

# UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



*Excelencia que trasciende*

## **“PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CONTROL DE DESPERDICIOS EN EL ÁREA DE MOLIENDA DE UNA EMPRESA RECICLADORA DE PLLÁSTICOS”**

Trabajo de investigación presentado por  
**RODRIGO DANIEL SARTI MOLINA**  
para optar al grado académico de  
Licenciado en Ingeniería Industrial

Guatemala

2012

**PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y  
CONTROL DE DESPERDICIOS EN EL ÁREA DE MOLIENDA DE UNA  
EMPRESA RECICLADORA DE PLÁSTICOS**

UNIVERSIDAD DEL VALLE  
DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y  
CONTROL DE DESPERDICIOS EN EL ÁREA DE MOLIENDA DE UNA  
EMPRESA RECICLADORA DE PLÁSTICOS

**RODRIGO DANIEL SARTI MOLINA**

Guatemala

2012

**Vo. Bo.:**

f)   
\_\_\_\_\_

Ing. Carlo Prato

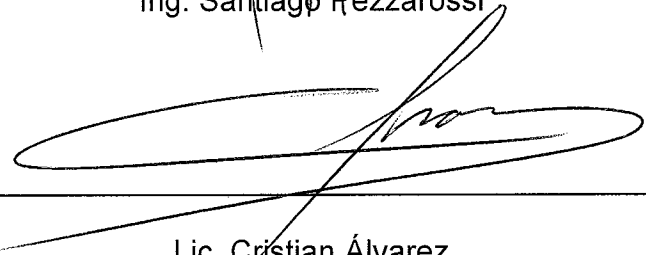
**Tribunal Examinador:**

f)   
\_\_\_\_\_

Ing. Carlo Prato

f)   
\_\_\_\_\_

Ing. Santiago Pezzarossi

f)   
\_\_\_\_\_

Lic. Cristian Álvarez

**Fecha de aprobación:** Guatemala, 11 de junio de 2012.

## **PREFACIO**

Este estudio consiste en la implementación de un plan de mantenimiento preventivo a una empresa recicladora de plásticos, en el cual se encontraron grandes oportunidades de mejora. La propuesta del plan de mantenimiento se basa en aumentar la disponibilidad de los equipos que intervienen en la producción de plásticos reciclados.

El estudio se limita directamente al área de molienda y no considera otros procesos que se realizan dentro de la planta de reciclaje de plásticos.

# ÍNDICE

CONTENIDO	Página
PREFACIO	v
ÍNDICE	vi
LISTA DE TABLAS	v
LISTA DE ILUSTRACIONES	vi
LISTA DE GRAFICAS	vii
RESUMEN	viii
I. <b>INTRODUCCIÓN</b>	1
II. <b>JUSTIFICACIÓN</b>	3
III. <b>OBJETIVOS</b>	5
IV. <b>MARCO TEÓRICO</b>	6
A. Mantenimiento	6
B. Importancia del mantenimiento y tipos de mantenimiento	6
C. Plásticos	8
D. Reciclado de plásticos	10
E. Descripción del proceso	11
F. tipos de pérdidas	15
G. Orden de trabajo	18
V. <b>PROGRAMA DE MANTENIMIENTO</b>	22
A. Propósito del programa de mantenimiento	22
B. Condición inicial del equipo	22
C. Entrenamiento del personal y monitoreo de equipos	26
D. Fallas en el sistema	27
E. Falla directa de la pieza	28
F. Fallas operacionales	28
G. Recurrencia de fallas	29
H. Análisis de las fallas	29
I. Costos de mantenimiento	30
J. Modelo del plan de mantenimiento	31
VI. <b>ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA</b>	33
A. Descripción de la maquinaria	33
B. Análisis de fallas	39
C. Situación actual sobre el costo por cambio de cuchillas	45
D. Información técnica	50
VII. <b>PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CONTROL DE DESPERDICIOS</b>	51
A. Programa de mantenimiento preventivo	51
B. Verificación del cumplimiento: Plan de mantenimiento preventivo	56
C. Programa de herramientas	56
D. Mejora del método de cambio de cuchillas	62
VIII. <b>RESULTADOS</b>	64
A. Propuesta: Reducción de desperdicios	64
B. Personal entrenado	66
C. Costo del mantenimiento preventivo de molinos	67
IX. <b>CONCLUSIONES</b>	69
X. <b>RECOMENDACIONES</b>	70
XI. <b>BIBLIOGRAFÍA</b>	71
XII. <b>ANEXO</b>	72

## LISTA DE TABLAS

No.	Contenido	Página
1.	Codificación internacional de los plásticos trabajados por empresa recicladora	10
2.	Descripción del molino 1, marca PAGANI	33
3.	Descripción del molino 2	34
4.	Descripción del molino 3	34
5.	Control de producción	38
6.	Costo de la hora de trabajo	39
7.	Precio de venta de plásticos en el mercado	40
8.	Análisis de fallas	40
9.	Análisis del costo de oportunidad	42
10.	Cambio de cuchillas, tiempo promedio	43
11.	Tiempo promedio, cambio de cuchillas	45
12.	Costo de mano de obra de cuchillas	45
13.	Costo de oportunidad, cambio de cuchillas	45
14.	Ganancia por Kg. procesado	46
15.	Pérdidas en el cambio de cuchillas	46
16.	Costo total en el cambio de cuchillas	46
17.	Análisis de desperdicios en la molienda	47
18.	Costo de materia prima y precio de venta de productos reciclados	48
19.	Pérdidas y desperdicio en planta de molienda	48
20.	Mantenimiento preventivo, molino 1,	51
21.	Mantenimiento preventivo, molino 1, área eléctrica	53
22.	Mantenimiento preventivo, molino 2, área mecánica	54
23.	Mantenimiento preventivo, molino 3, área mecánica	55
24.	Frecuencia de afilados	59
25.	Costo anual de afilados de cuchillas	61
26.	Promedio de producción durante los últimos seis meses	65
27.	Ahorros por tarima procesada	66
28.	Capacitaciones para el programa de mantenimiento preventivo	67
29.	Costo de mantenimiento preventivo de molinos	68

## LISTA DE ILUSTRACIONES

No.	Contenido	Página
1.	Diagrama D.O.P. de plásticos	14
2.	Orden de trabajo a mantenimiento	20
3.	Diagrama de flujo: Emisión de órdenes de trabajo	21
4.	Molino PAGANI	33
5.	Molino PAGANI 2, Vista interior de los molinos	35
6.	Diagrama de recorrido, planta recicladora de plásticos	36
7.	Diagrama sobre causa y efecto	36
8.	Control de producción	38
9.	Análisis de Pareto, fallas	41
10.	Método actual del cambio de cuchillas	44
11.	Informe de mantenimiento	57
12.	Lista de verificación de molinos	58
13.	Método propuesto, cambio de cuchillas	63
14.	Silo, producto terminado	64
15.	Desperdicio de planta de molienda	65
16.	Modificación silo, producto terminado	66

## **RESUMEN**

En la operación de una planta de producción es importante poder mantener la continuidad del proceso de producción y alargar la vida útil de la maquinaria para lograr ser competitivos en calidad, bajo costo y poder satisfacer las necesidades de nuestros clientes. Es por estos motivos que el mantenimiento preventivo a tomado gran importancia para poderse anticipar a las fallas, aprovechando al máximo los recursos con que se cuenta.

Al analizar la empresa recicladora de plásticos en estudio, se logró determinar los tipos de fallas y los costos incurridos en los últimos meses a través de los cuales se diseñó un programa de mantenimiento preventivo para cada uno de los equipos que se encuentran dentro de la empresa, estableciendo los lineamientos y registros de control que permitan ejecutar el programa y beneficiar a la empresa Recicladora de Plásticos.

Se realizó un estudio sobre los desperdicios existentes en el proceso de producción y se cuantificó a cuanto ascendían las pérdidas por no llevar un control sobre los mismos, al mismo tiempo que se propuso una mejora al sistema para poder reducir las pérdidas.

Por último se modificó el método utilizado para la realización del cambio de cuchillas, con lo cual se logró un ahorro significativo para la empresa.

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad las empresas se encuentran constantemente en la búsqueda de lograr ser más competitivas sin importar la rama del negocio. Tal es el caso de la industria del reciclaje la cual últimamente ha tomado bastante importancia a nivel global, no solo con la finalidad de querer ayudar a salvar a nuestro planeta sino como un mercado en vías de crecimiento.

Debido al aumento en el consumo actual de plásticos por parte de la sociedad especialmente para botellas de bebidas de consumo (agua pura, gaseosas, jugos, etc), se ha generado la necesidad de desarrollar procesos que aseguren que el reciclaje de plásticos sea una actividad económicamente atractiva. Buscando de esta manera ayudar a disminuir la cantidad de botellas que llegan a los basureros, por lo que existe gran interés en las diferentes comunidades no solo en Guatemala sino a nivel mundial en reutilizar estos materiales, en lugar de desecharlos como si fueran basura.

De ahí la importancia de ser más eficientes y productivos para poder seguir siendo una empresa rentable en un mercado creciente, lo cual no solo depende de nuestro recurso humano sino en gran parte de la maquinaria que utilizamos y el mantenimiento que estas reciban para poder asegurar la continuidad de la operación.

Para ayudar a lograr la continuidad de operación de cualquier planta manufacturera es necesario que las máquinas reciban el mantenimiento adecuado, debido a que cada uno de los componentes de la máquina tienen una vida útil establecida, la cual se puede prolongar si se le da el mantenimiento adecuado, así como también se ve reflejado en un ahorro en mantenimientos correctivos o en posibles paros no programados debido a la falla de algunos de los componentes de las máquinas.

Se puede afirmar que un mantenimiento preventivo realizado puntualmente ayuda a detectar fallos repetitivos, disminuir los puntos muertos por parada, reducir los costos de reparaciones mayores a causa de fallas de componentes por falta de mantenimiento.

Por las razones antes expuestas el presente trabajo tiene como objetivo la implementación de un plan de mantenimiento preventivo, apoyándose en plasmar y mejorar las actividades que actualmente se realizan para asegurar la disponibilidad de cada una de las máquinas en el área de molienda de una industria recicladora de plásticos.

## II. JUSTIFICACIÓN

Este trabajo de graduación consiste en llevar a cabo un plan de mantenimiento preventivo para el área de molienda de una empresa recicladora de plásticos, en la que actualmente se lleva algún tipo de mantenimiento en los molinos (del tipo correctivo), pero no se lleva ningún registro, ni calendarización sobre cuando es necesario hacer dichos mantenimientos.

Esto repercute en la disponibilidad de las máquinas, debido a que se ven en la necesidad de hacer paros no programados, para que ésta pueda recibir su mantenimiento, el cual muchas veces se ve atrasado por la escasez de la maquinaria adecuada dentro de la empresa para dichas actividades.

En la actualidad es necesario controlar cualquier detalle que pueda ver afectada nuestra eficiencia y productividad, debido a que el mercado del reciclaje de plásticos en Guatemala cada vez se encuentra en aumento, lo que hace que la materia prima que anteriormente era considerada como basura (costo despreciables) sufra un incremento en su precio debido a la competencia por la entrada de nuevas fábricas recicladoras; las cuales para asegurar el suministro de la materia prima compran a precios mayores. Esto obliga a las empresas a buscar alternativas para poder seguir operando de una manera rentable y mantener la posición actual dentro del mercado.

En su mayoría todo el material del área de molienda es producto de exportación a diferentes países de Europa y Asia, debido a que hay políticas que han forzado positivamente el uso de material reciclado en productos que nuevamente son lanzados al mercado, el mejor ejemplo de ello es la industria automotriz en donde muchas de las piezas de los automóviles son fabricadas con cierto porcentaje de material reciclado.

Por lo tanto el material reciclado debe cumplir con las condiciones de calidad que rigen el precio internacional. Estos precios cotizan en los mercados bursátiles y su precio fluctúa constantemente en correlación con el petróleo (son un derivado) .

De ahí la necesidad de implementar un plan de mantenimiento preventivo, con el cual se busca minimizar gastos en mantenimientos correctivos, evitar paros en la maquinaria los cuales conllevan una serie de gastos ocultos además del producto no procesado, disminución de accidentes, un aumento en la eficiencia y productividad y como resultado un aumento en la utilidad al final del mes.

### **III. OBJETIVOS**

#### **A. General**

- Proponer un plan de mantenimiento preventivo con el que se pueda optimizar la disponibilidad de las máquinas del departamento de molienda.

#### **B. Específicos:**

- Proporcionar la teoría básica del proceso de molienda.
- Implementar un control de desperdicios en el proceso de molienda.
- Identificar los porcentajes de desperdicio.
- Identificar las fallas más recurrentes en la maquinaria del departamento de molienda.
- Implementar una calendarización para el mantenimiento preventivo del departamento de molienda.

## **IV. MARCO TEÓRICO**

### **A. Mantenimiento**

El mantenimiento es una serie de pasos y procedimientos que en conjunto logra que la vida útil de los equipos y máquinas se prolongue, la eficiencia y la buena apariencia de sistemas, edificios, equipos y accesorios, logrando así que los costos bajen.

#### **1. Objetivos del mantenimiento**

- Evitar, reducir, y en su caso, reparar, las fallas sobre los bienes precitados.
- Disminuir la gravedad de las fallas que no puedan ser evitadas.
- Evitar paro de máquinas.
- Evitar accidentes.
- Evitar incidentes y aumentar la seguridad para las personas.
- Balancear el costo de mantenimiento.
- Alcanzar o prolongar la vida útil de los bienes.

El mantenimiento adecuado, tiende a prolongar la vida útil de los bienes, a obtener un rendimiento aceptable de los mismos durante más tiempo y a reducir el número de fallas.

### **B. Importancia del mantenimiento y tipos de mantenimiento**

El mantenimiento se ha ganado importancia, ya que gracias al mantenimiento logramos reducir costos de producción, mejorar la calidad del producto, etc.

Dounce, E., López, C. y Dounce, J. (2001), con el transcurrir de los tiempo indica que el mantenimiento ha ido adquiriendo importancia a partir de la Segunda Guerra Mundial, a consecuencia de que todas las industrias trabajaban al total de su capacidad, y el detener la producción por tener que efectuar alguna reparación a cualquiera de los

equipos, además de los retrasos en las entregas que causan y repercusiones en los costos los cuales se veían incrementados por paros no programados.

**1. Mantenimiento correctivo.** Es un mantenimiento no planificado, que se dedica a la corrección de fallas cuando éstas se presentan de forma no planificada, al contrario del caso del Mantenimiento Preventivo.

García, S. (2003), define mantenimiento correctivo como un conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos o imperfecciones que se van presentando en el desempeño de los diferentes equipos, y que son los operarios, los encargados de reportar dichos defectos al departamento de mantenimiento.

Fernández, J. (2006), define mantenimiento correctivo es la acción que sirve para resolver problemas ya surgidos. También indica que este tipo de reparaciones se llevarán a cabo lo más pronto posible, esto con el fin de evitar un repercusión en los costos, o bien para reducir los daños materiales y/o humanos que pudieran producirse.

**2. Mantenimiento preventivo.** Es la programación de inspecciones, tanto de funcionamiento como de seguridad, ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación, calibración, que deben llevarse a cabo en forma periódica en base a un plan establecido y no a una demanda del operario o usuario; también es conocido como Mantenimiento Preventivo Planificado (MPP) .

Su propósito es prever las fallas manteniendo los sistemas de infraestructura, equipos e instalaciones productivas en completa operación a los niveles y eficiencia óptimos. La característica principal de este tipo de Mantenimiento es la de inspeccionar los equipos y detectar las fallas en su fase inicial, y corregirlas en el momento oportuno.

