontraron cinco tipos de fallas que fueron provocados por deficiencia en los procedimientos para ejecutar las tareas, en la siguiente tabla se cuantifica el impacto de dichas fallas.

<b>EVENTO</b>	<b>RECURRENCIA EN 18 MESES</b>	<b>TIEMPO DE PARO NO PROGRAMADO</b>	<b>MATERIAL DESPERDICIADO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
Exceso de tensión en las fajas del molino por falta de procedimiento.	1	90 minutos	10 Kg. de Reciclo	Q. 1,250.00
Mal procedimiento para calibrar turbinas provoco que una persona nueva calibrara mal y dosificara más resina.	2	320 minutos	150 Kg. de Mezcla Homogénea	Q. 6,350.00
Falta de procedimiento para colocar la manguera de succión de la mezcla en la tolva provoco fuga de mezcla homogénea.	2	120 minutos	25 Kg. de Mezcla Homogénea	Q. 2,750.00
Falta de procedimiento para arrancar el sistema de alimentación provoco saturación en olla de reciclo.	1	980 minutos	160 Kg. de Reciclo	Q. 10,500.00
Mal procedimiento para colocar las cuchillas de corte del molino provoco que el tamaño de las partículas de reciclo no fuera el correcto.	1	230 minutos	90 Kg. de Reciclo	Q. 4,100.00

**Tabla 16. Pérdidas por deficiencia de métodos en los últimos 18 meses en sistema de alimentación.**

La suma de los minutos de paro no programado es de 1,740 minutos equivalentes a 2.41 turnos de producción de 12 horas, siendo el evento de la saturación de reciclo en la olla el que más tiempo de paro no programado representó debido a la revisión que hubo que hacer al motor de las cuchillas del molino. El costo total de los eventos es de Q. 24,950 lo cual es mucho menor que las pérdidas por contaminación de material.

**3. Pérdidas en el sistema de alimentación por gente.** Las pérdidas que se asocian a la gente son aquellas en donde una tarea se ejecutó de una manera incorrecta y si existía un procedimiento correcto para ejecutar las actividades, las posibles causas son personas no entrenadas o actitud incorrecta. Para identificar las pérdidas de gente fue necesario revisar las fallas de los últimos 18 meses que tuvieran como causa básica alguna de las causas mencionadas, se encontraron seis tipos de eventos con estas características.

En este tipo de pérdidas se considerará aquellas en donde el operador no asistió a trabajar y se pierde todo el turno de producción debido a que no existe un operador de backup dentro de las áreas que pueda cubrir a la persona que faltó al turno, el programa de mantenimiento cubre la certificación de diversos operadores para evitar este tipo de problemas.

<b>EVENTO</b>	<b>RECURRENCIA EN 18 MESES</b>	<b>TIEMPO DE PARO NO PROGRAMADO</b>	<b>MATERIAL DESPERDICIADO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
Ausencia de operador para arrancar la máquina en todo el turno.	3	2160 minutos	Nada	Q. 14,650.00
Operador no encendió sistema de detección de metales en molino.	1	35 minutos	115 Kg. de Reciclo	Q. 8,330.00
Operador nuevo no entrenado no arrancó el molino.	1	60 minutos	25 Kg. de Reciclo	Q. 4,250.00
Operador se paró en banda transportadora para hacer ajustes y la rompió.	2	170 minutos	Nada	Q. 2,150.00
Operador no entrenado olvidó dejar reciclo en olla en el arranque.	2	80 minutos	220 Kg. de Reciclo	Q. 6,300.00
Operador olvidó apretar abrazadera de manguera de turbina de succión de masterbatch.	1	110 minutos	20 Kg. de Masterbatch	Q. 1,500.00

**Tabla 17. Pérdidas por gente en los últimos 18 meses en sistema de alimentación.**

Las pérdidas ocasionadas por gente son de 2615 minutos equivalentes a 3.35 turnos, en donde tres de esos turnos son debido a la ausencia de un operador que pudiera arrancar la máquina. El costo en quetzales de estas pérdidas es de Q. 37,180, lo cual es mayor que la pérdida por métodos, pero considerablemente menor que la pérdida por contaminación de materiales.

En el caso de la pérdida por ausencia de operadores, no se pierde nada de materiales, sin embargo se pierde el costo de oportunidad y muchas veces se debe parar la línea de llenado por falta de envases para llenar, en este caso el costo se ve impactado por el tiempo muerto del personal de la línea de llenado que llegó a producir en el turno en donde no se tenía envases.

Los errores humanos pueden significar daño al equipo, pero lo peor es cuando las personas salen lesionadas y no pueden continuar laborando en la planta, o peor aún cuando alguna persona pierde la vida por este tipo de descuido. En eventos como el que el operador olvidó no encender el sistema de detección de metales y el mismo operador dejó una herramienta en la banda inclinada, los gastos se elevan debido a que hay que reemplazar el juego de cuchillas fijas completo.

La mejor medida para evitar las pérdidas por gente es mantener a todas las personas que operan la máquina en constante entrenamiento y no dejar que ninguna persona nueva opere la máquina sin recibir todos los entrenamientos que necesita. Si un operador entra a la rotación y no ha recibido todos los entrenamientos necesarios puede cometer errores tan evidentes como el de no encender el molino para generar reciclo triturado.

**4. Pérdidas en el sistema de alimentación por máquina.** Las pérdidas por falla de algún componente son las que mayor impacto tienen en los costos de la operación de soplado, en los últimos 18 meses se han identificado 26 tipos de evento en donde algún componente falla y provoca el paro no programado de la máquina. De esos 26 únicamente se analizarán los diez eventos que mayor impacto en costos generen, los demás eventos se considerarán como otros debido a que la suma de todos los impactos forma un impacto en costos considerable.

Los diez eventos que se revisarán son únicamente fallas mayores a 60 minutos, ya que estas son las que provocan el 85% de pérdidas en la máquina sopladora, es importante mencionar que en la máquina sopladora se tienen muy pocos paros no programados menores a 60 minutos debido a la complejidad de la máquina para realizar el proceso de arranque.

El programa de mantenimiento que se intenta implementar tiene un foco en reducir los paros no programados ocasionados por fallas en algún componente de la máquina, en cada una de las fases se monitorea el porcentaje de reducción por este tipo de fallas. En la siguiente tabla se puede observar el gran impacto en costos que se tiene por las fallas de máquina propiamente.

