



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO UTILIZANDO HORÓMETRO
PARA OPTIMIZAR EL FUNCIONAMIENTO DE UNA MÁQUINA LAVADORA
DE PET RECICLADO**

Oscar Alexander Andrade Sosa

Asesorado por el Ing. Estuardo Mario López Mazariegos

Guatemala, abril de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO UTILIZANDO HORÓMETRO
PARA OPTIMIZAR EL FUNCIONAMIENTO DE UNA MÁQUINA LAVADORA
DE PET RECICLADO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERIA

POR

OSCAR ALEXANDER ANDRADE SOSA

ASESORADO POR EL ING. ESTUARDO MARIO LÓPEZ MAZARIEGOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, ABRIL DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jorgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Núñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodriguez
EXAMINADOR	Ing. Luis Alfredo Asturias Zúñiga
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO UTILIZANDO HORÓMETRO
PARA OPTIMIZAR EL FUNCIONAMIENTO DE UNA MÁQUINA LAVADORA
DE PET RECICLADO**

Tema que me fuera asignado por la dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 3 de agosto de 2016.



Oscar Alexander Andrade Sosa

Guatemala, 20 de Enero de 2017

Ingeniero
Roberto Guzmán Ortiz
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala.

Ingeniero Guzmán Ortiz:

Por este medio informo, como asesor del estudiante **OSCAR ALEXANDER ANDRADE SOSA** quien se identifica con carné universitario 200714669, de la carrera ingeniería mecánica, tuve a bien revisar el trabajo de Graduación con el tema: **“PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO UTILIZANDO HORÓMETRO PARA OPTIMIZAR EL FUNCIONAMIENTO DE UNA MÁQUINA LAVADORA DE PET RECICLADO”**, el cual a mi criterio cumple con los requerimientos de un trabajo de esta índole.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente,


Estuardo Mario López Mazariegos
Ingeniero Mecánico
Colegiado No. 13984
ASESOR
INGENIERO MECANICO
COLEGIADO No. 13984



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.058.2017

El Coordinador del Área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO UTILIZANDO HORÓMETRO PARA OPTIMIZAR EL FUNCIONAMIENTO DE UNA MÁQUINA LAVADORA DE PET RECICLADO**, desarrollado por el estudiante **Oscar Alexander Andrade Sosa**, CUI **2251-19730-0101**, Registro Académico **200714669** recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador Área Complementaria
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, febrero 2017



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.139.2017

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área Complementaria del trabajo de graduación titulado: **PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO UTILIZANDO HORÓMETRO PARA OPTIMIZAR EL FUNCIONAMIENTO DE UNA MÁQUINA LAVADORA DE PET RECICLADO** del estudiante **Oscar Alexander Andrade Sosa, CUI 2251-19730-0101, Registro Académico No. 200714669** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



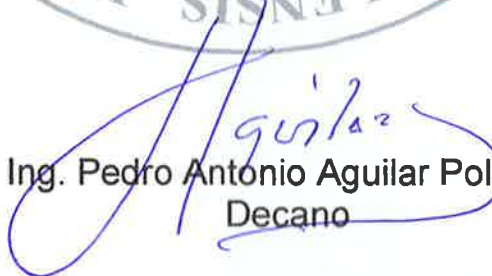
Guatemala, abril de 2017

/aej



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO UTILIZANDO HORÓMETRO PARA OPTIMIZAR EL FUNCIONAMIENTO DE UNA MÁQUINA LAVADORA DE PET RECICLADO**, presentado por el estudiante universitario: **Oscar Alexander Andrade Sosa**, y después de haber culminado las revisiones previas (bajo la) responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, abril de 2017



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por siempre estar a mi lado, por darme la sabiduría, fuerzas y ser fiel con migo en todo momento, permitiendo que alcance una meta más.
Mis padres	Jorge Eduardo Andrade Puaque y Diliam Estela Sosa de Andrade, por siempre estar a mi lado, por el apoyo brindado, consejos, enseñanzas y sobre todo por su amor incondicional.
Mis hermanos	Diliam Elena Andrade sosa y Yasmin Sarai Andrade Sosa, por siempre compartir todos los buenos momentos de mi vida.
Mi familia	Por sus consejos y el gran cariño brindado en todo momento.
María Guadalupe Rodríguez Ruano	Una persona muy especial en mi vida, aunque ya no se encuentre físicamente con migo yo sé que en todo momento estuvo a mi lado apoyándome para cumplir mi meta.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios

Por sobre todas las cosas, por darme la dicha de existir, brindarme la sabiduría, entendimiento, la oportunidad de cumplir unos de mis sueños y siempre guiarme en el camino correcto.

Mis padres

Jorge Eduardo Andrade Puaque y Diliam Estela Sosa de Andrade, por siempre estar a mi lado, por el apoyo brindado y sobre todo por su amor incondicional.

Universidad de San Carlos de Guatemala y Facultad de Ingeniería

Por enseñarme las bases de conocimiento.

Ing. Estuardo Mario López Mazariegos

Por el apoyo brindado para la realización del trabajo de graduación.

Mis amigos y amigas

Por estar a lo largo de estos años conmigo, por brindarme su amistad y apoyo en todo momento.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. GENERALIDADES	1
1.1 Historia del reciclaje de PET	1
1.2 Política ambiental.....	3
1.3 Actividad principal	3
1.4 Conceptos generales	6
1.4.1 Definición de mantenimiento	6
1.4.2 Mantenimiento correctivo	7
1.4.3 Mantenimiento preventivo	10
1.4.4 Mantenimiento predictivo.....	11
1.4.5 Costo de mantenimiento.....	13
1.5 Departamento de mantenimiento.....	14
1.5.1 Estructura de mantenimiento	15
1.5.2 Proceso de mantenimiento.....	16
2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO	19
2.1 Área de recepción.....	19
2.2 Maquinaria y equipo.....	20
2.3 Gestión de mantenimiento	24

2.3.1	Mano de obra.....	25
2.3.2	Medio ambiente	25
2.3.3	Materiales	26
2.3.3.1	Equipo de protección personal.....	26
2.3.4	Planificación de mantenimiento con base en horas	27
2.3.5	Métodos	28
2.3.6	Mantenimiento programado	28
2.4	Propuesta de plan de mantenimiento programado	29
2.4.1	Codificación de maquinaria.....	30
2.4.2	Rutinas.....	31
2.4.3	Programación	65
2.4.4	Frecuencia de mantenimiento.....	65
2.4.5	Manejo del plan de mantenimiento preventivo.....	67
2.4.6	Seguimiento del plan de mantenimiento preventivo.....	68
2.4.6.1	Diagrama de flujo.....	69
2.4.6.2	Revisión del plan.....	70
2.4.6.3	Hoja de control de paros	72
2.4.6.4	Hoja de reporte	73
2.4.6.5	Orden de trabajo	73
2.5	Planificación y anticipación de los repuestos críticos	76
2.6	Costos de mantenimiento	77
3.	FASE DE INVESTIGACIÓN	79
3.1	Recursos generales.....	79
3.1.1	Agua	79
3.1.2	Energía eléctrica	80
3.1.3	Vapor	80
3.1.4	Aire comprimido	81
3.1.5	Material PET	81
3.2	Análisis sobre el consumo de los recursos	81

3.2.1	Uso de agua en proceso de producción	82
3.2.2	Uso de la energía eléctrica en proceso de producción	83
3.2.3	Uso de vapor en proceso de producción	84
3.2.4	Consumo de aire comprimido	85
3.2.5	Capacidad de producción lavado de PET	86
3.3	Mejoras en el uso de los recursos	87
3.3.1	Operaciones para optimizar el agua	87
3.3.2	Opciones para optimizar la energía	88
3.4	Metodología para accionar cada propuesta	89
3.4.1	Agua.....	90
3.4.2	Energía	91
3.5	Beneficios ambientales con la implementación del proyecto	92
4.	FASE DE APRENDIZAJE	93
4.1	Diagnóstico de la capacitación.....	93
4.1.1	Herramientas de autoevaluación.....	93
4.1.2	Análisis de las necesidades de capacitación	95
4.1.3	Planificación	96
4.2	Programación de la capacitación de mantenimiento.....	97
4.3	Costos de la propuesta	98
	CONCLUSIONES.....	101
	RECOMENDACIONES.....	103
	BIBLIOGRAFÍA.....	105
	ANEXOS.....	107

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama de flujo de lavado de PET reciclado	5
2.	Modelos de categorías de fallas	8
3.	Organigrama del Departamento de Mantenimiento	15
4.	Equipo de protección personal.....	27
5.	Diagrama de flujo.....	69
6.	Formato de la hoja de reporte.....	74
7.	Formato de la orden de trabajo.....	75

TABLAS

I.	Escritura de cuenta área de lavado de PET reciclado.....	30
II.	Rutina de mantenimiento preventivo para cinta transportadora de tableros metálicos	31
III.	Rutina de mantenimiento preventivo para <i>deballer</i>	32
IV.	Rutina de mantenimiento preventivo para cinta transportadora	33
V.	Rutina de mantenimiento preventivo para <i>iperwash</i>	34
VI.	Rutina de mantenimiento preventivo para bomba de <i>iperwash</i>	35
VII.	Rutina de mantenimiento preventivo para sin fin arena	36
VIII.	Rutina de mantenimiento preventivo para separador de tapones	37
IX.	Rutina de mantenimiento preventivo para tambor de agua.....	38
X.	Rutina de mantenimiento preventivo para tamiz vibrante.....	39
XI.	Rutina de mantenimiento preventivo para tinajas de recogida de agua y bomba	40
XII.	Rutina de mantenimiento preventivo para bomba-rs.....	41
XIII.	Rutina de mantenimiento preventivo para ventilador	42
XIV.	Rutina de mantenimiento preventivo para cinta transportadora de almacenaje.....	43

XV.	Rutina de mantenimiento preventivo para cinta transportadora	44
XVI.	Rutina de mantenimiento preventivo para detector- <i>autosort</i>	45
XVII.	Rutina de mantenimiento preventivo para cinta transportadora NTP	46
XVIII.	Rutina de mantenimiento preventivo para molino	47
XIX.	Rutina de mantenimiento preventivo para sin fin generales.....	48
XX.	Rutina de mantenimiento preventivo para tina de lavado	49
XXI.	Rutina de mantenimiento preventivo para centrifugadora	50
XXII.	Rutina de mantenimiento preventivo para bomba-tanques.....	51
XXIII.	Rutina de mantenimiento preventivo para ciclón-cic mangas de escape	52
XXIV.	Rutina de mantenimiento preventivo para silo-smc 7, (silo de molienda), (silo mezclador), (silo mezclador vertical)	53
XXV.	Rutina de mantenimiento preventivo para unidad para el tratamiento en caliente.....	54
XXVI.	Rutina de mantenimiento preventivo para lavadora horizontal	55
XXVII.	Rutina de mantenimiento preventivo para válvula de estrella	56
XXVIII.	Rutina de mantenimiento preventivo para generador de aire caliente.....	57
XXIX.	Rutina de mantenimiento preventivo para ventilador	58
XXX.	Rutina de mantenimiento preventivo para grupo secador cama fluidez.....	59
XXXI.	Rutina de mantenimiento preventivo para cernedora magnética	60
XXXII.	Rutina de mantenimiento preventivo para seleccionadora óptica futura	61
XXXIII.	Rutina de mantenimiento preventivo para caldera	62
XXXIV.	Rutina de mantenimiento preventivo para chiller	63
XXXV.	Rutina de mantenimiento preventivo para compresor.....	64
XXXVI.	Registro para el control de horas de trabajo	66
XXXVII.	Cuadro en excel (plan 1).....	70
XXXVIII.	Cuadro en excel (plan 2).....	71

XXXIX.	Continuación de figura 40 cuadro en excel (plan 2)	71
XL.	Formato de control de paros	72
XLI.	Listado de repuestos críticos.....	77
XLII.	Costos de mantenimiento promedio mensual	78
XLIII.	Consumo de agua	82
XLIV.	Consumo promedio de energía eléctrica.....	83
XLV.	Datos de gases de combustión	84
XLVI.	Actividades para optimizar el recurso del agua.....	90
XLVII.	Actividades para optimizar el recurso de energía	91
XLVIII.	Formato para diagnóstico de capacitación	94
XLIX.	Formato de asistencia	94
L.	Formato de puntuaciones	95
LI.	Formato de plan de capacitación	96
LII.	Formato de plan de calibraciones	97
LIII.	Formato programación de capacitación	98
LIV.	Costo de la propuesta	99

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
HP	Caballo de fuerza
°C	Grado centígrado
° F	Grado Fahrenheit
hr	Hora
Kg	Kilogramo
m³	Metro cúbico, unidad de volumen
m	Metro, unidad de longitud
mm	Milímetro, unidad de longitud
#	Número
PET	Polietilentereftalato
%	Porcentaje

GLOSARIO

BPM	Buenas prácticas de manufactura.
Compresor	Mecanismo que absorbe el aire a presión atmosférica, disminuyendo el volumen y aumentando su presión, utilizado especialmente en la industria para la automatización de ciertas máquinas.
EPP	Equipo de protección personal utilizado en la industria como: taponeras de oídos, gafas de seguridad, casco, guantes, botas de seguridad, entre otros.
Mantenimiento preventivo	Está basado en la programación de rutinas de mantenimiento a intervalos de tiempos definidos. Se realiza con el propósito de anticiparse a las fallas.
Neumática	Es la tecnología que emplea el aire comprimido como modo de transmisión de la energía necesaria para mover y hacer funcionar mecanismos.
Planta de tratamiento	Lugar donde se limpia y clarifica el agua sucia de la planta con diferentes químicos.

Rutinas de mantenimiento

Procedimiento de actividades ordenadas y sistemáticas para la ejecución del mantenimiento en una máquina.

Stock

Es un tecnicismo en inglés utilizado para designar un almacenamiento controlado de repuestos y materiales.

Tiempo muerto

Conocido en producción como el tiempo que se deja de producir o tiempo no programado como: falla en máquinas, falla de luz eléctrica, falta de personal.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación fue desarrollado para una línea de lavado de PET reciclado, y se basa en la necesidad de diseñar un programa de mantenimiento preventivo, utilizando horómetros para cada una de las máquinas que componen la línea de producción de lavado.

Se inicia con una breve descripción de las generalidades, para luego analizar la situación actual del mantenimiento que se le está realizando a las máquinas de la línea de lavado, donde se logra determinar que hace falta realizar un programa de mantenimiento preventivo en base a horas que ayude a mejorar la disponibilidad.

La implementación del programa de mantenimiento preventivo se realiza en base a los requerimientos de la maquinaria y manual de fabricante, para tener todas las máquinas en buenas condiciones operativas; así pueden brindar el servicio para la cual fueron diseñadas. Partiendo de esto se establecen enfoques fundamentales para darle punto de partida a un mantenimiento preventivo:

- Metodología del mantenimiento preventivo
- Mantenimiento preventivo

El plan de mantenimiento incluye la planificación, programación y frecuencia respectiva con las que se deben de realizar las tareas de mantenimiento de las máquinas, como también un *stock* de repuestos críticos, con el fin de que la realización de todas las rutinas de mantenimiento sean

efectuadas de manera eficiente, además de darle un seguimiento a la implementación del plan, mediante la utilización de formatos de control, tomando en cuenta que acciones preventivas y correctivas deben aplicarse para mejorar el proceso, cuando sea necesario, mediante el estudio de los registros.

En la parte ambiental se propone realizar ciertas actividades de mejora que va enfocado en el ahorro y reutilización de recursos, dentro de las cuales podemos mencionar: tratamiento de aguas para reutilizarla en el proceso y ahorro de energía eléctrica mediante la iluminación artificial.