García, S. (2003), lo resume como el tipo de mantenimiento que tiene por misión el mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, realizando la programación de las correcciones de sus puntos gastados en el momento más oportuno.

Gaithe, N. (2000), impulsa a las empresas fabricantes líderes a que implemente lo que es el mantenimiento preventivo total, el cual explica que es la inclusión en el proceso de generación de programas futuros de mantenimiento desarrollados por los mismos trabajadores que operan las máquinas en conjunto con los profesionales del departamento de mantenimiento se logre un mejor control en el desempeño de las máquinas.

Dounce, E., López, C. y Dounce, J. (2001), indica que al principio se realizaban este tipo de mantenimiento que a pesar de ser costosa en muchas ocasiones resultaba necesaria, únicamente por el criterio de que si la máquina funcionaba bien, ésta elaboraría un producto de la calidad esperada.

Pueden establecerse a intervalos de tiempo iguales entre revisiones, desmontando los componentes que son objeto de revisión antes de que fallen y reponiéndolos en tiempo cero. También ir revisando los componentes de la maquinaria periódicamente, y de acuerdo al estado que estas presenten llevar a cabo su sustitución. Y el desmontar por completo las piezas o componentes, esto para ser examinadas y sustituir las que presentan condiciones deficientes.

### **C. Plásticos**

Se entiende como plásticos a aquellas sustancias que carecen de un punto fijo de ebullición, las cuales al ser sometidas a cierta temperatura poseen propiedades de elasticidad y flexibilidad que permite moldearlas y adaptarlas a diferentes formas y

aplicaciones. A partir de ellos se pueden crear diferentes materiales sintéticos mediante la polimerización, es decir crear cadenas de carbono más largas y complejas.

**1. Propiedades y características.** Los plásticos pueden proporcionar una mezcla de propiedades, que no se pueden obtener con otros materiales, por ejemplo: color, poco peso, tacto agradable y resistencia a la degradación ambiental y biológica.

El término plástico hace referencia a un estado de la materia y no directamente al tipo de material, de hecho la sociedad habitualmente llama plásticos a los diferentes tipos de polímeros sintéticos los cuales pueden alcanzar el estado plástico mediante la aplicación de calor haciendo que el material sea viscoso y fluido sin resistencia a esfuerzos mecánicos.

Cuando los polímeros se encuentran en estado plástico es cuando se pueden utilizar para los diferentes procesos productivos, ya que es cuando el material puede manipularse y moldearse según la aplicación deseada.

Las propiedades y características de la mayoría de los plásticos (aunque no siempre se cumplen en determinados plásticos especiales) son estas:

- Fáciles de trabajar y moldear
- Bajo costo de producción
- Baja densidad
- Impermeabilidad
- Aislantes acústicos
- Buenos aislantes térmicos, aunque la mayoría no resisten temperaturas muy elevadas,
- Resistentes a la corrosión y a ciertos químicos.

Los plásticos tienen la característica que no son biodegradables ni fáciles de reciclar, y si se queman son suelen ser muy contaminantes para el medio ambiente.

**2. Codificación de plásticos.** Existe una gran variedad de plásticos y para clasificarlos, existe un sistema de codificación (ver Tabla 1). Los productos llevan una marca que consiste en el símbolo internacional de reciclado con el código correspondiente en medio según el material específico.

Tabla 1  
Codificación internacional de los plásticos trabajados  
(por empresa recicladora)

<b>Tipo de plástico</b>	Polietileno Tereftalato	Polietileno de alta densidad
<b>Acrónimo</b>	PET	PEAD/HDPE
<b>Código</b>	1	2

#### **D. Reciclado de plásticos**

Es fácil percibir cómo los desechos plásticos, por ejemplo de envases de líquidos como el aceite de cocina, no son susceptibles de asimilarse de nuevo en la naturaleza, porque su material tarda aproximadamente unos 180 años en degradarse.

Ante esta realidad, se ha establecido el reciclado de tales productos de plástico, que ha consistido básicamente en recolectarlos, limpiarlos, seleccionarlos por tipo de material y fundirlos de nuevo para usarlos como materia prima adicional, alternativa o sustituta para el moldeo de otros productos. De esta forma la humanidad ha encontrado una forma adecuada para evitar la contaminación de productos que por su composición, materiales o componentes, no son fáciles de desechar de forma convencional.

Se pueden salvar grandes cantidades de recursos naturales no renovables cuando en los procesos de producción se utilizan materiales "reciclados". La utilización de productos reciclados disminuye el consumo de energía, el consumo de combustibles fósiles lo cual se ve reflejado con una menor emisión de CO<sub>2</sub>.

## **E. Descripción del proceso**

A continuación se describe por etapas los pasos necesarios para poder llevar a cabo el reciclaje de botellas tipo PET, el cual consiste en tomar las botellas y molerlas para obtener hojuelas con un tamaño promedio de aproximadamente 11 mm. Para posteriormente que sean almacenadas y quedar en espera de ser exportadas a Europa y Asia

**1. Clasificación de materiales.** Esta primera etapa consiste en eliminar cualquier tipo de contaminante que pueda llegar a afectar el producto final. La materia prima se obtiene directamente de proveedores del basurero (Material recolectado por medio de usuarios en los diferentes basureros del país, es el material más contaminado), centros de acopio (Material que ha sido captado antes que este llegue al basurero) y material post industrial (aquel que no ha contenido ningún tipo de material en su interior.)

Sin importar de qué fuente provenga el material debe pasar por un proceso de clasificación a través de una banda, para eliminar materiales tales como madera, metales, agua, papel, piedras y cualquier tipo de plástico que no forme parte de la línea de material con la cual se está trabajando. Una de las mayores dificultades es lograr distinguir los envases de PVC del PET, siendo este uno de los posibles contaminantes del producto final.

Por el motivo anterior, el material se clasifica en las siguientes categorías:

- **PET basurero natural:** En esta categoría entran todos aquellos envases de agua pura y bebidas carbonatadas, las cuales sean de color natural (transparente).
- **PET basurero colores:** En esta categoría entran todos aquellos envases los cuales tienen algún color característico, entre los más comunes se encuentran: Azul, verde, gris y café.
- **PET basurero jugos:** Esta categoría forma parte del PET basurero natural, en esta se incluyen todos aquellos envases de bebidas que contienen refrescos no carbonatados tales como: Envases de té frío, be light® , jugos california® y otros que no sean tan comunes. El motivo de esta clasificación es debido a que existen envases que no son muy frecuentes encontrar, motivo por el cual se desconoce la composición tanto del envase como de la etiqueta del mismo y para evitar riesgos de contaminación y llevar un mejor control se realiza de esta manera.
- **PET post industrial:** Son todos aquellos plásticos que no han tenido contacto con ningún material o sustancia en su interior, es clasificado en envase o preforma, y de igual manera por colores.
- **PET de aceite:** Son todos aquellos envases que han contenido aceite de cocina o algún tipo de desinfectante, es clasificado de esta manera debido a que lleva un proceso adicional de lavado para poder ser considerado como producto final.

A parte de retirar cualquier tipo de contaminante de la materia prima, se retiran todos aquellos envases que se encuentren degradados, quemados y con algún tipo de grasa, solvente o pintura.

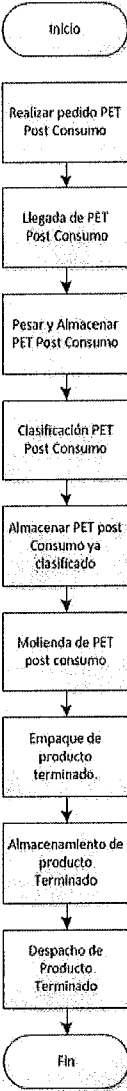
Entonces para llevar a cabo el proceso de clasificación el material que es llevado por los proveedores en jumbos (sacos grandes ) y luego colocado en una banda de clasificación a lo largo de la cual se encuentra personal calificado y capacitado para retirar cualquier material, envase o basura que sea considerado como contaminante del producto final. El material ya clasificado es colocado en un jumbo que se encuentra al final de la banda de clasificación, un jumbo de material clasificado tiene un peso aproximado de 30 kg

**2. Molienda.** Luego que el material es clasificado y almacenado en jumbos, este material pasa directamente al área de molienda. Donde el material es transportado por medio de una banda transportadora hacia la tolva de alimentación del molino para que este sea molido por medio de las cuchillas estacionarias y giratorias, y el material es depositado en la cámara de molienda por donde el material pasa a través de un filtro con agujeros de un diámetro de 11mm. El material es enviado a un silo de almacenamiento con ayuda de un blower que succiona todo el material para poder ser almacenado

**3. Almacenamiento.** Luego que el material es enviado a un silo, el material es depositado en bolsas de 15 kilos cada una a las cuales se les agrega sanitizante (Únicamente al material proveniente de vertederos) para evitar malos olores al momento de ser almacenado, luego el material es sellado por medio de una cosedora y puesto en tarimas para ser exportado.

4. Diagrama de operaciones del proceso

Ilustración 1  
Diagrama DOP reciclaje de plásticos



## **F. Tipos de pérdidas**

**1. Principales pérdidas en el proceso de molienda.** Existen diversas pérdidas asociadas al proceso de molienda de envases de PET y HDPE, algunas de estas pérdidas se han logrado identificar mientras que hay otras que no se han descubierto. Lo que es cierto es que a pesar que se hayan logrado identificar las posibles pérdidas en el sistema no se tienen cuantificado cuanto es el costo de las mismas. Por lo que podemos llegar a obtener un gran ahorro si logramos detectarlas y al mismo tiempo eliminarlas, lo cual es uno de los objetivos de este trabajo al implementar un plan un mantenimiento que permita reducir pérdidas relacionadas con el mantenimiento.

Para poder llegar a tener una mejor visión de la manera en la que afectan las pérdidas es necesario identificar la raíz que las provoca, lo cual nos ayudará a tener una mejor visión de cómo poder llegar a eliminarla. Normalmente el mantenimiento siempre suele ser un área de grandes oportunidades de mejora en cualquier tipo de empresa, debido a que afecta directamente la disponibilidad de la maquinaria, por lo que se buscará cuantificar las pérdidas relacionadas a un mal programa de mantenimiento y de esta manera poder calcular cuanto podemos llegar a ahorrar al implementar el programa de mantenimiento.

**2. Pérdidas por materiales.** Al hablar de pérdidas de materiales nos referimos a la posible contaminación que pueda existir entre dos tipos de materiales distintos, ya sea por el color o bien por el tipo de material lo cual si se llega a detectar a tiempo representa pérdida de tiempo del operador, tener una máquina parada y lo que dejamos de producir en el tiempo que el material sea revisado. Y a que debe revisar el material y retirar todo aquel material que no pertenezca al material que se está trabajando.

Y en el peor de los casos que esta contaminación no sea detectada a tiempo representa un reclamo con el cliente en el exterior, lo cual significa el cubrir el material contaminado más los gastos de exportación.

La materia prima más costosa de contaminar y remplazar es el material post-industrial, esto debido a que el precio de compra del kg es mayor que el PET y HDPE post consumo. La mayor pérdida en materiales es la cantidad de kilos que se deben de revisar y separar para poder proceder a vender el producto molido.

El producto molido se puede contaminar de las siguientes maneras:

- Debido a la mala limpieza realizada al cambiar de material o bien de color del material, esto es debido a que al momento de llevar a cabo el cambio de material no se limpia debidamente la criba, los alojamientos de las cuchillas y el rotor. O bien no se pasa aire a presión dentro de la cámara de molienda lo que causa que pequeñas partículas de otros materiales se queden prendidas en las diferentes piezas del molino.
- Otra de las causas de la contaminación del material es debido al desprendimiento de alguno de los perfiles de la banda transportadora, lo que causa que este caiga directamente a la cámara de molienda y contamine el material que se está trabajando.

**a. Pérdidas por métodos.** En esta sección analizamos todos aquellos procedimientos que indican la manera de llevar a cabo una actividad, donde podemos encontrar dos áreas de oportunidad, la primera es que los métodos no existan, y la otra es que existan pero se realicen de manera incorrecta. La manera de analizar este tipo

de incidentes es analizar la cantidad de material, incidentes y defectos que se tienen por no contar con un procedimiento o por seguir un procedimiento equivocado.

Lo importante de definir los métodos es que es una manera de evitar daños a los equipos sino evitar posibles accidentes al momento de operar el equipo. Donde se puede observar la primera falla debido a métodos es al momento de arrancar los equipos, debido a que no existe un procedimiento en el cual se indique la manera correcta de arrancar los motores de todos los equipos, ya que los operadores realizan el arranque de los motores al mismo tiempo, lo cual en repetidas ocasiones a ocasionado penalizaciones por parte de la empresa eléctrica al superar la potencia demanda.

Al momento de estar realizando la molienda del material, el no revisar de la manera correcta el material que se deposita en la banda puede ocasionar que se introduzca metal, madera, piedras o bien algún otro tipo de material que no estamos trabajando en la cámara de molienda. Lo que causa no solo pérdidas debido a la contaminación del producto sino que ocasiona un tiempo no programado debido a que hay que verificar el estado de las cuchillas.

En el método de empaque también encontramos un área de oportunidad debido a la forma que actualmente se realiza el empaque lo que causa que mucho del material se pierda, por no contar con el diseño adecuado además de no tener estipulado un procedimiento para poder llevar a cabo el empaque de manera correcta.

**b. Pérdidas por máquina.** Este tipo de fallas son las que más nos interesan debido a que son aquellas provocadas por defectos en la máquina, la cuales pueden ser eliminadas aplicando un buen programa de mantenimiento preventivo, debido a que fácilmente se pueden eliminar mediante un buen programa de mantenimiento.

Los costos relacionados a equipos parados por fallas en los componentes de las máquinas son muy altos debido a que debemos de tomar en cuenta que se esta perdiendo tiempo productivo del personal asignado a cada uno de los equipos, menor producción y adicionalmente el costo de oportunidad al no poder cumplir un pedido de algún cliente.

En muchas de las plantas se pueden observar fallas relacionadas con los motores eléctricos, debido a que por la falta de mantenimiento causa que estos se lleguen a disparar debido al exceso de temperatura, lo cual representa tener parado el equipo por un buen tiempo mientras se logra corregir la falla que ocasiono este calentamiento.

En el mejor de los casos se puede obtener fácilmente los repuestos y se cuenta con la mano de obra calificada para poder corregir esta falla, pero podemos llegar a la situación con la situación en la que no existan repuestos para el equipo y es necesario mandar a traerlo al exterior.

## **G. Orden de trabajo**

La orden de trabajo es un elemento de planificación que indica instrucciones detalladas y escritas que define el trabajo que debe hacerse por la organización de mantenimiento en la planta. Lo que se busca al implementar una orden de trabajo es el ordenar al personal de mantenimiento la realización de alguna tarea de mantenimiento sin provocar algún tipo de confusión.

En la actualidad no se lleva un registro formal sobre los mantenimientos realizados a los diferentes equipos, por lo que la implementación de esta herramienta ayudará al mejoramiento de las actividades de mantenimiento como al desarrollo del plan de mantenimiento preventivo.

El formato de las órdenes de trabajo deberá llevar datos como:

- Departamento que lo solicita.
- Fecha de pedido.
- Nombre del departamento ejecutor.
- Descripción del trabajo.
- Firma del solicitante.
- Firma de recibido, es la firma del encargada del departamento ejecutor.
- Firma de autorización, es el encargado de producción.
- Firma de conformidad del trabajo realizado.