Tal y como se puede observar en la tabla 18, muchos de los eventos de paro no programado están relacionados con fallas en motores, es muy importante comprar motores de proveedores confiables, ya que el

costo de tener un motor parado puede resultar mucho más alto que el ahorro que se puede llegar a generar a la hora de la inversión.

EVENTO	RECURRENCIA EN 18 MESES	TIEMPO DE PARO NO PROGRAMADO	MATERIAL DESPERDICiado	COSTO TOTAL
Eje del motor de las cuchillas del molino quebrado.	1	150 minutos	30 Kg. de Reciclo	Q. 4,500.00
Cangilones de banda inclinada fracturados.	12	335 minutos	50 Kg. de Mezcla Homogénea	Q. 9,300.00
Manguera de succión de reciclo rajada.	3	80 minutos	120 Kg. de Reciclo	Q. 3,200.00
Motor de turbinas se dispara por sobrecalentamiento.	5	690 minutos	230 Kg. de Mezcla Homogénea	Q. 8,700.00
Olla de reciclo rajada y oxidada en la parte inferior.	2	75 minutos	60 Kg. de Reciclo	Q. 1,950.00
Sistema de control de turbinas no enciende y pierde la configuración.	1	120 minutos	Nada	Q. 12,200.00
Motor de banda recta se sobrecalienta y se dispara.	2	200 minutos	Nada	Q. 7,000.00
Detector de metales se activa sin haber metales en la banda inclinada.	1	75 minutos	45 Kg. de Reciclo	Q. 4,950.00
Fajas dentadas del molino se revientan.	4	570 minutos	120 Kg. de Reciclo	Q. 8,500.00
Cuchillas del molino pierden propiedades y no trituran las partículas correctamente.	3	330 minutos	320 Kg. de Reciclo	Q. 10,930.00
Otros	16	1850 minutos	545 Kg. de Mezcla Homogénea	Q. 28,500.00

**Tabla 18. Pérdidas por máquina en los últimos 18 meses en sistema de alimentación.**

Tal y como se puede observar en la tabla el impacto de las pérdidas por máquina es sumamente alto y recurrente en cada uno de los eventos, el impacto en paros no programados es de 4,475 minutos equivalentes a 6.21 turnos de producción. Los costos que estos paros no programados representaron son de Q. 99,730 en donde los costos mas elevados se deben a los componentes que ya no se han podido reparar y se tienen que adquirir nuevos. Ejemplo de este tipo de fallas son las fajas dentadas o las cuchillas de corte que deben ser

reemplazadas cuando las mismas sufren un desgaste eminente y el filo de las mismas no puede ser recuperado.

**5. Pérdidas totales del sistema de alimentación.** Como ya se pudo observar en cada una de las diferentes tipos de pérdidas, los costos por paros no programados y material desperdiciado son muy altos, en términos de turnos los paros programados representan el 1.75% del total de turnos de producción de un año. La reducción que la implementación del programa de mantenimiento pretende alcanzar permitiría tener niveles de paros no programados en un 0.43% del total de turnos del año. En la siguiente tabla se puede observar un resumen de los cuatro diferentes tipos de pérdidas analizadas.

<b>PÉRDIDA</b>	<b>CANTIDAD DE EVENTOS</b>	<b>TIEMPO DE PARO NO PROGRAMADO</b>	<b>EQUIVALENTE EN TURNOS</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
Materiales	15	2,756 minutos	3.82 turnos de 12 horas	Q. 88,100.00
Métodos	6	1,740 minutos	2.41 turnos de 12 horas	Q. 24,950.00
Gente	5	2,615 minutos	3.63 turnos de 12 horas	Q. 37,980.00
Máquina	26	4,475 minutos	6.21 turnos de 12 horas	Q. 99,730.00
Total	52	11,586 minutos	16 turnos de 12 horas	Q. 250,760.00

**Tabla 19. Pérdidas en los últimos 18 meses en sistema de alimentación.**

Como pudimos apreciar en el análisis de costos, las pérdidas directas cuantificables tienen un impacto de Q. 250,760, la cual es una cantidad significativa para cualquier negocio. Sin embargo, si adicionalmente tomamos en cuenta los costos indirectos de tener la máquina parada, como tiempo muerto del personal, costo de oportunidad de venta y costos adicionales total cadena (bodegas, transportes, etc.) la magnitud de no tener un sostenible plan de mantenimiento impacta significativamente el negocio. El análisis se realizó para el sistema de alimentación debido a que según históricos y en un análisis de Pareto de la línea de soplado, este impacta en un 80/20 el total de los paros no programados.

A pesar que las pérdidas calculadas son para 18 meses, el número de pérdidas al año sigue siendo suficientemente alto como para justificar la implementación del programa de mantenimiento en el sistema de alimentación. Las pérdidas anuales calculadas son de Q. 167,173 y con la implementación del programa se pretende reducir las pérdidas en el sistema de alimentación a Q. 41,793.00 al año, con lo cual se estaría entregando un ahorro a la planta de Q. 125,380 anuales solamente por la implementación del programa en el sistema de alimentación de la máquina sopladora de envases de polietileno. Con este análisis realizado se concluye que es de mucho beneficio iniciar la implementación del programa en el sistema ya que el beneficio es considerable. Adicionalmente, tiene una inversión mínima de capital, pues su medida de proceso es el robustecimiento de un programa de mantenimiento en base a un seguimiento de los procesos ya existentes.

## D. Implementación del programa de mantenimiento en el sistema de alimentación

Ya que se definió que es rentable implementar el programa, es necesario contar con los recursos necesarios para arrancar, se solicitaron tres personas para implementar la metodología seis meses y la inversión inicial que se realizará es únicamente el cambio de componentes críticos que se encuentren en muy mal estado y puedan generar fallas. La implementación del programa se realizará siguiendo los cinco sistemas del programa de mantenimiento y utilizando los tres tipos de mantenimiento para cubrir todas las necesidades que se requieran.

El tiempo utilizado para implementar las tres fases del programa debe ser seis meses y la medida de salida en ese tiempo debe ser la reducción de fallas con un reflejo en la reducción de pérdidas, es indispensable monitorear los costos mensualmente para determinar en que fase se encuentra el programa.

