



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

**EFICIENCIA DE LOS PROCESOS PARA AUMENTAR LA VIDA ÚTIL DE LOS ELEMENTOS  
MECÁNICOS DEL MOLINO, COMPACTADORA Y MANEJO DE MATERIALES EN EL  
PROCESO DE MOLIENDA DE LA PLANTA INDUSTRIAL DE RECICLADOS DE CENTRO  
AMÉRICA, S. A.**

**Ulrich Segura Silva**

Asesorado por Ing. Edwin Josué Ixpatá Reyes

Guatemala, febrero de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EFICIENCIA DE LOS PROCESOS PARA AUMENTAR LA VIDA ÚTIL DE LOS ELEMENTOS  
MECÁNICOS DEL MOLINO, COMPACTADORA Y MANEJO DE MATERIALES EN EL  
PROCESO DE MOLIENDA DE LA PLANTA INDUSTRIAL DE RECICLADOS DE CENTRO  
AMÉRICA, S. A**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**Ulrich Segura Silva**

ASESORADO POR EL ING. EDWIN JOSUÉ IXPATÁ REYES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, FEBRERO 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	Inga. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jorgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. César Augusto Akú Castillo
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADORA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## 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:

**EFICIENCIA DE LOS PROCESOS PARA AUMENTAR LA VIDA ÚTIL DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS DEL MOLINO, COMPACTADORA Y MANEJO DE MATERIALES EN EL PROCESO DE MOLIENDA DE LA PLANTA INDUSTRIAL DE RECICLADOS DE CENTRO AMÉRICA, S. A**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 28 de febrero de 2011.



Ulrich Segura Silva

Guatemala 19 de Febrero del 2016

Ing. Juan José Peralta Dardon  
Director de Escuela  
Ingeniería Mecánica Industrial  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero

Por medio de la presente hago de su conocimiento que he tenido a bien asesorar el trabajo de graduación titulado:

**EFICIENCIA DE LOS PROCESOS PARA AUMENTAR LA VIDA ÚTIL DE LOS  
ELEMENTOS MECÁNICOS DEL MOLINO, COMPACTADORA Y MANEJO DE  
MATERIALES EN EL PROCESO DE MOLIENDA DE LA PLANTA INDUSTRIAL DE  
RECICLADOS DE CENTRO AMÉRICA S. A.**

Propuesta que fue elaborado por Ulrich Segura Silva, y el cual, a mi juicio personal como asesor, cumple con los objetivos planteados para su desarrollo, y recomiendo la autorización del mismo.

Sin otro particular, quedo de usted las más altas muestras de consideración y estima

Atentamente

  
Edwin Josué Ixpata Reyes  
Colegiado 7128



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **EFICIENCIA DE LOS PROCESOS PARA AUMENTAR LA VIDA ÚTIL DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS DEL MOLINO, COMPACTADORA Y MANEJO DE MATERIALES EN EL PROCESO DE MOLIENDA DE LA PLANTA INDUSTRIAL DE RECICLADOS DE CENTRO AMÉRICA S. A.**, presentado por el estudiante universitario **Ulrich Segura Silva**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Julio O. Rojas Argueta  
Ingeniero Mecánico Industrial  
Colegiado 10,870

Ing. Julio Oswaldo Rojas Argueta  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, octubre de 2016.

/mgp



El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **EFICIENCIA DE LOS PROCESOS PARA AUMENTAR LA VIDA ÚTIL DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS DEL MOLINO, COMPACTADORA Y MANEJO DE MATERIALES EN EL PROCESO DE MOLIENDA DE LA PLANTA INDUSTRIAL DE RECICLADOS DE CENTRO AMÉRICA, S. A.**, presentado por el estudiante universitario **Ulrich Segura Silva**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. José Francisco Gómez Rivera  
DIRECTOR a.i.  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



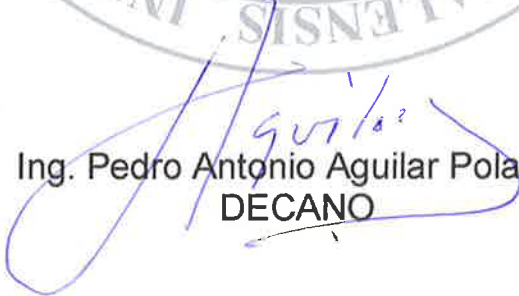
Guatemala, febrero de 2017.

/mgp



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 Industrial, al trabajo de graduación titulado: **EFICIENCIA DE LOS PROCESOS PARA AUMENTAR LA VIDA ÚTIL DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS DEL MOLINO, COMPACTADORA Y MANEJO DE MATERIALES EN EL PROCESO DE MOLIENDA DE LA PLANTA INDUSTRIAL DE RECICLADOS DE CENTRO AMÉRICA, S.A.**, presentado por el estudiante universitario: **Ulrich Segura Silva**, 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, febrero de 2017



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por permitirme finalizar mi carrera.
<b>Mis padres</b>	Julio Segura y Rosario Silva, por alentarme y apoyarme durante todo este tiempo, instándome a ser mejor cada día, y por ser un ejemplo de superación.
<b>Mi novia</b>	Rosario de León, por apoyarme para lograr este título e instarme a seguir adelante.
<b>Mis hermanas</b>	Alejandra, Ana y Carol Segura, por apoyarme e instarme a continuar.
<b>Mis tíos</b>	Regina, Zoila y Thelma Silva, por ser una importante influencia en mi carrera y apoyarme.
<b>Mis abuelitos</b>	Florencio, Pilar Segura y María Silva, por ser una importante influencia en mi carrera y apoyarme.
<b>Mi familia</b>	Por apoyarme ante la adversidad y el éxito; por apoyarme siempre y motivarme a seguir adelante.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por permitirme desarrollar mi vida profesional en esta casa de estudios. Principalmente agradezco a la Facultad de Ingeniería y su equipo de docentes, quienes apoyaron en la formación de su servidor.

**Mi asesor**

Edwin Ixpatá, por los conocimientos compartidos durante el inicio de mi etapa como profesional.

**Reciclado de Centro  
América**

Por permitirme iniciar mi carrera profesional en tan prestigiosa empresa, y a mis compañeros por su amabilidad y confianza.

**Amigos**

Por acompañarme en todas las circunstancias y por el apoyo recibido.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XI
GLOSARIO.....	XIII
RESUMEN .....	XVII
OBJETIVOS .....	XIX
HIPÓTESIS .....	XX
INTRODUCCIÓN .....	XXI
1. ANTECEDENTES GENERALES DE LA INDUSTRIA DE RECICLADOS DE CENTRO AMÉRICA, S. A. ....	1
1.1. Descripción de la empresa.....	1
1.2. Reseña histórica .....	2
1.3. Política de calidad .....	3
1.4. Estructura organizacional.....	4
1.5. Descripción del proceso de molienda .....	8
1.5.1. Descripción de operaciones realizadas en el proceso de molienda .....	10
1.6. Descripción del proceso de compactado.....	14
1.7. Descripción del proceso de manejo de materiales en el proceso de molienda.....	15
1.7.1. Descripción de la operación de alimentación del molino.....	16
1.7.2. Descripción de la operación de empaque de producto terminado de la línea de producción del molino.....	17

2.	EVALUACIÓN DEL EQUIPO DE MOLINO Y COMPACTADORA DE LA INDUSTRIA RECICLADOS DE CENTRO AMÉRICA, S.A.....	19
2.1.	Evaluación de la planta.....	19
2.1.1	Evaluación de las instalaciones eeléctricas y tubería de refrigerante del molino y compactadora.....	26
2.2	Evaluación del molino y compactadora	33
2.2.1	Diagnóstico de las operaciones de mantenimiento. ....	36
2.2.2	Fallos más comunes del molino .....	39
2.2.3	Fallas comunes en la compactadora.....	40
2.2.4	Tiempos de reparación de elementos mecánicos de los molinos y compactadora .....	41
2.3	Propuesta de mejora para molino y compactadora.....	46
2.3.1	Plan de mantenimiento preventivo para el molino de las piezas que presentan fallas más comunes.	47
2.3.2	Plan de mantenimiento preventivo de compactadora.....	52
2.3.3	Programa de mantenimiento para molino y compactadora.....	54
2.4	Análisis financiero de la propuesta .....	57
2.4.1	Costos en los que se incurre .....	57
3.	EVALUACIÓN DEL MANEJO DE MATERIAL EN EL PROCESO DE MOLINO Y COMPACTADORA DE LA INDUSTRIA RECICLADOS DE CENTRO AMÉRICA, S.A. ....	61
3.1.	Evaluación de la distribución del área de empaque y abastecimiento de molino .....	61

3.2.	Evaluación del manejo de materiales en el proceso de molienda.....	62
3.3.	Condiciones en las que se encuentra el material.....	65
3.4.	Evaluación de la distribución de la estación de trabajo del proceso de abastecimiento para el molino.....	66
3.5.	Análisis de movimientos realizados en el proceso de abastecimiento de material para el molino.....	67
3.6.	Análisis de movimientos realizados en el proceso de llenado de producto final para el molino.....	68
3.7.	Evaluación de la distribución de la estación de trabajo del proceso de llenado de producto final para el molino 40-60.....	69
3.8.	Propuesta de mejora en el manejo de material en el proceso de molienda.....	69
3.9.	Diseño de la estación de trabajo del área de abastecimiento.....	70
3.10.	Diseño de la estación del área de llenado de producto final.....	74
3.11.	Propuesta de movimientos que faciliten las operaciones de llenado del producto final y abastecimiento de materia prima en el molino.....	77
4.	<b>CÓMO IMPLEMENTAR LA EFICIENCIA DE LOS PROCESOS PARA AUMENTAR LA VIDA ÚTIL DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS DEL MOLINO, COMPACTADORA Y MANEJO DE MATERIALES EN EL PROCESO DE MOLIENDA DE LA PLANTA INDUSTRIAL DE RECICLADOS DE CENTRO AMÉRICA, S.A. ...</b>	<b>83</b>
4.1.	Implementación de mejora para el molino y compactadora.....	83