OBJETIVOS

General

Realizar el plan de mantenimiento preventivo utilizando horómetro para optimizar el funcionamiento de una máquina lavadora de PET reciclado.

Específicos

1. Verificar la seguridad de los técnicos, antes de iniciar un mantenimiento.
2. Realizar una evaluación de las máquinas para determinar los procesos que se establecerán para el mantenimiento preventivo.
3. Diseñar procedimientos para la realización de los mantenimientos preventivos.
4. Definir reportes para revisión de parámetros de funcionamiento y evaluación física de los equipos.
5. Establecer formatos de mantenimientos preventivos menores y mayores en base a horas.

INTRODUCCIÓN

El reciclaje es un proceso en el cual se convierten los desechos en una nueva materia prima, componente clave en la reducción de desechos y es el tercer componente de las 3R ("reducir, reutilizar, reciclar") además reduce el uso de energía, reduce la contaminación, entre otros. En el presente trabajo nos enfocaremos en el *Diseño del Plan de Mantenimiento Preventivo de una Máquina Recicladora Lavadora de PET*.

Existen varios factores implicados en la elaboración y usos del PET que hacen que se considere como material no beneficioso para el medio ambiente. Los grandes volúmenes de producción actual de este material utilizan cantidades considerables de petróleo, una fuente valiosa y no renovable. Hay maneras de aprovechar los envases PET, una de ellas es un reciclado mecánico que se realiza mediante una separación manual, un prelavado, molienda, lavado y secado.

En el proceso de reciclaje de envases PET se necesita convertir los envases PET reciclados a hojuela mediante los procesos de lavado, molienda y secado mediante los cuales la calidad de la hojuela y la producción depende del buen estado de la máquina lavadora de PET. Para ello se requiere de un plan de mantenimiento adecuado para reducir el tiempo de paro no programado dentro de la línea de producción, así como para mantener los parámetros de operación para el correcto funcionamiento de la máquina.

Esto permite incrementar la rentabilidad del proceso ya que, el optimizar los tiempos muertos y disminuir los paros asociados a mantenimientos correctivos, tiene un alto potencial para reducir costos. Con la información que mostraremos se tiene como objetivo diseñar y programar un plan de mantenimiento preventivo adecuado en base a horas de trabajo para una Máquina lavadora de PET reciclado, alcanzando por lo menos el 90 % de disponibilidad para que su funcionamiento sea más eficiente.

1. GENERALIDADES

1.1 Historia del reciclaje de PET

El descubrimiento del polietilentereftalato (PET), fue patentado como un polímero para fibra por J. R. Whinfield y J. T. Dickson. Ellos investigaron los poliésteres termoplásticos en los laboratorios de la asociación Calicó Printers.

Durante el periodo de 1939 a 1941. Hasta 1939, este terreno era el gran desconocido pero a partir de ese año existía la suficiente evidencia acumulada favoreciendo la teoría que la micro cristalinidad era esencial para la formación de fibras sintéticas fuertes.

La producción comercial de fibra de poliéster comenzó en 1955; desde entonces, el PET ha presentado un continuo desarrollo tecnológico hasta lograr un alto nivel de sofisticación, basado en el espectacular crecimiento del producto a nivel mundial y la diversificación de sus posibilidades.

A partir de 1976, se le usa para la fabricación de envases ligeros, transparentes y resistentes, principalmente para bebidas. Sin embargo, el PET ha tenido un desarrollo extraordinario para empaques, se comenzó a utilizar para este fin a mediados de la década de los ochenta.

Los primeros envases de PET aparecen en el mercado alrededor del año 1977 y desde su inicio hasta nuestros días el envase ha supuesto una revolución en el mercado y se ha convertido en el envase ideal para la distribución moderna.

Por esta razón el polietilentereftalato se ha convertido hoy en el envase más utilizado en el mercado de la bebidas refrescantes, aguas minerales, aceite comestible y detergentes; también bandejas termo formadas, envases de salsas, farmacia, cosmética, licores, etc. Distintos estudios han demostrado que el envase de PET es muy competitivo en el consumo de energía y en la generación de residuos en comparación con otros materiales, la evolución tecnológica ha permitido el desarrollo de las siguientes etapas:

- Sustitución de otros materiales y evolución del peso del envase de PET.
- Desarrollo de la industria y de la tecnología de Reciclado.
- Desarrollo de mercados usuarios de PET.

El problema radica en que cuatro de cada cinco botellas de PET utilizadas van directamente a los basureros. Esto significa que solamente el 20 % del PET utilizado se recicla y esto es verdadero para países con alta conciencia ecológica. El problema está en países como el nuestro, donde se estima que se recicla del 7 a 9 %. Y esto es para la sociedad que más consume refresco en el mundo.

Una vez que se desecha una botella de PET, esta pasa a manos de recicladores que acopian el producto y lo separan de otros plásticos como el PVC, HDPE y LDPE.

Se separa por colores, en tres principales categorías: transparente, azul y verde, y, finalmente, una mezcla de los colores restantes. Cada categoría pasa a un triturador, donde se muele el PET y se vende a las compañías recicladoras. El PET con mayor valor en el proceso de reciclado es el transparente, lo sigue el verde y con menor valor el de color azul.

El mixto es el más económico. A continuación se detallan las actividades durante el proceso de reciclado del PET.

- Revisión/inspección. Se identifican y se eliminan contaminantes.
- Granulación/lavado. Se muele en el molino y se lava.
- Flotación. Proceso de separación física por diferencia de densidades entre el PET, las tapas y las etiquetas.
- Secado. proceso crítico pues la humedad afecta en los resultados esperados en el proceso de reciclado del PET.

1.2 Política ambiental

Se tiene conciencia y compromiso de generar cambios a través de acciones y procesos adecuados por medio de la planta lavadora de PET reciclado siendo ambientalmente amigables y responsables, buscando continuamente la excelencia, utilizando sistemas de gestión eficaces de calidad, inocuidad, salud y seguridad ocupacional, medio ambiente y responsabilidad social, con recurso humano altamente competente y comunicación efectiva, para obtener la confianza y la satisfacción de los clientes y de otras partes interesadas, respetando el marco legal y cumpliendo los compromisos acordados.

1.3 Actividad principal

Las operaciones de la planta están relacionadas al reciclaje de PET transparente por medio del acopio, clasificación, lavado, molido y secado, separando el PET transparente de otros colores y materiales contaminantes como el tapón y la etiqueta.

El proceso de lavado de PET reciclado consiste en un método mecánico que empieza por medio de una sección de prelavado donde se aplica agua abundante para la separación de una parte de los contaminantes adheridos a los diferentes productos. Posterior a esta, llega al área de molienda donde el envase PET se convierte en hojuela, continúa por la sección de lavado en caliente y por último se aplica el secado, descargando el producto en recipientes para su disposición y descarga.

Se realiza una serie de mediciones, análisis y conclusiones por parte del departamento de calidad que es el encargado de verificar los parámetros, determinando si el producto (hojuela) cumple con los requisitos de los clientes, recibiendo el producto con la calidad requerida. Por último, si el producto terminado cumple con los estándares de calidad, se traslada al departamento de logística, el cual es resguardado en el área de almacenaje de producto terminado para su disposición final.

Esta etapa es muy importante para la industria ya que siempre buscan la adquisición de productos de buena calidad. Para lograr este objetivo la actividad más importante es el acopio de materia prima PET post consumo clasificado; la maquinaria que conforma la línea de lavado requiere de al menos 600 toneladas durante un mes promedio de 30 días. Los diferentes departamentos, entre ellos comercialización, bodega, producción, mantenimiento y calidad están comprometidos para velar por la calidad del producto terminado, desde el acopio hasta su almacenamiento.

Para una mejor comprensión de cómo se realizan las actividades del proceso de lavado de PET reciclado, se realiza un diagrama de flujo en el que se indica las actividades principales:

Figura 1. Diagrama de flujo de lavado de PET reciclado.



Fuente: elaboración propia, con programa Word.

1.4 Conceptos generales

A continuación se presenta la descripción de cada uno de los conceptos que tienen injerencia en la elaboración del plan de mantenimiento para una máquina lavadora de PET de reciclado.

1.4.1 Definición de mantenimiento

Son todas las acciones que tienen como objetivo principal preservar un artículo, equipo o máquina, también lo podemos definir como llevar un activo a un estado en el cual se encuentre en buenas condiciones para que pueda realizar una acción para la cual fue diseñado.

El mantenimiento ha jugado un papel importante no solo en la industria sino también en situaciones cotidianas. Lo que realmente se desea lograr es tener a un equipo en buenas condiciones para que pueda prestar sus servicios cuando se necesite.

Para realizar el mantenimiento, es necesario contar con una planificación y organización y así mantener la disponibilidad de las máquinas por arriba del objetivo al menor costo posible.

Existen varios factores que causan la falla, los cuales podemos diferenciar en actos y condiciones.

Los actos son generados directamente por el recurso humano, como la mala operación, poco conocimiento y falta de atención de personal a la hora de intervenir en un mantenimiento, equipo inadecuado, entre otros.

Se puede decir que es todo aquello que se puede minimizar como una causa.

Las condiciones se puede decir que es todo aquello que no depende directamente del recurso humano, pero sí se puede evitar.

Los mantenimientos se pueden clasificar por tipos, entre los que podemos mencionar:

- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento predictivo

1.4.2 Mantenimiento correctivo

Es aquel que corrige los efectos observados en las máquinas, equipos e instalaciones. Consiste en localizar averías o defectos y repararlos.

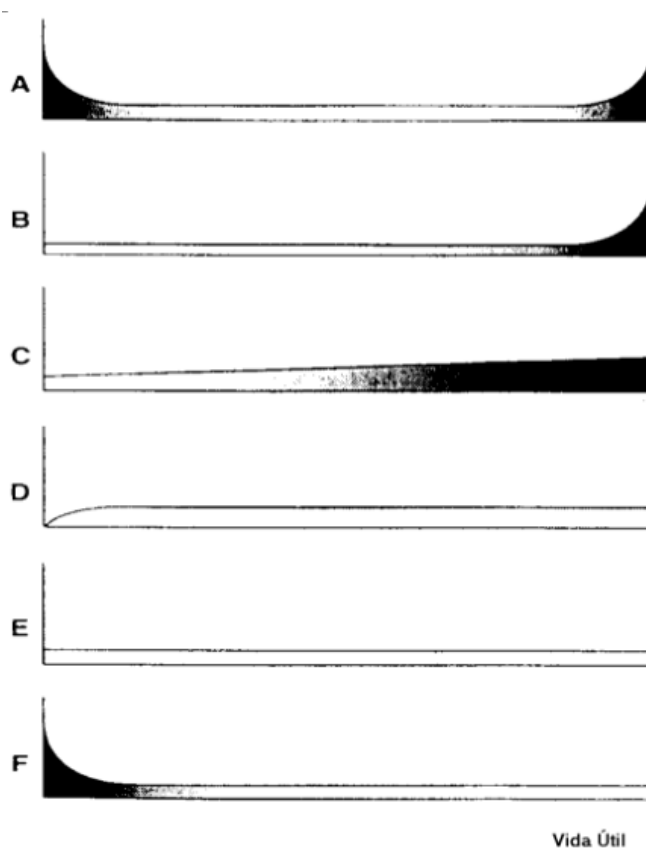
Este mantenimiento se realiza luego de que ocurre una falla en la máquina y por su naturaleza, no puede planificarse; esto representa altos costos por reparación y cambios de repuestos no presupuestados.

Dependiendo de la complejidad del equipo las fallas pueden ubicarse en diferentes categorías, las cuales incrementan el tiempo en reparación, paros no programados y más horas en mano de obra para solucionar las fallas.

Las categorías por causa de fallas pueden ser las siguientes:

- Defectos de diseño
- Defectos de materiales
- Manufactura o proceso de fabricación defectuosos
- Ensamblajes o instalación defectuosos
- Imprevisiones en las condiciones de servicio
- Mantenimiento deficiente
- Malas prácticas de operación

Figura 2. **Modelos de categorías de fallas**



Fuente: Modelos de fallas de equipos.

<http://www.monografias.com/trabajos13/mante/mante.shtml#mo>.

Consulta: 11 de noviembre de 2016

El modelo A es conocido como la curva de la bañera. Comienza con un período de mortalidad infantil (falla de infancia) que tiene una incidencia de falla alta que va decreciendo a medida que transcurre el tiempo; la frecuencia de falla disminuye hasta llegar a estabilizarse en un índice aproximadamente constante. Luego comienza el período de operación normal (falla aleatoria) donde el índice de fallas permanece aproximadamente constante y estas pueden ocurrir en cualquier edad. Por último ocurre el período de desgaste (falla por edad) que se caracteriza porque el índice de fallas aumenta a medida que transcurre el tiempo.

El modelo B es la llamada curva de la falla tradicional, donde el índice fallas aumenta a medida que transcurre el tiempo.

El modelo C se diferencia de los modelos A y B en que registra un deterioro constante desde el principio, con una probabilidad de falla que aumenta con el uso.

El modelo D corresponde a un elemento cuya probabilidad de falla es baja cuando es nuevo, luego ocurre un incremento rápido de falla seguido de un comportamiento aleatorio.

El modelo E representa un elemento que tiene la misma probabilidad de falla en cualquier momento y muestra que no hay relación entre la edad funcional de los equipos y la probabilidad de que fallen.

El modelo F es la llamada curva de la "J invertida", y combina la mortalidad infantil muy alta con nivel constante de falla, luego de esta dificultad inicial.

Las características de desgaste definitivo ocurren más a menudo en los equipos que están en contacto directo con el producto; en general estos modelos son aplicados a equipos sencillos. Los modelos D, E y F no están asociados al envejecimiento y se caracterizan porque después de un período inicial, la relación entre confiabilidad y la edad operacional es mínima o nula; estos modelos son típicos de los equipos de electrónica, hidráulica y neumática.

Desventajas:

- Personal de producción inactivo.
- Máquinas presentan mayor desgaste con respecto al tiempo.
- No hay existencia en repuestos.
- Presión por parte de distintos departamentos que puede llegar a ocasionar un error en el recurso humano.
- Basado a la necesidad de contar con un tiempo de reacción inmediato para corregir el problema, se pueden omitir normas de seguridad industrial, posicionando en situaciones de peligro, a las personas.
- Desperdicios ocasionados debido a la falta de los estándares de calidad del producto.

Sin embargo se debe mencionar que el mantenimiento correctivo es inevitable, se puede disminuir aunque exista un mantenimiento preventivo planificado; sin embargo ocurren fallas no previstas.

1.4.3 Mantenimiento preventivo

Este tipo de mantenimiento tiene como objetivo principal localizar las posibles averías por medio de revisiones programadas y adelantarse a ellas mitigando las consecuencias de las fallas, garantizando el correcto funcionamiento de las máquinas, evitando así el retraso producido por las

averías y aumentando la vida útil hasta en un 50 %. Este mantenimiento nos puede ayudar para mejorar la productividad hasta un 25 % y reducir en un 30 % los costos relacionados a mantenimiento.

Para una planificación adecuada del mantenimiento es importante contar con el apoyo de todo el personal de los distintos departamentos, ya que la base del mantenimiento preventivo está en función del tiempo. Es necesario llevar un control en caso que se presente una anomalía para realizar análisis y poder corregirla; para esto se pueden realizar distintos documentos como disponibilidad de los equipos, verificación del cumplimiento del programa de mantenimiento preventivo, verificación del cumplimiento de tareas asignadas al mantenimiento, control de fallas relacionadas a mantenimientos correctivos, su respectivo análisis y seguimiento a la medida preventiva para poder evitar que ocurran de nuevo las fallas, realizando así una mejora al programa de mantenimiento.