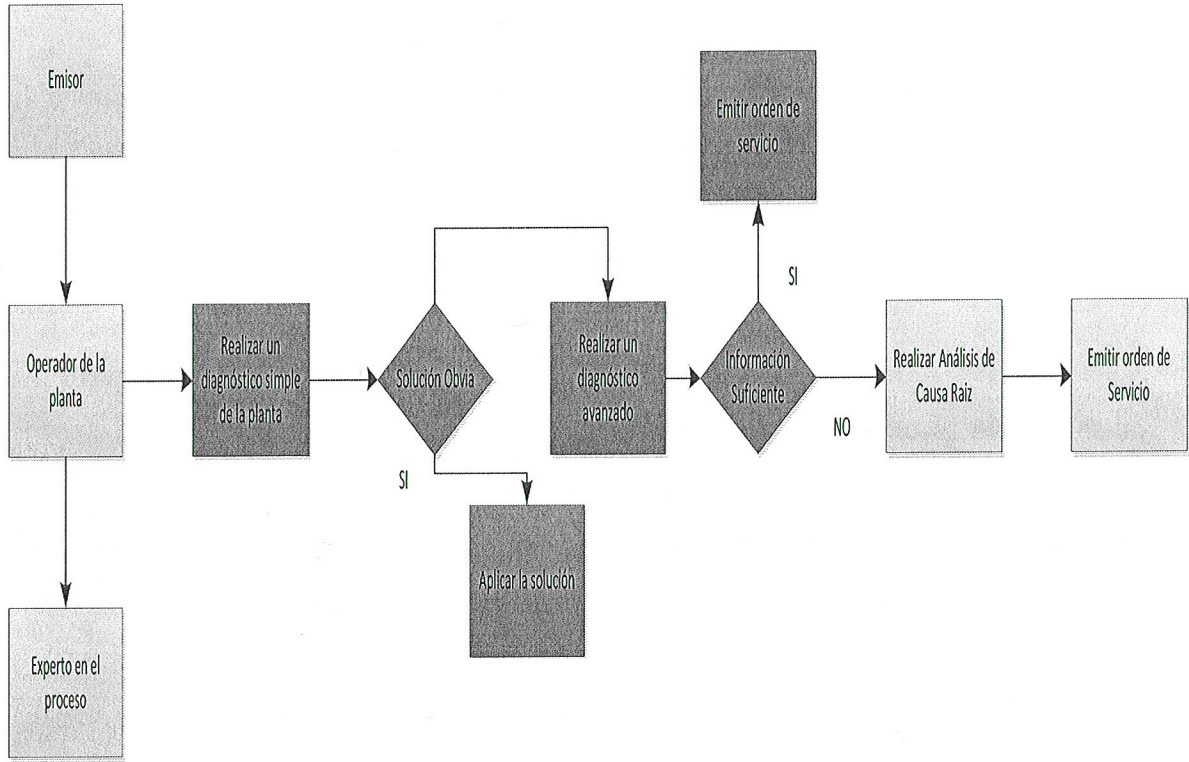
El formato a utilizar es el mostrado en la Ilustración No.2, a través del cual la administración podrá transmitir a los encargados de mantenimiento las tareas que deben de llevar a cabo según se detalla en el programa de mantenimiento preventivo

Seguido se muestra un diagrama de flujo en el cual se muestra la manera lógica de seguir al momento de emitir una orden de trabajo a mantenimiento, la cual nos puede servir de gran ayuda para transmitir al personal involucrado en el plan de mantenimiento preventivo la forma de proceder al emitir una orden de trabajo de mantenimiento.

Ilustración 2  
Orden de trabajo a mantenimiento

ORDEN DE TRABAJO A MANTENIMIENTO			
<b>INFORMACIÓN GENERAL</b>			
Máquina: _____	Línea de producción: _____	Fecha: _____	
Nombre del operador: _____		Nombre del Supervisor: _____	
<b>CAUSA DEL TRABAJO REQUERIDO</b>			
FALLA	<input type="text"/>	ELÉCTRICA: CAMBIO	<input type="text"/> DE <input type="text"/>
CUCHILLAS:	LIMPIEZA: _____		
FALLA	<input type="text"/>	MECÁNICA: MANTENIMIENTO	<input type="text"/> <input type="text"/>
PREVENTIVO:	OTROS: _____		
Descripción de trabajo o falla: _____			
Nombre del técnico que recibe: _____ Firma: _____ Horario de recibido: _____			
<b>REPORTE DE REALIZACIÓN</b>			
Fecha: _____		Hora: _____ Tiempo empleado en la reparación: _____	
Descripción de trabajo: _____			
<b>REPUESTOS UTILIZADOS, MATERIALES DE USO GENERAL Y HERRAMIENTA ESPECIAL</b>			
Técnico responsable: _____ Firma: _____			
Vo. Bo. Supervisor de Producción: _____			
Operador que recibe: _____		Fecha: _____ Hora: _____	
<b>SECCION DE SEGURIDAD INDUSTRIAL</b>			
Marque con un "cheque" ✓ quien ejecuta esta sección:			
	1. Técnico Interno asignado al mantenimiento		
	2. Técnico externo (proveedor) asignado al mantenimiento		
	3. Operador asignado a la limpieza del equipo		
Marque con un "cheque" ✓ las siguientes actividades antes de iniciar el mantenimiento:			
No.	Actividad	Sí	No
1	Identificar el área de trabajo antes de llevar a cabo trabajos de mantenimiento.		
2	Accionar el paro de emergencia general para evitar el arranque por otra persona.		
3	Usar el equipo de protección personal adecuado para llevar a cabo los trabajos de mantenimiento.		
4	Los trabajos de Corte y / o Soldadura afuera del taller de mantenimiento requiere del Permiso del supervisor		
Marque con un "cheque" ✓ las siguientes actividades después de concluido el mantenimiento:			
No.	Actividad	Sí	No
1	Probar los dispositivos de seguridad (pero de emergencia, cables, puertas, etc.)		
2	Instalar las guardas de protección removidas.		
3	Retirar del área toda herramienta y accesorios utilizados.		
4	Dejar limpia y ordenada el área de trabajo.		
5	Retirar los rótulos y / o cintas de identificación de trabajos de mantenimiento.		
Maquina o equipo ofrece condiciones de seguridad para ser operado?			
<b>Importante: Si los dispositivos de seguridad no funcionan, no entregue la maquina y repórtelo al supervisor.</b>			

Ilustración 3  
Diagrama de flujo:  
Emisión de órdenes de trabajo



## **V. 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 recicladora de plástico. Se definió un programa de mantenimiento el cual tiene la ventaja de que puede ser aplicado a las tres máquinas que se encuentran dentro de la planta.

### **A. Propósito del programa de mantenimiento.**

El objetivo principal de crear un programa de mantenimiento es establecer un sistema que permita mantener a los equipos en niveles de cero fallas. Esto se busca hacerlo a través de aumentar la vida útil de los componentes de los equipos mediante lubricaciones, inspecciones y cambio de componentes al menor costo posible.

Es importante que los operadores conozcan a profundidad el correcto funcionamiento de la maquinaria, la manera en la que ellos pueden ayudar a detectar fallas y eliminarlas para tener como resultado una menor cantidad de tiempo muerto.

La manera de poder verificar que nuestro programa de mantenimiento esta cumpliendo con su objetivo principal, es el poder tener la maquinaria funcionando cuando la planta y el proceso lo requiera y al menor costo posible.

### **B. Condición inicial del equipo.**

Lo primero que se debe llevar a cabo es evaluar el estado inicial de cada uno de los componentes y de los equipos para poder determinar la gravedad de la situación. Para poder tomar decisiones de cambio de los componentes de la maquinaria es necesario analizar el grado de importancia que tiene cada uno de ellos en los equipos,

ya que resultaría demasiado costoso el poder cambiar todos los componentes que se encuentren dañados.

En esta primera etapa de evaluación se creó una base de datos en la cual se encuentra toda la información encontrada al momento de llevar a cabo la inspección de todo el equipo, la base de datos contiene cada uno de los componentes que forman parte del equipo con la finalidad de no dejar información suelta que pueda repercutir más adelante en un paro no programado. La finalidad de este análisis es conocer el estado de cada uno de los componentes.

Luego de haber identificado todos los componentes de la maquinaria se realizó una investigación para poder determinar el tiempo de vida de cada uno de los componentes, consultando la hoja técnica de cada proveedor así como el historial de cambios que se haya realizado en los equipos. Mediante esta investigación se determinó la marca de los componentes a utilizar para cada una de las partes de los molinos que se agregó al plan de mantenimiento propuesto.

Al momento de presentar el programa de mantenimiento se dividirá cada uno de los sistemas de las máquinas, es decir el sistema mecánico, sistema hidráulico, eléctrico, etc. En cada uno de estos sistemas se identificó la marca que según la hoja técnica del equipo recomienda o bien la marca que según la investigación realizada es la mejor opción respecto a costos, confiabilidad y tiempo de entrega.

En un principio es importante el poder identificar el tipo de fallas que ocurren en los equipos, se debe identificar cuál es la causa principal de los paros no programados dentro de la planta de producción, si estos se deben a componentes del equipo, debido a métodos o bien la falta de algún suministro.

La información que se recopila debe poder reflejar el número de paros no programados por fallas de componentes y ser el resultado directo de la reducción de costos para el área de mantenimiento. Esto servirá para poder crear un sistema que lo que busca sea la reducción de pérdidas.

Con el historial de paros y con la información obtenida en las hojas técnicas de cada uno de los componentes analizados se trabajará un plan anual de mantenimiento en el cual se detallará la frecuencia con la cual deben ser realizados cada uno de los mantenimientos.

El programa de mantenimiento debe indicar qué tipo de actividad es la que se hará a cada equipo: inspección, lubricación o cambio de los componentes así como el periodo de tiempo en el cual se debe llevar a cabo. Cuando el plan ya se encuentre en funcionamiento es necesario poder llevar un registro que permita revisar el cumplimiento de cada una de las actividades de mantenimiento, esto se hará mediante la elaboración de órdenes de trabajo de mantenimiento la cuales deberán de ser archivadas en la oficina de mantenimiento.

Para poder llevar a cabo los mantenimientos de la manera correcta es necesario que cada uno de los miembros del equipo de mantenimiento cuenten con las herramientas adecuadas para poder llevar a cabo cada una de las actividades que indica el plan. Por lo que es necesario el poder asignar a cada uno de los miembros del equipo de mantenimiento un inventario de herramientas con las cuales podrá llevar a cabo las actividades asignadas sin ningún tipo de inconveniente, para ello será necesario llevar un control mensual del inventario que se les fue asignado para poder determinar la cantidad de herramienta extraviada y determinar el estado de cada una de ellas.

Se debe poder determinar la importancia de cada uno de los repuestos de los equipos con el fin de poder determinar cuáles son los repuestos que debemos de mantener en la bodega y cuáles son aquellos que podemos conseguirlos mediante un proveedor de confianza sin que se vea afectada la operación de la planta.

Debemos de tomar en cuenta los costos del programa de mantenimiento, principalmente los costos de mano de obra y los repuestos. Ya que esto nos ayudará a poder cuantificar los ahorros por evitar paros no programados versus el tiempo de obra realizando mantenimiento.

En el registro de órdenes de trabajo de mantenimiento es necesario que incluya información sobre el tiempo que emplean los técnicos de mantenimiento en hacer las tareas asignadas, estado de los componentes, la falla que causó ese componente específico así como la herramienta que se utiliza. Toda esta información será útil para poder cuantificar los ahorros y mostrar mejoras en la planta debido a la implementación del programa de mantenimiento. Al momento que den inicio las diferentes actividades de mantenimiento es necesario llevar registro de la cantidad de fallas que ahora ocurren y del tiempo muerto que las mismas actividades de mantenimiento provocan.

Es importante al momento de implementar un plan de mantenimiento transmitir a todas las personas involucradas los avances que se están obteniendo, por lo que es necesario el poder mostrar esta información en alguna pizarra o cartelera donde todos lo puedan observar. Se debe buscar un taller con personal capacitado donde se puedan efectuar los trabajos que no se pueden llevar a cabo dentro de la planta.

Las personas que ya forman parte del equipo de mantenimiento han llegado a conocer muy bien los aspectos técnicos de la máquina, estos conocimientos

podemos aprovechar para poder crear una especie de manual para futuros técnicos que puedan ingresar a la empresa.

### **C. Entrenamiento del personal y monitoreo de equipos.**

Luego de haber identificado todos los componentes de la maquinaria es necesario que todo el personal, tanto los operarios como los técnicos de mantenimiento se encuentren debidamente capacitados para operar los equipos así como para poder llevar a cabo las actividades de mantenimiento. Esta capacitación debe incluir cada uno de los sistemas de la máquina es decir mecánico, hidráulico, eléctrico. La idea de tener personal capacitado es poder reducir los tiempos que los operadores y técnicos realizan las diferentes actividades de mantenimiento.

Las fallas causadas por error humano deben reducirse debido a que el personal tendrá un mejor conocimiento de la manera correcta de efectuar los diferentes procedimientos, además se obtendrán beneficios tales como la creación de ojos críticos en todo el personal que permitan a los diferentes empleados presentar propuestas o bien mejoras sencillas al diseño de la máquina.

Es importante crear un plan de inspecciones diarias a las maquinarias con lo que se busca detectar defectos que puedan ocasionar fallas. El programa de inspecciones debe hacerse diariamente para que el operador pueda determinar el estado de su máquina, es decir que se encuentra limpia y sin ningún defecto perceptible. Se debe llevar un control de la cantidad de defectos encontrados y sobre la cantidad de defectos corregidos.

Al llevar a cabo los monitoreos del estado de los equipos también es necesario tomar en cuenta las lubricaciones dentro del programa de mantenimiento, por lo que se deben de identificar las partes del equipo que necesitan lubricación, así como la

frecuencia, el tipo de lubricante a utilizar, las herramientas necesarias para llevar a cabo la lubricación y saber cómo debe hacerse.

Para llevar a cabo las actividades de lubricación de manera correcta se deben verificar las hojas técnicas de los diferentes equipos así como solicitar ayuda a los proveedores de lubricantes para que puedan proporcionar el lubricante que mejor se adapte a nuestras necesidades en cuestión de costo – beneficio. Cada una de las máquinas se debe identificar con el tipo de lubricante que utilizan. La idea es combinar las actividades de lubricación con las de mantenimiento para poder complementar las actividades y tener un programa de mantenimiento que abarque todos los aspectos para poder aumentar la disponibilidad de los equipos.

La razón por la cual se busca analizar las fallas es poder llegar a conocer la reducción de las mismas, para poder llegar a tener un control sobre el impacto que está teniendo el plan de mantenimiento. Como resultado de la disminución de fallas se pueden llegar a disminuir los niveles de inventarios de repuestos lo que se traduce en un beneficio en costos.

#### **D. Fallas en el sistema.**

El motivo principal por el cual se busca implementar un plan de mantenimiento preventivo es la reducción de costos mediante la reducción de fallas en la maquinaria, debido a que estas fallas afectan el costo a través de los paros no programados, lo que se deja de producir y el tiempo muerto de los operarios. Se definirá como falla como cualquier evento que represente una interrupción en el funcionamiento normal de una máquina o un proceso, estas pueden ser por diferentes causas ya sea por la falla directa de la pieza o bien falla operacional.

### **E. Falla directa de la pieza.**

En esta categoría entran todas aquellas fallas que están relacionadas con la falla de una o mas piezas de la máquina, ocasionando que no puedan trabajar de manera correcta provocando un paro no programado en la máquina. La manera de poder eliminar este tipo de fallas es mediante la implementación de un adecuado sistema de mantenimiento preventivo eliminando las posibles fallas de estos componentes.