4.2.	Actividades necesarias para el mantenimiento preventivo del molino en sus fallos comunes. ....	83
4.3.	Actividades necesarias para el mantenimiento preventivo de la compactadora.....	84
4.4.	Elaboración de catálogo de movimientos necesarios para la operación de llenado de producto terminado. ....	85
4.5.	Elaboración de catálogo de movimientos necesarios para la operación de abastecimiento de materia prima.....	86
5.	EVALUACIÓN DE LAS MEJORAS EN LA EFICIENCIA DE LOS PROCESOS DEL MOLINO Y COMPACTADORA DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA.....	89
5.1.	Indicadores para el molino y compactadora.....	89
5.2.	Hoja de control de las actividades del molino y la compactadora.....	91
5.3.	Hoja de control de tiempo de operación de los elementos mecánicos.....	92
5.4.	Hoja de <i>check list</i> de mantenimientos realizados al año...	93
5.5.	Hoja de calificación del acondicionamiento de la estación de trabajo de llenado y abastecimiento del proceso de molienda. ....	96
6.	IMPACTO AMBIENTAL DE LA EFICIENCIA DE LOS PROCESOS PARA AUMENTAR LA VIDA ÚTIL DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS DEL MOLINO, COMPACTADORA Y MANEJO DE MATERIALES EN EL PROCESO DE MOLIENDA DE LA PLANTA INDUSTRIAL DE RECICLADOS DE CENTRO AMÉRICA, S.A. ....	97
6.1.	Impacto del nuevo sistema de manejo de material .....	97

6.1.1.	Beneficios o problemas hacia los trabajadores. ....	97
6.1.2.	Equipo que puede utilizarse para mitigar problemas del sistema de manejo de material. ....	98
6.2.	Medidas de mitigación del impacto ambiental para el mantenimiento de maquinaria. ....	98
6.2.1.	Determinar el manejo de material que no se pueda procesar .....	98
6.2.2.	Formas de reciclar los elementos mecánicos de la compactadora y el molino. ....	99
CONCLUSIONES .....		101
RECOMENDACIONES.....		103
BIBLIOGRAFÍA.....		105
ANEXOS.....		107





# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Fotografía de planta de peletizado y pulverizado.....	1
2.	Fotografía de ingreso a instalaciones de Reciclados de Centro América, S.A. ....	2
3.	Organigrama de la empresa Reciclados de Centro América, S.A.....	5
4.	Diagrama de operación de molienda.....	9
5.	Mapa de recorrido de proveedores del vertedero de la zona 3 a la planta de Reciclados de Centro América, S.A.....	19
6.	Diagrama de iluminación dentro y fuera de Reciclados de Centro América, S.A.....	26
7.	Diagrama de distribución de agua y aire dentro de la planta de molienda.....	33
8.	Mantenimiento de compactadora en el último año.....	38
9.	Mantenimiento de molino en el último año.....	39
10.	Componentes de molino.....	47
11.	Componentes de compactadora.....	53
12.	Distribución actual en planta de molienda.....	63
13.	Propuesta de distribución en planta de molienda.....	64
14.	Vista de planta de estación de trabajo de molienda.....	71
15.	Vista de planta de estación de trabajo de molienda.....	72
16.	Vista lateral de estación de trabajo de molienda.....	73
20.	Estación de trabajo. Área de llenado. Vista de planta.....	75
21.	Estación de trabajo. Área de llenado. Vista lateral.....	76
22.	Estación de trabajo. Área de llenado. Vista lateral.....	77
23.	Hoja de registro check list de mantenimiento preventivo.....	91

24.	Hoja de control de operación de repuesto.....	93
25.	Hoja de registro check list mantenimiento preventivo anual.....	95

## TABLAS

I.	Descriptor de puestos.....	6
II.	Military Standard.....	12
III.	Military Estándar para inspección normal.....	13
IV.	Cantidad de lúmenes que existen dentro de la planta de molienda.....	21
V.	Inversión de mantenimiento en iluminación.....	24
VI.	Propuesta de inversión de mantenimiento en iluminación.....	25
VII.	Información de iluminación exterior de la planta.....	25
VIII.	Propuesta de inversión de sistema de aire.....	28
IX.	Escenario con fondos propios.....	29
X.	Escenario con préstamo bancario.....	31
XI.	Costos de oportunidad en mantenimiento de molino.....	42
XII.	Costo de oportunidad en propuesta del mantenimiento del molino.....	43
XIII.	Costo de oportunidad en mantenimiento de compactadora.....	44
XIV.	Costo de oportunidad en propuesta del mantenimiento de la compactadora.....	45
XV.	Promedio de horas de trabajo vs. mm de rectificado.....	48
XVI.	Limpieza de recámara de molienda por mes.....	50
XVII.	Hoja de especificación de aceite hidráulico.....	53
XVIII.	Programa de mantenimiento preventivo del molino.....	55
XIX.	Programa de mantenimiento preventivo de compactadora.....	56
XX.	Costos de mantenimiento preventivo del molino.....	57

XXI.	Costos de mantenimiento preventivo de la compactadora.....	58
XXII.	Resumen de inversión en molino y compactadora.....	59
XXIII.	Descripción de movimientos therbligs en área de abastecimiento a molino (método actual).....	78
XXIV.	Movimientos propuestos para la operación de abastecimiento....	79
XXV.	Movimientos realizados en la operación de llenado de producto (método actual).....	80
XXVI.	Propuesta de movimientos en la operación de llenado de producto.....	81
XXVII.	Programa de actividades a monitorear por mantenimiento.....	84
XXVIII.	Actividades para realizar mantenimiento preventivo en la compactadora.....	85
XXIX.	Therbligs necesarios por operación de llenado.....	86
XXX.	Therbligs necesarios por operación de abastecimiento.....	87



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>KN</b>	Kilo Newton es una medida de fuerza
<b>kg.</b>	Kilogramo es una medida de masa
<b>m</b>	Metro es una medida de longitud
<b>mm</b>	Milímetro es una medida de longitud
<b>s</b>	Segundos es una medida de tiempo
<b>Watts</b>	Watts es una medida de cantidad de potencia



## **GLOSARIO**

<b>Cribas</b>	Un sencillo sistema de sujeción permite removerlas en pocos segundos. Se fabrican en placas roladas de acero de alta calidad. Disponibles en diferentes diámetros de barrenos.
<b>Cuchillas</b>	Fabricadas en acero AISI D-2 con alto contenido de cromo y tratadas térmicamente, garantizan una alta resistencia al impacto y la máxima durabilidad de los filos de corte.
<b>Decibelímetro</b>	Instrumento capaz de realizar mediciones de ondas de frecuencia, tanto de velocidad como de aceleración, utilizadas en la industria de mantenimiento.
<b>EPP</b>	Equipo de Protección Personal utilizado en la industria como: taponeras, lentes de seguridad, casco, guantes, entre otros.
<b>Estación de trabajo</b>	Área específica donde se ubica la realización de un proceso productivo.
<b>Horómetro</b>	Instrumento capaz de registrar las horas de trabajo realizadas por una máquina o equipo.

<b>Molino</b>	Es un molino especial para moler plástico PET y polietileno de alta y baja densidad y soplado que tiene como elementos mecánicos: motor, rotor, cuchillas, criba, tolva de alimentación, ventilador centrífugo, tubería y silo.
<b>Poleas</b>	Maquinadas de placa de acero, se sujetan al rotor por medio de asiento cónico y cuñero de seguridad. Un adecuado efecto de inercia asegura una operación suave y uniforme
<b>Polietileno</b>	Es un polímero obtenido del etileno en cadenas con moléculas bastantes juntas. Es un plástico incoloro, inodoro, no tóxico, fuerte, resistente a golpes y productos químicos.
<b>Recámara molienda</b>	Construida completamente con placas de acero rectificadas y de gran espesor. Su diseño permite un fácil acceso para una rápida y cómoda operación de limpieza.
<b>Rotor</b>	Completamente de acero, maquinado en el centro de control numérico, rectificado y balanceado. Los rotores integran el exclusivo sistema “Rotoflange” para máxima protección de los rodamientos contra infiltraciones del material molido.
<b>Rutina mantenimiento</b>	Procedimientos de actividades ordenadas y sistemáticas para la ejecución del mantenimiento en una máquina o equipo.



**Silo**

Estructura fabricada de metal, utilizada para el almacenamiento a granel del material molido.



## RESUMEN

En Guatemala, el reciclaje ha tenido mayor auge durante los últimos años, a pesar de ser un negocio relativamente joven, en el cual los procesos pueden ser simples o complejos, de acuerdo al producto final. Como en todo proceso, la única forma de lograr lo planteado es desarrollar procesos eficientes y productivos. Por lo mismo, la mayor importancia de la investigación se encuentra en el área de producción y mantenimiento, ya que son indispensables para el éxito en el proceso de molienda y compactado. En lo que respecta al área de molienda, la propuesta de mejora se realiza bajo el concepto de estudios de movimientos de la técnica de *therbligs*, para determinar movimientos eficientes que permitan el incremento productivo.

En el área de molienda, se propone un cambio de metodología en el mantenimiento, buscando que sea más dinámico y se realice en el tiempo justo sin exponer elementos mecánicos de los equipos a desgaste o altos costos por mantenimiento. Con respecto al proceso de compactado, el énfasis radica en los elementos mecánicos críticos, cables y sistema hidráulico. Para los primeros se determinó el máximo de elongación que puedan sufrir previo a la ruptura. Con ello se podrá dar seguimiento al desgaste y luego realizar el cambio de dicho elemento. En el caso del sistema hidráulico se propone realizar un análisis en el aceite hidráulico, con el fin de determinar posibles daños en el sistema o cambios de aceite; ambas acciones ahorrarán tiempo y, por consiguiente, evitarán paros en el proceso. Por último, se especifica la forma en que debe emplearse la metodología propuesta para desarrollar eficazmente ambos procesos, y la implantación de controles para realizar mejoras que se adecuen al proceso.



# OBJETIVOS

## General

Proponer métodos que aumenten la vida útil de los elementos mecánicos del molino, compactadora y manejo de materiales en el proceso de molienda de la planta industrial de Reciclados de Centro América, S. A.

## Específicos

1. Determinar un sistema de mantenimiento que permita garantizar una mayor vida útil de los diferentes elementos mecánicos.
2. Diseñar una estación de trabajo para el proceso de abastecimiento del molino y llenado de producto final, que sea adecuada a las características de los operarios.
3. Especificar técnicas y movimientos que deben llevarse a cabo dentro de la operación de abastecimiento del molino y llenado del producto final, para agilizar el proceso.

## HIPÓTESIS

1. Los mantenimientos de los diversos elementos mecánicos se realizan bajo un plan de mantenimiento inadecuado, ya que no se basa en las horas utilizadas de cada máquina dentro del proceso de molienda.
2. Los cojinetes del molino no son los indicados para trabajar con materiales plásticos, ya que el calor que se produce dentro de la caja del rotor cuando este se encuentra en funcionamiento, supera las condiciones para las cuales están diseñados dichos cojinetes.
3. Los operarios no utilizan un método eficaz para facilitar la producción de hojuelas de material plástico, que les permita manejar de forma adecuada la maquinaria y disminuir los daños provocados por un mal manejo del equipo.
4. Las compactadoras no trabajan a su máxima eficiencia, debido a la falta de mantenimiento en los cables de compresión, poleas y sistema hidráulico.
5. Los envases plásticos que fueron compactados agotan el filo de las cuchillas, al igual que un material con residuos.