Este mantenimiento tiene ventajas, entre las cuales se pueden mencionar:

- Menor costo en reparación
- Se llegan a conocer puntos críticos de las máquinas.
- Aumenta su vida útil hasta en un 50 %.
- Disminución de tiempos muertos ocasionados por mantenimientos correctivos.

1.4.4 Mantenimiento predictivo

Consiste en una serie de acciones y técnicas que se realizan para determinar un tipo de aviso que darán las máquinas antes de que fallen, con el objetivo de predecir los síntomas para después tomar decisiones de reparación o cambio, antes de que ocurra la falla.

El requisito para que se pueda aplicar una técnica predictiva es que el fallo incipiente genere señales o síntomas de su existencia, tales como alta temperatura, ruido, ultrasonido, vibración, partículas de desgaste y alto amperaje, entre otras. Las técnicas para detección de fallos y defectos en maquinaria varían, desde la utilización de los sentidos humanos (oído, vista, tacto y olfato), hasta la utilización de datos de control de proceso y de control de calidad, el uso de herramientas estadísticas y técnicas de moda como el análisis de vibración, la termografía, el análisis de circuitos de motores y el ultrasonido.

El mantenimiento predictivo se utiliza como información para un adecuado mantenimiento preventivo. El uso de instrumentos permite anticipar problemas tales como:

- Sustituir de manera rutinaria partes de la máquina para estar seguros.
- Estimar tiempo de vida para los rodamientos, tanques motores entre otros.
- Comprobar si la máquina está operando bajo los parámetros de producción adecuados.

Como ventajas de este mantenimiento se pueden mencionar:

- Realizar reparaciones solo cuando sea necesario
- Debido a que las reparaciones se realizan cuando es necesario el tiempo de operación de la máquina aumenta.
- Se pueden realizar reparaciones sencillas antes de que a la máquina le ocurra un daño severo.

Este mantenimiento se realiza por medio de pasos según se requiera de acuerdo al análisis que se realiza con los datos obtenidos de los ensayos no destructivos.

1.4.5 Costo de mantenimiento

La finalidad básica al hablar de la gestión de costos, es estimular la optimización del uso de mano de obra, cantidad de materiales y minimizar tiempos de paro.

El concepto de costeo se refiere a un proceso que ocurre en un sistema que refleja una cifra que nos muestra el desempeño puntual de un mantenimiento, el tiempo y la utilización de recursos que se utilizan para realizar dicha acción, los costos de mantenimiento pueden ser útiles en dos sentidos: para evaluar resultados internos de la organización de mantenimiento y para evaluar la inversión con los resultados operativos de la empresa.

El objetivo de mantenimiento de acuerdo a costos no es conocer los costos totales, si no poder precisar su distribución por diferentes conceptos de uso como: áreas operativa, equipos, causa de falla, tipos de trabajos, origen del trabajo, entre otros. Si se conocen los costos y los resultados, se pueden establecer metas y objetivos.

Es importante conocer los costos incurridos en la gestión de mantenimiento, permite visualizar la barrera entre la competitividad y la ruina. Según la naturaleza del costo de mantenimiento se puede clasificar por:

- Realización de intervenciones.
- Defectos en la calidad de mantenimiento.
- Costos de almacenamiento de repuestos en bodega.

- Inversiones de mantenimiento.
- La estructura del costo de mantenimiento está compuesta por el costo global de mantenimiento (CGM).
- Costos de inversiones de mantenimiento (CIM).
- Costos de fallas por mantenimiento (CFM).
- Costo de almacenamiento de mantenimiento (CAM).
- Amortización de inversiones de mantenimiento (AIM).

$$\text{CGM} = \text{CIM} + \text{CFM} + \text{CAM} + \text{AIM}$$

Los costos directos de mantenimiento, tomando como base la curva costo de mantenimiento, indica en el eje horizontal el avance del tiempo y en el eje vertical el aumento del desgaste de las máquinas, por lo tanto aumenta la mano de obra, exigiendo cambio de repuestos cada vez más caros, por lo que la curva muestra una tendencia ascendente. Conforme al uso de la máquina, sus condiciones físicas van sufriendo desgastes hasta el final de su vida útil.

Si el mantenimiento es ejecutado en forma adecuada, los paros no programados del equipo tienden a disminuir con el transcurso del tiempo hasta llegar a un punto mínimo que se constituye el punto de equilibrio. A partir de este punto se incrementa nuevamente.

1.5 Departamento de mantenimiento

Este departamento es el que se encarga y es responsable de tener en buenas condiciones toda la maquinaria y equipo, mantenimiento a infraestructura e instalaciones, control de calibración y mantenimiento de los equipos de medición. Así como también, es el encargado de planificar, prever,

ejecutar, supervisar, medir y entregar resultados de los proyectos que la gerencia requiera dentro de las instalaciones.

Este departamento también tiene a su cargo la limpieza de las instalaciones de la planta, posee personal de una empresa externa que se encarga de dicha tarea.

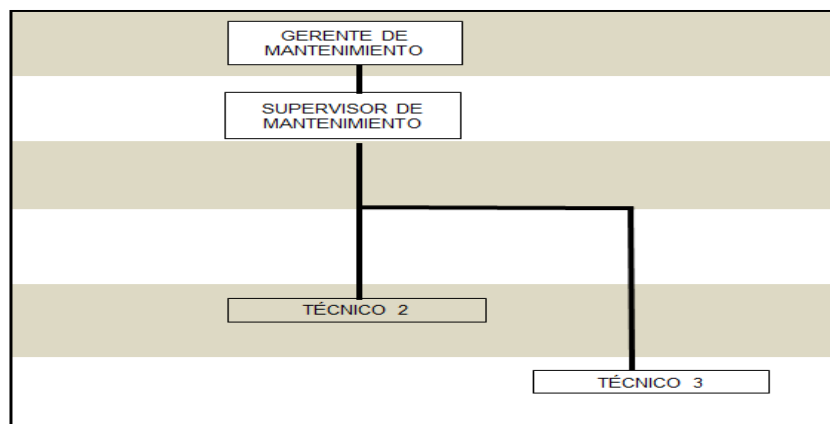
1.5.1 Estructura de mantenimiento

El departamento de mantenimiento está organizado de la siguiente manera: gerente de mantenimiento, supervisor de mantenimiento y técnicos.

Actualmente el equipo técnico del Departamento de Mantenimiento está conformado por 6 técnicos, los cuales son multifuncionales pero con una especialidad técnica como: mecánicos, eléctricos, electrónicos y operador de caldera.

Todas las actividades relacionadas a mantenimiento están dirigidas por el supervisor de mantenimiento y este le reporta al gerente de mantenimiento.

Figura 3. **Organigrama del Departamento de Mantenimiento**



Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

1.5.2 Proceso de mantenimiento

Se tiene como propósito ejecutar y verificar el mantenimiento preventivo para todas las máquinas, equipos e infraestructura que directamente están involucradas en el proceso productivo, así como control de calibración de los equipos de medición. Para garantizar la disponibilidad de las máquinas y equipos requeridos en el proceso productivo y disminuir el tiempo de paro por fallas o paros no programados.

Es válido para toda máquina, equipo o instalación, que directamente está relacionada con el proceso productivo en el área de Lavado de PET reciclado.

El supervisor de mantenimiento es el que asigna todas las tareas asociadas al mantenimiento preventivo; los técnicos reciben las indicaciones, las realizan e informan al terminar el mantenimiento. En caso exista algún inconveniente con repuestos el supervisor de mantenimiento es el encargado de proporcionar los repuestos necesarios y reprogramar las actividades pendientes; sin embargo las actividades asociadas a mantenimientos preventivos se realizan en base a fechas ya programadas y no en base al uso (tiempo de operación de la máquina).

Se tiene como finalidad mantener operables las máquinas e instalaciones, o restablecer las condiciones de funcionamiento las máquinas con eficiencia y eficacia para obtener la máxima productividad. Teniendo como objetivos la disponibilidad de los equipos, mantener una buena calidad del producto terminado, cumplir con todas las normas de seguridad y maximizar la productividad. Para cumplir con esto se debe de implementar un plan de mantenimiento preventivo, utilizando la lectura del horómetro para determinar el tiempo de funcionamiento de las máquinas.

Actualmente se programan los mantenimientos en base a fechas, esto ocasiona que se realicen mantenimientos preventivos, aunque la máquina permaneció determinado tiempo en estado de reposo. Lo anterior perjudica la gestión del Departamento de Mantenimiento, por la recurrencia de gastos en mano de obra de mantenimiento, mayor consumo en repuestos y materiales, menos productividad por mayor número de paros por mantenimiento preventivos, basados en fechas y no en horas.

2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO

2.1 Área de recepción

El departamento encargado de esta área es el Departamento de Logística. En el área de recepción, se recibe toda la materia prima, se pesan las pacas o jumbos que las empresas recolectoras suministran, se divide según el tipo de material ya que se recibe PET de aceite, PET natural post consumo (como de bebidas carbonatadas) y PET de color gris; luego se almacena y se le da ingreso al sistema para que la materia prima esté disponible para el Departamento de Producción.

Otras de las tareas que se tiene es el ingreso y almacenaje de repuestos para las máquinas, los cuales se tienen en la bodega de almacenaje de repuestos de la planta. Se puede observar que, debido a la distancia y a la localización de la línea de lavado de PET reciclado y al mal manejo de máximos y mínimos de repuestos en bodega, se tiene el inconveniente en algunos repuestos de compra local, los cuales no se encuentran en la bodega, ya que los proveedores, por la distancia, no proporcionan el servicio de entrega de repuestos en el área.

Se debería de analizar o negociar con distintos proveedores para que puedan cubrir emergencias, contar con los repuestos necesarios en bodega y también realizar un análisis de repuestos críticos de la línea de lavado de PET, para evitar paros ocasionados por repuestos críticos.

2.2 Maquinaria y equipo

El trabajo realizado por parte de las máquinas de la línea de lavado de PET reciclado es alto y desgastante, debido al ambiente en el cual operan. Entre las máquinas de la línea que juegan un papel importante podemos mencionar:

- Bandas transportadoras
- Deballer
- Lavadoras
- Tornillos sin fin
- Separador de tapones
- Tambor de agua
- Tamiz vibrante
- Tinajas de recogida de agua
- Ventilador
- Detector- autosort
- Detector de metales
- Molino
- Tina de lavado
- Centrifugadoras
- Ciclón
- Silos
- Unidad para el tratamiento en caliente
- Lavadora horizontal
- Válvulas estrella
- Generador de aire caliente
- Secador
- Cernedora magnética

- Detector de metales
- Seleccionadora óptica futura

El funcionamiento de estas máquinas es en línea, considerando el proceso como crítico, por lo anterior es necesario mantener los equipos en condiciones óptimas para su buen funcionamiento ya que si un equipo falla se detiene todo el proceso de lavado de PET . Por lo tanto es importante tener un plan de mantenimiento eficiente y eficaz para evitar estos inconvenientes.

- Bandas transportadoras: la línea de lavado cuenta con 8 bandas y su función es transportar el material de una máquina a otra.
- Deballer: la función principal de esta máquina es desgarrar o separar el PET que viene en forma de paca o fardo y asegurar una dosificación de material constante, a las siguientes máquinas de la línea.
- Lavadoras: la función principal de esta máquina, como su nombre lo indica, es lavar el material por medio de agua y de una acción centrífuga producida por un rotor.
- Tornillos sin fin: este tiene como función transmitir movimiento, transportar de un lugar a otro el material y también separar el agua para enviarla a un sistema de tratamiento.
- Separador de tapones: tiene la función de separar por flujo la mayor parte de los contaminantes de pequeñas dimensiones (tapones etiquetas, remanente.) los cuales son retirados por la parte inferior, mientras el flujo de PET continúa constante.

- Tambor de agua: este trabaja con inyección de agua y también permite la separación de una parte de los contaminantes, enviándolos a la descarga inferior del flujo de material que es enviado a la salida de la máquina.
- Tamiz vibrante: este recoge, con ayuda del tornillo sin fin, el flujo de agua y contaminantes que salen, después del proceso del tambor de agua, a un sistema de tratamiento que se compone de tinajas.
- Tinajas de recogida de agua: estas tinajas contienen agua con la dosificación de soda para ser reutilizadas en el proceso de lavado, en el tambor de agua.
- Ventilador: este tiene como función aspirar por medio de una campana de aspiración, las etiquetas y contaminantes ligeros contenidos en el producto.
- Detector - *autosort*: este desecha el material no requerido. Según lo establecido por el operador del equipo, lo desecha por color, por tipo de material, y permite su retiro; mientras el material PET transparente continúa para las siguientes fases del tratamiento.
- Detector de metales: como su nombre lo indica, la función es detectar elementos metálicos que se encuentran dentro de los envases PET y desviarlos antes de entrar al molino.

- Molino: la función del molino es moler o reducir de tamaño el envase PET a hojuela, por medio de cuchillas e inmersión de agua.
- Tina de lavado: aquí los contaminantes ligeros flotan y son transportados por una serie de rodillos hacia la salida de la tina, donde hay un rodillo de extracción, y lo envía al sin fin de drenaje. Al mismo tiempo, el molido de PET se precipita al fondo de la tina donde es empujado hacia la extremidad. Se extrae por medio de otro tornillo sin fin.
- Centrifugadora: esta es alimentada por el PET molido que realiza una limpiadura en agua por medio de la acción de centrifugado transmitido por un rotor.
- Ciclón: este tiene como función principal seguir con el proceso de separación del líquido y sólido (decantación).
- Silos: Estos se utilizan para almacenaje, pero cuentan con un sistema de agitación interior.
- Unidad para el tratamiento en caliente: esta cuenta con dos tanques internos en cada uno, ingresa material 0,5 metros cúbicos aproximadamente. El material es lavado en caliente, utilizando agua recalentada, en la cual se utiliza vapor para aumentar su temperatura, además se adhieren aditivos al agua como antiespuma, en un tanque de manera intermitente.
- Lavadora horizontal: esta lavadora tiene la misma función que las otras lavadoras mencionadas anteriormente, con la diferencia que

tiene como objetivo enjuagar el PET por medio de una acción de centrifugado, producido por un rotor eliminando la mayor parte de agua que contiene el material.

- Válvula estrella: es un componente que sirve para la descarga continua de productos granulados que viene del silo o tolva.
- Generador de aire caliente, secador: este trabaja con aire recalentado que realiza el flujo de aire recalentado por medio de un ventilador. Como su nombre lo indica es para retirar todo tipo de humedad del PET molido.
- Cernedora magnética, Detector de metales: estos son los encargados de separar, por el flujo de posibles residuos ferrosos o residuos metálicos, después del proceso de molido y antes de la descarga.
- Seleccionadora óptica futura: nos ayuda a controlar todo el ciclo necesario para indicar y separar el material de desecho de flujo general de las escamas de PET, permitiendo recogerlas.

2.3 Gestión de mantenimiento

De acuerdo a lo evaluado en planta con respecto a la implementación de sistema de mantenimiento, dio como resultado los siguientes detalles.

Se encuentra la necesidad de crear, documentar e implementar un plan de mantenimiento preventivo de la maquinaria y equipo, utilizando el horómetro, cuyo propósito es obtener por lo menos el 90 % de disponibilidad de la maquinaria.

También se analizó que existe falta de organización en el departamento de bodega para llevar el control de inventario de repuestos de las máquinas, por lo que es necesario realizar una planificación y anticipación de los repuestos críticos, para evitar paros no programados, debido a la falta de los repuestos.