Dentro de este tipo de fallas tenemos aquellas en las cuales podemos detectar la futura falla del componente debido a que esta comienza a presentar síntomas, ruidos o calentamientos por lo que el tiempo de para puede ser menor si se cuenta con la existencia de repuestos en la bodega.

Por el otro lado se encuentra donde el componente simplemente llega a fracturarse, pudiendo causar daños en alguna otra pieza, producto terminado contaminado o bien algún accidente con el personal.

### **F. Fallas operacionales.**

Las fallas operacionales son aquellas que son causadas debido a un descuido del operador, algún error humano o por falta de conocimiento respecto a la forma correcta de operar la maquinaria; causando que el equipo en uso sufra algún tipo de daño ocasionando el paro no programado. Para poder eliminar este tipo de fallas es necesario capacitar a los operarios de los equipos con los procedimientos correctos sobre como utilizar el equipo, así como evaluarlos periódicamente para asegurarse que están cumpliendo con el procedimiento establecido.

Ahora bien si en dado caso la persona conoce el procedimiento pero por negligencia lo realiza de manera incorrecta o lo deja de llevar a cabo la manera de

proceder será mediante una sanción al trabajador debido a las pérdidas que ocasionó a la empresa.

### **G. Recurrencia de fallas.**

Para poder eliminar las fallas es necesario llevar un control sobre la frecuencia de cada una de ellas, para poder determinar cuáles son las fallas que más se repiten en la máquina, se debe tomar en cuenta el tiempo de reparación de cada falla.

Se hará un análisis de Pareto para poder determinar cuáles son aquellas que tienen mayor impacto en toda la operación para poderlas evaluar desde un principio. También es importante reducir aquellas fallas que representen la mayor cantidad de tiempos muertos es decir aquellas en las que la reparación lleve más tiempo.

### **H. Análisis de las fallas.**

Para eliminar los paros no programados es necesario llevar a cabo un análisis de los mismos para determinar la causa básica de la falla y poder generar planes de acción para evitar la recurrencia de la misma.

Por lo que luego de que ocurre la falla y se logre restablecer la operación normal de la maquinaria, es necesario que el operador guarde un registro la hora en la que ocurrió la falla, posibles síntomas que presento el equipo y cualquier otra información que pueda ayudar a enriquecer el plan de mantenimiento preventivo.

Es importante que este análisis se realice al pie de la máquina donde ocurrió la falla, para que tanto el operador, el técnico y el supervisor puedan participar en el análisis de la falla y de esta manera poder tener un análisis más efectivo.

Al momento de llevar a cabo el análisis de la falla lo que debemos intentar eliminar es la raíz de la misma, siempre a través de soluciones viables en términos de implementación y costo, las mejores soluciones son aquellas en las que el programa de mantenimiento pueda intervenir y erradicar la causa básica.

### **I. Costos de mantenimiento.**

El propósito de implementar un plan de mantenimiento preventivo es la reducción de costos a la planta, por lo que debe justificarse en términos de costos los beneficios que traerá este programa para la planta, ya que no tendría sentido alguno si no es lo suficientemente rentable para la planta el invertir tiempo y repuestos en el equipo.

En el caso de la planta recicladora de plásticos la mayor reducción de pérdidas y entrega de ahorros se encuentra en eliminar los paros no programados ya que resulta ser mucho dinero si se cuantifica el costo de oportunidad de venta del producto terminado.

Los costos se convertirán en el aspecto principal al momento de querer implementar cualquier tipo de programa en la planta ya sea cambio de componentes, maquinaria o bien cambio de proveedores debe buscar siempre entrega de ahorros o mejora en la calidad del producto, lo cual al final se traduce en beneficios de rentabilidad para la planta.

En los costos de mantenimiento se tomará en cuenta toda la información recopilada, es decir paros no programados, costo de repuestos e inventarios de almacén y costo de gente del equipo de mantenimiento.

La parte de los paros no programados se calculará mediante el tiempo total de reparación para poder calcular el costo de oportunidad así como las horas hombre que se han perdido. El monitorear la cantidad de actividades no programadas nos ayuda a poder llevar un registro de la eficiencia que esta teniendo nuestro programa de mantenimiento.

El tema de personal es muy importante ya que, por lo general, representa un rubro importante, alto y fijo de la estructura de costos, para poder reducir estos costos es necesario llevar un control de las horas extras del personal y evitar tener gente en el equipo que no sean necesarias.

En el programa de mantenimiento que se busca implementar en la planta recicladora de plásticos, se busca no aumentar el personal actual de mantenimiento y evitar el pago de horas extras los días domingos para llevar a cabo actividades que quedaron pendientes. Esto con la finalidad de no encarecer la mano de obra, debido a que con el programa de mantenimiento junto a las inspecciones permite tener un control constante de las máquinas para mantenerlas en condiciones básicas.

A pesar que no se busca disminuir el número de personas que conforman el equipo de mantenimiento, el entrenamiento y la capacidad generada en los operadores de cada una de las máquinas permitirá que sean capaces de operar la máquina y administrar el programa de mantenimiento en su área de trabajo y viceversa los técnicos de mantenimiento pueden llegar a conocer la manera correcta de operar la máquina, lo que puede beneficiar el correcto funcionamiento de la máquina.

## **J. Modelo de plan de mantenimiento.**

Se busca implementar el plan de mantenimiento preventivo en los tres molinos que se encuentran en operación, debido a la semejanza en la forma de operación de los

tres molinos las actividades programadas de mantenimiento aplican a todos por igual cambiando únicamente el tipo de repuestos que utiliza cada uno de ellos.

Se realizó una programación en la cual se incluyen todas las actividades de mantenimiento a llevar a cabo así como las actividades de lubricación, en el programa se detalla la frecuencia con la cual se debe hacer así como el tipo de repuesto o lubricante a utilizar.

Debido a que la planta trabaja 24 horas en dos turnos de 12 horas cada uno, teniendo 6 operarios en el turno de día lo que permite tener arrancados los tres molinos y teniendo 4 operarios en el turno de noche lo cual permite trabajar únicamente dos equipos. Por parte del personal de mantenimiento existen dos turnos de 12 horas cada uno, en los cuales muchas veces existe tiempo ocioso debido a la falta de actividades programadas a llevar a cabo y luego el turno siguiente normalmente el turno de día se debe parar los equipos para cambios de cuchillas, lo cual representa tener parado los equipos en promedio 5.87 horas.

Por lo que los mantenimientos en el cual se tenga que parar el equipo para poderlo llevar a cabo se hará en el turno de la noche cuando el equipo se encuentra parado y de esta manera no afectar la producción.

Al iniciar la programación del mantenimiento preventivo se hizo un estudio para poder cuantificar las pérdidas ocasionadas durante el último año, para poder estimar cuánto podemos llegar a ahorrar luego de la implementación del programa de mantenimiento. Se realizó una estimación de los costos de los repuestos necesarios así como de las herramientas que se tuvieron que comprar para cada uno de los técnicos.

## VI. ANÁLISIS SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

### A. Descripción de maquinaria.

Para poder llevar a cabo el proceso de reciclado de plásticos PET y HDPE la empresa cuenta con tres molinos granuladores, los cuales son los encargados de cortar en hojuelas de 11mm las diferentes botellas plásticas. Debido a políticas de privacidad de la empresa no fue permitido presentar fotos de los equipos trabajando, por lo que se muestran fotos del catálogo de los molinos

Tabla 2  
Descripción del molino 1, marca PAGANI

Modelo	4060 CH
Motor	50 hp
Corriente	Trifásica
Revoluciones	1760 RPM
Diámetro del rotor	400 mm
Largo de cuchillas	600 mm
Broca de alimentación	16*24
Tipo de rotor	Abierto
Tipo de corte	Corte en V
No. de cuchillas rotor	5
No. de cuchillas de caja	2
Producción	250-550
Peso	2600

Ilustración 4  
Molino Pagani

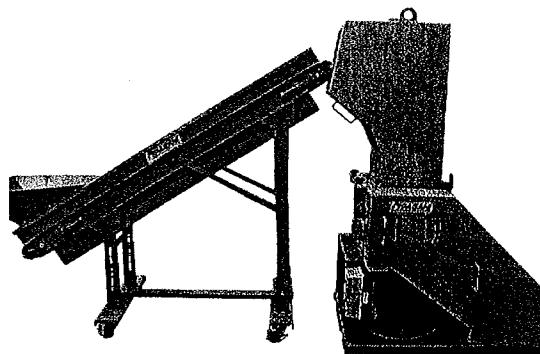


Tabla 3  
Descripción Molino 2

Modelo	4090 CH
Motor	60 hp
Corriente	Trifásica
Revoluciones	1760 RPM
Diámetro del rotor	400 mm
Largo de cuchillas	900 mm
Boca de alimentación	16*24
Tipo de rotor	Abierto
Tipo de corte	Corte en V
No. de cuchillas rotor	7
No. de cuchillas caja	2
Producción	350-700
Peso	2900

Tabla 4  
Descripción Molino 3

Modelo	4060 FA
Motor	60 hp
Corriente	Trifásica
Revoluciones	1760 RPM
Diametro rotor	400 mm
Largo cuchillas	900 mm
Boca de alimentacion	16*24
Tipo de rotor	Abierto
Tipo de corte	Corte en V
No. cuchillas rotor	5
No. cuchillas caja	2
Producción	350-700
Peso	2900

Ilustración 5  
Molino Pagani 2  
Vista interior de los molinos

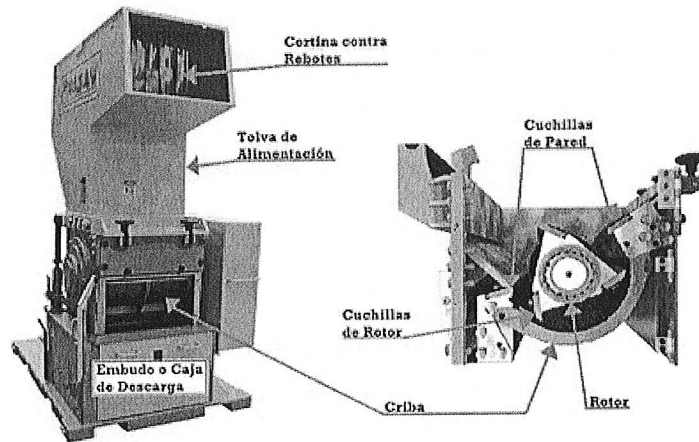
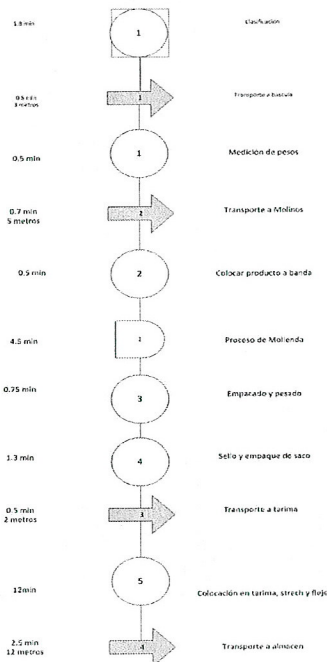


Diagrama de operaciones  
Planta recicladora de plásticos

Empresa recicladora de plástico	Planta: Producción	Página: 1/1
Hecho por: Rodrigo Sarti	Fecha: 20 de febrero de 2012	Proceso: Molienda



Actividad	Cantidad	Tiempo total
Inspección	1	1.8 min
Demora	1	4.5 min
Transporte	4	4.2 min
Operación	5	15.05 min
<b>TOTAL</b>	<b>11</b>	<b>25.55 min</b>

### Diagrama de recorrido

Como se puede observar en el diagrama mostrado en la ilustración No. 6 el proceso comienza con la clasificación del material el cual luego es trasladado para ser pesado, al momento de ser pesado éste se traslada al área de molienda donde es procesado y colocado en bolsas de 15 kgs. cada una sobre una tarima la cual al completarse los 900 kgs. se transporta hacia la bodega de producto terminado.

Ilustración 6

### Diagrama de recorrido planta recicladora de plásticos

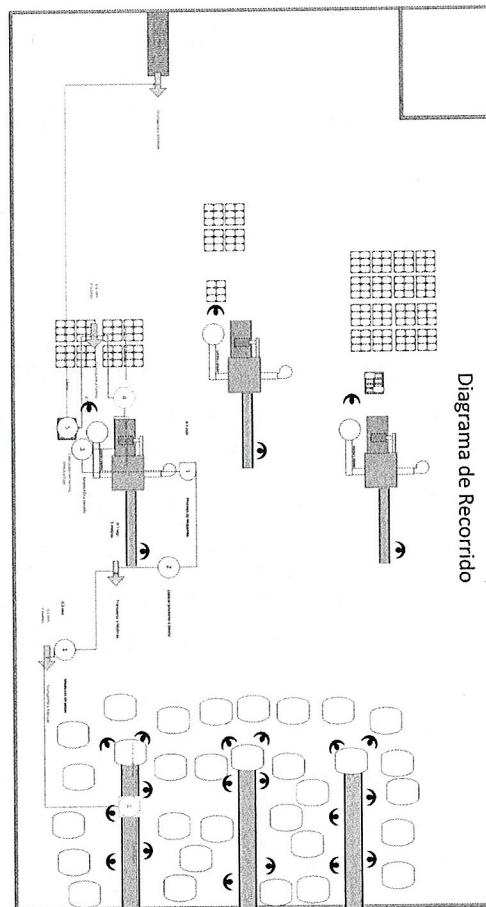
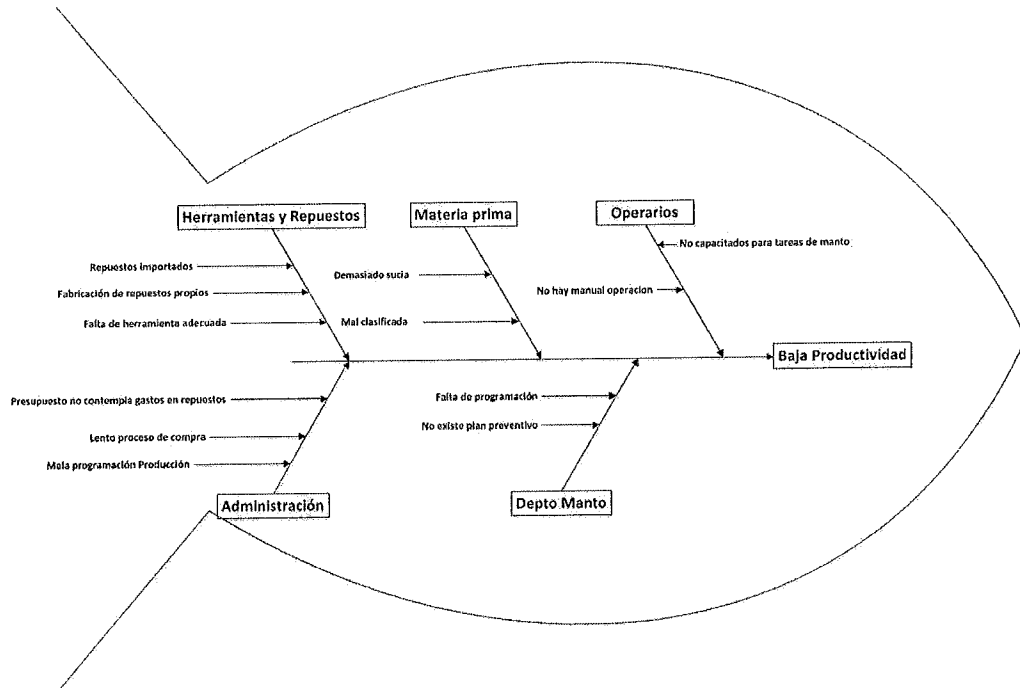


Ilustración 7  
Diagrama sobre causa y efecto



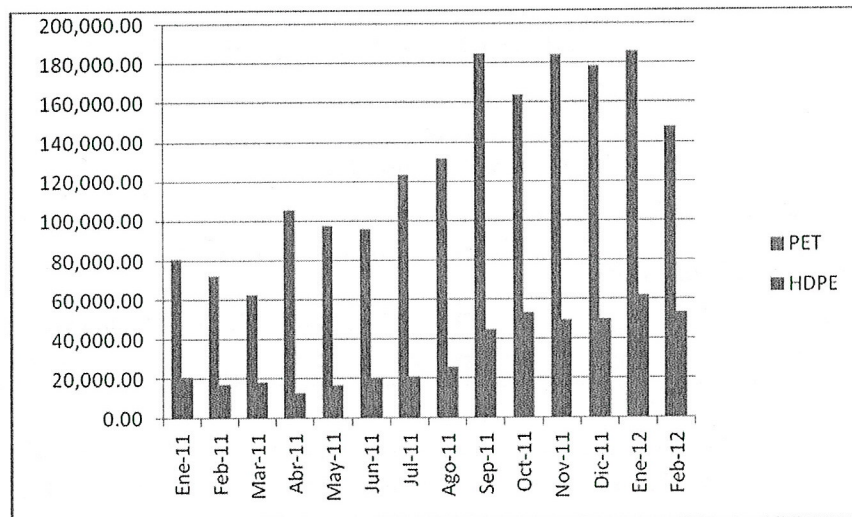
Como podemos observar son varios los factores que tienen como resultado una baja productividad. Al analizar las causas se puede observar que la falta de programación por parte de la administración en el área de mantenimiento es la razón de que existan demasiados paros no programados que afectan directamente la productividad de la empresa. Cabe resaltar que la falta de herramientas adecuadas para generar los mantenimientos que se efectúan a cada una de las máquinas, tiene como resultado un aumento en el tiempo empleado.