## INTRODUCCIÓN

Las aplicaciones de la ingeniería enfocadas en la industria son un fenómeno muy común que busca la optimización de los procesos. Ahora, debido al entorno, se ha vuelto necesario agregar otro factor, como lo es la conservación del medio ambiente, por lo que las industrias generan nuevos procedimientos que puedan ayudar a mantener los recursos. Este papel lo ha venido desempeñando la Industria de Reciclados de Centro América, S. A., operando con material postconsumo, que pueda reprocesarse, para obtener nuevamente materia prima para reutilizarla en otros procesos.

La planta de Reciclados de Centro América reconoce que todo proceso tiene que ser mejorado. Es por esta razón que ve la necesidad de reinventar constantemente nuevos procedimientos que le permitan aprovechar de forma adecuada los elementos mecánicos en la producción de molienda o de compactado de material, con el fin de mantener los equipos en condiciones adecuadas para la producción.

Otro aspecto importante en el proceso de molienda es el manejo adecuado de materia prima (material reciclado) para el proceso de abastecimiento del molino, ya que es necesario contar con una adecuada área de trabajo, que permita a los operarios desempeñarse correctamente, evitando inconformidad sobre el producto final.





# 1. ANTECEDENTES GENERALES DE LA INDUSTRIA DE RECICLADOS DE CENTRO AMÉRICA, S. A.

## 1.1. Descripción de la empresa

Reciclados de Centro América, S. A. forma parte de la Corporación del Grupo Industrial, la cual trabaja con materiales postconsumo y postindustrial, con la finalidad de reprocessar materiales reciclados para que estos puedan ser utilizados nuevamente como materia prima en otros procesos industriales. Esta empresa se dedica a recolectar garrafones que contuvieron agua pura, cajillas y botellas de aguas carbonatadas. Posterior a esto, los materiales son separados y clasificados de acuerdo a su composición química. Se puede hacer mención del Polietileno tereftalato (PET), Polietileno de alta densidad (HDPE), y Policarbonato (PC). Luego se procesan y se comercializan como “hojuela molida”, dicho producto es enviado a otros países para continuar con el ciclo de reciclado en el área textil y automotriz. Para desarrollar sus operaciones la empresa dispone de 80000 metros cuadrados, los cuales son utilizados para la clasificación de diferentes materiales, almacenaje de materia prima, producto terminado, área de operación de molienda peletizado y pulverizado.

Figura 1. **Fotografía de planta de peletizado y pulverizado**



Fuente: Reciclados de Centro América, S.A. Año 2014.

Actualmente, Reciclados de Centro América, S.A. está respaldada por 21 años de experiencia innovadora e industrial, convirtiéndose así en empresa líder a nivel centroamericano en el negocio del reciclaje.

## 1.2. Reseña histórica

Reciclados de Centro América, S.A. fue fundada en agosto del año 1995 por un grupo de empresarios visionarios, como solución a la problemática de contaminación ambiental en Guatemala. Su objetivo principal es reciclar desechos plásticos generados por la industria y consumidores de la región, transformándolos en materia prima para elaborar productos populares de plástico. La visión de la empresa es “ser una empresa competitiva en la conversión y comercialización de materias primas y productos reciclados a nivel global, enfocándose en las estrategias del mercadeo, el uso de tecnología disponible, la continua capacitación de sus miembros y apoyados en valores y creencias de todo su personal”<sup>1</sup>.

**Figura 2. Fotografía de ingreso a instalaciones de Reciclados de Centro América, S.A.**



Fuente: Reciclados de Centro América, S.A. Año 2014.

---

<sup>1</sup>Política de Calidad de empresa Reciclados de Centro América, S.A.

Reciclados de Centro América, S.A. se encuentra en una zona industrial ubicada en la avenida Petapa y 56 calle zona 12 de la ciudad capital. Según el índice de clasificación internacional uniforme, pertenece al grupo manufacturero 31, sub-grupo 3197: “fabricación de artículos plásticos y sus derivados” según lo establecido por el reglamento de localización industrial de la Municipalidad de Guatemala<sup>3</sup>.

### **1.3. Política de calidad**

Reciclados de Centro América, S.A posee su propia política de calidad, la cual abarca a los diferentes individuos que interactúan dentro de la corporación, que son importantes para garantizar el éxito a corto y largo plazo. Además, el énfasis de la política es buscar continuamente la excelencia en el negocio del reciclaje utilizando sistemas de gestión eficaces de calidad, medio ambiente, salud y seguridad ocupacional, con recurso humano altamente competente, para así obtener la confianza y satisfacción del cliente interno y externo.

Como toda política, también se enfoca en su cliente en los diferentes aspectos, tanto interno como externo, ya que reconoce que todo producto de calidad debe cumplir los requisitos de todos los interesados para poder comercializarlo. Por último, se enfoca también en el aspecto legal, acordando el cumplimiento y respeto hacia las leyes en donde corresponde.

Reciclados de Centro América es la segunda recicladora a nivel Centro Americano, certificada bajo la norma ISO 9000, garantizando la estandarización de sus procesos y la mejora continua. El enfoque de la calidad se rige bajo la perspectiva del cliente, ya que, por ser un mercado diferente, el producto

---

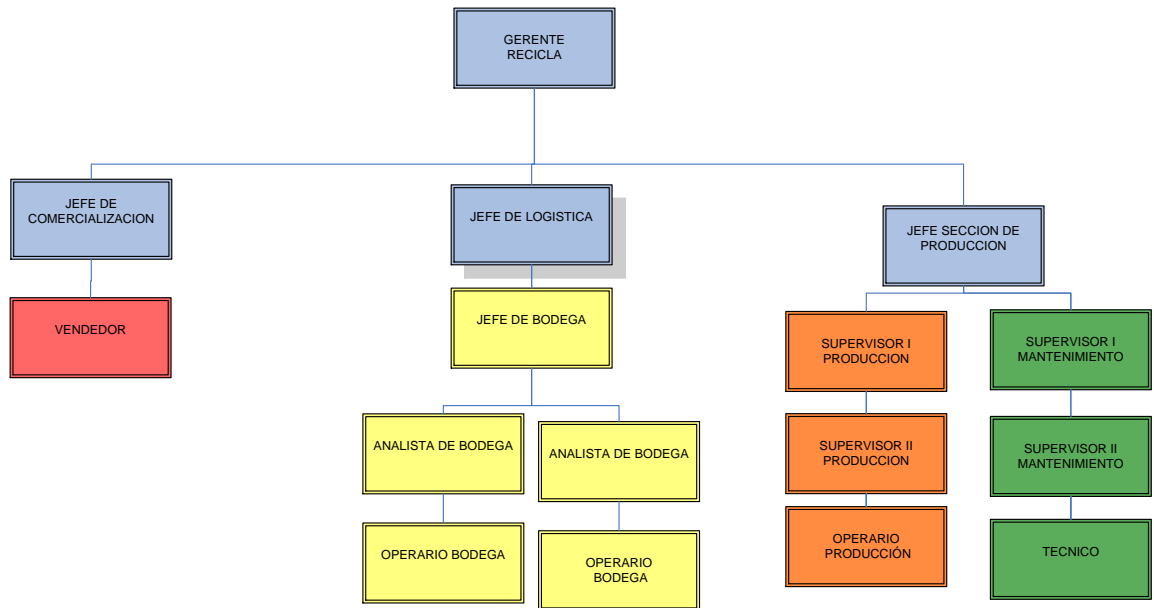
<sup>3</sup>Reglamento específico de localización industrial del municipio de Guatemala, Municipalidad de Guatemala.

terminado debe satisfacer los requerimientos del mismo. Para la toma de las muestras en los procesos se utiliza muestreo de la norma militar estándar como referencia.

#### **1.4. Estructura organizacional**


La estructura organizacional de la planta de Reciclados de Centro América, S.A. es bastante simple, debido a que los departamentos que la conforman son solamente 3. Para las otras actividades la empresa cuenta con departamentos que funcionan para el resto de las empresas que pertenecen al complejo industrial, prueba de ello es el organigrama que se muestra a continuación:

Figura 3. Organigrama de la empresa Reciclados de Centro América, S.A.



Fuente: elaboración propia.

Tabla I. **Descriptor de puestos**

	Descripción del puesto de trabajo	Código: Fecha: mayo 2016 Página: 1 de 1
---	-----------------------------------	---

<b>Nombre del puesto</b>	Jefe de comercialización	<b>Area</b>	Comercialización
<b>Supervisión recibida</b>		<b>Supervisión ejercida</b>	
Gerencia		Vendedor	
<b>Objetivos del puesto</b>			
Coordinar las actividades de la fuerza de ventas, los planes de comercialización y mercadeo, a fin de lograr el posicionamiento de la empresa, en base a políticas establecidas para la promoción, distribución y venta de productos y servicios a fin de lograr los objetivos de ventas.			
<b>Funciones principales</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Planificación del departamento de acuerdo a un presupuesto de ventas.</li> <li>✓ Determinar las condiciones y términos de los contratos realizados con el cliente.</li> </ul>			
<b>Requisitos del puesto</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Título universitario en Administración de Empresas, Ingeniero Industrial, Mercadeo o carrera afín</li> <li>✓ Elaboración y ejecución de presupuestos y KPI's</li> <li>✓ Manejo de paquetes de computación</li> </ul>			

<b>Nombre del puesto</b>	Vendedor	<b>Area</b>	Comercialización
<b>Supervisión recibida</b>		<b>Supervisión ejercida</b>	
Jefe de comercialización			
<b>Objetivos del puesto</b>			
Asesoramiento al cliente utilizando los medios y las técnicas a su alcance para conseguir que el cliente adquiera el producto y servicio ofrecido.			
<b>Funciones principales</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Consolidar cartera de clientes</li> <li>✓ Establecer órdenes de pedido de acuerdo a los requerimientos del cliente</li> <li>✓ Crear papelería necesaria para exportar.</li> </ul>			
<b>Requisitos del puesto</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Experiencia mínima de dos años</li> <li>✓ Alta capacidad para relaciones interpersonales</li> <li>✓ Fluidez verbal</li> </ul>			

Continuación tabla I.