No se cuenta con un sistema tecnológico que permita llevar a cabo la función de mantenimiento de una manera más eficiente, por lo anterior se realizara un sistema utilizando la herramienta de Excel de la programación de mantenimiento.

2.3.1 Mano de obra

El Departamento de Mantenimiento cuenta con 6 técnicos y un supervisor, los técnicos en mantenimiento no tienen relación directa con el gerente de mantenimiento toda información es trasladada a través del supervisor.

Debido a que se realiza todo tipo de mantenimiento, desde infraestructura hasta proyectos, la cantidad de personas en el área no es suficiente ya que también quedan algunas tareas pendientes en el área administrativa.

2.3.2 Medio ambiente

Los operadores de las máquinas no cuentan con el procedimiento para la realización de los mantenimientos.

No se dispone de algún sistema herramienta informática/tecnológica para llevar un mejor control para el procesamiento de la información de la ejecución de los mantenimientos preventivos y correctivos.

En la organización del Departamento de Mantenimiento no se cuenta con un programa de mantenimientos preventivos semanales para que el Departamento de Producción esté enterado y así llegar a mutuo acuerdo para la realización de los mismos.

2.3.3 Materiales

La planta cuenta con los recursos económicos para apoyar al Departamento de Mantenimiento, sin embargo como todo proceso dependen de la materia prima que en este caso es el acopio del PET reciclado, la producción y ventas.

En el Departamento de Bodega existe desorganización, por lo tanto hay problema con los registros de inventario en la bodega en sitio.

2.3.3.1 Equipo de protección personal

Son todos aquellos dispositivos, accesorios y vestimentas de diferentes diseños que emplean para proteger a todo personal operativo de posibles lesiones. En el caso de las instalaciones de la planta, es obligatorio el uso de casco, botas industriales punta de acero, y tapones para oídos. A continuación se describen algunas protecciones que son necesarias, dependiendo la actividad a realizar:

- 1) Protección a la cabeza (casco).
- 2) Protección de ojos y cara. (lentes protectores o careta para soldar).
- 3) Protección de oídos. (tapones para oídos).
- 4) Protección de las vías respiratorias. (mascarillas).
- 5) Protección de manos (guantes).
- 6) Protección de pies (botas de seguridad punta de acero).

- 7) Cinturones de seguridad para trabajo en altura. (arnés).
- 8) Ropa de trabajo. (pantalón de lona y camisa).
- 9) Cinturón para su protección lumbar.

Figura 4. **Equipo de protección personal**



Fuente: Equipos de Protección Personal. http://www.paritarios.cl/especial_epp.htm.
Consulta: 18 de octubre de 2016.

2.3.4 Planificación de mantenimiento con base en horas

Actualmente se cuenta con una planificación que es en base a fechas, esto ocasiona que la máquina esté en reposo, sea programada para mantenimiento, perdiendo tiempo y recursos (horas hombre, repuestos y materiales), para una mejor planificación del mantenimiento preventivo, se propone instalar horómetros en las máquinas y programar en base al tiempo de uso de cada máquina.

No se dispone de algún sistema de herramienta informática/tecnológica para llevar un mejor control en el procesamiento de la información de la ejecución de los mantenimientos preventivos y correctivos.

Actualmente no se cuenta con un estudio de las necesidades de mantenimiento relacionada a paros (tiempos muertos) ocasionados por mantenimientos correctivos, generando la necesidad de verificar las fallas críticas por máquina y realizar un seguimiento para eliminar dichas fallas y así aumentar la disponibilidad.

2.3.5 Métodos

El mantenimiento programado no se realiza de manera correcta debido a que el mantenimiento se programa en base a fechas, generando demasiados mantenimientos que realizar; por lo tanto la producción no permite realizar todos los mantenimientos.

No existe una programación semanal o mensual para que los técnicos y producción se mantengan informados de los mantenimientos que están programados con anticipación; esto perjudica la correcta planificación para la adquisición de repuestos, con los cuales poder realizar los mantenimientos, siendo reflejado en un manejo eficiente del inventario de repuestos. Actualmente no se cuenta con anticipación de repuestos para la realización de los mismos.

2.3.6 Mantenimiento programado

Actualmente está definido un sistema de mantenimiento programado con una frecuencia determinada en base a fechas establecidas.

De acuerdo análisis se concluye que el problema central para la línea de lavado de PET reciclado son paros ocasionados por mantenimientos correctivos.

En base a esto, se determinó que una de las causas, raíz de mayor impacto que incide directamente en las fallas, es ocasionada por la mala programación de los mantenimientos preventivos. Al resolver este problema, se disminuirán problemas de los paros imprevistos, aumentando la disponibilidad de la maquinaria y equipo.

2.4 Propuesta de plan de mantenimiento programado

De acuerdo al análisis, y al determinar la causa/raíz de la situación actual del mantenimiento, se propone realizar un plan de mantenimiento preventivo, utilizando horómetro para optimizar el funcionamiento de la máquina lavadora de PET reciclado.

Se realizará una programación de mantenimiento preventivo básica en Excel, previo a la implementación una herramienta tecnológica para la programación de los mismos.

Con esto se espera reducir los paros generados por mantenimientos correctivos y alcanzar por lo menos el 90 % de disponibilidad de la línea de lavado de PET reciclado.

Obtener una mejor organización en repuestos críticos en base a una planificación de repuestos críticos de la maquinaria.

2.4.1 Codificación de maquinaria

Cada máquina y equipo debe de disponer de un código de bodega o cuenta que facilite la localización y que permita llevar un control donde se pueda cargar los repuestos utilizados en el mantenimiento.

Para llevar un control de gastos por máquina, la estructura de la cuenta para la línea de lavado de PET reciclado la podemos observar en la siguiente tabla.

Tabla I. **Escritura de cuenta área de lavado de PET reciclado**

DESCRIPCION DE MAQUINA	PLANTA	DEPARTAMENTO	FAMILIA	MAQUINA
LÍNEA DE LAVADO	421	7228	82	12
	LAVADO	PRODUCCION MOLIENDA	MANTENIMIENTO MECANICO MAQUINARIA Y EQUIPO	LAVADORA

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Esta cuenta nos indica la ubicación de la máquina, en este caso se encuentra en la planta de lavado, en el Departamento de Producción-molienda y le pertenece a la familia de mantenimiento para cargar un repuesto a la máquina lavadora. La podemos escribir de la siguiente manera 121-5237-61-12 los números pueden no ser correlativos.

En mantenimiento se debería utilizar por lo menos cuatro familias:

- Familia 61, Mantenimiento mecánico maquinaria y equipo.
- Familia 63, Sostentamiento y reparación mobiliario y equipo.
- Familia 127, Implementos y equipo de trabajo
- Familia 152, Papelería de oficina.

Es importante tener un sistema tecnológico para llevar un mejor control de las entradas y salidas en bodega de los repuestos, en base a la codificación de la maquinaria.

2.4.2 Rutinas

En estos documentos se incluyen todas las acciones para el mantenimiento preventivo de las máquinas que componen la línea de lavado de PET reciclado.

Tabla II. **Rutina de mantenimiento preventivo para cinta transportadora de tableros metálicos**

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:		Fecha Programada:	
Técnico Responsable:		Firma técnico:		Fecha Realizado:	
Hora inicio:		Hora final:		Tiempo Empleado:	
CINTA TRANSPORTADORA DE TABLEROS METALICOS				FRECUENCIA	verificado (✓)
1	Lubricación de rieles			360 hr	
2	Lubricación de chumaceras			720 hr	
3	Nivelación de aceite a caja reductora			720 hr	
4	revisión de chumaceras			1440 hr	
5	revisión de pintura de banda			1440 hr	
6	revisión de rodamientos de banda			1440 hr	
7	revisión de estado de aceite de caja reductora			1440 hr	
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Tabla III. Rutina de mantenimiento preventivo para *deballer*

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:	Fecha Programada:		
Técnico Responsable:		Firma técnico:	Fecha Realizado:		
Hora inicio:		Hora final:	Tiempo Empleado:		
DEBALLER			FRECUENCIA	verificado (✓)	
1	Limpieza interior		360 hr		
2	Lubricación de chumaceras		720 hr		
3	Nivelación de aceite a caja reductora		720 hr		
4	Revisión de chumaceras		8760 hr		
5	Revisión de pintura en general		8760 hr		
6	Revisión de estado de aceite a caja reductora		8760 hr		
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Tabla IV. Rutina de mantenimiento preventivo para cinta transportadora

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:		Fecha Programada:	
Técnico Responsable:		Firma técnico:		Fecha Realizado:	
Hora inicio:		Hora final:	Tiempo Empleado:		
CINTA TRANSPORTADORA				FRECUENCIA	verificado (✓)
1	Limpieza de superficie de banda (TAPIZ)			168 hr	
2	Lubricación de rieles			360 hr	
3	Tensión de banda transportadora (TAPIZ)			720 hr	
4	Lubricación de chumaceras			720 hr	
5	nivelación de aceite de reductor			720 hr	
6	Revisión de chumaceras			8760 hr	
7	Revisión de estado de aceite de reductor			8760 hr	
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Tabla V. Rutina de mantenimiento preventivo para *iperwash*

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:		Fecha Programada:	
Técnico Responsable:		Firma técnico:		Fecha Realizado:	
Hora inicio:		Hora final:	Tiempo Empleado:		
IPERWASH				FRECUENCIA	verificado (✓)
1	Lubricación de chumaceras			720 hr	
2	Tensión de fajas			720 hr	
3	Chequeo de electroválvulas			720 hr	
4	Lubricación de cojinetes de motor			720 hr	
5	Cambio de chumaceras			8760 hr	
6	Cambio de fajas			8760 hr	
7	Limpieza de electroválvulas			8760 hr	
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Tabla VI. Rutina de mantenimiento preventivo para bomba de *iperwash*

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:	Fecha Programada:		
Técnico Responsable:		Firma técnico:	Fecha Realizado:		
Hora inicio:		Hora final:	Tiempo Empleado:		
BOMBA DE IPERWASH			FRECUENCIA	verificado (✓)	
1	Chequeos de fugas de agua por sellos mecánicos o estoperos		720 hr		
2	Lubricación de cojinetes		720 hr		
3	Revisión de cojinetes		8760 hr		
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Tabla VII. Rutina de mantenimiento preventivo para sin fin arena

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:	Fecha Programada:		
Técnico Responsable:		Firma técnico:	Fecha Realizado:		
Hora inicio:		Hora final:	Tiempo Empleado:		
SIN FIN ARENA			FRECUENCIA	verificado (✓)	
1	Lubricación de chumaceras		720 hr		
2	Nivelación de aceite a caja reductora		720 hr		
3	Revisión de chumaceras		8760 hr		
4	Revisión de estado de aceite de reductor		8760 hr		
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Tabla VIII. Rutina de mantenimiento preventivo para separador de tapones

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:	Fecha Programada:		
Técnico Responsable:		Firma técnico:	Fecha Realizado:		
Hora inicio:		Hora final:	Tiempo Empleado:		
SEPARADOR DE TAPONES			FRECUENCIA	verificado (✓)	
1	Limpieza de filtro soplador		168 hr		
2	Nivelación de aceite de caja reductora		720 hr		
3	Nivelación de sistema lubricador de cadenas		720 hr		
4	Tensión de cadena		720 hr		
5	Lubricación de chumaceras		720 hr		
6	Revisión de ejes de rodillo separadores		720 hr		
7	Revisión de rodillos separadores		8760 hr		
8	Revisión de chumaceras		8760 hr		
9	Revisión de cadena		8760 hr		
10	Revisión de sproket de rodillos separadores		8760 hr		
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Tabla IX. Rutina de mantenimiento preventivo para tambor de agua

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:	Fecha Programada:		
Técnico Responsable:		Firma técnico:	Fecha Realizado:		
Hora inicio:		Hora final:	Tiempo Empleado:		
TAMBOR DE AGUA			FRECUENCIA	verificado (✓)	
1	Limpieza de tambor rodante		168 hr		
2	Tensión de fajas		720 hr		
3	Engrase de soporte de rodillos		720 hr		
4	Revisión de ruedas de control axial del tambor		720 hr		
5	Nivelación de aceite a reductores de tracción		720 hr		
6	Lubricación de chumaceras		720 hr		
7	Revisión de soldaduras del tambor Rodante		720 hr		
8	Revisión de electroválvulas		720 hr		
9	Limpieza interna de electroválvulas		2160 hr		
10	Cambio de fajas		8760 hr		
11	Cambio de soportes de rodillos		8760 hr		
12	Reemplazo de ruedas de control axial tambor		8760 hr		
13	Remplazo de ruedas de transmisión		8760 hr		
14	Revisión de estado de aceite de reductores de tracción		8760 hr		
15	Revisión de chumaceras		8760 hr		
16	Reemplazo de cargadores de tambor rodante		8760 hr		
17					
18					
19					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Tabla X. Rutina de mantenimiento preventivo para tamiz vibrante

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:		Fecha Programada:	
Técnico Responsable:		Firma técnico:		Fecha Realizado:	
Hora inicio:		Hora final:	Tiempo Empleado:		
TAMIZ VIBRANTE				FRECUENCIA	verificado (✓)
1	Revisión de tensión de malla		168 hr		
2	Limpieza de tubería de salida		168 hr		
3	Lubricación de vibrador		720 hr		
4	Chequeo de tensión de resortes		720 hr		
5	Reemplazo de malla		2160 hr		
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Tabla XI. Rutina de mantenimiento preventivo para tinas de recogida agua y bomba

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:	Fecha Programada:		
Técnico Responsable:		Firma técnico:	Fecha Realizado:		
Hora inicio:		Hora final:	Tiempo Empleado:		
TINAS DE RECOGIDA AGUA Y BOMBA				FRECUENCIA	verificado (✓)
1	Revisión de tuberías de alimentación			168 hr	
2	Limpieza de tina			360 hr	
3	Limpieza interna para sacar solidos			360 hr	
4	Chequeo de fugas de agua por sellos mecánicos			720 hr	
5	Lubricación de cojinetes			720 hr	
6	Cambio de sello mecánico			8760 hr	
7	Cambio de cojinetes			8760 hr	
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Tabla XII. Rutina de mantenimiento preventivo para bomba-rs

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:		Fecha Programada:	
Técnico Responsable:		Firma técnico:		Fecha Realizado:	
Hora inicio:		Hora final:	Tiempo Empleado:		
BOMBA-RS				FRECUENCIA	verificado (✓)
1	Revisión de tuberías de alimentación			168 hr	
2	Limpieza de criba iperwash			168 hr	
3	Revisión de fugas de agua por sellos mecánicos			720 hr	
4	Lubricación de cojinetes			720 hr	
5	Cambio de sello mecánico			8760 hr	
6	Revisión de cojinetes			8760 hr	
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Tabla XIII. Rutina de mantenimiento preventivo para ventilador

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:	Fecha Programada:		
Técnico Responsable:		Firma técnico:	Fecha Realizado:		
Hora inicio:		Hora final:	Tiempo Empleado:		
VENTILADOR				FRECUENCIA	verificado (✓)
1	Limpieza de campanas de aspiración		168 hr		
2	Limpieza de mangueras de salida de succión		360 hr		
3	Lubricación de chumaceras		720 hr		
4	Lubricación de cojinetes motores		720 hr		
5	revisión de tensión de fajas		720 hr		
6	revisión de estado de cojinetes		4320 hr		
7	revisión de estado de fajas		8760 hr		
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Tabla XIV. Rutina de mantenimiento preventivo para cinta transportadora de almacenaje