**1. Llevar componentes a condiciones básicas.** El primer paso fue utilizar un paro programado de ocho horas para realizar una limpieza e inspección de todo el sistema de alimentación de la máquina, esta inspección fue realizada por cuatro personas y el tiempo que se llevaron para realizar la inspección y la limpieza fue de siete horas exactas. El objetivo fundamental de esta actividad era limpiar todo el sistema para poder hallar aquellos defectos que eran más críticos y podían provocar una falla en cualquier momento.

La lista de componentes que requerían cambio inmediato no fue tan amplia como se creyó en un principio, con esta lista se procedió a revisar que repuestos se tenían en el almacén y que repuestos se debían comprar. Los repuestos que fueron sacados del almacén también deben ser cargados a los costos del programa ya que en algún momento esos repuestos fueron comprados por el departamento de soplado y por lo tanto al sacarlos del almacén se cargan a la estructura de costos del departamento.

Es importante puntualizar que las personas que implementaron el paso 1, no se encontraban completamente dedicadas al proceso de implementación, pues eran parte del equipo de implementación, pero seguían siendo parte de la operación diaria. La única persona que estuvo todo el tiempo dedicado a la implementación fue el planeador de mantenimiento quién después de la implementación del programa será el encargado de darle un constante monitoreo al programa y se encargará de replicar el modelo en los demás sistemas de la máquina.

Los componentes que se deben reemplazar son reunidos cuando ya se tienen todos juntos y se revisa la próxima fecha de paro programado, se debe planificar la cantidad de tiempo que se requiere para realizar los cambios. En la Tabla 20 se puede observar la lista de componentes que se cambiaron por encontrarse en muy mal estado.

<b>DESCRIPCIÓN DE LA TAREA</b>	<b>SISTEMA</b>	<b>TIEMPO NECESARIO PARA HACER EL CAMBIO</b>	<b>PERSONAS NECESARIAS</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
Cambio de cojinetes y limpieza del rotor.	Motor del molino	40 minutos	1	Q. 200.00
Banda rota en los bordes	Banda recta	30 minutos	2	Q. 750.00
Manguera de succión rajada.	Depósito de masterbatch	25 minutos	1	Q. 150.00
Depósito oxidado	Depósito mezcla homogénea	80 minutos	2	Q. 400.00
Cangilones deteriorados	Banda inclinada	75 minutos	1	Q. 550.00
Cambio de relé de estado sólido	Panel de control turbinas	20 minutos	1	Q. 150.00
Cambio de faja dentada	Molino	60 minutos	2	Q. 600.00
Lubricar chumaceras	Banda recta	15 minutos	1	Q. 50.00
Rectificar eje central	Turbina de succión de resina	35 minutos	1	Q. 250.00
Total		445 minutos	4 personas para realizar todas las actividades	Q. 3,100.00

**Tabla 20. Actividades realizadas en intervención inicial.**

La inversión inicial contempla la mano de obra y la compra o reparación de todos los repuestos, el trabajo se logró realizar en un turno no programado del día domingo por lo que no se afectó ninguna medida de producción.

Durante la ejecución de la intervención inicial de reemplazo de componentes en mal estado, se generaron los estándares de cada una de las actividades, se monitoreo la forma en que las personas realizaban las actividades y se enseñó la forma correcta de realizarlas a cada uno de los integrantes del equipo. Al final, se compartieron aprendizajes de cada quién y se generaron los procedimientos para poder entrenar a las demás personas, entre las actividades que más dificultades generaron fue el cambio de cojinetes, el cambio de la banda recta, el cambio de relé de estado sólido y el cambio de las fajas dentadas en el molino.

Para cada una de las actividades se revisaron datos del proveedor y se consultó con manuales de ingeniería para identificar la forma correcta de realizar las actividades, en algunos casos como el de la faja dentada se observó que los operadores utilizaban métodos no adecuados como calcular la alineación de las fajas con una pieza plana de metal. En las siguientes figuras se observa a las personas ejecutando algunas actividades.



**Figura 8. Cambio de cojinetes y limpieza de rotor.**



**Figura 9. Cambio de banda recta.**



**Figura 10. Cambio de relé de estado sólido.**



**Figura 11. Mal procedimiento para verificar alineación de fajas.**

2. **Control de repuestos y herramientas.** Para implementar el sistema de control de repuestos y herramientas es necesario revisar los inventarios de repuestos en el almacén y las herramientas con que cuenta disponible el departamento de soplado. Los repuestos que se buscarán en el almacén son únicamente del sistema de alimentación de materia prima, en el caso de las herramientas si se requiere realizar un inventario completo de todas las herramientas del departamento para ingresarlas a una base de datos y llevar el control de las mismas.

En este punto del sistema de control de repuestos y herramientas es necesario realizar una pequeña inversión inicial para adquirir herramientas que no se tengan y que sean necesarias para la buena implementación del programa. En el caso del departamento de soplado fueron pocas las herramientas que se compraron ya que se acababan de comprar herramientas tres meses atrás. En la Tabla 21 se pueden observar las herramientas adquiridas para el departamento de soplado.

<b>NOMBRE DE LA HERRAMIENTA</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO</b>
Manerales para machuelos	2	Q. 60.00
Martillo de bola	1	Q. 75.00
Juego de llaves allen milimétricas	1	Q. 225.00
Llave cola corona # 10	3	Q. 54.00
Extractor de cojinetes pequeño	1	Q. 125.00
Total	8	Q. 539.00

**Tabla 21. Herramientas compradas en el arranque del sistema de herramientas.**

Para la parte de repuestos se hizo necesario trabajar con las personas del departamento de almacén y buscar los repuestos que se encontraban guardados en el almacén, se encontraron repuestos que nunca se habían utilizados y repuestos que aparecían en el sistema pero no estaban físicamente en el lugar.

Para poner a funcionar este sistema es necesario sacar una lista de los repuestos que se encuentran en el almacén y sacar una lista de los repuestos que se deberían mantener en el almacén por ser muy críticos. Para poder realizar esta lista de la mejor manera posible es necesario realizar la priorización completa del sistema de alimentación e identificar los componentes críticos de la operación del sistema.