<b>Nombre del puesto</b>	Jefe de Producción	<b>Área</b>	Producción
<b>Supervisión recibida</b>	<b>Supervisión ejercida</b>		
Gerencia	Supervisor de Producción		
<b>Objetivos del puesto</b>			
Administrar y controlar los planes de la planta de Reciclados, teniendo un enfoque en el ámbito productivo, buscando una alineación estratégica de los diferentes factores que interactúan			
<b>Funciones principales</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Determina el presupuesto operativo anual y la realización de los proyectos nuevos, da seguimiento de los indicadores y costos de la planta.</li> </ul>			
<b>Requisitos del puesto</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Título de Maestría en administración de empresas u carreras a Fines</li> <li>✓ 5 años de experiencia en puestos similares.</li> <li>✓ Disponibilidad total de horario para laborar turnos rotativos.</li> </ul>			

<b>Nombre del Puesto</b>	<b>Área</b>
<b>Supervisor de Producción</b>	<b>Producción</b>
<b>Supervisión recibida</b>	<b>Supervisión ejercida</b>
Jefe de producción	Operador de Producción
<b>Objetivos del puesto</b>	
Planificar y distribuir el recurso humano y equipos de acuerdo a la necesidad productiva, así como la supervisión de los procesos productivos.	
<b>Funciones principales</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Coordinar al operador de acuerdo a la planificación realizada, y da seguimiento a los procesos productivos.</li> </ul>	
<b>Requisitos del puesto</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Título Universitario</li> <li>✓ 2 años de experiencia en puestos similares.</li> <li>✓ Disponibilidad total de horario para laborar turnos rotativos.</li> </ul>	

Continuación tabla I.

<b>Nombre del puesto</b>	Operador de producción	<b>Área</b>	Producción
<b>Supervisión recibida</b>		<b>Supervisión ejercida</b>	
Supervisor de producción.			
<b>Objetivos del puesto</b>			
Operar los diferentes equipos en los procesos productivos, por medio de los conocimientos en el reciclaje y los requisitos del cliente			
<b>Funciones principales</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Alimentar y operar el equipo, garantizando la calidad durante el proceso</li> </ul>			
<b>Requisitos del puesto</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Título de nivel primaria</li> <li>✓ Sin experiencia en el área.</li> <li>✓ Disponibilidad total de horario para laborar turnos rotativos.</li> </ul>			

Fuente: elaboración propia.

### 1.5. Descripción del proceso de molienda

El proceso de molienda inicia cuando el material a moler es colocado por el operador de bodega cerca de los molinos. El plástico se encuentra en jumbos que fueron clasificados con anterioridad de acuerdo a el tipo de material, color y condiciones en que se encuentra. El operador de producción es el encargado de alimentar el molino, colocando el plástico sobre una banda transportadora que alimentan los molinos. El material ingresa en la parte superior del molino y cae hasta el compartimiento de las cuchillas, en donde el material es cortado varias veces, hasta obtener hojuelas del tamaño requerido. Estas se desplazan por el filtro y se desliza hacia los silos por medio de presión de aire para que el operador de producción pueda empacar y sellar, según los requisitos del cliente.



Figura 4. Diagrama de operación de molienda

Empresa: Reciclados de Centro América.		Operación: Molienda de Pet	
Elaborado por: Ulrich Segura		Diagrama:	Hoja
Método: Actual	Fecha: 26/04/16	Operación	1/1

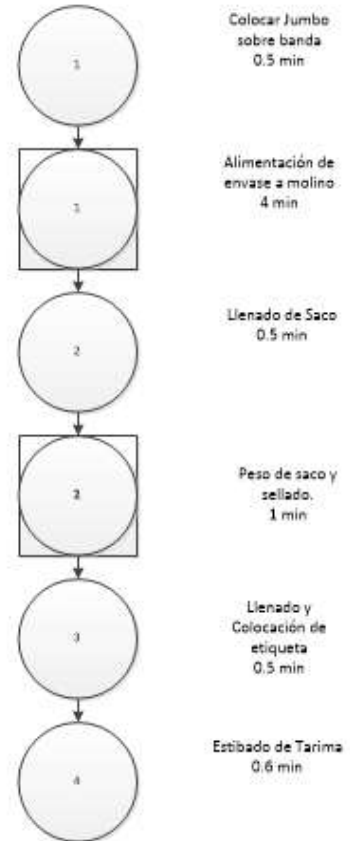


Figura	Descripción	# ítem	Tiempo
	Operación y verificación	2	5 min
	Operación	4	2,1 min
<b>Total</b>	<b>1.6.</b>	<b>6</b>	<b>7,1 min</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.

### **1.5.1 Descripción de operaciones realizadas en el proceso de molienda**

Dentro de las operaciones propias de este proceso se encuentra la de alimentación de materia prima hacia el molino. Para esta actividad se utiliza una banda transportadora que alimenta el molino a una tasa de 1 m/s, simplificando la operación que realiza el operador de producción, ya que este se enfoca en que la alimentación que sea constante. Es importante que el operador de producción mantenga un flujo constante de 3kg/m para aprovechar la máxima capacidad del molino. También debe contemplarse el estado del molino, esto se decide con base en el filo de las cuchillas, ya que de estas depende en gran medida la capacidad de la máquina. De no tener filo la cuchilla se procederá a solicitar mantenimiento al molino. Los operarios de producción deben poner atención al material que se está trabajando, ya que este no debe contener mezcla de otros tipos de plástico; de lo contrario se considerará como producto no conforme.

Luego de la operación de alimentación se encuentra la operación de embolsado y sellado, la cual es realizada por otro operario de producción. La función que desempeña es muy importante, ya que debe llenar los sacos con material molido, que se encuentra en los silos con el peso exacto. En el proceso de llenado de sacos el operario debe extraer una muestras de cada 5 sacos aleatoriamente, las cuales se completan en una sola muestra que se utilizará para el control de calidad del producto. La muestra debe identificarse con el número de tarima y el nombre del operador, para poder determinar la trazabilidad en el momento que esta sea necesaria.

Otra actividad que se realiza en el proceso de molienda es la de control de calidad en el producto terminado. De esta manera se busca identificar

“producto conforme y no conforme”. Se realiza por medio de tres fases: la primera es el método de muestreo simple-aleatorio; la segunda es el procedimiento de aceptación fundamentado en militar estándar; y, por último, la validación por medio de la distribución binomial. En la fase de muestreo simple-aleatorio el operador recolecta muestras de 5 de los 6 sacos que conforman una fila. Estas son tomadas al azar. En la fase de aceptación, la cual se basa en el método militar, se determina un nivel riguroso para la aceptación, ya que el tamaño de la muestra se caracteriza por ser muy pequeña, de acuerdo al tamaño del lote que represente.

Por eso se utilizarán los niveles especiales de acuerdo a la tabla mil-std-105, considerando el riesgo elevado al tratarse de una muestra de 1 kg de producto con respecto a la cantidad de kg que tiene cada *pallet*, por lo que según indica la militar, al encontrar una muestra mala se rechazará el lote que representa. Para esto se emplea un nivel especial S-4.

Debido al elevado nivel de producción, el tomar muestras más significativas complica la operación, por eso se optó por un alto nivel de referencia de aceptación, más riguroso: en cada tarima se verá la cantidad de kg que se maneja; a su vez, se especificará el lote, como una cama de cada uno de los kilogramos que lo conforman en el rango de lote entre 51-90. La letra a utilizar para determinar la cantidad de muestras y el criterio de aceptación será “C”.

Tabla II. **Military Standard**

Tamaño del Lote	Niveles Especiales				Inspección General		
	S-1	S-2	S-3	S-4	I	II	III
2 – 8	A	A	A	A	A	A	B
9 – 15	A	A	A	A	A	B	C
16 -25	A	A	B	B	B	C	D
26 – 50	A	B	B	C	C	D	E
51 -90	A	B	C	C	C	E	F
91 - 150	B	B	C	D	D	F	G
151 - 280	B	C	D	E	E	G	H
281 - 500	B	C	D	E	F	H	J
501 - 1200	C	C	E	F	G	J	K
1201 - 3200	C	D	E	G	H	K	L
3201 - 10000	C	D	F	G	J	L	M
10001 -35000	C	D	F	H	K	M	N
35001 - 150000	D	E	G	J	L	N	P
15001 -500000	D	E	G	J	M	P	Q
500000 - mas	D	E	H	K	N	Q	R

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a lo indicado con anterioridad, se procederá a revisar en la tabla de militar estándar 105 de muestreo simple. Esta indica que para la letra “C” se debe realizar un muestreo de 5 muestras al azar, por lo que se procederá a recolectar de cada cama de la tarima. Con base en esto el nivel de rechazo del producto terminado de esa cama, se dará cuando se encuentre una muestra mala y se liberará como producto que cumple los requisitos cuando dentro del muestreo no se haya encontrado ningún contaminante.

Tabla III. Military Estándar para inspección normal

Código de tamaño muestral	Tamaño muestral	Niveles de calidad aceptable (inspección normal)																											
		0.010 0.015 0.025 0.040 0.063 0.10 0.15 0.25 0.40 0.65 1.0 1.5 2.5 4.0 6.5 10 15 25 40 65 100 150 250 400 650 1000																											
		Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re
A	2	↑																											
B	3	↑																											
C	5	↑																											
D	8	↑																											
E	13	↑																											
F	20	↑																											
G	32	↑																											
H	50	↑																											
J	80	↑																											
K	125	↑																											
L	200	↑																											
M	315	↑																											
N	500	↑																											
P	800	↑																											
Q	1250	↑																											
R	2000	↑																											

Fuente: Acheson J. Duncan. *Control de calidad y estadística Industrial*. p. 225.

Para ello, el operado de producción revisa la muestra recolectada en búsqueda de contaminante. De encontrar un contaminante, se cuantifica el grado de contaminación de pvc (policloruro de vinil), pp (polipropileno), hdpe (polietileno) u otro material diferente en partes por millón, o se calcula el porcentaje de material contaminado. Si este porcentaje excede de los límites de aceptación del cliente, que en promedio se encuentra menor a 500 partes por millón, se toma la decisión de revisar la cama de la tarima por completo, de lo contrario se libera el producto para la venta. En la última fase para la validación de la muestra se emplea una distribución binomial, la cual se utilizará para validar la probabilidad discreta, cuando la medición de la aceptación o rechazo de la muestra sea adecuada para garantizar la eficiencia del proceso de muestreo; se consideraron los porcentajes de peso como referencia, de acuerdo a que para una botella de contaminante el peso es un 66% más liviano que una botella de *pet*, se realiza la probabilidad binomial de seleccionar esta botella, que es de 0,4, mientras que una botella de *pet* es 0,6. De acuerdo a esto se procede a realizar la probabilidad de no detectar ninguna botella de contaminante, lo cual indicaría la eficiencia del sistema de aceptación:

$$P = 0,4$$

$$Q = 1 - P = 0,6$$

$$N = 4 \text{ (tamaño de muestras)}$$

Probabilidad binomial de que la botella seleccionada como contaminante no sea una botella de contaminante en la revisión de muestras:

$$P(x=0) = (0,4^0) * (0,6^4) = 0,129 = 13\%$$

La probabilidad de que la muestra que se identificó como muestra contaminada sea errónea es del 13%, a diferencia de que la muestra que se identificó como contaminada efectivamente sea correcta, cuando sería del 87%.