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:		Fecha Programada:	
Técnico Responsable:		Firma técnico:		Fecha Realizado:	
Hora inicio:		Hora final:	Tiempo Empleado:		
CINTA TRANSPORTADORA DE ALMACENAJE				FRECUENCIA	verificado (✓)
1	Lubricación de rieles			168 hr	
2	Limpieza de parte inferior de silo horizontal			168 hr	
3	Lubricación de chumaceras			360 hr	
4	Lubricación de cabrestante de cierre			360 hr	
5	Revisión de nivel de aceite a caja reductora			720 hr	
6	Cambio de chumacera			8760 hr	
7	Cambio de aceite a caja reductora			8760 hr	
8	cambio de rodamientos de banda			8760 hr	
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Tabla XV. Rutina de mantenimiento preventivo para cinta transportadora

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:		Fecha Programada:	
Técnico Responsable:		Firma técnico:		Fecha Realizado:	
Hora inicio:		Hora final:	Tiempo Empleado:		
CINTA TRANSPORTADORA			FRECUENCIA	verificado (✓)	
1	Lubricación de chumaceras		360 hr		
2	Revisión y Limpieza de rodillos de banda		360 hr		
3	Revisión de nivel de aceite a caja reductora		720 hr		
4	Cambio de chumacera		8760 hr		
5	Cambio de aceite a caja reductora		8760 hr		
6	cambio de rodamientos de banda		1440 hr		
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Tabla XVI. Rutina de mantenimiento preventivo para detector-*autosort*

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:		Fecha Programada:	
Técnico Responsable:		Firma técnico:		Fecha Realizado:	
Hora inicio:		Hora final:	Tiempo Empleado:		
DETECTOR-AUTOSORT				FRECUENCIA	verificado (✓)
1	Revisión de fugas y presión de aire comprimido			168 hr	
2	Limpieza de espejos titech			168 hr	
3	Limpieza de tarjetas electrónicas			720 hr	
4	revisión de electroválvulas			720 hr	
5	revisión de lámparas detector de color			720 hr	
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Tabla XVII. Rutina de mantenimiento preventivo para cinta transportadora NTP

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:		Fecha Programada:	
Técnico Responsable:		Firma técnico:		Fecha Realizado:	
Hora inicio:		Hora final:		Tiempo Empleado:	
CINTA TRANSPORTADORA - NTP				FRECUENCIA	verificado (✓)
1	Limpieza externa de detector de metales METRON 05 D			168 hr	
2	Lubricación de chumaceras			360 hr	
3	Revisión y Limpieza de rodillos de banda			360 hr	
4	Revisión de nivel de aceite a caja reductora			720 hr	
5	Cambio de chumacera			8760 hr	
6	Cambio de aceite a caja reductora			8760 hr	
7	cambio de rodamientos de banda			8760 hr	
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Tabla XVIII. Rutina de mantenimiento preventivo para molino

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:		Fecha Programada:	
Técnico Responsable:		Firma técnico:		Fecha Realizado:	
Hora inicio:		Hora final:	Tiempo Empleado:		
MOLINO			FRECUENCIA	verificado (✓)	
1	Limpieza externa de molino		168 hr		
2	Revisión de criba		168 hr		
3	Revisión de <i>microswitch</i>		360 hr		
4	Revisión de electroválvulas		360 hr		
5	Lubricación de cojinetes motor principal		720 hr		
6	Lubricación de rotor		720 hr		
7	Revisión de tensión de fajas		720 hr		
8	Revisión de paro de emergencia		720 hr		
9	Cambio de fajas de molino		8760 hr		
10	Revisión de estado de cojinetes de rotor		8760 hr		
11	Revisión de estado de cojinetes de motor principal		8760 hr		
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Tabla XIX. Rutina de mantenimiento preventivo para sin fines generales

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:		Fecha Programada:	
Técnico Responsable:		Firma técnico:		Fecha Realizado:	
Hora inicio:		Hora final:		Tiempo Empleado:	
SIN FINES GENERALES				FRECUENCIA	verificado (✓)
1	Lubricación de chumaceras			168 hr	
2	Revisión de fugas en cañón			168 hr	
3	revisión de nivel de aceite a caja reductora			720 hr	
4	Revisión de desgaste sin fin			4320 hr	
5	cambio de chumaceras			8760 hr	
6	Revisión de estado general a caja reductora			8760 hr	
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Tabla XX. Rutina de mantenimiento preventivo para tina de lavado

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:		Fecha Programada:	
Técnico Responsable:		Firma técnico:		Fecha Realizado:	
Hora inicio:		Hora final:	Tiempo Empleado:		
TINA DE LAVADO				FRECUENCIA	verificado (✓)
1	Limpieza de chumaceras			168 hr	
2	Lubricación de chumaceras			168hr	
3	revisión de nivel de aceite a caja reductora y variador de velocidad			360 hr	
4	Lubricación de motor			720 hr	
5	Revisión de estado de cojinetes de rodillos de tina			2160 hr	
6	Revisión de estado de cojinetes de motor			8760 hr	
7	Revisión de estado general a cajas reductoras y variador de velocidad			8760 hr	
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Tabla XXI. Rutina de mantenimiento preventivo para centrifugadora

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:		Fecha Programada:	
Técnico Responsable:		Firma técnico:		Fecha Realizado:	
Hora inicio:		Hora final:	Tiempo Empleado:		
CENTRIFUGADORA				FRECUENCIA	verificado (✓)
1	Lubricación de chumaceras			168 hr	
2	Limpieza de tubería de auto lavado criba			168 hr	
3	Revisión de fajas			720 hr	
4	Revisión de electroválvulas			720 hr	
5	Lubricación de cojinetes de motor			720 hr	
6	Cambio de chumaceras			8760 hr	
7	Cambio de fajas			8760 hr	
8	Revisión de soporte de centrado			8760 hr	
9	Revisión de espaciador			8760 hr	
10	Revisión de anillos			8760 hr	
11	Revisión de manguitos anti desgaste IR NBS 70-80-XX			8760 hr	
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Tabla XXII. Rutina de mantenimiento preventivo para bomba-tanques

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:		Fecha Programada:	
Técnico Responsable:		Firma técnico:		Fecha Realizado:	
Hora inicio:		Hora final:		Tiempo Empleado:	
BOMBA-TANQUES				FRECUENCIA	verificado (✓)
1	Revisión de tuberías de alimentación			168 hr	
2	Revisión de electroválvulas			360 hr	
3	Lubricación de cojinetes			720 hr	
4	Limpieza de tanque de agua			720 hr	
5	Revisión de fugas de agua por sello mecánico			720 hr	
6	Revisión de estado de cojinetes			8760 hr	
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Tabla XXIII. Rutina de mantenimiento preventivo para ciclón-cic mangas de escape

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:	Fecha Programada:		
Técnico Responsable:		Firma técnico:	Fecha Realizado:		
Hora inicio:		Hora final:	Tiempo Empleado:		
CICLÓN-CIC MANGAS DE ESCAPE			FRECUENCIA	verificado (✓)	
1	Limpieza de mangas de escape		168 hr		
2	Lubricación de cojinetes		360 hr		
3	Revisión de estado de cojinetes		8760 hr		
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Tabla XXIV. Rutina de mantenimiento preventivo para silo-smc 7, (Silo de molienda), (silo mezclador), (silo mezclador vertical)

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:	Fecha Programada:		
Técnico Responsable:		Firma técnico:	Fecha Realizado:		
Hora inicio:		Hora final:	Tiempo Empleado:		
SILO - SMC 7. (SILO DE MOLIENDA), (SILO MESCLADOR), (SILO MESCLADOR VERTICAL)				FRECUENCIA	verificado (✓)
1	Lubricación de chumaceras		168 hr		
2	Limpieza de sensores		360 hr		
3	Limpieza de filtros		360 hr		
4	Revisión de nivel de aceite caja reductora		720 hr		
5	Revisión de estado y tensado de fajas		720 hr		
6	Lubricación de motor		1440 hr		
7	Cambio de chumacera		8760 hr		
8	Cambio de cojinetes de motor		8760 hr		
9	Cambio de fajas		8760 hr		
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Tabla XXV. Rutina de mantenimiento preventivo para unidad para el tratamiento en caliente

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:	Fecha Programada:		
Técnico Responsable:		Firma técnico:	Fecha Realizado:		
Hora inicio:		Hora final:	Tiempo Empleado:		
UNIDAD PARA EL TRATAMIENTO EN CALIENTE			FRECUENCIA	verificado (✓)	
1	Limpieza de sensor de conductibilidad		168 hr		
2	Lubricación de cojinetes y chumaceras		168 hr		
3	Revisión de fugas en pistones de descarga tina 1 y 2		168 hr		
4	Revisión de fugas por sellos mecánicos en bomba M54 y M5		168 hr		
5	Revisión de estado general de bomba dosificadora de soda		168 hr		
6	Revisión de estado general de bomba dosificadora de detergente		168 hr		
7	Revisión de nivel de cajas reductoras <i>mixer</i> 1 y 2		360 hr		
8	Revisión de funcionamiento de electroválvulas		360 hr		
9	verificar rajaduras en <i>mixer</i> 1 y 2		720 hr		
10	Revisión de estado de aceite en cajas reductoras		8760 hr		
11	cambio de cojinetes y chumaceras		8760 hr		
12	Cambio de cojinetes en bombas		8760 hr		
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Tabla XXVI. Rutina de mantenimiento preventivo para lavadora horizontal

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:	Fecha Programada:		
Técnico Responsable:		Firma técnico:	Fecha Realizado:		
Hora inicio:		Hora final:	Tiempo Empleado:		
LAVADORA HORIZONTAL			FRECUENCIA	verificado (✓)	
1	Lubricación de chumaceras		168 hr		
2	Revisión de estado y tensión de fajas		720 hr		
3	Revisión de electroválvulas		720hr		
4	Lubricación de cojinetes de motor		1440 hr		
5	cambio de chumaceras y cojinetes		8760 hr		
6	cambio de cojinetes de motor		8760 hr		
7	cambio de fajas		8760 hr		
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Tabla XXVII. Rutina de mantenimiento preventivo para válvula de estrella

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:		Fecha Programada:	
Técnico Responsable:		Firma técnico:		Fecha Realizado:	
Hora inicio:		Hora final:	Tiempo Empleado:		
VÁLVULA DE ESTRELLA				FRECUENCIA	verificado (✓)
1	Lubricación general			168 hr	
2	Revisión de nivel de aceite en cajas reductoras			720 hr	
3	Cambio de aceite a cajas reductoras			8760 hr	
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Tabla XXVIII. Rutina de mantenimiento preventivo para generador de aire caliente

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:		Fecha Programada:	
Técnico Responsable:		Firma técnico:		Fecha Realizado:	
Hora inicio:		Hora final:	Tiempo Empleado:		
GENERADOR DE AIRE CALIENTE				FRECUENCIA	verificado (✓)
1	Limpieza de filtros			168 hr	
2	Limpieza de indicador de proximidad			720 hr	
3	Lubricación de motor			1440 hr	
4	Revisión de sonda de temperatura			4320 hr	
5	Revisión de resistencias			4320 hr	
6	cambio de cojinetes a motor			8760 hr	
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Tabla XXIX. Rutina de mantenimiento preventivo para ventilador

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:	Fecha Programada:		
Técnico Responsable:		Firma técnico:	Fecha Realizado:		
Hora inicio:		Hora final:	Tiempo Empleado:		
VENTILADOR			FRECUENCIA	verificado (✓)	
1	Revisión de aspas de ventilador		720 hr		
2	Lubricación de cojinetes de motor		1440 hr		
3	Cambio de cojinetes a motor		8760 hr		
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Tabla XXX. Rutina de mantenimiento preventivo para grupo secador cama
fluidez

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:	Fecha Programada:		
Técnico Responsable:		Firma técnico:	Fecha Realizado:		
Hora inicio:		Hora final:	Tiempo Empleado:		
GRUPO SECADOR CAMA FLUIDEZ				FRECUENCIA	verificado (✓)
1	Limpieza de filtros secadores		168 hr		
2	Revisión de nivel de aceite a caja reductora		720 hr		
3	Lubricación de motor		1440 hr		
4	cambio de cojinetes a motor		8760 hr		
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Tabla XXXI. Rutina de mantenimiento preventivo para cernedora magnética

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:	Fecha Programada:		
Técnico Responsable:		Firma técnico:	Fecha Realizado:		
Hora inicio:		Hora final:	Tiempo Empleado:		
CERNEDORA MAGNÉTICA				FRECUENCIA	verificado (✓)
1	Revisión de estado de aceite en variador de velocidad			720 hr	
2	lubricación de motor			1440 hr	
3	cambio de empaque del cernedor magnético			2160 hr	
4	cambio de cojinetes en motor			8760 hr	
5	cambio de aceite en variador de velocidad			8760 hr	
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Tabla XXXII. Rutina de mantenimiento preventivo para seleccionadora óptica futura

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:	Fecha Programada:		
Técnico Responsable:		Firma técnico:	Fecha Realizado:		
Hora inicio:		Hora final:	Tiempo Empleado:		
SELECCIONADORA ÓPTICA FUTURA				FRECUENCIA	verificado (✓)
1	Limpieza de electroválvulas			720 hr	
2	Revisión de presión			720 hr	
3	Limpieza de tarjetas electrónicas			720 hr	
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

XXXIII. Rutina de mantenimiento preventivo para caldera

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:	Fecha Programada:		
Técnico Responsable:		Firma técnico:	Fecha Realizado:		
Hora inicio:		Hora final:	Tiempo Empleado:		
CALDERA				FRECUENCIA	verificado (✓)
1	Limpieza de quemadores			360 hr	
2	Limpieza de filtro CUNO			360 hr	
3	Limpieza de filtro de aceite			360 hr	
4	Limpieza de filtro de aire			360 hr	
5	Limpieza de filtro Morrison			360 hr	
6	Limpieza de filtro de agua			360 hr	
7	Limpieza de filtro de bomba químico			360 hr	
8	Limpieza de químico			360 hr	
9	Limpieza de quemadores			360 hr	
10	Limpieza de cámara de agua			720 hr	
11	Limpieza de cámara de fuego			720 hr	
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Tabla XXXIV. Rutina de mantenimiento preventivo para chiller

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:	Fecha Programada:		
Técnico Responsable:		Firma técnico:	Fecha Realizado:		
Hora inicio:		Hora final:	Tiempo Empleado:		
CHILLER			FRECUENCIA	verificado (✓)	
1	Limpieza de radiadores		168 hr		
2	Revisión de aspas de ventiladores		168 hr		
3	Revisión de compresores		168 hr		
4	Carga de antioxidante en tanques		168 hr		
5	Revisión de nivel de agua de tanques		168 hr		
6	Limpieza de tanques		1440 hr		
7	Limpieza de condensador (empresa externa)		4320 hr		
8	Medición de voltajes (empresa externa)		4320 hr		
9	Medición de amperajes (empresa externa)		4320 hr		
10	Revisión de presiones (empresa externa)		4320 hr		
11	Revisión de nivel de aceite (empresa externa)		4320 hr		
12	Mantenimiento motores ventiladores		8760 hr		
13	Limpieza de contactos de contactores		8760 hr		
14					
15					
16					
17					
18					
19					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Tabla XXXV. Rutina de mantenimiento preventivo para compresor

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	12	Línea producción:	MOLIENDA		
Operador:		Firma recepción operador:	Fecha Programada:		
Técnico Responsable:		Firma técnico:	Fecha Realizado:		
Hora inicio:		Hora final:	Tiempo Empleado:		
COMPRESOR			FRECUENCIA	verificado (✓)	
1	Mantenimiento realizado por empresa externa		2500 hr		
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

2.4.3 Programación

En base al tipo de proceso que tiene el lavado de PET reciclado, se maneja abundante agua en las máquinas y, de acuerdo al tiempo de uso, tienden a corroerse y a sufrir desgaste, por lo cual se debe de relacionar las actividades de las rutinas de mantenimiento a una programación, utilizando horómetro para que las máquinas tengan una larga vida y un buen funcionamiento.