Debido a un aumento en la producción a partir de mes de julio del 2011 como se puede observar en la Tabla No.5, se debe mantener un mejor control sobre el estado de cada uno de los componentes de las máquinas en especial llevar un mejor control sobre el afilado de las cuchillas para evitar que los tiempos muertos sean demasiado prolongados y de esta manera poder aumentar la producción mensual. Al observar la Tabla podemos ver que a partir del mes de julio 2011 respecto a enero del año en mención ha existido un aumento del 53 % en la producción mensual y se ha mantenido en ascenso.

Tabla 5  
Control de producción

	PET	HDPE
	kg	kg
ene-11	80,490.00	20,865.00
feb-11	72,390.00	17,265.00
mar-11	62,245.00	18,280.00
abr-11	105,435.00	12,960.00
may-11	97,215.00	16,425.00
jun-11	96,030.00	20,565.00
jul-11	123,555.00	21,105.00
ago-11	131,655.00	25,605.00
sep-11	184,905.00	44,730.00
oct-11	163,935.00	53,115.00
nov-11	184,180.00	49,455.00
dic-11	178,100.00	50,065.00
ene-12	185,565.00	61,800.00
feb-12	147,465.00	53,115.00

Ilustración 8  
Control producción



En la gráfica se puede observar el aumento en la producción a partir del mes de julio, por lo que se debe prestar mayor detalle al afilado de cuchillas que es una actividad crítica en la productividad de la planta.

## B. Análisis de fallas.

Al momento de comenzar a llevar a cabo el trabajo de graduación no se contaba con mayor información respecto al tipo de fallas y a la frecuencia de las mismas, por lo que se procedió a llevar a cabo un estudio con la información que se tenía de 12 meses atrás para poder investigar cuales eran las fallas mas recurrentes, el tiempo que tomaba la reparación de cada una de ellas así como los costos en mano de obra que estas fallas representaban.

Para determinar el costo de mano de obra al momento de existir algún tipo de mantenimiento se tomó el sueldo base de cada uno de los técnicos y operarios, a ello se le calculó el costo de la hora extra ( 1.5 veces el costo de la hora normal). Se tomó el promedio de las horas normales y las horas extras y se le sumo un 31% referente al cálculo de prestaciones, para luego sacar un promedio ponderado del costo de cada hora.

Lo que representa para la empresa un costo de:

Tabla 6  
Costo hora de trabajo

	Sueldo	Q/Hora	Hora extra	Hora + Prestaciones	Costo promedio
Técnico de mantenimiento	Q2,800.00	Q15.91	Q23.86	Q20.84	Q24.07
Operario	Q2,100.00	Q11.93	Q17.90	Q15.63	Q19.54

Para futuros cálculos relacionados con los tiempos de paros efectuados se da a conocer los precios de mercado del producto terminado reciclado.

Tabla 7  
Precio de venta plásticos en el mercado

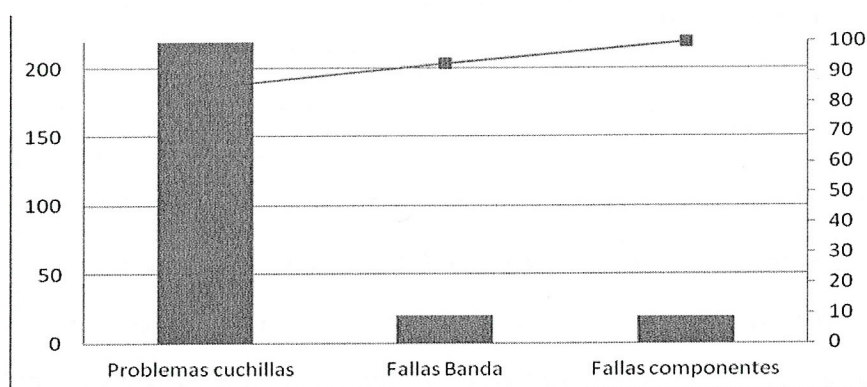
Material	Mínimo (\$/kg)	Máximo (\$/kg)
PET	0.75	0.81
HDPE	0.50	0.60

Tabla 8  
Análisis de fallas

Tipo de falla	Frecuencia	Tiempo promedio (en horas)	Tiempo total (en Horas)	Costo total mano de obra
Cambio de cuchillas	149	5.87	874.63	Q38,142.61
Fisura cuchillas	14	4.4	61.6	Q2,686.38
Fractura tornillos cuchillas	18	3.2	57.6	Q2,511.94
Metal en las cuchillas	27	2.32	62.64	Q2,731.73
Tiempo espera cuchillas sin afilar	52	6.2	322.4	Q14,059.86
Cuchillas mal ajustadas.	6	3.4	20.4	Q889.64
Fisura cámara de molienda	1	18	18	Q784.98
Blower disparado	4	6.4	25.6	Q1,116.42
Motor molino sobrecalentado	1	12	12	Q523.32
Imán se desprendió de la tolva	1	6.2	6.2	Q270.38
Exceso de tensión en las fajas del molino	2	3.5	7	Q305.27
Ruptura visor blower	2	3.47	6.94	Q302.65
Falla cojinete blower	4	7.4	29.6	Q1,290.86
Tubería dañada	3	2.23	6.69	Q291.75
Abrazaderas en mal estado	1	1	1	Q43.61
Problemas chumaceras banda	6	3.5	21	Q915.81
Falta de perfiles banda	2	7	14	Q610.54
Ruptura de banda	1	8	8	Q348.88
Exceso de lubricante en chumaceras	1	1	1	Q43.61
Cangilón de banda se fue en molino y contamina material	4	1.7	6.8	Q296.55
Ruptura de faja	3	6.34	19.02	Q829.46
Motor de banda se sobrecalienta	2	8	16	Q697.76
Ruptura de Banda	1	7	7	Q305.27
				<b>Q69,999.28</b>

Para poder analizar la magnitud de cada una de estas fallas se llevó a cabo un análisis de Pareto para poder observar de manera gráfica el impacto que cada una de éstas tiene sobre la disponibilidad de los equipos

Ilustración 9  
Análisis de Pareto, Fallas



Donde se puede observar que claramente las cuchillas representan el mayor porcentaje de tiempos de paro, debido al tiempo que se necesita para llevar a cabo los cambios en las cuchillas aparte de que en repetidas ocasiones se ve en la necesidad de esperar a que el proveedor pueda entregar las cuchillas a tiempo debido a la falta de programación y falta de inventario para mantener un juego de cuchillas afilado y de esta manera eliminar el tiempo de espera que representa un gasto significativo en cuestión del tiempo ocioso de los operadores así como del costo de oportunidad de lo que dejamos de producir.

Seguido podemos observar que el mal estado de las bandas de alimentación de los molinos hace que la producción se vea afectada, cuando es un problema que podemos eliminar de raíz con el plan de mantenimiento propuesto.

La cantidad de dinero que se pierde solo en pago de salarios debido a los paros no programados es bastante significativo para cualquier empresa Q 69,999.28 por lo que se busca disminuir al mínimo este gasto mediante el adecuado plan de mantenimiento preventivo.

Si tomamos en cuenta únicamente el 60% de las horas de cambio de cuchillas, asumiendo que esos fueron los cambios realizados durante el turno de día afectando

directamente la producción y basándonos en un promedio de producción por hora de 207.49 kg, tendríamos lo siguiente.

Tabla 9  
Análisis costo de oportunidad

	Horas	Costo de oportunidad	Producción Pérdida (en Kgs)	Costo de producción	Precio de venta	Pérdida
Cambio cuchillas	524.78	207.49	108,886.60	Q3.78	Q5.19	Q153,530.11
Fallas componentes	646.79	207.49	134,202.46	Q3.78	Q5.19	Q189,225.46
			243,089.06			Q342,755.57

Para llevar a cabo el análisis se tomó el costo promedio de HDPE y PET, así como el costo promedio del precio de venta de los dos productos. Lo cual una vez más representa un gran costo de oportunidad perdido debido al mal manejo del programa de mantenimiento, forzando a la planta a paros no programados.

Para poder disminuir el tiempo empleado en el cambio de cuchillas se estudió la técnica empleada para llevar a cabo dicho cambio así como el procedimiento utilizado; se pudo observar que al momento de hacer los cambios de cuchillas los técnicos no siguen un orden específico en las actividades que realizan. Por lo que luego de llevar a cabo el método de observación se pudo determinar cuál es el mejor método para poder llevar a cabo el cambio de cuchillas.

**1. Cambio de cuchillas.** Como se pudo observar anteriormente el cambio de las cuchillas es una actividad que resta bastante tiempo productivo a la planta debido a que toma demasiado tiempo el retirar las cuchillas, colocar las cuchillas afiladas y ajustarlas. Por lo que se hizo un análisis con base en tres meses de estudio para conocer en promedio cada cuantos kilos se realiza un cambio de cuchillas y de esta manera poderlo programar para que no afecte la producción diaria. Al analizar los datos recopilados tenemos que en promedio un juego de cuchillas de cada molino tarda:

Tabla 10  
Cambio cuchillas tiempo promedio

Molino	Cantidad procesada (en kilos)	Promedio cambio días
1	16,205	5.4
2	20,703	6.9
3	28,395	14.2

Ahora al tener esta información podemos programar cada cuánto debemos de llevar a cabo el cambio de las cuchillas y no esperar hasta que las cuchillas ya no tengan filo para proceder a manda a afilar el juego de las cuchillas y de esta manera evitar aumentar los tiempos muertos.

**2. Técnica utilizada para el cambio de cuchillas.** Actualmente el cambio de las cuchillas en los molinos es una actividad que demanda demasiado tiempo, debido a la posición en la que se encuentra colocadas y al torque que llevan las cuchillas para evitar que estas se lleguen a desprender. Sumado a esto la falta de herramientas correctas así como el desgaste que tienen los tornillos que las sujetan debido a que no le realizan el cambio de los mismos, arriesgándose a que estos se pueden fracturar y dañar todo el juego de cuchillas.

Al momento de llevar a cabo el cambio de cuchillas el encargado de mantenimiento hace uso de una llave cola corona de 1" 5/16" y con esta afloja los tornillos haciendo uso de un tubo utilizado como palanca para poder ejercer más fuerza y de esta manera poder retirar los tornillos. El problema con esta técnica es que la llave cola corona tiende a desprenderse constantemente de la tuerca del tornillo lo cual lleva a una pérdida de tiempo.

Es importante mencionar que debido a la ausencia de un torquímetro los tornillos tienden a ser apretados más de lo necesario por lo que al momento de llevar a cabo el cambio se dificulta la operación debido a que se encuentran muy apretados.

Ilustración 10  
Método actual cambio cuchillas

Actividad	Tiempo Promedio (min)	Observaciones
Apagar el equipo	9	esperar a que la cámara de molienda deje de girar
Bajar flipones de encendido	0.4	desenergizar
Regresar a taller por rótulos de seguridad industrial y caja de herramientas	4.4	
colocar rotulo de mantenimiento	1	
Levantar cámara de molienda	2	Gato hidráulico sin fugas de aceite
Quitar tornillos frontales de cámara de molienda	13	Utilización de torquímetro
Quitar tornillos traseros de cámara molienda	11	Utilización de torquímetro
Quitar tornillos y cuchillas giratorias, colocar tornillos y cuchillas giratorias afiladas	59	Utilización de torquímetro, dejar ajustado
Quitar tornillos y cuchillas estacionarias, colocar tornillos y cuchillas giratorias estacionarias	41	Utilización de torquímetro, dejar ajustado
Quitar criba	16	
Ajustar cuchillas	58	Se debe dejar un ajuste de 1mm entre cuchillas
Colocar tornillos parte delantera y trasera del	23	
Colocar Criba	15	
Bajar cámara de molienda	1.4	
Quitar rotulo de mantenimiento	1	
Subir flipones	2.3	
Encender equipo	0.5	
<b>TIEMPO TOTAL</b>	<b>258</b>	
	<b>325</b>	

Donde se puede observar la dificultad de llevar a cabo el cambio de cuchillas se encuentra principalmente en poder retirar los tornillos de las cuchillas y luego en la colocación de las cuchillas debido a que al momento de retirar las cuchillas el mismo peso del eje hace que éste tienda a girar por lo que se hace más difícil la colocación de las cuchillas.

### C. Situación actual sobre el costo por cambio de cuchillas.

Se aprovechó el estudio que se realizó para poder tomar tiempos de cuanto se tardan en el cambio de cada juego de cuchillas, y con esto poder contabilizar los costos de tener el equipo en mantenimiento.

Tabla 11  
Tiempo promedio cambio cuchillas

Molino	Tiempo promedio cambio de cuchillas
1	7.3 Horas
2	5.4 horas
3	4.9 Horas

Como podemos observar es demasiado el tiempo que se toma el cambio de cuchillas por lo que se buscará la manera de poder disminuir estos tiempos.

Tomando el promedio de tiempo de cambio de cuchillas como 5.87 horas

Tabla 12  
Costo mano de obra cambio cuchillas

Tipo empelado	Tiempo utilizado en horas	Costo/Hora	Costo cambio cuchillas
Técnico manto	5.87	Q24.07	Q141.29
Operador	5.87	Q19.54	Q114.70
		<b>TOTAL</b>	<b>Q255.99</b>

Lo que se deja de producir

Tabla 13  
Costo de oportunidad cambio cuchillas

Producción Kg/Hora	Tiempo de paro en horas	Total sin producir en kg
207	5.87	1215.09

Si tomamos el promedio del precio del PET \$0.78 y del HDPE \$ 0.55 entonces en el caso del PET Dejaríamos de vender \$ 947.77 y en el caso del HDPE \$668.30. Y si a estas ventas le restamos los costos de material prima y costo de producción sin tomar en cuenta la mano de obra.