En el caso de los repuestos que no se consideren críticos y que tengan más de un año de estar en almacén sin tener rotación alguna, debe considerarse la posibilidad de venderlos para poder liberar espacio en almacén y reducir los costos de inventarios en almacén. Por lo regular la reducción de costos en reducción de inventario no es tan dramática debido a que se deben ingresar nuevos repuestos críticos al almacén.

<b>NOMBRE DEL REPUESTO</b>	<b>INVENTARIO MÍNIMO REQUERIDO</b>	<b>ROTACIÓN</b>	<b>COSTO</b>
Fajas dentadas del molino	2	Cada 5 meses	Q. 850.00
Cojinetes SKF 6203	6	Mensual	Q. 220.00
Cangilones de banda inclinada	3	Mensual	Q. 175.00
Estructura de olla de recicló	1	Cada 3 años	Q. 1,500.00
Estructura de soporte para banco de turbinas.	1	Cada 3 años	Q. 2,200.00

**Tabla 22. Repuestos del sistema de alimentación dentro del almacén.**

El costo de tener estos trece repuestos del sistema de alimentación en almacén es de Q. 4,945.00, de estos repuestos claramente se puede identificar que la estructura de la olla de recicló y la estructura de soporte para banco de turbinas no tienen una rotación constante por lo que se consideran repuestos en desuso y deben ser sacados de almacén de alguna forma. Otro aspecto que debe evaluarse es la necesidad de tener seis cojinetes 6203 dentro del almacén ya que probablemente con dos es suficiente para cubrir la necesidad que se tiene.

La cantidad real de repuestos en almacén se verá determinada por la cantidad de repuestos críticos que se encuentren en la priorización que se va a realizar de todos los componentes y de el tiempo que el departamento de compras se tome en vendar las dos estructuras que reducirían el costo de inventarios en Q. 3,700.00.

**3. Priorización y costos de mantenimiento.** El siguiente paso luego de tener el equipo en condiciones básicas y tener definidos los repuestos y las herramientas disponibles es priorizar la criticidad de los componentes del sistema para poder realizar el plan de actividades de mantenimiento. La priorización de componentes debe realizarse para todos los subsistemas del sistema de alimentación, los criterios a utilizar es cantidad de fallas en los últimos 18 meses, costos del repuesto, accesibilidad del repuesto e impacto en el producto terminado, en base a esos cuatro criterios se definirá la criticidad de cada componente.

Los componentes que sean definidos como tres serán aquellos considerados críticos para la operación, los que sean considerados dos serán componentes importantes, pero no críticos y los componentes uno son aquellos en donde se puede aplicar mantenimiento correctivo y su falla no tendrá ningún impacto en el producto terminado.

Los componentes tipo 3 deben encontrarse en el almacén siempre y su factor de seguridad a la hora de definir la frecuencia de cambio en el plan de mantenimiento debe ser bastante grande. Este tipo de componentes se caracterizan por provocar fallas que afectan al producto terminado y que provocan paros no programados con tiempos muy amplios.

En el caso de los componentes tipo 2 el factor de seguridad puede ser muy bajo y no es necesario tener el repuesto en el almacén, se tiene que trabajar en los tiempos de entrega del proveedor del repuesto y tener identificado diferentes opciones para no tener ningún problema a la hora de una falla. Con este tipo de componentes se debe trabajar mucho en implementar mejoras que permitan agilizar el cambio de los componentes y que los paros no programados no tengan mucho impacto en tiempos.

Los componentes de tipo 1 pueden tener un factor de seguridad nulo, es decir lo ideal con este tipo de componentes es esperar a que se rompan o que los síntomas sean evidentes para proceder al cambio. Esto se puede realizar de esta manera ya que el impacto en paro no programado es mínimo y el producto terminado no sufre alteraciones debido a este componente, los componentes de tipo 1 no deben estar en almacén pero se deben tener identificados a los proveedores y los tiempos de entrega.

La priorización de cada uno de los 5 subsistemas del sistema de alimentación de materia prima se puede observar en las siguientes tablas, el criterio para definir que tanto impacta en cada uno de los parámetros se calificará de 1 a 5, donde 1 es muy poco crítico y 5 es muy crítico, si la calificación se encuentra entre 1 y 10, el componente es tipo 1, si la calificación se encuentra entre 11 y 15 el componente es tipo 2 y si la calificación se encuentra entre 16 y 20 el componente es tipo 3.

COMPONENTE	IMPACTO EN FALLAS	COSTO	ACCESIBILIDAD DEL COMPONENTE	IMPACTO EN PRODUCTO	TOTAL	CRITICIDAD
Banda Transportadora de tela de 12"	3	3	3	2	11	2
Estructura de Aluminio	1	4	2	1	8	1
Tensores de tornillo	1	3	2	1	7	1
Cojinetes 6202	4	1	2	4	11	2
Eje del motor	3	2	3	4	12	2
Chumaceras de base cuadrada	2	2	2	2	8	1
Guías de polipropileno	1	3	3	2	9	1
Rodillos de retorno	2	2	3	2	9	1
Embobinado del motor	3	3	3	3	12	2

**Tabla 23. Priorización de componentes del subsistema de banda recta.**

COMPONENTE	IMPACTO EN FALLAS	COSTO	ACCESIBILIDAD DEL COMPONENTE	IMPACTO EN PRODUCTO	TOTAL	CRITICIDAD
Banda inclinada de tela con cangilones	4	3	4	4	15	2
Estructura de Aluminio	1	4	2	1	8	1
Tensores de tornillo	1	3	2	1	7	1
Cojinetes 6202	4	1	2	4	11	2
Eje del motor	3	2	3	4	12	2
Chumaceras de base cuadrada	2	2	2	2	8	1
Sistema de detección de metales	3	3	3	4	13	1
Guarda de acrílico	1	4	4	1	10	1
Embobinado del motor	3	3	3	3	12	2