La línea de lavado de PET reciclado se divide en tres secciones prelavado, molienda y lavado-secado su proceso es en línea, únicamente es necesario instalar un horómetro en la máquina principal, en este caso sería el molino debido a que es el que gobierna la velocidad de la línea.

2.4.4 Frecuencia de mantenimiento

Se debe de realizar la programación del mantenimiento en base a actividades generales indicadas en el manual de fabricante, entre las cuales podemos mencionar:

- Limpieza de maquinaria en general, cada 168 horas.
- Limpieza de filtros, lubricación en áreas de contacto con agua, verificación de nivel de aceites, cada 360 horas.
- Revisión de sensores e interruptores de seguridad, revisión de sistemas neumáticos e hidráulicos, cada 720 horas.
- Lubricación de motores, cada 1 440 horas.
- Revisión de sistema eléctrico y cables de comunicación, cada 4 320 horas.

- Cambio de rodamientos de acuerdo a revisión; revisión de desgaste general, cambio de correas o fajas según revisión, cada 8 760 horas.

La programación se realizará en base a horómetro y es necesario llevar un control diario en horas de funcionamiento de la máquina, para esto se debe de realizar un registro, en el cual se propone lo siguiente:

T

Tabla XXXVI. **Registro para el control de horas de trabajo**

SEMANA #			
FECHA	UBICACIÓN	MÁQUINA	HORAS

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Por tal motivo, en las rutinas de mantenimiento preventivo se presenta la frecuencia de las actividades que se deben de realizar por máquina, para obtener un mejor control y no cometer errores humanos con obviar algún servicio o actividad.

2.4.5 Manejo del plan de mantenimiento preventivo

Este define las acciones necesarias para efectuar el cumplimiento de los mantenimientos programados, desde el programa hasta la entrega del registro, para llevar un control definiendo los pasos de la manera siguiente:

- El supervisor es el encargado de verificar el programa de mantenimiento preventivo, para determinar el tipo de mantenimiento que le corresponde a cada máquina.
- El supervisor genera las rutinas de mantenimiento preventivo.
- El supervisor entrega las rutinas a los técnicos encargados de realizar las actividades.
- Los técnicos, al finalizar el mantenimiento, marcan las actividades realizadas en la lista de verificación.
- También indica los repuestos y materiales utilizados en el mantenimiento, así como las observaciones y trabajos por programar.
- Los técnicos limpian el área utilizada en el mantenimiento.
- Los técnicos solicitan la firma de los operadores de las máquinas o del supervisor de producción para validar el funcionamiento de la máquina.
- Los técnicos entregan las rutinas programadas al supervisor encargado
- El supervisor de mantenimiento revisa, analiza, y programa las observaciones encontradas, de acuerdo a la producción en el tiempo óptimo.

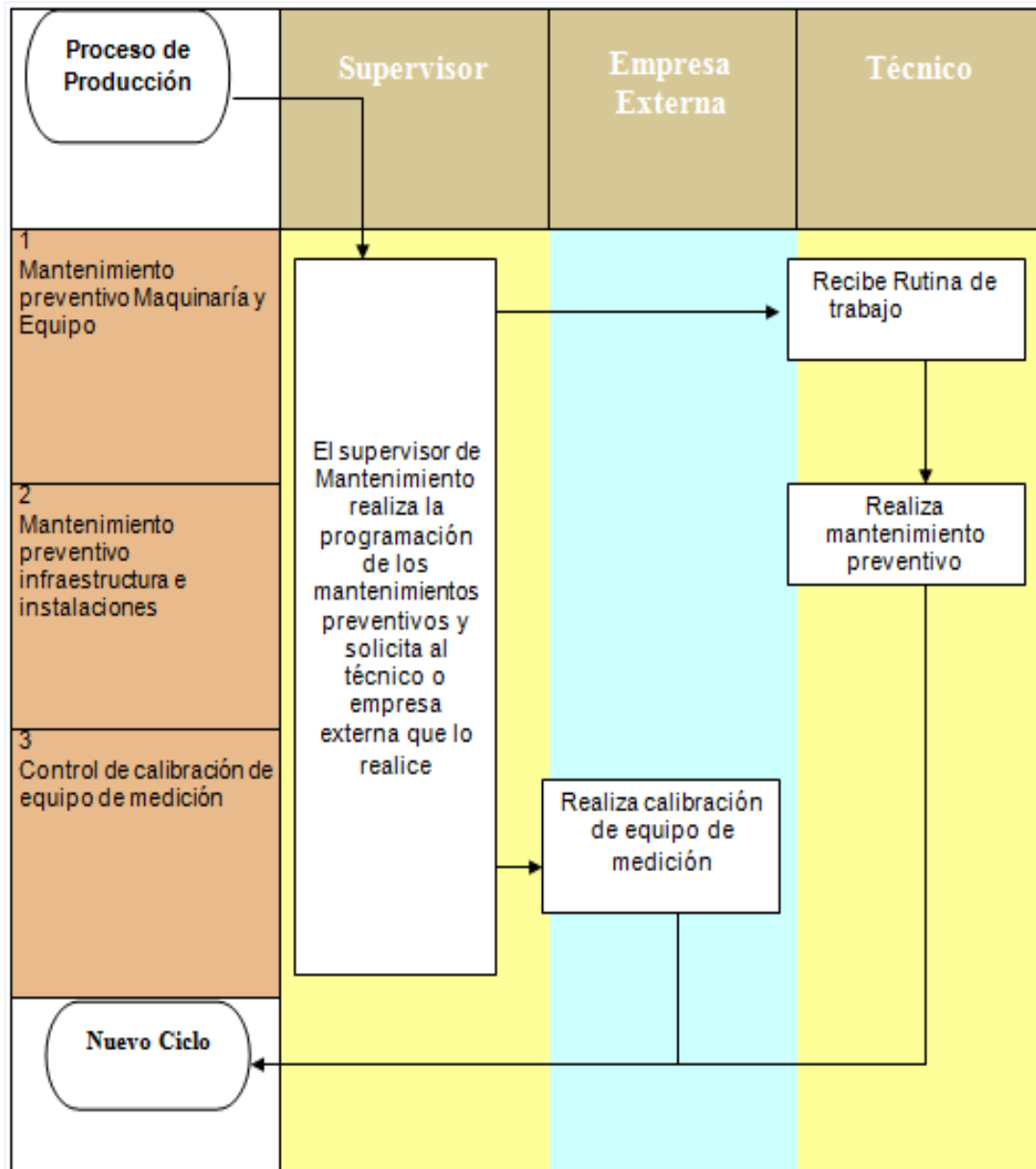
2.4.6 Seguimiento del plan de mantenimiento preventivo

No se cuenta con un sistema tecnológico para llevar el control de la programación del mantenimiento preventivo, por este motivo, es necesario utilizar un cuadro en Excel donde se llevará el control de la programación de los mantenimientos por cada máquina que compone la línea de lavado de PET reciclado, de esta manera podemos verificar si se realizó el mantenimiento preventivo, podemos programar y hacerle saber al departamento de producción las actividades que se tienen programadas y, si no se realizó, colocar una pequeña observación del por qué no se realizaron dichas actividades.

2.4.6.1 Diagrama de flujo

Para la representación gráfica del proceso de lavado de PET reciclado se realizó el siguiente diagrama de flujo:

Figura 5. Diagrama de flujo



Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

2.4.6.2 Revisión del plan

A continuación se propone un cuadro en Excel para llevar el control de la programación de los mantenimientos preventivos, donde se podrá verificar las actividades que le corresponden a cada mantenimiento por máquina, también podemos verificar qué mantenimientos fueron realizados, qué mantenimientos fueron programados y qué mantenimientos no fueron realizados, identificándolos por medio de colores: verde, naranja y rojo, respectivamente.

Tabla XXXVII. Cuadro en Excel (plan 1)

	NOMBRE DE MÁQUINA						
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES 168 HORAS	168 HORAS						
	168	336	504	672	840	1 008	1 176
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES 360 HORAS	TITULO DE FRECUENCIA (360 HORAS)						
		360		720		1 080	
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES 720 HORAS	720 HORAS						
				720			
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES 1 440 HORAS	1 440 HORAS						
	CONTROL DE PROGRAMACIÓN DE MANTENIMIENTOS EN BASE A HORAS						
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES 4 320 HORAS	4 320 HORAS						
				REALIZADO	PROGRAMADO	NO REALIZADO	
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES 8 640 HORAS	8 640 HORAS						

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

- También se propone llevar archivos donde se encuentren las órdenes de trabajo de mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo.

- Obtener el tiempo total de los paros no programados debido a mantenimiento correctivo y verificar la disponibilidad de las máquinas.
- Obtener el total de horas de mantenimientos preventivos.
- llevar el control de las tareas realizadas y no realizadas de acuerdo al mantenimiento preventivo programado.

Tabla XXXVIII. Cuadro en Excel (plan 2)

SEMANA DEL	13-ago	AL	19-ago	DEL	ago-16					HRS. DIARIA	DÍAS/SEM.	TOTAL HRS.
										24	7	168
DÍA FECHA	Sábado 13	Domingo 14	Lunes 15	Martes 16	Miércoles 17	Jueves 18	Viernes 19	TIEMPO M.P.	TIEMPO M. C.	TOTAL MP Y MC	% DE DISP. CON MP	% DE DISP. SIN MP
DESCRIPCIÓN DE MÁQUINA				CELESTE MANTO PREVENTIVO	EN BLANCO MANTO CORRECTIVO						100,00	100,00
PROMEDIOS % DE DISPONIBILIDAD PLANTA											100,00	100,00
PROMEDIOS % DE DISPONIBILIDAD PLANTA											100,00	100,00
PROMEDIOS % DE DISPONIBILIDAD PLANTA											100,00	100,00
PROMEDIOS % DE DISPONIBILIDAD PLANTA											100,00	100,00
PROMEDIOS % DE DISPONIBILIDAD PLANTA											100,00	100,00
PROMEDIOS % DE DISPONIBILIDAD PLANTA											100,00	100,00
PROMEDIOS % DE DISPONIBILIDAD PLANTA											100,00	100,00
PROMEDIOS % DE DISPONIBILIDAD PLANTA											100,00	100,00

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Tabla XXXIX. Continuación de figura 38 cuadro en Excel (plan 2)

MP PROGRAMADO	MP REALIZADO	No. TAREAS MP	T. NORM. REALI.	CUMPL. T. MP
				0
0	MP NO PROG.	0	0	MP NO PROG.
				0
0	MP NO PROG.	0	0	MP NO PROG.
				0
				0
				0
				0
0	MP NO PROG.	0	0	MP NO PROG.

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

2.4.6.4 Hoja de reportes

Es muy importante implementar una hoja de reporte de los mantenimientos y actividades realizadas, ya que si se encuentra algún desgaste o falla de la máquina, se puede reportar y programar para realizar una inspección más profunda; a través de este reporte se tendrá constancia de que las actividades de mantenimiento se están realizando y de que el operador recibe la máquina en condiciones óptimas para su operación.

Esto nos puede ayudar a tener un mejor control de los servicios y gastos debido a que se tendrá un registro de los repuestos utilizados y tiempo empleado en la reparación.

2.4.6.5 Orden de trabajo

Es muy importante para realizar distintos tipos de trabajos, desde un mantenimiento preventivo, mantenimientos en infraestructura, mantenimientos correctivos, entre otros. La orden tiene que tener como datos principales:

- nombre de la máquina
- falla o trabajo a realizar
- fecha de la ejecución del trabajo
- Hora de la ejecución del trabajo
- nombre del técnico responsable
- seguridad industrial

Figura 6. Formato de la hoja de reporte

		HOJA DE REPORTE		HORÓMETRO	
		LISTA DE VERIFICACIÓN			
Máquina	Línea producción:		Identificación:	Manto #	
Operador:	Firma recepción operador:		Fecha Programada:		
Técnico Responsable:	Firma técnico:		Fecha Realizado:		
Hora inicio:	Hora final:		Tiempo Empleado:		
#N/A					VERIFICADO (✓)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
Seguridad Industrial					
Personal Asignado a ejecutar el mantenimiento:					VERIFICADO (✓)
1	Técnico interno asignado al mantenimiento				
2	Técnico externo (proveedor) asignado al mantenimiento o apoyo				
3	Operador asignado a la limpieza o apoyo				
Verifique antes de iniciar el mantenimiento					VERIFICADO (✓)
1	Identificar el área de trabajo y el equipo con el registro: 000-R-HSI-013. Identificación general de equipo en mantenimiento antes de realizar 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 realizar los trabajos de mantenimiento.				
4	Los trabajos de Corte y / o Soldadura afuera del taller de mantenimiento requiere del permiso: 000-R-HSI-001 Permiso para operaciones de corte- soldadura y herramientas eléctricas, el cual debe solicitar al supervisor de mantenimiento				
5	Los trabajos en altura requieren requiere del permiso: 000-R-HSI-016 Permiso para trabajos en altura, el cual debe solicitar al supervisor de mantenimiento				
Verifique antes de entregar el equipo					VERIFICADO (✓)
1	Probar los dispositivos de seguridad (paro 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 cinta de identificación de trabajos de mantenimiento.				
Repuestos utilizados, materiales de uso general y herramienta:					
Anotar cambios significativos realizados y otros problemas o mejoras que se deban programar					
Nombre Supervisor Mantenimiento: _____ Vo.Bo. _____					

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Figura 7. Formato de la orden de trabajo

ORDEN DE REPORTE			
INFORMACIÓN GENERAL			
Máquina: _____	Línea de Producción: _____	Fecha: _____	
Nombre del operador: _____	Nombre del Supervisor: _____		
TRABAJO REQUERIDO			
FALLA ELÉCTRICA: <input type="checkbox"/>	CAMBIO DE CUCHILLAS <input type="checkbox"/>	LIMPIEZA: <input type="checkbox"/>	
FALLA MECÁNICA: <input type="checkbox"/>	MANTENIMIENTO PREVENTIVO: <input type="checkbox"/>	OTROS: <input type="checkbox"/>	
Descripción de trabajo o falla: _____			
Nombre del técnico que recibe: _____	Firma: _____	Horario de recibido: _____	
REPORTE DE REALIZACIÓN			
Fecha: _____	Hora: _____	Tiempo empleado en la reparación: _____	
Descripción de trabajo: _____			
causa: _____			
REPUESTOS UTILIZADOS, MATERIALES DE USO GENERAL Y HERRAMIENTA ESPECIAL			
Técnico responsable: _____ Firma: _____			
Vo.Bo. Supervisor de Producción: _____			
Operador que recibe: _____ Fecha: _____ Hora: _____			
SECCIÓN DE SEGURIDAD INDUSTRIAL			
Marque con un "cheque" <input checked="" type="checkbox"/> quién ejecuta esta sección:			
1. Técnico interno asignado al mantenimiento		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Técnico externo (proveedor) asignado al mantenimiento		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Operador asignado a la limpieza del equipo		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Marque con un "cheque" <input checked="" type="checkbox"/> las siguientes actividades antes de iniciar el mantenimiento:			
No.	Actividad	Aplica	No aplica
1	Identificar el área de trabajo antes de realizar trabajos de mantenimiento.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Accionar el paro de emergencia general para evitar el arranque por otra persona.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Usar el equipo de protección personal adecuado para realizar los trabajos de mantenimiento.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Los trabajos de Corte y / o Soldadura afuera del taller de mantenimiento requiere del permiso: Permiso para operaciones de corte- soldadura y herramientas eléctricas, el cual debe solicitar al supervisor de producción.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Los trabajos en altura requieren del uso de arnes en buenas condiciones (a partir de 1,8 mts)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Marque con un "cheque" <input checked="" type="checkbox"/> las siguientes actividades después de concluido el mantenimiento:			
No.	Actividad	Aplica	No aplica
1	Probar los dispositivos de seguridad (paro de emergencia, cables, puertas, etc.).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Instalar las guardas de protección removidas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Retirar del área toda herramienta y accesorios utilizados.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Dejar limpia y ordenada el área de trabajo.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Retirar los rótulos y / o cinta de identificación de trabajos de mantenimiento.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Máquina o equipo ofrece condiciones de seguridad para ser operado?		SI	NO
Importante: Si los dispositivos de seguridad no funcionan, no entregue la máquina y repórtelo al supervisor.			