## **1.6. Descripción del proceso de compactado**

El proceso de compactado es un proceso intermitente. Solo cuando existe la cantidad suficiente de aluminio el proceso se lleva a cabo. Otro material que en ocasiones se procesa es el plástico, el cual se transporta de los centros de acopio para la planta de reciclados. El proceso se lleva a cabo cuando se tiene la cantidad necesaria de *jumbos*, equivalente a 30 metros cúbicos. Los materiales son depositados dentro del compartimiento frontal de la compactadora, a través de una abertura en la parte superior.

Cuando el material llena toda el área del compartimiento de la compactadora, este es aplastado por la cara superior. Dicha superficie móvil funciona por medio de un émbolo hidráulico que hace presión a un sistema de poleas y cables que se encargan de compactar todo el material. Teniendo las pacas de aluminio o plástico, se abre la compuerta de la compactadora y se

procede a sacar las pacas de material y se sujetan con lazos para que no se desprenda ningún envase al momento del transporte.

### **1.7. Descripción del proceso de manejo de materiales en el proceso de molienda**

La materia prima es recibida en varios espacios de descarga, con los que se cuentan en planta. Se tiene una recepción de acuerdo al tipo de material y la forma en como este se presente. Se recibe tanto la presentación de *jumbos* como pacas; los primeros son recibidos en un lugar para camiones de pocas toneladas, dicho espacio se encuentra a pocos metros de la planta de molienda. Se hacen ingresar de inmediato al proceso para su clasificación. Los segundos son recibidos en otro lugar destinado para camiones. Esto se debe a que las pacas son traídas desde los centros de acopio y, por el tamaño del vehículo, no pueden ser recibidos en la misma área. Cuando el material es recibido en planta se procede a clasificarlo.

Esto se debe a que en Guatemala no existe la costumbre de separar de acuerdo a qué tipo de plástico es, postindustrial (captado de una industria donde no fue utilizado) o postconsumo (captado de vertederos como muestra de residuos de líquidos), o por el color del mismo, lo que obliga a tener un proceso de clasificación previo a su ingreso. Esto garantiza que el material adquirido podrá procesarse de acuerdo al color y tipo, garantizando la uniformidad de la hojuela. Con el material clasificado dentro de la planta se procede a determinar el peso de cada una de las presentaciones en las que se recibe el plástico.

Luego este es apilado en áreas específicas, las cuales pueden encontrarse cercanas al área de alimentación o alejadas de dicha área, debido a que el espacio destinado para cada línea de molienda es reducido. Cuando se agota el material en las áreas cercanas a la banda de alimentación del molino,

se procede a buscar el material en las áreas alejadas, se selecciona el material apilado de acuerdo a la producción y se extrae de estas áreas la cantidad a utilizar.

### **1.7.1 Descripción de la operación de alimentación del molino**

El operador de producción responsable del proceso de molienda debe encargarse de verificar si cuenta con la existencia suficiente del material dentro del proceso (promedio 20 metros cúbicos de material), de lo contrario solicitará el material al operador de bodega, trayendo material de modo que siempre se esté abasteciendo al molino. Dentro de sus otras responsabilidades el operador de producción es el responsable de velar por la calidad del producto terminado, por medio de una revisión periódica del tipo de material que está ingresando a la banda que alimenta el molino, ya que esta puede contener alguna sustancia o especificación diferente (color de envases), que obligue al operador a retirar un envase en específico que puede afectar la homogeneidad del producto.

Otro factor que debe considerarse es que muchas veces la materia prima proviene de los vertederos municipales, por lo que puede contener algún elemento de madera o metal que puede dañar las cuchillas, de no percatarse en el ingreso al molino. Además de estas acciones, el operador es el encargado de no sobrecargar la capacidad de molienda del molino, por medio de la verificación del consumo de corriente eléctrica a 22 amperios por parte del motor del molino, de lo contrario puede sobrecalentar el molino provocando deterioro al embobinado.

Otro factor que puede generar un alto consumo eléctrico del molino es el filo de las cuchillas, cuando estos elementos mecánicos no cuentan con suficiente filo para el corte y generan más fricción y calor en la cabina de corte, provocando que el material pueda variar las propiedades físicas del producto



final, o en caso extremo provocar una combustión del material. El riesgo de trabajar con cuchillas sin filo genera una hojuela cristalizada por el calor que ya no es funcional para el cliente final.

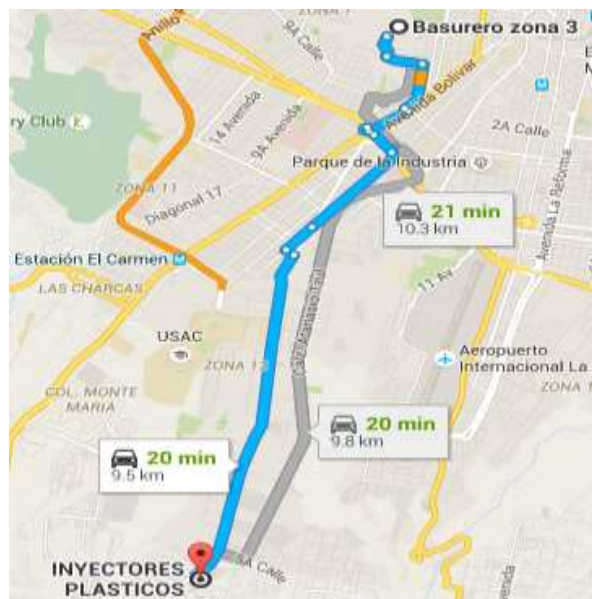
### **1.7.2 Descripción de la operación de empaque de producto terminado de la línea de producción del molino**

La operación de empaque es llevada a cabo por medio del operador de producción, quien se encarga de garantizar el peso exacto de cada uno de los sacos de producto final. Conforme estos se llenan en unidades, el operador transporta hacia la báscula, en donde ajusta el peso a 20 kg y extrae la muestra que posteriormente será analizada. Teniendo el producto con el peso mencionado, el operador procede a cerrar el saco y entarimar 50 unidades o bien una tonelada de producto terminado, identificando cada uno de estos con un marbete adherible que le servirá para su respectivo control del lote.



## 2. EVALUACIÓN DEL EQUIPO DE MOLINO Y COMPACTADORA DE LA INDUSTRIA RECICLADOS DE CENTRO AMÉRICA, S.A.

Figura 5. Mapa de recorrido de proveedores del vertedero de la zona 3 a la planta de Reciclados de Centro América, S.A.



Fuente: Google Maps. Consulta: enero 2016.

### 2.1. Evaluación de la planta

La planta de Reciclados de Centro América, S.A., actualmente se encuentra ubicada en avenida Petapa. Esta posición estratégica beneficia a la empresa, ya que facilita el acceso a sus proveedores de materia prima, garantizando un abastecimiento continuo, esto principalmente para el caso del basurero de la zona 3, que clasifica alrededor de 560 TM de material plástico y que se encuentra ubicado a 9,6 kilómetros, a diferencia del competidor más cercano, ubicado en Villa Nueva, a 27 kilómetros. Dentro de las principales ventajas que tienen los proveedores con la ubicación son:




- Los rutas del relleno de la zona 3 hacia la empresa se encuentran por la avenida Petapa o Atanasio Tzul. Ambas rutas se caracterizan por mantener un tránsito moderado, a diferencia de la competencia, para cuya planta se debe recorrer la calzada Aguilar Batres, que se caracteriza por una mayor afluencia de vehículos pesados. Esto reduce los tiempos de traslado, beneficiando al proveedor, ya que puede aumentarse el número de traslados.
- El horario de circulación de los camiones es de 9:00 a 16:00 horas. Suponiendo que los horarios de descarga son de una hora y el tiempo hacia la empresa es 40 min., esto permitiría realizar 4 viajes, mientras que si se decide ir a la competencia solo se pueden realizar 3 viajes.
- Si se realiza el análisis de consumo de *diesel* de los camiones, suponiendo que estos rinden 10 km/ galón y el precio es de Q. 15,5, el proveedor consumiría Q. 31,00 en realizar el recorrido, a diferencia de hacerlo hacia la planta de la competencia, porque consumiría 5,5 galones, lo que supondría un gasto de Q. 85,25, que implica un 275 % de gasto mayor en comparación con trasladar el material a la empresa Reciclados de Centro América.

En lo que respecta con su delimitación geográfica, su espacio es limitado, ya que actualmente está distribuido en naves de producción, bodegas y producto terminado, todo ello equivalente a alrededor de 3500 metros cuadrados de área, en donde se desarrollan los proceso productivos y almacenamiento de producto terminado. El resto de áreas de carga, descarga y almacenamiento de materia prima representa un espacio aproximado de 2500 metros cuadrados. Este tipo de negocio se caracteriza porque su materia prima ocupa un espacio de 30 a 1 de producto terminado. Las proporciones de áreas de almacenamiento de materia prima, en comparación a las naves de producto

terminado, deberían ser al menos 10 veces más amplias para facilitar la operación. La planta se encuentra señalizada en su exterior, por medio de rótulos que indican los pasos peatonales, así como las áreas en donde se puede conducir el montacargas. Además existen rótulos que señalan las diferentes bodegas y centros de procesamiento de cada material, sin embargo, aún falta la señalización del área de carga de material, así como el paso peatonal a un costado de la planta de molienda.

En cuanto al tema de iluminación, solo se cuenta con 1 foco de 250 Watts, para iluminar un costado del área de la planta de molienda, y para el resto de áreas solo se utilizan 4 focos de 250W, los cuales se encuentran ubicados al frente de cada entrada o salida de las naves.

Tabla IV. **Cantidad de lúmenes que existen dentro de la planta de molienda**

Simbología	Watts	Lúmenes Iniciales	Total de luminarias	Total de lúmenes
	120	9600	22	211200
	75	5700	16	91200
	30	2820	8	22560
			46	324960

Fuente: elaboración propia.

Nota: los lúmenes iniciales fueron datos proporcionados por luminarias fluorescentes estándar (ver anexo).

En la planta de molienda los siguientes cálculos de iluminación son realizados por el método de cavidad zonal, para determinar las necesidades en la iluminación:

Reflectancia

Pintura de aluminio en el techo 65 %

Paredes en blanco 75-85 % = 80 %                      verde 40-50 % = 45 %

Promedio de paredes = 63 %

Piso de concreto 40 %

Rango de iluminación E (500-750-1000)

Altura piso- área de trabajo 0,5m

Altura del área de trabajo de lámpara 4,5 m

Altura de cielo – lámpara 1 m.