**Tabla 24. Priorización de componentes del subsistema de banda inclinada de cangilones.**

COMPONENTE	IMPACTO EN FALLAS	COSTO	ACCESIBILIDAD DEL COMPONENTE	IMPACTO EN PRODUCTO	TOTAL	CRITICIDAD
Fajas dentadas tamaño 84	4	3	5	5	17	3
Estructura Externa de galvanizado	1	5	5	1	12	2
Poleas de tensión de fajas dentadas 84	4	4	2	3	11	2
Cojinetes SKF 6204	4	2	2	3	11	2
Eje y rotor del motor	3	2	3	4	12	2
Cortinas de ingreso	2	1	2	2	7	1
Cuchillas de corte fijas	4	5	5	2	16	3
Cuchillas de corte rotatorias	4	5	3	2	14	2
Embobinado del motor	3	3	3	3	12	2

**Tabla 25. Priorización de componentes del subsistema de molino.**

COMPONENTE	IMPACTO EN	COSTO	ACCESIBILIDAD DEL	IMPACTO EN	TOTAL	CRITICIDAD
------------	------------	-------	-------------------	------------	-------	------------

	<b>FALLAS</b>		<b>COMPONENTE</b>	<b>PRODUCTO</b>		
Turbina de succión de reciclo	3	4	4	3	14	2
Turbina de succión de masterbatch	3	3	4	4	14	2
Turbina de succión de resina	4	4	4	3	15	2
Turbina de succión de mezcla	4	4	4	3	15	2
Motores DC de turbinas	5	4	5	5	17	3
Eje del motor	5	3	5	5	16	3
Panel de mando de turbinas	4	5	3	2	14	2

**Tabla 26. Priorización de componentes del subsistema de turbinas.**

<b>COMPONENTE</b>	<b>IMPACTO EN FALLAS</b>	<b>COSTO</b>	<b>ACCESIBILIDAD DEL COMPONENTE</b>	<b>IMPACTO EN PRODUCTO</b>	<b>TOTAL</b>	<b>CRITICIDAD</b>
Depósito de reciclo	4	3	3	3	13	2
Depósito de masterbatch	4	3	3	3	13	2
Depósito de resina	4	3	3	3	13	2
Depósito de mezcla homogénea	4	3	3	3	13	2
Mangueras de succión	5	2	4	5	16	3
Abrazaderas de metal	3	1	1	3	8	1
Acoples rápidos	2	2	2	2	8	1

**Tabla 27. Priorización de componentes del subsistema de depósitos.**

Luego de la priorización de los 36 componentes del sistema de alimentación de materia prima se encontraron cinco componentes críticos del tipo 3, del tipo 2 se encontraron 19 componentes y por último se encontraron 12 componentes de tipo 1. Con esta información se inició el proceso de reestructuración de repuestos del sistema en almacén y se organizó toda la información para crear el plan de actividades de mantenimiento del sistema de alimentación de la máquina sopladora de envases de polietileno. El proceso de contar con los repuestos tipo 3 en almacén y sacar los tipos 1 y 2 tomó aproximadamente tres meses desde la priorización.

En la parte de costos, se continúa con el seguimiento a los tiempos de paros no programados por fallas y se creó la estructura para darle seguimiento a los costos de cambiar repuestos de la máquina y calcular las horas hombre de cada intervención.

El seguimiento a costos y los ahorros de la implementación del programa se verán reflejados al final de la implementación de los cinco sistemas de mantenimiento, esta información se revisará detalladamente en la sección de beneficios del programa.

**4. Programación del mantenimiento.** La primera actividad de inspección que se realizó para limpiar e identificar aquellos defectos que podían provocar fallas en la máquina fue el primer paro programado que se ejecutó en la máquina, esto se puede afirmar ya que fue el primer paro en donde todas las personas tenían actividades definidas y tiempos para realizar cada actividad, al final de este paro se revisaron las actividades terminadas y se cuantificó el tiempo y los costos del mismo.

Este paro programado no debe ser el único que se realice durante el programa, las actividades del plan de mantenimiento deberán identificarse como actividades con la máquina arrancada o actividades con la máquina parada. Todas aquellas actividades que se necesiten trabajar con la máquina parada, deben intentar agruparse en fechas comunes para solicitar el paro programado y realizar de una manera eficiente todas las actividades.

Aquellas actividades que se puedan realizar con el equipo funcionando pueden ser integradas a la inspección diaria, es decir este tipo de actividades no requiere una programación tan detallada y se puede programar semanalmente según la cantidad disponible de cada uno de los operadores. Para cada una de las actividades que se pueden realizar con máquina encendida se requiere tener procedimiento de seguridad que no pongan en riesgo a los operadores que realizan las actividades. Todas las actividades que involucren trabajos eléctricos o con alta presión deben realizarse con la máquina parada, esto no puede ser negociable bajo ninguna circunstancia.

Las actividades que se coloquen en el plan de actividades de mantenimiento anual deben tener un tiempo definido en minutos y la cantidad de personas necesaria para cada actividad, es importante que en el plan se encuentren colocadas las herramientas que son necesarias para realizar las tareas, esto se debe hacer para que el operador observe el plan y adquiera las herramientas antes de iniciar el trabajo.

Otro factor a tomar en cuenta es que después de realizar la actividad el operador pueda registrar los tiempos que realizó y documentar si la tarea fue terminada exitosamente o si se requiere una intervención posterior. En caso de requerir una intervención adicional, esta deberá incluirse en el plan de mantenimiento según la criticidad de la intervención.

De los 36 componentes del sistema de alimentación, cinco de ellos son priorización tipo 3 lo cual los convierte en actividades de mantenimiento correctivo que no requieren registrarse en el plan de actividades de mantenimiento. De los 31 componentes adicionales muchos de ellos pueden combinarse en una sola actividad, por ejemplo el cambio de cojinetes y limpieza del rotor se pueden combinar en una sola actividad que se denomine servicio al motor. En la siguiente tabla se puede observar el plan de actividades de mantenimiento propuesta para el sistema de alimentación de la sopladora de envases de polietileno.