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

2.5 Planificación y anticipación de los repuestos críticos

Es necesario llevar un control de repuestos más utilizados o críticos, verificar la frecuencia con la cual se realiza cada cambio, esto con el objetivo de saber cuándo hay que realizar la compra y no tener imprevistos por no tener repuestos cuando se realice el mantenimiento preventivo o correctivo; también nos puede afectar al tener demasiado repuesto de lento movimiento en almacén, en lo que respecta al presupuesto.

Derivado a esto se le dio el nombre de repuestos críticos a todo repuesto que se compra por importación que no exista en compra local, ya que el tiempo para que el repuesto llegue a la bodega es demasiado, en un promedio de (tres meses aproximadamente) esto nos puede ocasionar fallas en la línea de lavado de PET reciclado que no se puedan solucionar a su 100 %, e incluso de inhabilitar por completo la máquina, afectando la disponibilidad.

Actualmente no se cuenta con un listado de repuestos críticos, debido a esto se establecerá un listado de los repuestos críticos de la línea de lavado de PET reciclado. Con este listado se iniciará un historial con la finalidad de establecer un control y se podrá modificar de acuerdo a las necesidades.

Tabla XLI. Listado de repuestos críticos

REPUESTOS AL EXTERIOR			
#	MÁQUINA	DESCRIPCIÓN DEL REPUESTO	CANTIDAD EN BODEGA
1	línea de lavado	válvulas automáticas de bronce de 1 pulgadas	4
2	línea de lavado	válvulas automáticas de bronce de 2 pulgadas	4
3	línea de lavado	válvulas automáticas de bronce de 3 pulgadas	4
4	línea de lavado	juego de cuchillas para molino 120-90GR	2
5	línea de lavado	platinas de cierre cuchillas	6
6	línea de lavado	bomba dosificadora	1
7	línea de lavado	tonillos Allen M20 x90x2.5x8.8 para molino 120-90GR	216
8	línea de lavado	tonillos Allen M16 x140x2.5x10.9 para molino 120-90GR	108
9	línea de lavado	sensores de nivel waterpilot	4
10	línea de lavado	tubos rilsan de 12,8mm en metros	100
11	línea de lavado	cojinete 23144-CCK/W33 C3	2
12	línea de lavado	retenedor D 45 UNI 7435	2
13	línea de lavado	retenedor V-RING 250 TYPE-A	4
14	línea de lavado	retenedor 190/220x15	2
15	línea de lavado	retenedor 250/280x15	2

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

2.6 Costos de mantenimiento

Ya que es necesario tener un control del costo total de mantenimiento para analizar todos los gastos que se generan por actividades de mantenimiento preventivo y correctivo, de acuerdo al análisis se puede determinar si el mantenimiento preventivo es eficiente o si es necesario llegar a cambiar la máquina debido a que el gasto de mantenimiento correctivo es mucho mayor que los gastos de mantenimientos preventivos, también puede ser que los mantenimientos preventivos sean demasiados costosos para que la máquina trabaje.

Esto puede ayudar a generar presupuestos de gastos y definir un flujo de efectivo por planta y máquina en el lapso promedio de un año, donde los costos de mano de obra y repuestos serán costo/año. El costo de mantenimiento

preventivo, tomando en cuenta la mano de obra, puede ser calculada en base al programa de mantenimiento preventivo de acuerdo al lapso de operación de las máquinas; por lo tanto, el costo total será la suma de los costos de repuestos más los costos de mano de obra, de todas las rutinas programadas.

CHH= sueldo/horas al mes

$$CMO=DTR*CHH*FR$$

Donde:

- CMO= Costo de mano de obra
- DTR= Duración total de las rutinas
- FR= Frecuencia de las rutinas
- CHH= Costo de la hora-hombre

$$CRP= CRA*CUT*CME$$

Donde:

- CRP= Costos de los repuestos
- CRA= Cantidad de repuestos por año
- CUT= Costo unitario
- CME= Cantidad de maquinaria o equipo

Tabla XLII. **Costos de mantenimiento promedio mensual**

COSTOS DE MANTENIMIENTO PROMEDIO MENSUAL				
MÁQUINA	PLANTA	DEPARTAMENTO	DESCRIPCIÓN DE GASTOS	GASTOS Q
LÍNEA DE LAVADO	LAVADO	PRODUCCIÓN MOLIENDA	MANTENIMIENTO MECÁNICO MAQUINARIA Y EQUIPO	Q 60 000,00
LÍNEA DE LAVADO	LAVADO	PRODUCCIÓN MOLIENDA	MANO DE OBRA	Q 25 000,00
TOTAL				Q 85 000,00

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

3. FASE DE INVESTIGACIÓN

3.1 Recursos generales

Es necesario conocer los recursos que se tienen que utilizar para la operación de la línea de lavado de PET reciclado, ya que es parte de la responsabilidad que se tiene como empresa de mantener o mejorar la disponibilidad de estos.

Se tiene que realizar programas o instalación de equipos auxiliares para el ahorro de energía o la reutilización de los principales recursos para la operación, así podemos evitar contaminar el medio ambiente.

3.1.1 Agua

El agua es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida, en términos generales en la planta de lavado de PET reciclado se utiliza en su estado líquido, por eso es importante el aprovechamiento de manera inteligente ya que es un recurso natural renovable pero finito donde aproximadamente el 70 % se destina en la agricultura el 20 % en la industria y el 10 % de manera domiciliar.

El acceso de agua se ha incrementado durante las últimas décadas en la superficie terrestre, sin embargo se estima que uno de cada 5 países tendrá problema de escasez de agua antes del año 2030. En esos países es vital realizar un menor gasto de agua, modernizando los sistemas.

3.1.2 Energía eléctrica.

Por lo general, la energía eléctrica es generada por la transformación de otras energías, pueden ser químicas, cinéticas, térmicas, lumínicas, nucleares, solares, entre otras. Estas transformaciones y la transmisión de la electricidad afectan el medio ambiente a escala local y global.

El uso de la energía eléctrica es un elemento central de la actual sociedad industrializada, de esta forma podemos decir que la energía y el medio ambiente están relacionados, la industria es la evolución del sector energético debido al consumo y al comportamiento de la economía histórica.

3.1.3 Vapor

El vapor se obtiene mediante la evaporación o ebullición del agua líquida o por sublimación del hielo. Ocasiona humedad en el ambiente y es muy utilizado en la industria para diferentes aplicaciones, tales como: procesos de limpieza, calentados por vapor (esterilización y limpieza); turbinas impulsadas para la generación de energía eléctrica o mecánica (impulso o movimiento), entre otros.

El vapor utilizado en la línea de lavado de PET reciclado es vapor para la limpieza, ya que se limpian las superficies del PET. Este vapor es creado por medio de una caldera a través de dispositivos que realizan la transferencia de calor a presión constante, el cual el líquido, en este caso agua, se calienta y se convierte en vapor.

3.1.4 Aire comprimido

El aire comprimido es aire sometido a presión por medio de un compresor, también se realiza un proceso para desaparecer la humedad; se filtra para evitar daños en los componentes neumáticos que utilizan las máquinas.

El uso del aire comprimido es muy común en la industria, tiene la ventaja de ser más rápido comparado con el sistema hidráulico, pero no permite fuerzas demasiado grandes; tiene muchas aplicaciones, pero la más común en la industria son cilindros neumáticos y válvulas neumáticas.

3.1.5 Material PET

El PET es un poliéster derivado del petróleo, clasificado como resina sintética o polímero termoplástico, (esto quiere decir que se ablandan en presencia de la temperatura y son moldeables, y cuando se enfrían tienen aspecto liso y duro).

El PET es utilizado en diferentes aplicaciones, entre las cuales podemos mencionar: empaques, cartuchos, fibras, envases, principalmente de bebidas. Tiene varias propiedades: es impermeable, es transparente y brillante, es cristizable, tiene resistencia química y mecánica y una gran versatilidad de colores.

3.2 Análisis sobre el consumo de los recursos.

Es necesario conocer la cantidad y disponibilidad de los recursos que se necesitan para la operación de la línea de lavado de PET reciclado, se debe de obtener información sobre los principales consumos y así evaluar si el consumo está de acuerdo a la operación.

De acuerdo a esto, se pueden aplicar medidas técnicas operativas y económicas para eficientar la cantidad de los recursos utilizados para la operación de la línea de PET reciclado. Con base a la evaluación se encontró un consumo bastante considerable de agua debido a que el 70 % de la línea su proceso se realiza con este recurso.

En lo que es la energía eléctrica, se observó que se puede eficientar aplicando proyectos de ahorro de energía como la instalación domos en techos para el aumento de la iluminación natural, teniendo como objetivo disminuir el uso de la energía artificial por medio de las lámparas en planta de producción.

Se tiene como enfoque general la disminución de los recursos como el consumo de agua o la reutilización de la misma, aprovechamiento de los servicios y un buen manejo de desechos reciclándolos.

3.2.1 Uso de agua en proceso de producción

Se ha calculado el consumo de agua en la línea de lavado de PET reciclado, esto se realizó por medio de contadores medidores de caudal en las entradas y salidas de la línea.

Tabla XLIII. **Consumo de agua**

ÁREA	CONSUMO ESTIMADO EN m ³ /DÍA	CONSUMO ESTIMADO EN m ³ /MENSUAL
LÍNEA DE LAVADO DE PET RECICLADO	57,31	1 776,5

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Con esta medición, se calculó el consumo de la línea de producción. Para llegar a tener un efecto positivo, es necesario reutilizar el agua y tener un sistema de agua de reproceso. Actualmente se cuenta con una planta de tratamiento de aguas de proceso con el fin de no afectar el medio ambiente que rodea a la planta.

Se estima que el volumen de agua en las operaciones que entra a la planta de tratamiento es del 90 %; también se pretende optimizar el agua por medio de la concientización al personal, para que no desperdicie el agua produciendo costos en el desaprovechamiento del mismo.

Se deberá tener como objetivo, una meta en consumo de agua, esto en base a los registros del consumo de agua del proceso y así visualizar si hay un incremento en el consumo y realizar las acciones necesarias.

3.2.2 Uso de energía eléctrica en proceso de producción

El consumo de la energía eléctrica se obtiene principalmente de las actividades de producción e iluminación. La energía eléctrica es el movimiento de una corriente eléctrica a través de un conductor que por lo general se utiliza el cobre debido a su capacidad de conductividad y precio.

Tabla XLIV. **Consumo promedio de energía eléctrica**

ÁREA	CONSUMO ESTIMADO EN KWH/DÍA	CONSUMO ESTIMADO EN KWH/MENSUAL
LÍNEA DE LAVADO DE PET RECICLADO	8 000,00	240 000,00

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

3.2.3 Uso de vapor en proceso de producción

Dentro la línea de distribución de vapor para la línea de lavado de PET reciclado, se realizó mediciones de la eficiencia de la caldera por medio de un instrumento utilizado por la empresa que da soporte técnico específico al tipo de caldera ubicada dentro de las instalaciones, realizando una caracterización de los gases de combustión.

Tabla XLV. Datos de gases de combustión

DESCRIPCIÓN	DATOS
% DE O2 = Oxígeno	4
% de CO2 = Dióxido de Carbono	13,4
Temperatura Ambiente °F	105,4
% de Eficiencia de Combustión	88,2
CO = PPM Monóxido de Carbono	0
CF = CO Contenido en REF A % O2 (PPM)	0
Temperatura de Chimenea °F	388,58
% Exceso aire de combustión	21,8
(-) Perdidas x Radiación y Conexión	0,62
% de Eficiencia total	87,64

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

De acuerdo a los datos de la tabla VII, se puede observar que los resultados son aceptables, pero el porcentaje de dióxido de carbono recomendado no lo tiene, aunque la eficiencia de la caldera sea bastante aceptable.

Se puede indicar que un problema de la caldera, es la liberación de dióxido de carbono ya que el porcentaje recomendado esta por el rango de 3-5 % y esto contribuye al efecto invernadero por la acumulación en la atmósfera y ocasionando cambios del clima.

También es recomendable que se instale un medidor de vapor para la línea que distribuye a la máquina de lavado de PET reciclado, para obtener resultados del consumo de vapor y así verificar la eficiencia de la caldera, permitiendo verificar si existen fugas en las líneas de distribución.

3.2.4 Consumo de aire comprimido

El aire comprimido es vital para todas las industrias ya que este forma parte del funcionamiento de varios equipos, actualmente se cuenta con un compresor tipo tornillo de 50 HP, el cual genera un aproximado de 160 CFM.

El compresor tipo tornillo es muy utilizado en la industria debido a que cuenta con un buen rendimiento, generando caudales a presiones determinadas y su fácil manejo de regulación de potencia, pero su debilidad es el alto costo y su complejidad mecánica.

Para la generación del aire comprimido hay tres fases principales en el proceso los cuales son:

- Aspiración. El aire ingresa por una cavidad y llena todos los espacios creados entre los tornillos helicoidales y la carcasa, este va aumentando en toda la longitud de los tornillos durante la rotación hacia el lugar donde se realice la descarga.
- Compresión. Este es generado cuando el fluido es menor que su volumen en consecuencia se crea la presión.

- Descarga. Este es el último proceso, aquí el aire es descargado continuamente hasta que el espacio entre los tornillos helicoidales ya no se pueda comprimir.

Dentro del consumo del aire comprimido, se han identificado actividades como la limpieza de áreas de la línea y dentro de los mantenimientos realizados se utiliza el aire comprimido para la eliminación de partículas como el polvo o producto en el piso por medio de mangueras, esto es muy importante, se debería de realizar conciencia en las personas que utilizan el aire de esta manera, se ahorraría energía reflejando una reducción en costos de generación de aire comprimido, también se deberían de eliminar algunas tomas de aire que en realidad no se utilizan.

Es recomendable realizar un estudio de fugas de aire comprimido y de la utilización del aire para las prácticas de limpieza y operación, para determinar las pérdidas de la planta debido a estas actividades.

3.2.5 Capacidad de producción de lavado de PET

La capacidad de producción de la línea de lavado de PET reciclado, está en un promedio ideal de 1 000 kg por hora y se puede llegar a producir hasta 660 toneladas al mes, sin embargo esto depende en gran medida del ingreso de materia prima; el acopio del PET reciclado, es uno de los desafíos o inconvenientes para mantener la línea produciendo de una manera confiable, esto se debe a la volatilidad de los precios, también porque no existe una cultura de separación de materiales y por el precio de la resina virgen.

Si se llega a tomar en cuenta que con el objetivo de este plan de mantenimiento de mantener al menos un 90 % de disponibilidad la producción puede llegar a alcanzar un promedio de 590 toneladas al mes, esto es muy

beneficioso si lo vemos en términos de impacto ambiental, son 590 toneladas de PET que pueden estar en rellenos sanitarios si no se reciclan.