Coefficiente de mantenimiento 0,6

Ancho de 22 metros

Largo de 42 metros

FM = 0,5

Se tomó como factor de mantenimiento 0,5, debido a que no se ejecuta el mantenimiento que se contempla a las luminarias de la planta de molienda.

$$RCA = (5 * 4,5 (22+42)) / (22 * 42) = 1,6071$$

$$RCC = (5 * 1(22+42)) / (22 * 42) = 0,3571$$

$$RCP = (5 * ,5 (22+42)) / (22 * 42) = 0,1785$$

Reflexión efectiva de la cavidad de cielo PCC

PC = 65 %

PP = 63 %

$$X = 68,90 = 69\%$$

RCC	PCC
1	69
0,1785	X
,2	68

Coeficiente de utilización

$$P_{cc} = 70$$

$$P_p = 40\%$$

$$X = 77,35$$

Rca	K
1	,81
1,6071	X
2	,75

$$K = 77,35\%$$

Reflexión efectiva de cavidad de piso

$$P_f = 40$$

$$P_p = 63$$

$$X = 48,43$$

Rcp	PCC
0,3	49
0,3571	X
,04	48

Como el Pcp es mayor del 30% se procede a realizar el factor de corrección:

Factor de corrección K\*

$$P_{cc} = 70\%$$

$$P_p = 60\%$$

$$X = 1,0739$$

Rca	K
1	1,08
1,6071	X
2	1,07

$$K^* = (0,7735) * 1,0739 = 0,8306$$

Flujo luminoso

$$\Phi_t = 750 (42 * 22) / (0,8306 * 0,05)$$

$$\Phi_t = 1083554 \text{ lúmenes}$$

Con base en los datos obtenidos en la planta de molienda, el flujo luminoso requerido por el método de cavidad zonal es de 1083554 lúmenes.

Actualmente, para mantener esta iluminación, el plan de mantenimiento considera el cambio de luminarias cada semestre, sin enfocarse en el mantenimiento de la infraestructura, lo cual representaría mejoras en la planta y reducción de costos. El mantenimiento de las paredes, techo y piso, son factores a considerar, ya que influyen directamente en la reflectancia. Por lo que, en el caso de las paredes, se debe aplicar pintura de un color más claro, en especial de aceite. Esta genera cinco veces mayor reflectancia que la actual. La propuesta del nuevo plan de mantenimiento es un método integrado que involucra limpieza de paredes y luminarias mínimo una vez al mes, así mismo, aplicación de pintura anualmente, todo esto con el fin de mantenerlas claras.

Con base en lo anterior, en la planta de molienda es cuantificado el gasto necesario para el mantenimiento de la iluminación, bajo la premisa de que semestralmente se cambian 88 luminarias, haciendo un total de 176 anual:

**Tabla V. Inversión de mantenimiento en iluminación**

Plan actual	
Cambio de 22 lámparas de 4 luminarias semestral	Q. 7040,00
Gasto Anual	Q. 7040,00

Fuente: elaboración propia

Con la nueva propuesta de iluminación en el plan de mantenimiento, anualmente se evidencia la inversión por adquisición de luminarias, y la otra parte del gasto se ve reflejado en la compra de pintura:




Tabla VI. **Propuesta de inversión de mantenimiento en iluminación**

Inversión	
Pintura de las paredes anual	Q. 1 500,00
Cambiar 22 lámparas de 4 luminarias anual	Q. 3 520,00
Costo de propuesta	Q. 5 020,00
Costo de propuesta vs actual	71 %

Fuente: elaboración propia.

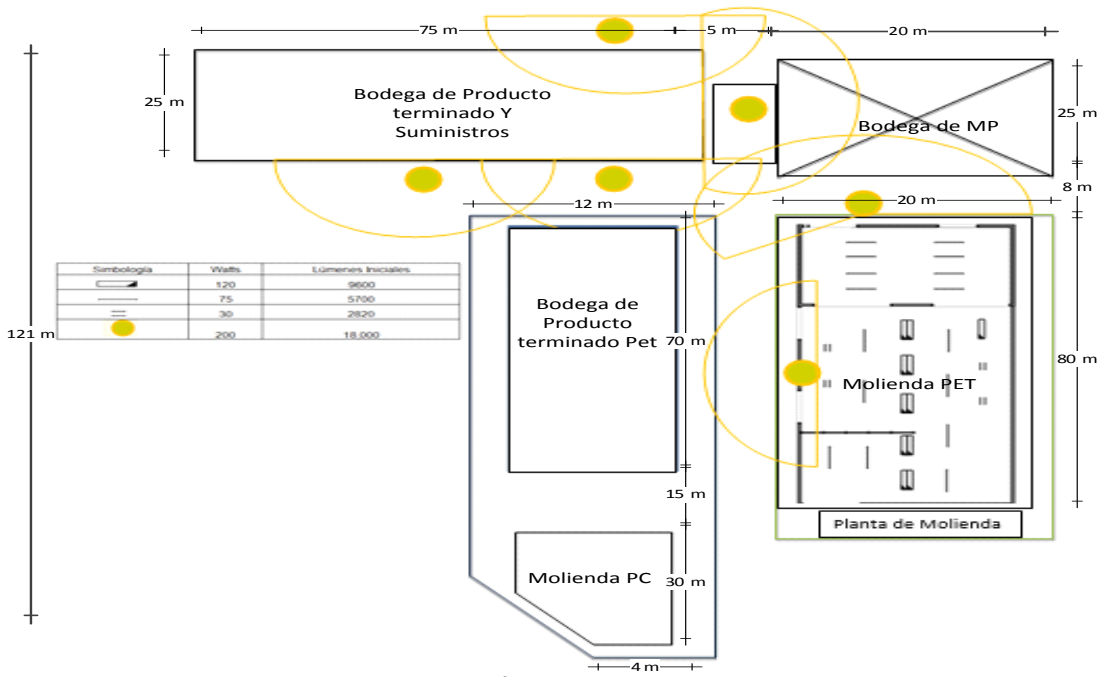
En conclusión, se puede observar que anualmente el gasto necesario para implementar el plan de mantenimiento haciende a Q. 7 040,00; con la aplicación de las mejoras propuestas, este se reduciría a Q.5020,00, lo que equivale a un 71% del plan actual. Por lo que se obtendrá un ahorro de Q.2020,00, que equivale a un 29% del plan actual.

Tabla VII. **Información de iluminación exterior de la planta**

Simbología	Watts	Lúmenes iniciales	Total de luminarias	Total de lúmenes
	200	18000	6	108000

Fuente: elaboración propia.

**Figura 6. Diagrama de iluminación dentro y fuera de Reciclados de Centro América, S.A**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.

**2.1.1 Evaluación de las instalaciones eléctricas y tubería de refrigerante del molino y compactadora**

La instalación eléctrica de la planta de Reciclados de Centro América, S.A., cuenta con un panel principal que se encarga de recibir toda la energía eléctrica del banco de transformadores. Cuando el panel principal recibe la corriente eléctrica, este se encarga de suministrarla a los paneles principales de cada planta de producción, en este caso la transmite al panel principal del proceso de molienda. Antes de llegar a dicho panel la corriente se hace pasar por un transformador para reducir el voltaje a 480 V. Recibida en el panel principal del proceso de molienda, la corriente eléctrica vuelve a suministrarse para cada línea de molienda. Los cables de corriente eléctrica se encuentran identificados

por un color amarillo y revestidos de aislante para evitar cualquier riesgo con los trabajadores y los equipos. La capacidad eléctrica de la planta de molienda se encuentra en un 70%, lo que indica que aún se pueden instalar equipos de mayor consumo eléctrico en la planta y que no existiría problema por el suministro eléctrico.

Las tuberías instaladas para transportar el agua para enfriamiento que alimenta el molino están colocadas a 3,5 metros de altura sobre los equipos. Con esto se garantiza el enfriamiento por medio de la conducción que transmite el agua hacia la recámara. Esta tubería cuenta con un revestimiento que le permite proteger la tubería y mantener la temperatura del agua en 5 C para el proceso de enfriamiento de los molinos. Otra función que tiene el revestimiento es la de absorber toda el agua que se filtra de la tubería para mantener húmeda la superficie. Dicha tubería es identificada dentro de planta con un color específico.

La instalación de aire es utilizada dentro de la planta solo para la limpieza del área de trabajo de los molinos. Su sistema de distribución es colocado en puntos intermedios dentro de la planta. Cuenta con una deficiencia, ya que las tuberías se desglosan en ramales que nunca se intersectan. Con este sistema de ramales la tubería genera flujos en ambas direcciones, ya que lo más conveniente para los sistemas de aire es contar con anillos formados por las tuberías para reducir el flujo en varias direcciones, que es lo que actualmente sucede con el sistema. Otro factor que no se está tomando en cuenta es la inclinación de la tubería para facilitar la condensación de los líquidos. Otra deficiencia que se tiene es que no se cuenta con un tanque pulmón y el compresor es antiguo, lo que obliga a que los equipos tengan un funcionamiento continuo para la generación de aire con poca eficiencia. El tener este tipo de equipos en el sistema generaría una reducción económica por

consumo de energía eléctrica de Q. 94,83/ día o Q. 33 977,44 anuales. En el consumo por producción de aire la inversión del tanque se pagaría en 1,06 años.

**Tabla VIII. Propuesta de inversión de sistema de aire**

<i>Inversión en tanque</i>	Q. 30 000,00
<i>Inversión de Compresor</i>	Q. 150 000,00
<i>Inversión Total</i>	Q. 180 000,00
<i>Operación actual del equipo</i>	100 %
<i>Operación con la propuesta</i>	62,5 %
<i>Ahorro del 38,5% anual</i>	Q. 33 977,44
<i>Retorno de la inversión en años</i>	1,06

Fuente: elaboración propia.