<b>NOMBRE DE LA ACTIVIDAD</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>PARADO O ARRANCADO</b>	<b>TIEMPO NECESARIO</b>	<b>HERRAMIENTAS</b>
Inspección del sistema de banda recta	Mensual	Arrancado	15 minutos	Toalla Húmeda
Servicio al motor de la banda recta	Semestral	Parado	75 minutos	Juego de llaves allen y extractor
Lubricación chumaceras banda recta	Mensual	Arrancado	10 minutos	Aceitera
Inspección del sistema de banda inclinada	Mensual	Arrancado	15 minutos	Toalla Húmeda
Servicio al motor de la banda inclinada	Semestral	Parado	75 minutos	Juego de llaves allen y extractor
Lubricación chumaceras banda inclinada	Mensual	Arrancado	10 minutos	Aceitera
Inspección detector de metales	Semanal	Arrancado	5 minutos	Pieza metálica
Inspección de poleas y cambio de fajas de molino	Anual	Parado	120 minutos	Llave 14 y Vice Grip
Inspección estructura externa molino	Semanal	Arrancado	20 minutos	Toalla Húmeda
Servicio al motor del molino	Semestral	Parado	75 minutos	Juego de llaves allen y extractor
Inspección de cuchillas de corte	Semestral	Parado	150 minutos	Juego de copas milimétricas
Inspección de turbinas	Trimestral	Parado	100 minutos	Juego de copas milimétricas
Servicio a motores de turbinas	Anual	Parado	220 minutos	Juego de llaves allen y extractor
Inspección de mando de turbinas	Trimestral	Arrancado	30 minutos	Toalla húmeda y amperímetro
Inspección de depósitos	Semanal	Arrancado	15 minutos	Toalla húmedo
Inspección de mangueras	Semanal	Arrancado	10 minutos	Toalla húmedo

**Tabla 28. Plan de actividades del sistema de alimentación.**

De las 16 actividades que se definieron en el plan 9 se deben realizar con la máquina arrancada y siete con la máquina parada, los siete que se pueden realizar con equipo arrancado deben integrarse al sistema de inspecciones mientras que las actividades con máquina parada deben programarse para realizarse en un paro programado.

En el plan de actividades de mantenimiento no se especifica qué se debe realizar en cada actividad o cómo debe realizarse la actividad, esto se debe especificar en los procedimientos que se generen para cada actividad. En el caso de actividades como la inspección del sistema de banda recta, esto incluye los tensores, la estructura de aluminio, los rodillos de retorno, las guías y la banda de tela, todo esto se integró en una sola actividad de inspección.

Cuando se habla de actividades de inspección, la forma correcta de realizar estas actividades es limpiar todos los componentes del sistema para buscar algún defecto, en caso el defecto pueda ser resuelto sin necesidad de parar la máquina se elimina en ese mismo momento, si el defecto solamente puede ser eliminado en un paro programado se debe agregar la actividad para el siguiente paro.





En el sistema de alimentación de la sopladora de envases de polietileno solamente se aplicaron dos tipos de mantenimiento, el correctivo para las componentes de tipo 3 y el preventivo para los componentes tipo 1 y 2. En este sistema de la máquina no es necesario utilizar la herramienta de mantenimiento predictivo ya que no se tienen motores lo suficientemente grandes como para invertir en realizar pruebas de vibraciones o termografías y los puntos de lubricación que se tienen son demasiados simples como para implementar un análisis de lubricantes.

**5. Procedimientos y documentación técnica.** Para poder realizar las tareas del plan de mantenimiento correctamente es necesario tener documentada la forma correcta de realizar cada actividad, para realizar los procedimientos es muy importante utilizar la documentación técnica compartida por el proveedor. En el procedimiento se debe incluir los pasos secuenciales para realizar la actividad, es muy importante colocar fotografías o información que permita a las personas entender la forma correcta de proceder. El procedimiento incluye las herramientas y los tiempos para realizar cada paso, la información de prácticas seguras debe incluirse en todos los procedimientos.

La documentación técnica debe incluirse en una carpeta destinada a guardar toda la información técnica del sistema y cada uno de sus componentes, en el caso de sistemas pequeños como el de alimentación de materia prima la carpeta puede compartirse con algún otro sistema de la máquina. La información que se encontró para el sistema de alimentación no fue muy extensa, sin embargo se logró localizar al proveedor del molino y ellos enviaron la hoja técnica de las cuchillas del molino, esta información fue importante para realizar el procedimiento de cómo inspeccionar las cuchillas.

La información técnica de los cojinetes nos indicó el tiempo de servicio que se le debe dar a los motores del sistema de alimentación según la carga y la frecuencia de uso del motor, las hojas técnicas se bajaron de la página del proveedor en internet. Otra información que fue de mucho valor es la referente a las bandas de tela, en la información compartida por el proveedor se indica con que químicos es necesario limpiarla y sugiere una tensión específica para evitar elongación o fallas en la banda.

La metodología para realizar procedimientos puede variar de un departamento a otro, esto depende mucho de la creatividad y funcionalidad que cada persona le encuentre a los procedimientos. En la siguiente tabla se muestra un ejemplo de un procedimiento realizado para realizar las actividades de inspección de la banda inclinada.

<b>PASO NÚMERO</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LA TAREA</b>	<b>HERRAMIENTAS</b>	<b>RIESGOS DE SEGURIDAD</b>	<b>FOTO</b>
1	Ajustar tensores de tornillo	Llave 16	Colocar mal la llave y golpearse al apretar.	
2	Limpiar estructura metálica y guarda de acrílico.	Toalla húmeda	Ninguno	
3	Ajustar rodillos de retorno	Llave 10	Colocar mal la llave y golpearse al apretar.	
4	Revisar tensión de banda inclinada y estado de los cangilones	Con las manos	Prensarse con la estructura y la banda	

**Tabla 29. Procedimiento para realizar inspección de banda inclinada.**

**6. Inspección y lubricación.** Las actividades diarias de inspección deben cubrir aspectos de limpieza externa de la máquina y actividades que estén programadas en el plan de actividades, esta inspección tiene como objetivo mantener limpia la máquina y tener una herramienta para poder encontrar los defectos que nos puedan provocar una falla durante el turno de operación.

De las 16 actividades que se definieron en el plan de actividades de mantenimiento ocho son actividades de inspección y dos de lubricación, en este caso de las diez actividades solamente tres se deben realizar con equipo parado, por lo que las otras siete se pueden incorporar a el calendario de rutas diarias de inspección. Cabe mencionar que estas rutas se realizan al inicio del turno y el equipo debe estar arrancado para poder escuchar cualquier anomalía que la máquina tenga.