3.3 Mejoras en el uso de los recursos

Se debe implementar planes de ahorro de recursos necesarios identificando los objetivos, acciones a realizar y los requerimientos necesarios para la optimización del agua y la energía eléctrica.

3.3.1 Opciones para optimizar el agua

Las opciones se basan básicamente en el ahorro del consumo de agua sin afectar las operaciones del proceso de producción, aprovechando de una buena manera el recurso.

- Opción 1

Recirculación del agua de proceso, haciendo que toda el agua que se utilizó en el lavado pase por la planta de tratamiento para luego enviarla de nuevo al proceso de prelavado, evitando así que se utilice agua del tanque principal.

Objetivo

Reusar el agua para disminuir el consumo del agua que viene directamente del pozo para la operación de prelavado, no se necesita características especiales.

- Opción 2

Optimización del uso de agua en el mantenimiento, limpieza de áreas y equipo de la línea de lavado de PET reciclado a través de buenas prácticas operativas, instalando accesorios para mejorar el desempeño del recurso.

Objetivo

Reducción en el consumo de agua en las actividades mencionadas en la opción 2, por medio de accesorios diseñados principalmente para el uso adecuado y disposición del agua.

- Opción 3

Llevar un control diario y por mes del consumo del agua a través de contadores de caudal para determinar el uso real en el proceso de la producción y colocar objetivos o metas para reducir y mantener el consumo del vital líquido.

Objetivo

Implementar un sistema de control del consumo de la planta o planes de ahorro con el fin de reducir el consumo general.

3.3.2 Opciones para optimizar la energía

- Opción 1

Optimización del uso de energía eléctrica, disminuir el uso de iluminación artificial en planta por medio del aumento de láminas traslucidas para el aprovechamiento de la luz natural.

Objetivo

Optimización de iluminación reduciendo costos por consumo de energía eléctrica.

- Opción 2

Optimización del uso de la energía eléctrica con el uso de lámparas de inducción o tecnología led para la disminución del uso de potencia y calor en planta.

Objetivo

Optimización de iluminación reduciendo costos por consumo de energía eléctrica.

- Opción 3

Identificación de fugas en aire comprimido y vapor en toda la línea para aprovechar al máximo los recursos.

Objetivo

Aprovechar al máximo la energía eléctrica y calórica para reducir el consumo.

3.4 Metodología para accionar cada propuesta

Para lograr cada opción u objetivo, se debe realizar esfuerzos por cada departamento y colaboradores para realizar los muestreos, pruebas, entre otros y tomar en cuenta todos los comentarios que el personal de la planta tiene.

Básicamente al obtener toda la participación del recurso humano y que la metodología utilizada sea aceptada por todos para obtener los beneficios esperados.

3.4.1 Agua

Lo más importante es optimizar el recurso por medio del ahorro en cada proceso que se realice durante el lavado del PET reciclado, sobre todo hacer conciencia en el personal operativo, asimilando la idea de preservar el medio ambiente por medio del ahorro del agua.

Podemos desglosar algunas actividades que podemos realizar para ejecutar la optimización del agua en la línea de lavado de PET.

Tabla XLVI. **Actividades para optimizar el recurso del agua**

OPCIÓN	PRIORIDAD	METODOLOGÍA
Llevar un control diario y por mes del consumo del agua a través de contadores de caudal para determinar el uso real en el proceso de la producción y colocar objetivos o metas para el consumo del vital líquido	1	<ol style="list-style-type: none"> 1) Generar un diagrama de flujo de agua. 2) Instalar contadores de flujo de acuerdo al diagrama para obtener los consumos principales. 3) Realizar un control diario y mensual del consumo. 4) Establecer un promedio de consumo diario y mensual después de un año de obtener los registros.
Recirculación del agua de proceso haciendo que toda el agua que se utilizó en el lavado pase por la planta de tratamiento para luego enviarla de nuevo al proceso de prelavado evitando así que se utilice agua del tanque principal.	2	<ol style="list-style-type: none"> 1) Utilizar agua de los contenedores de descarga 2) Utilizar equipo de bombeo existente 3) Automatización del sistema 4) Entrenamiento y sensibilización
Optimización del uso de agua en el mantenimiento, limpieza de áreas y equipo de la línea de lavado de pet reciclado a través de buenas prácticas operativas, instalando accesorios para mejorar el desempeño del recurso.	3	<ol style="list-style-type: none"> 1) Compra de pistolas y accesorios . 2) Pruebas de la introducción de los nuevos accesorios. 3) Uso de manejo de equipo. 4) Sensibilización a personal.

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

3.4.2 Energía

Para implementar la metodología de la optimización de la energía, se puede realizar de manera simple por medio del cambio de algunas prácticas de los colaboradores, equipos y accesorios que manejen una mejor eficiencia, con esto se puede lograr un ahorro considerable, resultando beneficioso para la empresa y para el medio ambiente.

Tabla XLVII. **Actividades para optimizar el recurso de energía**

OPCIÓN	PRIORIDAD	METODOLOGÍA
Optimización del uso de energía eléctrica por el uso de iluminación artificial en planta por medio del aumento de láminas translúcidas para el aprovechamiento de la luz natural.	1	1) Limpieza de tragaluces actuales. 2) Estudio de iluminación. 3) De acuerdo al estudio, ampliación de láminas translúcidas para el aprovechamiento de la luz natural en áreas de trabajo. 4) Sensibilización de personal para la adecuada utilización de luz artificial.
Optimización del uso de la energía eléctrica con el uso de lámparas de inducción o tecnología led para la disminución del uso de potencia y calor en planta.	2	1) Estudio de iluminación. 2) cambio y ampliación de iluminación a la nueva tecnología. 3) Sensibilización.
Identificación de fugas en aire comprimido y vapor en toda la línea para aprovechar al máximo los recursos	3	1) Esquematización de puntos de consumo 2) localización de fugas. 3) Mantenimiento correctivo. 4) Sensibilización.

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

3.5 Beneficios ambientales con la implementación del proyecto

Se tiene como compromiso general, disminuir el consumo de los recursos naturales ayudando a la conservación del medio ambiente. Por medio del cambio en las costumbres del personal de planta enfocándolos al ahorro de todos los recursos para conservar su estado en un balance.

También sensibilizando al personal de tal manera que las prácticas de ahorro de recursos no solo se deben de realizar en la planta, también en el día a día de la vida cotidiana, para seguir optimizando los recursos se debe de enfocar de todas las maneras posibles como:

- Forestal
- Protección y conservación de flora y fauna
- Fortalecer procesos productivos a favor del medio ambiente
- Aprovechamiento de los recursos en planta
- Aprovechamiento de los recursos en casa
- Disminuir contaminación reciclando

Alcanzar los objetivos en optimizar los recursos para mejorar el desempeño ambiental ante las necesidades de la línea, ejecutando de mejor manera el proceso para la preservación del planeta, esto se reconoce ya que creará una mejora en la calidad de vida a nivel personal y laboral.

4. FASE DE APRENDIZAJE

4.1 Diagnóstico de la capacitación

Se tiene como propósito establecer un procedimiento a seguir para capacitar a personal de la planta, asegurando la formación constante sobre competencias técnicas necesarias para obtener los resultados de calidad esperados.

El procedimiento tendrá un alcance de manera que abarque los cursos de carácter formativo para cerrar brechas de competencias. Los cursos informativos o de actualización profesional quedan fuera de este alcance y únicamente se utilizarán como datos para el control de horas de capacitación.

El diagnóstico de la capacitación es requerido por las competencias técnicas (conocimientos y habilidades) para que el personal satisfaga las necesidades requeridas, esto se establece de acuerdo al puesto que tenga el personal a capacitar por cada departamento, comparando el dominio requerido con el dominio obtenido por el personal.

4.1.1 Herramientas de autoevaluación

Estas nos ayudan a la obtención de datos para comparar los conocimientos requeridos con los conocimientos obtenidos del personal de planta en general utilizando formatos simples.

Tabla LII. **Formato plan de calibraciones**

PLAN DE CALIBRACIÓN									
VALIDACIÓN DE COMPETENCIAS TÉCNICAS				APOYADA EN DOCUMENTOS DIFUNDIDOS		APOYADA EN FORMACIÓN PERSONAL	APOYADA EN DOCUMENTOS DIFUNDIDOS O CAPACITACIÓN		APOYADA EN FORMACIÓN PERSONAL
No.	CONOCIMIENTOS Y HABILIDADES DE COMPETENCIA TÉCNICA	CÓDIGO	MÓDULO DE COMPETENCIA TÉCNICA	DIFUSIÓN	VALIDACIÓN	VALIDACIÓN	DIFUSIÓN	VALIDACIÓN	VALIDACIÓN
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

4.2 Programación de la capacitación de mantenimiento

El jefe inmediato del Departamento de Mantenimiento es el encargado de impartir las capacitaciones a todo el personal a su cargo para que puedan poner en práctica lo aprendido en las actividades designadas para el mantenimiento preventivo, y la operación de la línea. Para la capacitación se recomienda realizar conferencias en todos los aspectos a cubrir. A continuación se presenta las capacitaciones a impartir.

El motivo principal es hacer que el personal participe en la aplicación del plan de mantenimiento preventivo y que pongan el mayor esfuerzo, las capacitaciones ayudarán a reducir pensamientos negativos sobre el nuevo sistema que se necesita implementar, ayudando a eliminar barreras donde se debe obtener el apoyo de todos los departamentos para ayudar a los distintos trabajadores a que realicen las tareas de una mejor manera y con más confianza para realizar un buen trabajo.

Tabla LIII. **Formato programación de capacitación**

PROGRAMACIÓN DE LAS CAPACITACIONES						
Empleado	Puesto	Departamento	Conocimiento básico de productos	Fundamentos de medio ambiente y reciclaje	Fundamentos del PET	Buenas Prácticas de Manufactura
Empleado	Puesto	Departamento	Fundamentos de componentes mecánicos	Fundamentos de conocimientos eléctricos	Técnicas de lubricación	Fundamentos de manejo de tornillos
ASIGNADAS	DOMINIO	% DOMINIO				
11		0%				
11		0%				
11		0%				
11		0%				
11		0%				
11		0%				

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

4.3 Costo de la propuesta

Se estiman los costos de los materiales y tiempo invertido en mano de obra que permitan la ejecución de las capacitaciones al personal de la planta por lo que se presenta la siguiente tabla.

Tabla LIV. Costo de la propuesta

COSTO DE LA PROPUESTA			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	COSTO TOTAL
Tiempo de mano de obra de capacitación en horas	60	Q17,00	Q1 020,00
Resma de hojas bond, tamaño carta	2	Q27,00	Q54,00
<i>Masking tape</i> de 1 pulgada	2	Q8,00	Q16,00
Folder manila	100	Q1,00	Q100,00
Engrapadora	1	Q65,00	Q65,00
Lapiceros negros	10	Q3,00	Q30,00
Marcador para pizarra	4	Q7,50	Q30,00
marcador permanente	4	Q3,75	Q15,00
Pizarrón blanco de 1,20 x 0,80 metros	1	Q350,00	Q350,00
		TOTAL:	Q1 680,00

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

CONCLUSIONES

1. Se evidenció que la manera de programar el trabajo de mantenimiento es susceptible a mejora. Por lo tanto se elaboró un plan de mantenimiento preventivo utilizando horómetro para la línea de lavado de PET reciclado que permitiera el ahorro en tiempo y costos para la empresa.
2. Se recopiló información técnica de las máquinas, dividiéndolas según su función para tener un mejor control de las actividades de mantenimiento.
3. El Departamento de Mantenimiento no lleva un control de la información que se genera, por tal motivo se diseñaron documentos que ayuden a recolectar la información necesaria para tomar decisiones en el buen funcionamiento de los equipos.
4. Los técnicos encargados de los mantenimientos no contaban con una guía para realizar el servicio mantenimiento por máquina, por lo cual se elaboraron rutinas de mantenimiento preventivo con la finalidad de ahorrar tiempo e incrementar la disponibilidad de la línea.
5. Capacitar al personal dará como resultado la ejecución eficiente de los servicios de mantenimiento, siendo dirigidos a mantener la confianza y aceptación al cambio de los programas, rutinas de mantenimiento y proyectos.

RECOMENDACIONES

1. Entregar al personal de mantenimiento la caja de herramientas básicas según su especialidad, para realizar las tareas designadas del mantenimiento programado, haciéndolos responsables de dicha herramienta.
2. El plan y rutinas de mantenimiento preventivo debe ser revisado por el jefe del departamento para realizar los ajustes necesarios, según lo requiera.
3. Planificar las capacitaciones según lo requiera el personal, para realizar el trabajo de una manera más eficiente y con calidad.
4. El jefe del departamento debe de programar el mantenimiento preventivo de manera que no afecte el proceso productivo de la línea, por medio de una buena comunicación entre departamentos para responder a todas las necesidades.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Equipos de protección personal.* [en línea]. <http://www.paritarios.cl/especial_epp.htm>. [Consulta: 18 de octubre de 2016].
2. International Organization for Standardization. *Sistemas de gestión de calidad (norma ISO 9001)*. Suiza: ISO, 2008. 40 p.
3. *Modelos de fallas de equipos.* [en línea]. <<http://www.monografias.com/trabajos13/mante/mante.shtml#mo>>. [Consulta: 11 de noviembre de 2016]
4. PÉREZ, R. Teodoro. *Diseño de plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria y equipo de la planta de reciclaje de bapú's, de acumuladores IBERIA, S.A. dentro del marco del sistema de gestión ambiental. (SGA)*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2013. 210 p.
5. *Proceso de reciclaje del PET.* [en línea]. <<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/proceso-de-reciclaje-del-PET.html>>. [Consulta: 9 de septiembre de 2016].
6. ROVIGO. Manual de uso, mantenimiento, *repuestos de fabricante, línea de lavado para botellas de PET*. 190 p.

ANEXOS

Anexo 1. Tipos de plástico

A continuación se presenta los tipos de plásticos según su identificación por número.







Figura 8. Tipos de plástico



Fuente: Clasificación de los plásticos. <http://www.recytrans.com/blog/clasificacion-de-los-plasticos/>. Consulta: 7 de marzo de 2017.

Anexo 2. Usos principales del plástico

Figura 9. Usos principales

Termoplásticos			Aplicaciones	Usos después del reciclado
Polietileno tereftalato	PET		Botellas, envasado de productos alimenticios, moquetas, refuerzos neumáticos de coches.	Textiles para bolsas, lonas y velas náuticas, cuerdas, hilos
Polietileno alta densidad	PEAD		Botellas para productos alimenticios, detergentes, contenedores, juguetes, bolsas, embalajes y film, laminas y tuberías.	Bolsas industriales, botellas detergentes, contenedores, tubos
Polietileno de baja densidad	PEBD		Film adhesivo, Bolsas, revestimientos de cubos, recubrimiento contenedores flexibles, tuberías para riego,	Bolsas para residuos, e industriales, tubos, contenedores, film uso agrícola, vallado
Policloruro de vinilo	PVC		Marcos de ventanas, tuberías rígidas, revestimientos para suelos, botellas, cables aislantes, tarjetas de crédito, productos de uso sanitario,	Muebles de jardín, tuberías, vallas, contenedores
Polipropileno	PP		Envases para productos alimenticios, Cajas, tapones, piezas de automoviles, alfombras y componentes eléctricos.	Cajas multiples para transporte de envases, sillas, textiles
Poliestireno	PS		Botellas, vasos de yogures, recubrimientos	Aislamiento térmico, cubos de basura, accesorios oficina

Fuente: Clasificación de los plásticos. <http://www.recytrans.com/blog/clasificacion-de-los-plasticos/>. Consulta: 7 de marzo de 2017.