Con base en la propuesta anterior, se realizaron dos escenarios para la compra de los equipos, uno bajo el supuesto de un préstamo bancario y otro bajo el supuesto de que la empresa invierte:

Tabla IX. Escenario con fondos propios

Flujo de Caja	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16	may-16	jun-16	jul-16	ago-16	sep-16	oct-16	nov-16	dic-16	TOTAL
Ingreso	Q.750,000.00	Q.757,500.00	Q.765,075.00	Q.772,725.75	Q.780,453.01	Q.788,257.54	Q.788,180.27	Q.796,062.07	Q.804,022.69	Q.803,943.87	Q.811,988.31	Q.820,103.14	Q.9,438,306.64
Inversión	Q.180,000.00												
Egresos	Q.684,325.00	Q.691,168.25	Q.698,079.93	Q.705,060.73	Q.712,111.34	Q.719,232.45	Q.719,161.95	Q.726,353.57	Q.733,617.10	Q.733,545.19	Q.740,880.64	Q.748,289.44	Q.8,611,825.59
Ahorro Proyecto	Q. 2,700.00	Q. 2,727.00	Q. 2,754.27	Q. 2,781.81	Q. 2,809.63	Q. 2,837.73	Q. 2,837.45	Q. 2,865.82	Q. 2,894.48	Q. 2,894.20	Q. 2,923.14	Q. 2,952.37	Q. 33,977.90
FE	-Q.180,000.00	Q. 68,375.00	Q. 69,058.75	Q. 70,446.83	Q. 71,151.30	Q. 71,862.81	Q. 71,855.77	Q. 72,574.33	Q. 73,310.07	Q. 73,292.88	Q. 74,025.81	Q. 74,766.07	Q. 860,458.96
#Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Inversión
FF $((1+i)^{12}/i)$	Q. 67,328.05	Q. 66,960.10	Q. 66,594.16	Q. 66,230.22	Q. 65,868.27	Q. 65,508.30	Q. 64,498.92	Q. 64,146.43	Q. 63,795.87	Q. 62,812.88	Q. 62,469.61	Q. 62,128.21	-Q. 180,000.00

Costo Oportunidad	%
Utilidad	13%
Inflación	2.16%
Ganancia	3.50%
Tasa flujos descontados	19%
Tasa Mensual	2%

TIR	38%
VPN	Q.598,341.03

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en el resultado obtenido del proyecto, el flujo de caja no se ve afectado y el proyecto puede realizarse con fondos propios, ya que su tasa interna de retorno es mayor a la tasa de flujos descontados del proyecto, además el costo del proyecto equivale al 30% del total del valor presente que la operación obtiene en el primer año. El ahorro que se tiene del proyecto representa el 19% del costo del proyecto, lo que indica que en 5 años se paga el proyecto con el ahorro que están generando los equipos.

Tabla X. Escenario con préstamo bancario

Flujo de Caja	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16	may-16	jun-16	jul-16	ago-16	sep-16	oct-16	nov-16	dic-16	TOTAL
Ingreso	Q.750,000.00	Q.757,500.00	Q.765,075.00	Q.772,725.75	Q.780,453.01	Q.788,257.54	Q.788,180.27	Q.796,062.07	Q.804,022.69	Q.803,943.87	Q.811,983.31	Q.820,003.14	Q.9,438,306.64
Inversion	Q.180,000.00												
Préstamo	Q.16,950.00	Q.16,950.00	Q.16,950.00	Q.16,950.00	Q.16,950.00	Q.16,950.00	Q.16,950.00	Q.16,950.00	Q.16,950.00	Q.16,950.00	Q.16,950.00	Q.16,950.00	Q.203,400.00
Egresos	Q.684,225.00	Q.691,168.25	Q.698,079.93	Q.705,060.73	Q.712,111.34	Q.719,232.45	Q.719,161.05	Q.726,353.57	Q.733,617.10	Q.733,545.19	Q.740,880.64	Q.748,289.44	Q.8,611,825.59
Ahorro Proyecto	Q.2,700.00	Q.2,727.00	Q.2,754.27	Q.2,781.81	Q.2,809.63	Q.2,837.73	Q.2,837.45	Q.2,865.82	Q.2,894.48	Q.2,894.20	Q.2,923.14	Q.2,952.37	Q.33,977.90
FE	-Q.180,000.00	Q.51,425.00	Q.52,108.75	Q.52,799.34	Q.53,496.83	Q.54,201.30	Q.54,905.77	Q.55,624.33	Q.56,350.07	Q.56,342.88	Q.57,075.81	Q.57,816.07	Q.657,698.96
# Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Inversion
FE/((1+i) <sup>t</sup> )	Q.50,637.59	Q.50,525.20	Q.50,410.91	Q.50,294.77	Q.50,176.82	Q.50,057.12	Q.49,284.32	Q.49,164.80	Q.49,045.64	Q.48,286.53	Q.48,165.68	Q.48,043.30	-Q.180,000.00
													Q.414,090.66

Costo Oportunidad	%
Tasa préstamo	13%
Inflacion	2.16%
Genancia	3.50%
Tasa flujos descontados	19%
Tasa Mensual	2%

TIR	28%
VPN	Q.414,090.66

Fuente: elaboración propia.

Para el análisis de flujo de caja del proyecto con préstamo bancario, se observa que de igual forma la tasa interna de retorno es superior a la que se tiene por el préstamo. Los flujos obtenidos a lo largo del primer año son positivos, por lo que la empresa puede operar sin ningún problema de liquidez. En resumen, el proyecto es viable para realizarse por préstamo.

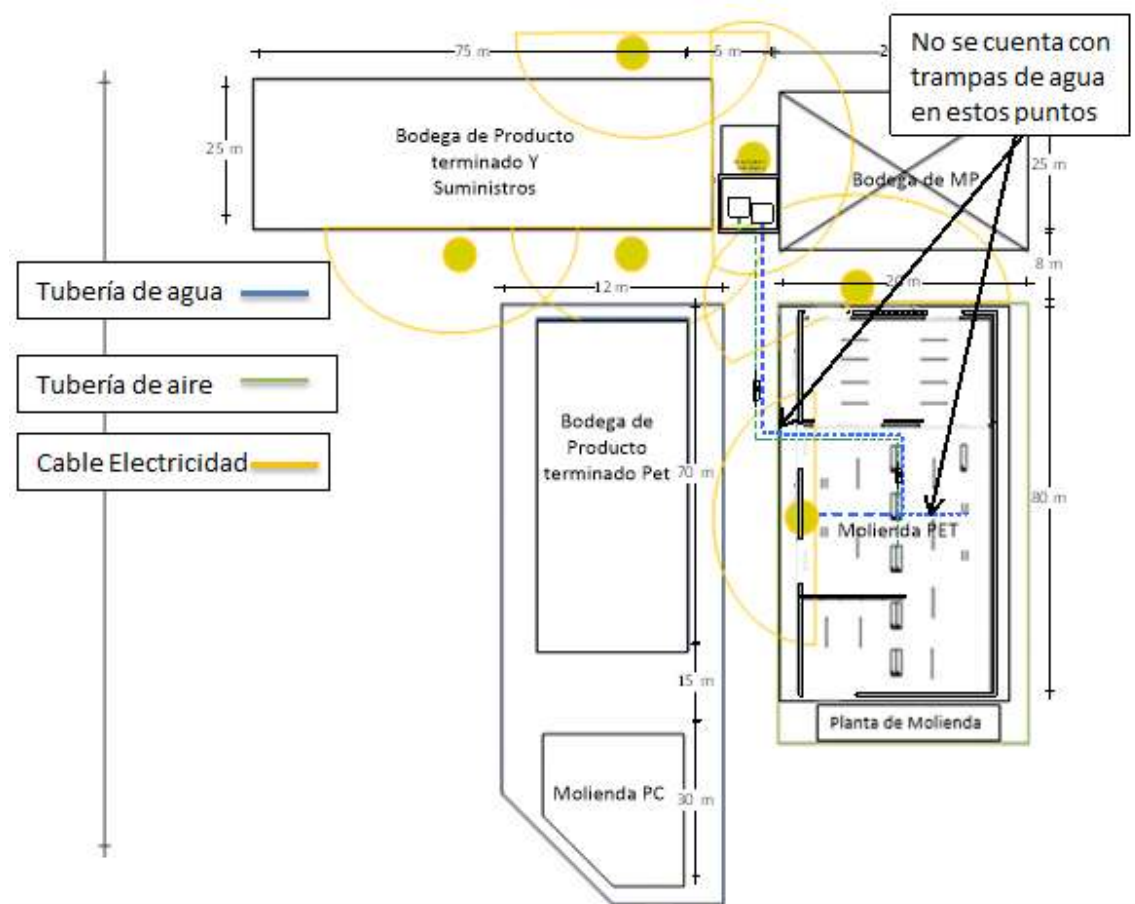
Escenario	Fondo Propio	Préstamo
TIR	38%	28%
VPN	Q598,341.03	Q414,090.66

En conclusión, en ambos casos se presenta un resultado positivo, sin embargo, al evaluar la tasa y el valor presente neto de ambos escenarios, se obtiene un mejor resultado de estos indicadores en el escenario con fondos propios, ya que la tasa y el valor presente neto son mayores. Por lo que se sugiere trabajar con fondos propios.

Otro factor que afecta el sistema de aire es la falta de por lo menos dos trampas de líquidos para mantener el aire lo mejor posible, ya que estas deben considerarse en al menos cada 20 metros de distancia lineal, pues los compresores cuentan con filtro, pero aun así es recomendable exista trampas de líquidos, de lo contrario al momento de usar el aire en los diferentes equipos neumáticos el exceso de agua en el aire provoca desgaste a los distintos empaques, u oxidación si se tiene contacto directo de aire con una pieza de metal. Al momento de colocarse cada trampa se debe tener una inclinación entre el flujo de donde proviene y hacia dónde va, de no más de 2 %, lo cual garantizará el drenado del condensado.



Figura 7. Diagrama de distribución de agua y aire dentro de la planta de molienda



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.

## 2.2 Evaluación del molino y compactadora

El molino es una máquina que juega un papel importante para el proceso de molienda, ya que tiene la función de cortar los envases hasta obtener hojuelas. Por ser un proceso sencillo que consta de la operación de una máquina, es importante mantenerla en óptimas condiciones todo el tiempo. Actualmente su capacidad nominal es de 150 kg/ hora, pero dependiendo del material, este puede superar la capacidad nominal o encontrarse por debajo de

la capacidad mencionada, todo dependerá del filo de las cuchillas y las condiciones del material (con o sin polvo). Por el motivo anteriormente mencionado, los mantenimientos más frecuentes que se realizan a dicho molino son cambio de cuchillas. Se aconseja que este sea realizado cuando su capacidad de producción es de 105 kg/h, ya que al permitir una reducción, puede ocasionarse riesgo de que el material se cristalice. Generalmente, el llegar a esta capacidad se da cada 4 días, por lo que el cambio de cuchillas debe realizarse cada 96 horas de producción, según la experiencia del proceso y las indicaciones del manual, y contemplarse dicho cambio dentro del plan de mantenimiento preventivo.