En la parte de lubricación se debe estandarizar los tipos de lubricantes y las herramientas para lubricar cada uno de los puntos, en el caso de los puntos de lubricación del sistema de alimentación en ambos casos se usa aceite y no grasa, las herramientas para lubricar son aceiteras y el lubricante que se utiliza es aceite Risella 15 de marca Oroshell, este es un lubricante orgánico de baja viscosidad que se utiliza en cajas reductoras de motores de baja potencia.

La cantidad correcta de lubricante según el fabricante de motores es de 20ml. al mes y se especifica claramente en la hoja técnica que un exceso de lubricante puede provocar deterioro en los retenedores y una ausencia de lubricante puede provocar daños a los engranajes de la caja reductora del motor.

## V. BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA

### A. Reducción de fallas

El objetivo de reducción de fallas después de la implementación de las tres fases del programa debe ser de 75%, este fue un objetivo bastante desafiante para el sistema de alimentación de materia prima ya que el tiempo de implementación fue de solamente seis meses. El monitoreo que se realizó fue por tipo de fallas y en secuencia con la fase en que se estaba trabajando, la recolección de la información histórica fue de suma importancia para determinar la línea base de fallas.

El foco para todas las personas que estuvieron trabajando en la metodología era eliminar fallas para mejorar los costos, esto provocó que las personas eliminaran una gran cantidad de defectos y realizarán sus actividades siguiendo los procedimientos definidos para cada tarea. Para darle el seguimiento estricto que se le dio a las fallas fue necesario desarrollar un entrenamiento para que las personas pudieran identificar los diferentes tipos de fallas y analizar la causa de la falla para poder erradicarla.

En la siguiente tabla se puede observar la reducción de fallas en cada una de las fases y por tipo de falla, todas las personas que trabajaron para implementar el programa notaron plasmado su trabajo en la reducción de fallas que se obtuvo.

<b>TIPO DE FALLA</b>	<b>FALLAS MENSUALES AL INICIAR</b>	<b>FASE 1 MENSUALES</b>	<b>FASE 2 MENSUALES</b>	<b>FASE 3 MENSUALES</b>	<b>% FINAL DE REDUCCIÓN</b>
Fallas por componente	6	5	3	0	100%
Fallas operacionales	5	4	2	1	80%
Fallas por suministro	3	4	2	2	33%
Fallas Totales	14	13	7	3	79%

**Tabla 30. Reducción de fallas en sistema de alimentación de la máquina sopladora.**

Como se puede observar en la tabla 30 el objetivo de reducción de fallas se alcanzó en el modelo del sistema de alimentación de materia prima en la máquina sopladora de polipropileno. Se alcanzó el 79% de reducción de fallas lo cual tienen un importante impacto en costos.

## B. Personal entrenado

Al inicio de la implementación del programa de mantenimiento el personal del departamento de sopladora solamente contaba con una persona entrenada en electricidad, los entrenamientos recibidos por las personas no tenían un enfoque técnico lo cual provocaba que muy pocas personas estuvieran capacitadas para operar la máquina sin ayuda.

Los conocimientos de sistemas neumáticos y eléctricos en el personal eran en su mayoría teóricos y la persona encargada de llevar el programa de mantenimiento en la máquina solamente era especialista en sistemas de control y no conocía a detalle los procesos mecánicos. De los entrenamientos que se buscaron para entrenar a la gente del departamento el 40% de los mismos fueron desarrollados por el mismo personal del departamento utilizando referencias de libros de ingeniería o información de la carpeta de documentación técnica. El otro 60% de los entrenamientos se consiguieron con proveedores o en internet, los entrenamientos que fueron impartidos por proveedores fueron prácticos y se pudo observar el funcionamiento de los componentes en módulos de entrenamiento que el proveedor facilitó.

Al inicio de fase 3 se empezó a observar que todas las personas del departamento operaban la máquina de una manera similar y realizaban las tareas de mantenimiento de una forma estandarizada y correcta, todo esto es reflejo de un esfuerzo grande en la parte de entrenamientos. En la siguiente tabla se puede observar la cantidad de personas que se entrenaron del departamento de soplado, en total en el departamento son seis personas y con los entrenamientos se intento asegurar que por lo menos dos personas fueran expertos en algún sistema.

<b>NOMBRE DEL ENTRENAMIENTO</b>	<b>DURACIÓN</b>	<b>FACILITADOR</b>	<b>NÚMERO DE PERSONAS QUE LO RECIBIERON</b>
Sistemas neumáticos básicos	2 horas	Acisa (Festo)	4 Personas
Electricidad básica	60 horas	Intecap	2 Personas
Entrenamiento en el programa de mantenimiento	3 horas	Planeador de Mantenimiento	6 Personas
Operación de la máquina sopladora	5 horas	Gerente del departamento	6 Personas
Lubricación	1 hora	Oroshell de Guatemala	5 Personas

**Tabla 31. Entrenamientos impartidos al personal del departamento de soplado.**

El beneficio de entrenar a las personas es poder brindarles las herramientas para realizar su trabajo correctamente, los entrenamientos también son un incentivo para ellos y enriquecen sus conocimientos.

### C. Beneficio en costos

Como se mencionó a lo largo de todo el trabajo, la medida que nos indica si un proceso es efectivo y rentable en una planta es la variable de costos. Al realizar el análisis costo – beneficio de la implementación del programa de mantenimiento en el sistema de alimentación de la máquina sopladora de envases de polietileno nos dimos cuenta de que el programa podía entregar muchos ahorros si se implementaba siguiendo toda la metodología y usando las herramientas del mismo para impactar la estructura de costos de la planta.

La cuantificación de ahorros se hizo todo el tiempo con base en los cuatro tipos de pérdidas a los cuales se les calculó la pérdida en el análisis inicial. En la siguiente tabla se puede observar la reducción de pérdidas en cada una de sus diferentes variantes y se puede observar los ahorros cuantificados en los seis meses implementación. Las pérdidas iniciales se calcularon en una base de 18 meses, sin embargo se llevó a seis meses para poder comparar períodos de tiempo iguales. La inversión y costos de de gente va incluido en cada uno de los rubros.