Tabla 14  
Ganancia por Kg procesado

	Costo/KG	Costo de producción	Costo de KG/Procesado	Precio de venta	Ganancia
PET	Q4.30	Q0.55	Q4.85	Q6.08	Q1.23
HDPE	Q2.16	Q0.55	Q2.71	Q4.29	Q1.58

Estaríamos dejando de percibir

Tabla 15  
Pérdidas cambio de cuchillas

	Ganancia	Cantidad en Kg	Pérdida
PET	Q1.23	1215.09	Q1,499.42
HDPE	Q1.58	1215.09	Q1,919.84

Entonces el costo de cada cambio de cuchillas es de:

Tabla 16  
Costo total cambio de cuchillas

	Pérdida	Costo cambio cuchillas	Costo total
PET	Q1,499.42	Q141.29	Q1,640.71
HDPE	Q1,919.84	Q114.70	Q2,034.54

**Control de desperdicios, Planta molienda.** Actualmente no se cuenta con un control de desperdicios en la planta de molienda, el desperdicio principalmente se ve provocado por los siguientes factores:

**Control de desperdicios, Planta molienda.** Actualmente no se cuenta con un control de desperdicios en la planta de molienda, el desperdicio principalmente se ve provocado por los siguientes factores:

- La salida del silo del material
- El proceso de empaque
- Cuchillas con falta de filo

Al momento de comenzar a analizar la situación no se contaba con información que pudiera servir de base para contabilizar los costos del desperdicio generado, por lo que se procedió a llevar a cabo un estudio durante 1 año y 2 meses para poder demostrar cuánto era lo que se estaba perdiendo.

Luego de tabular los datos obtenidos a lo largo de los dos meses de estudio los datos por línea de producto fueron los siguientes:

Tabla 17  
Análisis desperdicios molienda

	PET	HDPE
ene-11	1.085%	1.260%
feb-11	1.038%	1.540%
mar-11	1.056%	1.360%
abr-11	1.095%	1.423%
may-11	1.075%	1.665%
jun-11	1.046%	1.543%
jul-11	1.034%	1.456%
ago-11	1.156%	1.534%
sep-11	1.200%	1.345%
oct-11	1.360%	1.567%
nov-11	1.095%	1.634%
dic-11	1.076%	1.343%
ene-12	1.035%	1.262%
feb-12	1.045%	1.534%
<b>Promedio</b>	1.100%	1.462%

Para poder analizar el impacto que estos porcentajes tienen dentro de la planta de producción es necesario tomar en cuenta el costo por kg de materia prima, costo de

Tabla 18  
Costos MP y precio de venta productos reciclados

Material	PRECIO				Tipo de cambio	Costo de producción
	DE VENTA		DE COMPRA			
	Mínimo (\$/kg)	Máximo (\$/kg)	Kg PET Y HDPE Min	Kg PET Y HDPE Max		
PET	\$0.75	\$0.81	Q4.25	Q4.35	Q7.80	Q0.55
HDPE	\$0.50	\$0.60	Q2.08	Q2.24	Q7.80	Q0.55

Se tomó el promedio del precio de venta y precio de compra de MP, para poder estimar las pérdidas es decir Q 4.30 para el PET y Q 2.16 para el HDPE. Y un precio de venta de \$0.78 y \$0.55 para el PET y HDPE respectivamente.

Tabla 19  
Pérdidas y desperdicio en planta de molienda

Material	Desperdicio	Precio de compra	PÉRDIDA			Ganancia perdida	Pérdida Total
			Materia prima	Fabricación	Total		
ene-11	Kg	Q	Q	Q	Q	Q	Q
PET	873.32	4.3	Q3,755.26	Q480.32	Q4,235.59	Q1,077.67	Q5,313.26
HDPE	262.90	2.16	Q567.86	Q144.59	Q712.46	Q415.38	Q1,127.84
feb-11							
PET	751.41	4.3	Q3,231.06	Q413.27	Q3,644.33	Q927.24	Q4,571.57
HDPE	265.88	2.16	Q574.30	Q146.23	Q720.54	Q420.09	Q1,140.63
mar-11							
PET	657.31	4.3	Q2,826.42	Q361.52	Q3,187.94	Q811.12	Q3,999.06
HDPE	248.61	2.16	Q536.99	Q136.73	Q673.73	Q392.80	Q1,066.53
abr-11							
PET	1154.51	4.3	Q4,964.41	Q634.98	Q5,599.39	Q1,424.67	Q7,024.06
HDPE	184.42	2.16	Q398.35	Q101.43	Q499.78	Q291.38	Q791.17
may-11							
PET	1045.06	4.3	Q4,493.76	Q574.78	Q5,068.55	Q1,289.61	Q6,358.15

Continuación  
Tabla 19

Material	Desperdicio	Precio de compra	PÉRDIDA			Ganancia perdida	Pérdida Total
			Materia prima	Fabricación	Total		
ene-11	Kg	Q	Q	Q	Q	Q	Q
HDPE	273.48	2.16	Q590.71	Q150.41	Q741.12	Q432.09	Q1,173.21
jun-11							
PET	1004.47	4.3	Q4,319.24	Q552.46	Q4,871.70	Q1,239.52	Q6,111.22
HDPE	317.32	2.16	Q685.41	Q174.52	Q859.93	Q501.36	Q1,361.29
jul-11							
PET	1277.56	4.3	Q5,493.50	Q702.66	Q6,196.16	Q1,576.51	Q7,772.67
HDPE	307.29	2.16	Q663.74	Q169.01	Q832.75	Q485.52	Q1,318.27
ago-11							
PET	1521.93	4.3	Q6,544.31	Q837.06	Q7,381.37	Q1,878.06	Q9,259.43
HDPE	392.78	2.16	Q848.41	Q216.03	Q1,064.44	Q620.59	Q1,685.03
sep-11							
PET	2218.86	4.3	Q9,541.10	Q1,220.37	Q10,761.47	Q2,738.07	Q13,499.54
HDPE	601.62	2.16	Q1,299.50	Q330.89	Q1,630.39	Q950.56	Q2,580.94
oct-11							
PET	2229.52	4.3	Q9,586.92	Q1,226.23	Q10,813.15	Q2,751.22	Q13,564.38
HDPE	832.31	2.16	Q1,797.79	Q457.77	Q2,255.57	Q1,315.05	Q3,570.62
nov-11							
PET	2016.77	4.3	Q8,672.12	Q1,109.22	Q9,781.34	Q2,488.70	Q12,270.03
HDPE	808.09	2.16	Q1,745.48	Q444.45	Q2,189.94	Q1,276.79	Q3,466.73
dic-11							
PET	1916.36	4.3	Q8,240.33	Q1,054.00	Q9,294.33	Q2,364.78	Q11,659.11
HDPE	672.37	2.16	Q1,452.33	Q369.81	Q1,822.13	Q1,062.35	Q2,884.48
ene-12							
PET	1920.60	4.3	Q8,258.57	Q1,056.33	Q9,314.90	Q2,370.02	Q11,684.92
HDPE	779.92	2.16	Q1,684.62	Q428.95	Q2,113.57	Q1,232.27	Q3,345.84
feb-12							
PET	1541.01	4.3	Q6,626.34	Q847.56	Q7,473.89	Q1,901.61	Q9,375.50
HDPE	814.78	2.16	Q1,759.93	Q448.13	Q2,208.06	Q1,287.36	Q3,495.42
			Total		Q115,948.50	Total	Q151,470.89

Al llevar a cabo el análisis de datos, se estimó que la pérdida que incurre la empresa y de la cual no se lleva ningún control asciende a Q 115,948.50 si tomamos en cuenta únicamente los costos directos es decir el costo de fabricación y el costo de la materia prima. Mientras que si tomamos en cuenta el costo de oportunidad del

producto que dejamos de vender las pérdidas ascienden a Q 151,470.89 lo cual representa una cantidad considerable para cualquier tipo de empresa.

#### D. Información técnica.

Se ha recopilado la información técnica concerniente a la maquinaria utilizada para el reciclado de plásticos, se muestra a continuación los manuales encontrados.

Maquinaria		Documentos					
		1	2	3	4	5	6
Molino Pagani	1		X				X
	2	x	x	x			X
	3		X				X
Panel eléctrico	Principal				X		X
	Molinos				X		X
Blower molino	1						X
	2						X
	3						X
Cuchillas		x					X

En donde:

- Manuales de funcionamiento
- Catálogos de partes
- Planos de instalación
- Diagrama de control eléctrico
- Hojas de datos técnicos
- Experiencia de técnicos con maquinaria existente.

Con respecto de la experiencia de los técnicos, ha quedado documentado su aporte en el manual de mantenimiento preventivo. Con esto se ha conformado un archivo técnico con copias, que se resguarda en las oficinas del departamento de mantenimiento.

## VII. PROGRAMACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CONTROL DE DESPERDICIOS

### A. Programa de mantenimiento preventivo.

Luego de analizar las diferentes fallas durante el periodo de tiempo en estudio y con la información técnica de los proveedores se creó el siguiente plan de Mantenimiento preventivo, en el cual se detalla la frecuencia, el tipo de repuesto, el tiempo promedio utilizado en llevar a cabo dichas actividades y el costo que se tiene establecido para cada una de ellas.

Debido a que el funcionamiento de cada uno de los equipos es igual entre ellos, únicamente cambia el modelo de los repuestos se estableció de la siguiente manera. Se dividió el tipo de mantenimiento de acuerdo a los sistemas de cada uno de las máquinas es decir: Mecánico y eléctrico.

Tabla 20  
**Mantenimiento preventivo  
Molino 1**

Área mecánica	Periodicidad	Tipo de repuestos	Precio repuestos	Precio mano de obra	Costo total
Cambio de cojinetes laterales de rotor	3 Años	22222 E 1 A.M			
<b>Rotor</b>					
Rectificar Base de cuchillas	3 años	NA			Q0.00
Rectificar alojamientos laterales	3 Años	NA			Q0.00
Lubricación	Mensual	Grasa Omega Lub 5HT	Q166.80	288.84	Q455.64
Cambio de cuchillas					Q0.00
Cambio de tornillos Cuchillas estacionarias	3 meses	7/8 x 2 1/2 NC 8	Q270.00	0	Q270.00
Cambio de tornillos cuchillas rotatorias	3 meses	7/8 x 3"	Q324.00	0	Q324.00
Tensado de fajas	Mensual	NA	Q0.00	346.608	Q346.61
Cambio de fajas	Anual	C - 148	Q1,400.00	168.49	Q1,568.49
Sistema hidráulico				0	Q0.00

Continuación  
Tabla 20

Área mecánica	Periodicidad	Tipo de repuestos	Precio repuestos	Precio mano de obra	Costo total
Nivelar aceite	Mensual	Aceite Rando 32HD	Q166.80	288.84	Q455.64
Cambio de empaques	3 meses	Externo 11mm, interno 9 mm	Q22.80	125.164	Q147.96
Fabricación de pin	3 meses	10.5mm x 65 mm	Q23.40	96.28	Q119.68
<b>Blower</b>				0	Q0.00
Revisar ventilador	Mensual		Q0.00	72.21	Q72.21
Cambio de ventilador	1 año		Q875.00	60.175	Q935.18
Cambio de cojinetes laterales de rotor	1 año	6206/6308	Q431.00	114.3325	Q545.33
<b>Criba</b>				0	Q0.00
Revisión de criba	Diaria		Q0.00	0	Q0.00
Cambio de criba	3 meses		Q525.00	48.14	Q573.14
Limpieza de molino	Diaria			3048.24	Q3,048.24
<b>Motor principal</b>				0	Q0.00
Lubricación de cojinetes	Mensual	Grasa Omega Lub 5HT	Q166.80	231.072	Q397.87
Cambio de cojinetes	Anual	6314	Q1,996.60	192.56	Q2,189.16
<b>Banda de alimentación</b>				0	Q0.00
Lubricación de chumaceras	Mensual	starflex HA2	Q166.80	288.84	Q455.64
Cambio de chumaceras	Anual	206/207	Q870.00	168.49	Q1,038.49
Cambio de banda	8 meses	1/8 x 23.5" x 33 pies	Q1,325.00	120.35	Q1,445.35
Limpieza de banda	Diario			0	Q0.00
Alineado de banda	15 días		Q0.00	750.984	Q750.98
Lubricación de llantas	Mensual	Grasa Omega 50D	Q333.60	7.221	Q340.82
Cambio de llantas	Visualizar edo	2"1/4 x 4 "1/2 x 5	Q266.80	96.28	Q363.08
<b>Area Eléctrica</b>					
<b>Motor Principal</b>					
Limpieza de bobina	Anual	Electrosafe	Q77.00	48.14	Q125.14
Barnizado de estator	Anual		Q140.00	48.14	Q188.14
Pintura	Anual		Q70.00	48.14	Q118.14
<b>Motor Blower</b>				0	Q0.00
Limpieza de embobinado	Anual	Electrosafe	Q77.00	48.14	Q125.14
Barnizado de estator	Anual		Q140.00	48.14	Q188.14
Pintural	Anual		Q70.00	72.21	Q142.21
<b>Tablero General</b>				0	Q0.00
Limpieza y apriete de barras	Semestral	Penetrox	Q40.00	577.68	Q617.68

Continuación  
Tabla 20

Área mecánica	Periodicidad	Tipo de repuestos	Precio repuestos	Precio mano de obra	Costo total
Apretado bornes interruptor	Mensual		Q0.00	144.42	Q144.42
<b>Tablero de Molino</b>				0	Q0.00
Limpieza de tablero	Semanal	Electrosafe	Q77.00	577.68	Q654.68
Apretado de bornes de interruptor	Mensual		Q0.00	86.652	Q86.65
Apretado de contactos de contactores	Mensual		Q0.00	86.652	Q86.65
Apretado de selectores	Mensual		Q0.00	86.652	Q86.65
<b>COSTO TOTAL</b>			<b>10,021.40</b>	<b>8,385.76</b>	<b>18,407.16</b>

Tabla 21  
Mantenimiento preventivo molino 1, Área eléctrica

<b>Area Eléctrica</b>					
<b>Motor Principal</b>					
Limpieza de bobina	Anual	Electrosafe	Q77.00	48.14	Q125.14
Barnizado de estator	Anual		Q140.00	48.14	Q188.14
Pintura	Anual		Q70.00	48.14	Q118.14
<b>Motor Blower</b>					
Limpieza de embobinado	Anual	Electrosafe	Q77.00	48.14	Q125.14
Barnizado de estator	Anual		Q140.00	48.14	Q188.14
Pintura	Anual		Q70.00	72.21	Q142.21
<b>Tablero General</b>					
Limpieza y apriete de barras	Semestral	Penetrox	Q40.00	577.68	Q617.68
Apretado bornes interruptor	Mensual		Q0.00	144.42	Q144.42
<b>Tablero de Molino</b>					
Limpieza de tablero	Semanal	Electrosafe	Q77.00	577.68	Q654.68
Apretado de bornes de interruptor	Mensual		Q0.00	86.652	Q86.65
Apretado de contactos de contactores	Mensual		Q0.00	86.652	Q86.65
Apretado de selectores	Mensual		Q0.00	86.652	Q86.65
<b>COSTO TOTAL</b>			<b>10,021.40</b>	<b>8,385.76</b>	<b>18,407.16</b>

Tabla 22  
Plan de Mantenimiento Preventivo Molino 2 Área Mecánica

Area mecánica	Periodicidad	Repuestos	Precio	Precio Repuestos	Precio mano de obra	
Cambio de cojinetes laterales de rotor	3 Años	22222 E 1 A.M	Q3,778.80		0	
<b>Rotor</b>						
Rectificar Base de cuchillas	3 Años	NA	Q1,200.00			Q0.00
Rectificar alojamientos laterales	3 Años	NA	Q900.00			Q0.00
Lubricación	Mensual	Grasa Omega Lub 5HT	Q166.80	Q166.80	288.84	Q455.64
Cambio de cuchillas		NA				
Cambio de tornillos Cuchillas estacionarias	3 meses	7/8 x 2 1/2 NC 8	Q22.50	Q405.00	0	Q405.00
Cambio de tornillos cuchillas rotatorias	3 meses	7/8 x 3"	Q27.00	Q324.00	0	Q324.00
Tensado de fajas	Mensual	NA		Q0.00	346.608	Q346.61
Cambio de fajas	Anual	C - 140	Q280.00	Q1,400.00	168.49	Q1,568.49
<b>Sistema Hidráulico</b>					0	
Nivel de aceite	Mensual	Aceite Rando 32HD	Q166.80	Q166.80	288.84	Q455.64
Cambio de empaques	3 meses	Externo 11mm, int	Q11.40	Q22.80	125.164	Q147.96
Fabricación de pin	3 meses	10.5mm x 65 mm	Q23.40	Q23.40	96.28	Q119.68
<b>Blower</b>					0	
Revisar ventilador	Mensual			Q0.00	72.21	Q72.21
Cambio de ventilador	1 año		Q875.00	Q875.00	60.175	Q935.18
Cambio de cojinetes laterales de rotor	1 año	6206/6307	Q215.50	Q431.00	114.3325	Q545.33
<b>Criba</b>					0	
Revision de criba	Diaria			Q0.00	0	
Cambio de criba	3 meses		Q475.00	Q475.00	48.14	Q523.14
Limpieza de molino	Diaria				3048.24	Q3,048.24
<b>Motor Principal</b>						
Lubricación de cojinetes	Mensual	Grasa Omega Lub 5HT	Q166.80	Q166.80	231.072	Q397.87
Cambio de cojinetes	Anual	6212	Q998.30	Q1,996.60	192.56	Q2,189.16
<b>Banda de alimentación</b>						
Lubricación de chumaceras	Mensual	starflex HA2	Q166.80	Q166.80	24.07	Q190.87
Cambio de chumaceras	Anual	206/207	Q435.00	Q870.00	168.49	Q1,038.49
Cambio de banda	8 meses	1/8 x 20" x 30 pies	Q2,035.00	Q1,325.00	120.35	Q1,445.35
Limpieza de banda	Diario				0	
Alineado de banda	15 días			Q0.00	750.984	Q750.98
Lubricación de llantas	Mensual	Grasa Omega 50D	Q166.80	Q333.60	7.221	Q340.82
Cambio de llantas	Visualizar edo	2"1/4 x 4 "1/2 x 5	Q66.70	Q266.80	96.28	Q363.08

Tabla 23  
Plan de mantenimiento preventivo  
Molino 3 Área Mecánica

Area mecánica	Periodicidad	Tipo de Repuestos	Precio	Precio mano de obra	Costo total
Cambio de cojinetes laterales de rotor	3 años	22320B	3,258.30		
<b>Rotor</b>					
Rectificar Base de cuchillas	3 años	NA	1200		Q0.00
Rectificar alojamientos laterales	3 años	NA	900		Q0.00
Lubricación	Mensual	Grasa Omega Lub 5HT	166.8	Q288.84	Q455.64
Cambio de cuchillas					Q0.00
Cambio de tornillos Cuchillas estacionarias	3 meses	Hex M20 X 60, Hex M10 x 50 CT	18.75	Q0.00	Q262.50
Cambio de tornillos cuchillas rotatorias	3 meses	Allen M 20 x 60	26.5	Q0.00	Q265.00
Tensado de fajas	Mensual	NA		Q346.61	Q346.61
Cambio de fajas	Anual	C - 136	238	Q168.49	Q1,358.49
<b>Sistema Hidráulico</b>					Q0.00
Nivel de aceite	Mensual	Aceite Rando 32HD	166.8	Q288.84	Q455.64
Cambio de empaques	3 meses	Externo 10mm, interno 8 mm	10.75	Q125.16	Q146.66
Fabricación de pin	3 meses	10.5mm x 65 mm	23.4	Q96.28	Q119.68
<b>Blower</b>					Q0.00
Revisar ventilador	Mensual			Q72.21	Q72.21
Cambio de ventilador	1 año		925	Q60.18	Q985.18
Cambio de cojinetes laterales de rotor	1 año	6206/6307	178.5	Q114.33	Q471.33
<b>Criba</b>					Q0.00
Revisión de criba	Diaria			Q0.00	Q0.00
Cambio de criba	3 meses		525	Q48.14	Q573.14
Limpieza de molino	Diaria			Q3,048.24	Q3,048.24
<b>Motor Principal</b>					Q0.00
Lubricación de cojinetes	Mensual	Grasa Omega Lub 5HT	166.8	Q231.07	Q397.87
Cambio de cojinetes	Anual	6313/6312	893	Q192.56	Q1,978.56
<b>Banda de alimentación</b>					# VALORI
Lubricación de chumaceras	Mensual	starflexHA2	166.8	Q24.07	Q190.87
Cambio de chumaceras	Anual	206/207	435	Q168.49	Q1,038.49
Cambio de banda	8 meses	1/8 x 20" x 30 pies	2035	Q120.35	Q1,495.35
Limpieza de banda	Diario			Q1,219.30	Q1,219.30
Alineado de banda	15 días			Q31.29	Q31.29
Lubricación de llantas	Mensual	Grasa Omega 50D	166.8	Q7.22	Q340.82
Cambio de llantas	Visualizar edo	2"1/4 x 4 "1/2 x 5	66.7	Q96.28	Q363.08

**Continuación  
Tabla 23**

<b>Area Eléctrica</b>					
<b>Motor Principal</b>					
Limpieza de bobina	Anual	Electrosafe	Q77.00	Q48.14	Q125.14
Barnizado de estator	Anual			Q48.14	Q188.14
Pintura	Anual			Q48.14	Q118.14
<b>Motor Blower</b>					
Limpieza de embobinado	Anual	Electrosafe	Q77.00	Q48.14	Q125.14
Barnizado de estator	Anual		Q140.00	Q48.14	Q188.14
Pintura	Anual		Q70.00	Q72.21	Q142.21
<b>Tablero General</b>					
Limpieza y apriete de barras	Semestral	Penetrox	Q40.00	Q48.14	Q88.14
Apriete de bornes interruptor	Mensual			Q144.42	Q144.42
<b>Tablero de Molino</b>					
Limpieza de tablero	Semanal	Electrosafe	Q77.00	Q577.68	Q654.68
Apriete de bornes de interruptor	Mensual			Q86.65	Q86.65
Apriete de contactos de contactores	Mensual			Q86.65	Q86.65
Apriete de selectores	Mensual			Q86.65	Q86.65
				<b>Q8,091.06</b>	<b>Q17,650.06</b>

**B. Verificación cumplimiento: Plan mantenimiento preventivo.**

Para poder verificar el cumplimiento del plan de mantenimiento preventivo fue necesario la creación de tres registros los cuales respaldarán el cumplimiento de las actividades detalladas en el plan de mantenimiento y de esta manera poder asegurar la disponibilidad de cada uno de los equipos detallados en el plan de mantenimiento.

Los tres registros creados fueron los siguientes

- Orden de trabajo a mantenimiento
- Informe de trabajo de mantenimiento
- Lista de verificación del funcionamiento de los molinos
- Reporte de novedades

La orden de trabajo Ilustración No. 2 fue creada con la finalidad que la administración pudiera transmitir a las personas encargadas del área de mantenimiento los lineamientos dejados en el plan de mantenimiento mostrado arriba . Ya que de esta

manera la administración puede llevar un control y asegurar que los mantenimientos se están realizando según el estudio realizado y poder tener siempre disponibles los equipos.

El informe de trabajo de mantenimiento fue creado con la finalidad de poder demostrar que las actividades se están realizando por parte del departamento de mantenimiento, indicando quien lo hizo, fecha en que se llevaron a cabo las actividades. Todos estos registros serán archivados en la oficina de mantenimiento para posibles consultas si en dado caso llegara a existir alguna falla en los equipos.

Ilustración 11  
Informe de mantenimiento

PLANTA RECICLADORA DE PLÁSTICOS DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO INFORME DE MANTENIMIENTO				
INFORME	No.	DEPARTAMENTO:		FECHA:
MAQUINA/EQUIPO:			MARCA	
UBICACIÓN:			SECCIÓN:	
MANTENIMIENTO:	P	C	PROBLEMA: Mecánico Eléctrico Otros	
CONDICIÓN:	CRITICA	MEDIA	INFORMO-TURNO: A B	
MECANISMO:				
FECHA	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO REALIZADAS			
Observaciones:				
EJECUTADO POR:			RECIBIDO POR:	FECHA:

Por último se creó la lista de verificación de molinos con la cual se busca garantizar la eficiencia de los trabajos de mantenimientos realizados, asegurando que no existan fallas o ruidos extraños en los equipos. Esta lista de verificación se llenará semanalmente al principio de cada semana, para poder llevar un registro de posibles cambios o situaciones que se puedan presentar en los diferentes equipos.

Ilustración 12  
Lista de verificación de molinos

Responsable: \_\_\_\_\_ Semana del \_\_\_\_\_  
 Equipo: \_\_\_\_\_ Línea \_\_\_\_\_

Sistema Eléctrico	check	Estado/Funcionamiento	Observaciones
Verificar accionamiento microinterruptores			
Verificar apriete de tornillos sistema eléctrico			
Correcto estado físico			
Medición de voltajes			
Medición de amperajes			
Revisar edo físico/funcionamiento motor molino			
Revisar edo físico/funcionamiento motor banda			
Revisar edo físico/funcionamiento motor blower			
Verificar ausencia ruidos extraños			

Sistema Mecánico	check	Estado/Funcionamiento	Observaciones
Revisión lubricación de chumaceras			
Revisión eje molino			
Revisión de banda y canglones			
Revisión de faja y poleas			
Revisión estado de cuchillas			
Verificar apriete de tornillos			
Verificar giro motor sea indicado			
Verificar ausencia ruidos extraños			
Revisión ductos de alimentación tolva			
Revisión de estado de tolva			

Sistema Hidráulico	check	Estado/Funcionamiento	Observaciones
Verificar ausencia de fugas gato hidráulico			
Verificar nivel líquido hidráulico			
Verificar correcto funcionamiento.			

En la casilla de estado/Funcionamiento colocar Bueno: Si cumple con todos los requisitos Regular: Si hay un pequeño desperfecto Malo: Necesita intervención

\_\_\_\_\_ Firma Responsable

Si en dado caso existiera algún problema al momento de llevar a cabo la inspección o bien cuando el equipo se encuentre trabajando se debe llenar el registro de Reporte de novedades mostrado en la Ilustración No. 20 el cual será entregado al encargado de mantenimiento para proceder a generar una orden de mantenimiento y analizar las posibles causas de esta falla.

Todos los registros deberán guardarse en la oficina de mantenimiento en un cartapacio identificado por la parte exterior para su fácil identificación, y todas las actividades que se realicen ya sean preventivas o en el peor de los casos correctivas deberán quedar documentadas para posibles mejoras en el plan de mantenimiento.

Luego de analizar cada uno de los componentes de las maquinarias y detectar cuáles eran aquellos mantenimientos que eran más repetitivos e impactaban más en la producción se realizó una programación con la cual se busca aumentar la disponibilidad de los equipos.

Uno de los factores más importantes a determinar era cuándo efectuar los cambios de cuchillas en los molinos, luego de analizar las diferentes situaciones y costos en que incurren al llevar a cabo este tipo de mantenimientos se optó por hacerlo de la siguiente manera.

Tabla 24  
Frecuencia de afilados

Molino	Cada # días
Molino 1	6
Molino 2	7
Molino 3	14

Y con esto podremos asegurar la disponibilidad de los equipos y evitar tiempos muertos, al mismo tiempo que disminuimos los costos de cada uno de los mantenimientos ya que no se tendrá que afectar la producción.

Debido a que la planta trabaja 24 horas y se cuenta con dos turnos de trabajo de 8 horas normales más cuatro horas extras respectivamente. Durante el turno de día se trabajan los tres molinos con dos personas cada uno, pero durante el turno de la noche únicamente se trabajan dos molinos debido a que solo se cuenta con cuatro operarios para el turno de la noche.

Actualmente no se aprovecha esta situación para poder llevar a cabo los diferentes tipos de mantenimientos ya que se podría utilizar este tiempo para los diferentes mantenimientos que se encuentra programados para cada uno de los equipos.

Principalmente el cambio de cuchillas, ya que muchas veces se esperaba a que las cuchillas estuvieran casi redondas, del área del filo para poder ordenar el cambio de las mismas, pero esto normalmente sucede en el turno de día lo cual hace que los costos de mantener el equipo parado se incrementen.

De esta manera no solo haremos que se puedan obtener más afilados de las cuchillas, ya que erróneamente se ha trabajado los molinos hasta que estos tienen las cuchillas redondas pero esto afecta de las siguientes maneras:

- Mayor temperatura dentro de la cámara de molienda
- Disminuye la calidad del plástico reciclado, debido al aumento de temperatura.
- Riesgo de fisuras o fracturas de las cuchillas por el calentamientos de las mismas
- Menor número de afilados a las cuchillas debido a que es mayor la superficie que hay que disminuir debido al desgaste sufrido por el plástico.
- Afecta la disponibilidad de los equipos, por lo tanto afecta la producción.
- Mayor cantidad de desperdicio, por el acumulamiento de finos en la cámara de molienda.

Se realizó contacto con una nueva empresa para que realice el afilado de las cuchillas, la empresa seleccionada fue Afilados Suárez, debido al compromiso por parte de ellos de entregarnos la cuchillas en un plazo menor a cinco horas además de quedar

a poca distancia de la empresa recicladora de plástico, se llegó a un acuerdo en el que únicamente con ellos se irá a trabajar por lo que el precio por cada afilado de cuchillas es menor.

Se comparó el número de afilados permitidos a cada cuchilla según el proveedor y el número de afilados que se han trabajado, y se determinó que un juego de cuchillas soporta hasta diez afilados. Esta información es de gran utilidad ya que nos sirve para determinar el tiempo con el cual debemos de ingresar una orden de compra con el proveedor en el extranjero para evitar quedarnos sin inventario de cuchillas

El proveedor de las cuchillas es directamente el representante de la marca Pagani en Guatemala, Dycomet que se encuentra en México el tiempo de entrega es de dos meses.

Tabla 25  
Costo anual afilado cuchillas

Molino	Afilados	Costo afilado	No afilados /mes	Costo cuchillas	Costo anual del programa	Juegos de cuchillas	Costo anual de cuchillas
1	10	Q540.00	4	Q15,015	Q25,920.00	6	Q90,090
2	10	Q675.00	4	Q16,605	Q32,400.00	6	Q99,630
3	10	Q540.00	2	Q15,015	Q12,960.00	3	Q45,045
					Q71,280.00	15	Q234,765

Por lo que para mantener siempre cuchillas afiladas disponibles y no afectar la producción es necesario contar con dos juegos de cuchillas para cada molino y hacer el pedido de cuchillas en el caso de los molinos 1 y 2 cada 3 meses y para el molino 3 cada 9 meses.