<b>TIPO DE PÉRDIDA</b>	<b>PÉRDIDA EN 6 MESES ANTES DEL PROGRAMA</b>	<b>INVERSIÓN EN REPUESTOS</b>	<b>COSTO DE GENTE EN EL PROGRAMA</b>	<b>% DE REDUCCION DE LA PÉRDIDA</b>	<b>AHORRO EN QUETZALES</b>
Materiales	Q. 29,366.00	Q. 2,497.00	Q. 3,200.00	83%	Q. 18,676.00
Métodos	Q. 8,316.00	Q. 258.00	Q. 3,200.00	58%	Q. 1,365.00
Gente	Q. 12,393.00	Q. 0.00	Q. 3,200.00	62%	Q. 4,483.00
Máquina	Q. 33,243.00	Q. 14,350.00	Q. 3,200.00	95%	Q. 14,030.00
Total	Q. 83,318.00	Q. 17,105.00	Q. 12,800.00	74%	Q. 38,554.00

**Tabla 32. Reducción de costos en sistema de alimentación de sopladora.**

En los seis meses que se trabajo el programa de mantenimiento en el sistema de alimentación de la máquina sopladora se redujeron pérdidas equivalentes a Q. 38,554.00. Este número puede parecer bastante bajo, sin embargo debe considerarse que es únicamente uno de los seis sistemas de la máquina y qué fue aplicado únicamente para seis meses lo cual es un gran logro y una opción para implementar en todas las máquinas de la planta.

## VI. CONCLUSIONES

- El conocimiento de la máquina y sus componentes, en este caso la sopladora de envases de polietileno, son de suma importancia para implementar eficientemente el programa de mantenimiento.
- La reducción de costos por medio de eliminación de fallas es la idea central de la implementación de un programa de mantenimiento.
- En la industria actual es necesario evaluar los beneficios de implementar un programa de mantenimiento enfocado en reducción de costos.
- En la implementación de un programa de mantenimiento es necesario entrenar a las personas en los sistemas técnicos de la máquina para tener las herramientas para poder analizar las fallas de la máquina.
- Las ventajas de tener equipos funcionando al menor costo posible permiten a la planta tener mayor flexibilidad y confiabilidad de operación que impactan directamente en una mayor rentabilidad en el negocio.
- La priorización enfocada en los métodos, componentes, personal, repuestos y costos resultan en una mayor elaboración diaria, semanal, mensual y anual de un plan de mantenimiento de paros programados que no afectan la sostenibilidad y confiabilidad de la operación.
- La documentación y seguimiento detallado de fallas y planes de acción elaborados en una estación de trabajo dan como resultado un mayor seguimiento a la frecuencia y mejora de fallas en cualquier sistema.

## VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar el programa de mantenimiento a los demás sistemas de la máquina sopladora de envases de polietileno.
- Se recomienda la creación de una base de datos de monitoreo a pérdidas de cada máquina en la planta.
- Se recomienda desarrollar un entrenamiento de la metodología de implementación del programa para poder reapplicarlo en todos los departamentos de la planta.
- Se recomienda desarrollar un análisis de fallas que impacten en la rentabilidad del negocio, para que la implementación de un programa de mantenimiento sea fácilmente aceptado por la planta.
- Se recomienda crear un sistema de incentivos al personal de la estación de trabajo donde se realice el plan de mantenimiento para desarrollar un sentido de pertenencia al proceso y que fácilmente sea premiada una operación confiable sin paros no programados.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

Blank, Leland y Tarquin, Anthony. 2001. *Ingeniería Económica*. 4ta. Edición. Colombia, Editorial McGraw Hill. 722 págs.

Denton, Keith. 1984. *Seguridad Industrial*. México, Editorial McGraw Hill, Mexico. 533 págs.

Morton, John. 1993. *Procesamiento de plásticos*. México, Limusa. 393 págs.

Neely, John. 1992. *Materiales y Procesos de Manufactura*. México, Limusa. 764 págs.

Niebel, Benjamin Y Freivalds, Andris. 2004. *Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo*. 11ª Edición. México, Alfaomega. 745 págs.

Numancia, José María. 1999. *Gestión del Mantenimiento*. España, FC Editorial. 440 págs.

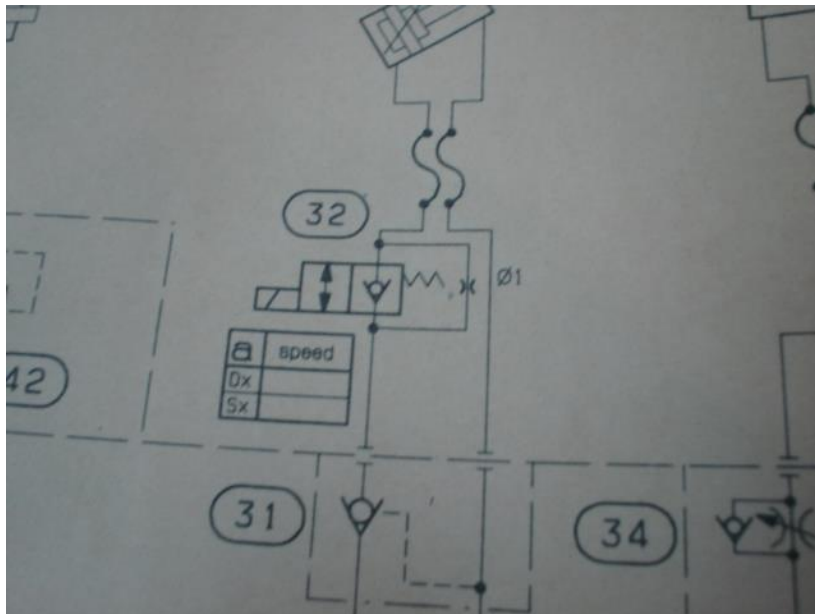
Pope, Edward. 2000. *Soluciones prácticas para el ingeniero mecánico*. México, Editorial McGraw Hill. 416 págs.

Rey, Francisco. 2001. *Mantenimiento total de la producción: proceso de implantación y desarrollo*, España, Fundación Confemetal. 350 págs.

## IX. ANEXOS



Anexo 1. Seguridad al realizar todas las actividades.



Anexo 2. Diagrama neumático utilizado para identificar componentes.



**Anexo 3. Limpieza de estructura externa de turbina.**



**Anexo 4. Aplicación de pintura a estructura externa del molino.**