### C. Programa de herramientas.

Para que el programa de mantenimiento funcione adecuadamente es necesario llevar a cabo una pequeña inversión inicial para adquirir herramientas que no se tengan

dentro del taller de mantenimiento y que sean necesarias para la buena implementación del programa. En el caso del departamento de mantenimiento para el área de molienda son pocas las herramientas que se deben de comprar.

HERRAMIENTA	CANTIDAD	PRECIO U	PRECIO T
JUEGO. DE LLAVES ALLEN MILIMETRICAS Y EN PULGADAS,	2	Q195.00	Q390.00
JUEGO. DE DESTORNILLADORES,	2	Q192.00	Q384.00
JUEGO. DE LLAVES C/CORONA DE 7-19MM,	2	Q215.00	Q430.00
JUEGO. DE LLAVES C/CORONA DE 5/16" - 3/4",	2	Q144.00	Q288.00
COPA RAIZ DE 1/2"	2	Q325.00	Q650.00
EXTRACTOR DE COJINETES	1	Q215.00	Q215.00
MARTILLO DE BOLA	1	Q75.00	Q75.00
GRASERA	1	Q145.00	Q145.00
TORQUIMETRO	1	Q 3955.00	Q 3955.00
CAJA DE HERRAMIENTAS	2	Q75.00	Q 150.00
			<b>Q6,822.00</b>

#### D. Mejora del método de cambio cuchillas.

Como se había mencionado anteriormente se buscaron diferentes alternativas para poder disminuir el tiempo empleado en el cambio de cuchillas, se analizaron diferentes causas del motivo por el cual esta tarea demandaba demasiado tiempo.

- Cabeza de los tornillos demasiado gastada
- La llave cola corona, al momento de aplicar la fuerza tendía a desprenderse fácilmente de la rosca del tornillo
- Presencia de grasa y mieles en la rosca de los tornillos.
- Difícil ángulo de trabajo al momento de retirar las cuchillas, por lo que al hacer la palanca con la llave cola corona fácilmente se desprende.
- Necesidad de dos personas al momento de retirar las cuchillas, debido a que deben de hacer presión sobre la rosca del tornillo para evitar que se desprenda.

Se analizó el método actual de cambio de cuchillas y se depuraron algunas actividades además de proponer un nuevo método que facilita el cambio de las cuchillas.

Ilustración 13  
Método propuesto cambio cuchillas

Actividad	Tiempo Promedio (min)	Observaciones
Apagar el equipo	9	esperar a que la camara de molienda deje de girar
Bajar flipones de encendido	0.4	desenergizar
Regresar a taller por rotulos de seguridad industrial y caja de herramientas	4.4	
colocar rotulo de mantenimiento	1	
levantar camara de molienda	2	Gato Hidráulico sin fugas de aceite
Quitar tornillos frontales de camara de molienda	13	Utilización de torquimero
Quitar tornillos traseros de camara molienda	11	Utilización de torquimero
Quitar tornillos y cuchillas giratorias, colocar tornillos y cuchillas giratorias afiladas	59	Utilización de torquimero, dejar ajustado
Quitar tornillos y cuchillas estacionarias, colocar tornillos y cuchillas giratorias estacionarias	41	Utilización de torquimero, dejar ajustado
Quitar criba	16	
Ajustar cuchillas	58	Se debe dejar un ajuste de 1mm entre cuchillas
Colocar tornillos parte delatera y trasera del	23	
Colocar Criba	15	
Bajar camara de molienda	1.4	
Quitar rotulo de mantenimiento	1	
Subir flipones	2.3	
Encender equipo	0.5	
<b>TIEMPO TOTAL</b>	<b>258</b>	

Se analizaron los movimientos que realizaba cada uno de los técnicos de mantenimiento y se pudo observar que había dificultad al momento que se retiraban todas las cuchillas del eje para volverlas a montar debido a que el mismo peso de las cuchillas que se estaba colocando hacia que el eje hiciera su giro natural por lo que se modificó la manera de hacer el cambio. Y ahora al momento de retirar una cuchilla se coloca la nueva cuchilla afilada y de esta manera evitamos el desbalance en el eje facilitando el cambio de cuchillas. Se llevó a cabo la compra de un torquímetro con el cual se evita apretar demasiado los tornillos teniendo como resultado evitar el riesgo de una posible fractura debido a demasiada fuerza al momento de ser apretados, así como un menor tiempo al momento de retirar las cuchillas.

## VIII. RESULTADOS

Los resultados obtenidos al implementar esta nueva técnica para llevar a cabo el cambio de cuchillas fueron positivos debido a que se logró una reducción en el tiempo de 1 hora con 7 minutos en promedio, por lo que se obtiene una reducción en costos en promedio.

Tipo de falla	Frecuencia	Tiempo promedio (Horas)	Tiempo Total (Horas)	Costo total mano de obra
Cambio de cuchillas	139	4.75	660.25	Q15,892.22

El resultado obtenido es de Q 15,892.22, debido a que estamos descontando la reducción de 1.12 horas al implementar la nueva técnica además de eliminar el costo de mano de obra ociosa del operador ya que los cambios de cuchillas se harían únicamente en el turno de noche cuando no interfiera con la producción. Por lo que tendremos un ahorro de Q 22,250.39.

### A. Propuesta: Reducción de desperdicios.

Como se analizó en el capítulo anterior en promedio se tiene que en el PET se desperdicia el 1.062% y en el HDPE 1.4% de la producción mensual, lo cual representa una pérdida anual para la empresa de Q 115,948.50. Este desperdicio se produce al momento del empaque debido a que el silo tiene una salida libre y al momento de retirar la bolsa llena el material sigue cayendo y tiende a contaminarse con otros productos que se encuentran en el suelo.

Ilustración 14  
Silo producto terminado

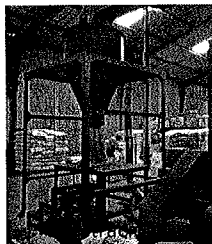
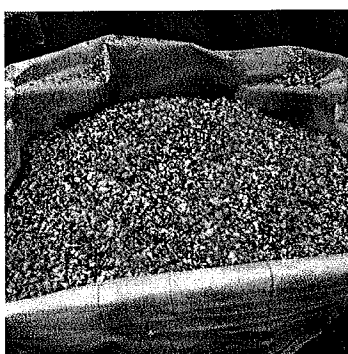


Ilustración 15  
Desperdicio planta molienda



Se planteó una sencilla solución la cual consiste en llevar a cabo una sencilla modificación a la salida del silo, se colocó una compuerta la cual permite abrir y cerrar el paso de material molido para evitar que este caiga al momento de retirar la bolsa de producto terminado. Con esto se espera disminuir la cantidad de desperdicio hasta en un 67 % según las pruebas realizadas, es decir pasar de un promedio de 9.90 kg por tarima procesada a únicamente 3.27 kg por tarima procesada. Y en el caso del HDPE un promedio de desperdicio por tarima de 13.15 kg por tarima procesada, se logró un ahorro en desperdicio de un 73% lo que significa 9.85 kg menos de desperdicio.

El costo de llevar a cabo la modificación en cada uno de los silos de los molinos es de Q 750.00 quetzales, por lo que los beneficios son inmediatos y con esto estaríamos teniendo unos ahorros por tarima de:

Tabla 26

**Promedio de producción durante los últimos seis meses**

sep-11	oct-11	nov-11	dic-11	ene-12	feb-12	Promedio
184,905.00	163,935.00	184,180.00	178,100.00	185,565.00	147,465.00	174,025.00
44,730.00	53,115.00	49,455.00	50,065.00	61,800.00	53,115.00	52,046.67

Al tomar el promedio de la producción de los últimos 6 meses y teniendo en cuenta que las tarimas de producto terminado son de 900 kg se tienen los siguientes ahorros.

Tabla 27  
Ahorros por tarima procesada

# Tarimas	Pérdida		Ahorro mensual
	anterior	nueva	
194	Q60.23	Q19.89	Q40.34
58	Q56.41	Q15.23	Q41.18

Es decir pasamos a tener un ahorro promedio mensual de Q 7825.00 en el PET y Q 2388.00 en el HDPE lo cual son resultados positivos mediante la implementación de un simple método.

Ilustración 16  
Modificación silo producto terminado



#### B. Personal entrenado.

Al inicio de la implementación del plan de mantenimiento preventivo el personal del departamento de molienda en este caso los operarios contaban con muy poco conocimiento acerca del mantenimiento que se realizaba a los equipos y de la misma manera el personal de mantenimiento no conocía fondo la manera de operar los equipos.

Por lo que se procedió a llevar a cabo capacitaciones a cada uno de ellos con el objetivo de profundizar en sus conocimientos y de esta manera poder ayudar a detectar fallas a tiempo así como darles solución de manera inmediata.

Por el otro lado a las personas directamente del área de mantenimiento se deben de capacitar en cada una de las áreas en las cuales fue dividido el programa de mantenimiento, por lo que se contacto a cada uno de los diferentes proveedores de repuestos para que puedan impartir una capacitación sin costo alguno sobre la manera correcta de utilizar sus productos.

Tabla 29  
Capacitaciones para el programa de mantenimiento preventivo

Nombre del Entrenamiento	Duración	Facilitador	No. Personas que lo recibieron	Costo
Sistemas neumáticos básicos	2 horas	Acisa	3	
Entrenamiento en el programa de mantenimiento	3 horas	Supervisor mantenimiento	9	
Operación Molinos	2 horas	Supervisor producción	3	
Lubricación	1 hora	Omega Guatemala	3	
Electricidad básica	60 horas	Intecap	1	Q1,375.00
Extracción de cojinetes	1 hora	RST	3	

### C. Costos del mantenimiento preventivo molinos.

Se calcularon los costos de aplicar el mantenimiento preventivo para cada uno de los molinos para luego poderlo comparar con las pérdidas analizadas anteriormente para poder presentar los beneficios de aplicar el plan de mantenimiento preventivo a la planta recicladora de plásticos. Ver anexo 3

Tabla 29  
**Costo del mantenimiento preventivo de molinos**

Molino	COSTO DE		
	repuestos	Mano de obra	Total
1	Q10,021.40	Q8,385.76	Q18,407.16
2	Q10,106.40	Q7,591.45	Q17,697.85
3	Q9,559.00	Q8,091.06	Q17,650.06
<b>Cambio Cuchillas</b>		Q15,892.22	Q15,892.22

**Q69,647.29**

Por lo que el costo de implementar el plan de mantenimiento preventivo en la planta recicladora de plásticos tiene un costo total de Q 69,247.29 lo cual es relativamente menor al costo de los paros efectuados durante el periodo Q 69,999.28. Sin tomar en cuenta los costos de los repuestos utilizados para la reparación de los problemas presentados durante el tiempo de estudio y el costo de oportunidad que ascendía a 243,089.06 kg sin procesar debido a los paros no programados.

La implementación del plan de mantenimiento preventivo resulta beneficioso para la empresa debido a que aumenta la disponibilidad de los equipos sin interferir en la producción por lo que obtendremos un beneficio de poder procesar una mayor cantidad de kilos al mes, por lo tanto, tendremos una mayor utilidad al final del mes.

## IX. CONCLUSIONES

Se lograron definir los porcentajes de desperdicios existentes en la planta de producción los cuales resultaron ser significativos a pesar que únicamente representan el 1.18% en el PET y 1.42% en el HDPE.

Se logró una disminución del tiempo empleado en el cambio de cuchillas en 1.12 horas mediante la modificación del método utilizado anteriormente, esto junto con una correcta programación en el cambio de cuchillas representa un ahorro de Q 22,250.39.

Con la modificación realizada a los silos de producto terminado se logró disminuir los porcentajes de desperdicio en un 67% en PET y 73 % en el HDPE, lo cual representa un ahorro de Q40.34 y Q 41.18 por cada tarima procesada.

El mayor ahorro al momento de implementar el plan de mantenimiento preventivo se obtiene al poder aumentar la disponibilidad de los equipos, debido a que el costo de oportunidad de lo que dejamos de producir debido a los paros fue de 243,089.06 kg

Se determinó el costo en el cual incurría la empresa al hacer los cambios de cuchillas sin algún tipo de programación bajo el método actual, tomando en cuenta el costo de oportunidad de lo que dejamos de producir es de para el PET: Q1,640.71 y para el HDPE Q2,034.54

La falta de control sobre los desperdicios tiene un costo total de Q 115,948.50, lo cual no había sido calculado por la empresa.

## **X. RECOMENDACIONES**

Es recomendable encender los motores en forma escalonada, con un período intermedio de 10 minutos cada uno.

Se propone crear un sistema de incentivos al personal involucrado en el área de molienda, para desarrollar un sentido de pertenencia al proceso y que fácilmente sea premiada una operación con cero paros no programados.

Al momento de implementar el plan de mantenimiento preventivo es importante tener control sobre los equipos para evaluar si existe una disminución en el número de fallas.

Se debe establecer un compromiso serio y persistente entre el área de mantenimiento y el área de producción, ya que sin la colaboración de ambas partes no se podrán ejecutar las labores de mantenimiento de forma adecuada.

Revisar constantemente el programa de mantenimiento y los registros de los mantenimientos efectuados para poder contar con stock de los repuestos a utilizar.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

Dounce, E. De León, C. y Dounce, J. (2001). *La productividad en el mantenimiento industrial*. Editorial Continental en coedición con Naciones Unidas, México.

García S 2003. *Organización y gestión Integral de mantenimientos*. Primea Edición, Editorial Díaz de Santos, España.

Gaither, N. (2000). *Administración de producción y operaciones*. Octava Edición, Editorial Thomson Learning Ibero, México.

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

Numancia, José María 1999. *Gestión del Mantenimiento*. España, FC editorial

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

## **XII. ANEXO**

Programación de mantenimientos preventivos



	Junio				Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre			
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Verificar que el molino no tenga material antes de ponerlo en marcha																												
Verificar afilado de cuchillas y que no estén dañadas																												
Verificar accionamiento de microinterruptores		•				•			•				•				•				•				•			•
Sopletear ductos de aspiración en placas laterales	•					•				•				•				•				•				•		
Verificar el torque de los tornillos que sujetan las cuchillas	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Verificar la tensión de las bandas, que no estén muy apretadas o flojas				•			•				•				•					•				•				•
Verificar qué tan bien apretados están los tornillos en el sistema eléctrico		•		•		•		•		•		•		•		•		•		•		•		•		•		•
Verificar que el giro del motor sea el indicado	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Revisar que las cortinas de la tolva no estén dañadas		•		•		•		•		•		•		•		•		•		•		•		•		•		•
Limpieza con aire comprimido en la parte inferior de las placas				•			•				•				•					•				•				•
Limpieza general en la caja de molienda , criba, tolva y embudo.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Revisión general de todos sus equipos y componentes				•			•				•				•					•				•				•
Cambio de tornillos cuchillas rotor																												
Cambio de tornillos cuchillas caja																												
Cambio de fajas c - 140																												•
Cambio de criba de desahogo			•																									•
Apretar tornillos de toda la maquinaria		•													•													•
Sellar con silicón el plano inclinado en las áreas de contacto	•													•												•		
Lubricación de cojinetes de rotor		•													•													•
Revisar ajuste de cuchillas	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Verificar ausencia de material en ventilador de motor		•				•				•				•						•					•			•
Revisión de gato hidráulico				•			•				•				•					•				•				•