La capacidad de producción del molino en promedio es 150 kg/ h, esta puede incrementarse o no debido a diversos factores de proceso (condiciones de material y filo de cuchillas), por lo que la estandarización de las condiciones de funcionamiento no debe reducirse a más del 80 % de su capacidad nominal de producción. El motor del *blower* y rotor, son motores de fábrica que tienen consumos de 30 amperios. En la actualidad se puede hacer más eficiente el proceso colocando motores de hasta el 90 %, los cuales reducen el consumo y a la vez se renueva el equipo.

La estructura del molino muestra desgaste debido a que esta se encuentra en constante contacto con plásticos, sin embargo, este desgaste es considerado dentro de la vida útil por el fabricante, considerando la arena que deteriora el metal. También puede sufrir desgaste provocado por contacto con metales, los cuales en ocasiones pueden dañar de manera más significativa las cuchillas y lograr golpes en las misma de hasta 5 mm. Dichos golpes en las cuchillas pueden reducir su vida útil hasta en Q. 2 500,00 o 25 % del uso.

En cuanto a la compactadora, su período de operación es de al menos la mitad del tiempo de lo que se utilizaría un molino. Sus capacidades de compactación pueden variar de acuerdo a las condiciones del material, sin embargo, su capacidad estándar puede encontrarse en 100 kg/h. Dentro de su mantenimiento más usual, está el cambio de cables, por desgaste en la operación de compactado. Este se da porque el sistema de compactación funciona por medio de un sistema hidráulico que tira de unos cables que realizan el trabajo de compactación por medio de la tensión que sufren los mismos. Otro desgaste que pueden presentar con menor frecuencia es el cambio de botones, que se debe principalmente al uso. También están los *micro switch*, que son deteriorados durante el proceso de compactación por la presión que se experimenta principalmente en las compuertas.

Sobre la compactadora es necesario determinar el momento de ruptura de los cables, partiendo de la premisa de que es un cable el que se utiliza. Se realiza por medio del módulo de Young el análisis correspondiente para definir una longitud máxima en la cual el cable puede operar sin llegar a la ruptura del mismo. Esto permitirá elaborar una medición de los cables para realizar el cambio momentos previos a que este se rompa, ya que programar el mantenimiento luego de que se rompa, implica para la empresa un costo de oportunidad de Q. 3 100,00 o el 124 % del costo de fabricación de los cables.

Módulo de Young para el acero es de 200MPas

El radio del cable es de 1/8" = 3.125\*10<sup>-3</sup>m

La presión de la compactadora es de 40 KN

$$E = \sigma / \epsilon$$

$$E = (F / S) / (\Delta L / L)$$

$$E = (F * L) / (S * \Delta L)$$

$$\Delta L = (F \cdot L) / (S \cdot E)$$

$$S = (\pi \cdot 3,25 \cdot 10^{-3})^2 = 3,067 \cdot 10^{-5}$$

$$\Delta L = (40000 \text{ N} \cdot 1,5 \text{ m}) / ((3,067 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2) \cdot (200 \cdot 10^9))$$

$$\Delta L = (60000 \text{ Nm}) / (6135932,152 \text{ N})$$

$$\Delta L = 9,77 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\Delta L = 9,77 \text{ mm}$$

Tomando en cuenta los cálculos anteriores, se puede indicar que la compactadora sufrirá una ruptura de cables al momento en que estos posean una diferencia longitudinal con respecto al largo inicial de 9,78 mm. Por lo que es conveniente incluir dentro de los mantenimientos la medición longitudinal del alambre, todo esto con el fin de realizar el cambio previo y reducir el daño de alguna parte del equipo. Estos cambios de cables se dan principalmente una vez cada dos meses.

### **2.2.1 Diagnóstico de las operaciones de mantenimiento**

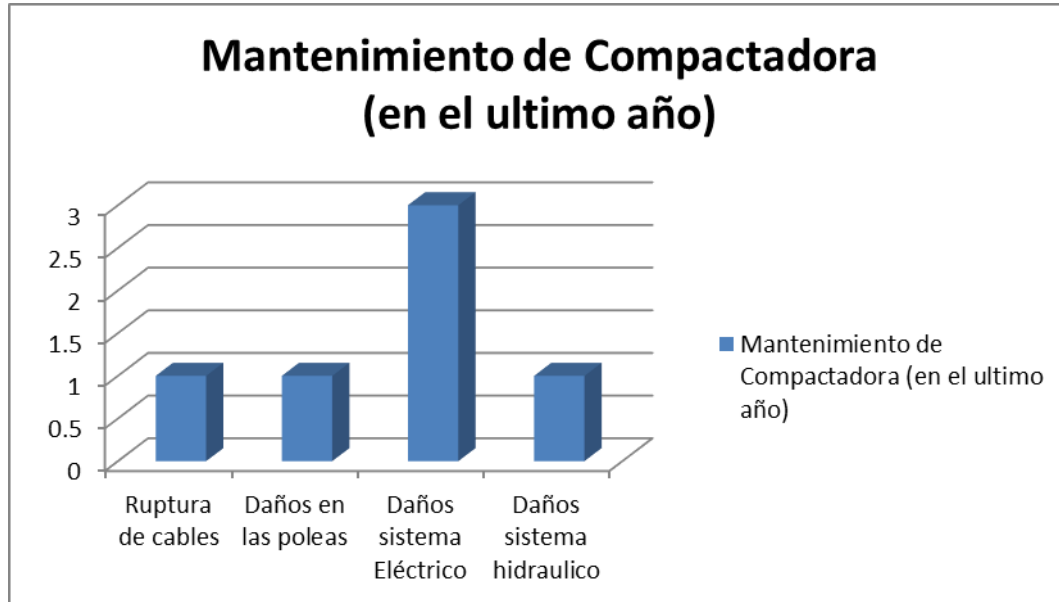
Para las actividades de mantenimiento se tiene un grupo de técnicos que tienen un área de especialidad. Estos pueden ser especialistas eléctricos, mecánicos o de máquina de herramienta, sin embargo, al momento de realizar las actividades de mantenimiento, en ocasiones el técnico especialista atiende un problema no acorde a su área, lo cual puede ocasionar reparaciones más tardadas o mantenimiento inadecuado.

Los mantenimientos comunes que se le realizan a la compactadora son cambios de cables de comprensión, los cuales se rompen por la tensión que

sufren cuando realizan trabajo de compactado. Otro elemento que se verifica es el embolo hidráulico, el nivel de aceite y de líquido hidráulico, también se revisan constantemente las poleas y la lubricación de las mismas. La operación es sencilla, por lo que el técnico cuenta con las herramientas básicas para realizar dicha operación. Además se utiliza un listado de verificación para garantizar que se realicen todas las actividades de los mantenimientos preventivos. Sin embargo, cuando se tiene problemas con el sistema hidráulico demora mucho más tiempo, ya que no se cuenta con un especialista.

Para el caso del mantenimiento a los molinos, las operaciones que se realizan son cambio de cojinetes al motor y caja de rotor. Otro mantenimiento que se realiza con mucha frecuencia es la rectificación de las cuchillas, elemento crítico al cual se le debe prestar atención, ya que su desgaste es muy variado, dependiendo de las condiciones a las cuales se opere. Para las actividades de mantenimiento se utilizan diversas herramientas mecánicas, las cuales según sea el caso se han determinado necesarias para que el mantenimiento se lleve a cabo. Estos mantenimientos se realizan con un mayor conocimiento del área, ya que los técnicos especialistas para estas operaciones son el mecánico y el de máquinas de herramientas.

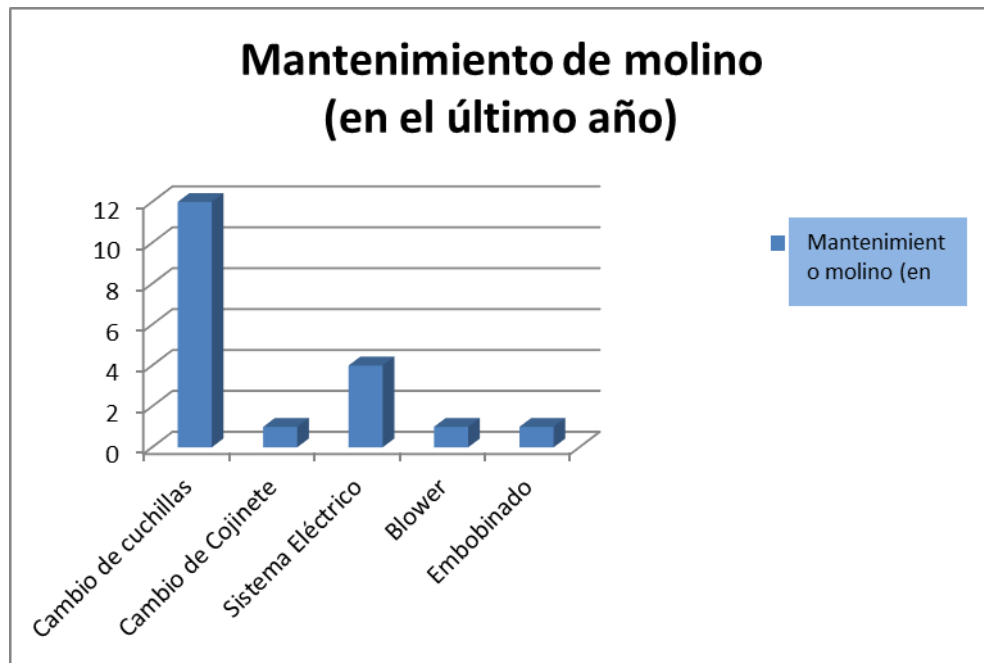
Figura 8. Mantenimiento de compactadora en el último año



Fuente: elaboración propia.

Al revisar la información sobre el mantenimiento que se ha realizado a los equipos se observa que el daño al sistema eléctrico es muy repetitivo, sin embargo, se observa que también han existido otros problemas de cables y del sistema de compactado. Al determinar los tiempos de reparaciones se observa que para el daño provocado por el sistema hidráulico, a pesar que solo ha sido 1 el reportado, el tiempo de reparación ha sido muy largo, 72 horas, lo cual evidencia falta de recursos por parte de una persona especialista en el tema

Figura 9. Mantenimiento de molino en el último año



Fuente: elaboración propia.

En el caso de la molienda, se observa que la mayor parte de mantenimientos es por cambio de cuchillas, el tiempo invertido para esta operación es de 192 horas en el año. Esto se debe a que se cuenta con un técnico especialista en mecánica y con máquinas de herramientas que realizan de una forma eficiente el proceso de cambio de cuchillas.

### 2.2.2 Fallos más comunes del molino

De acuerdo a los gráficos anteriores, los elementos mecánicos que más fallan en la producción de molienda son las cuchillas. Estos elementos se tienen que estar afilando de acuerdo a las cantidades de material que se procesan, o el tipo de material. Si bien es cierto que el afilar un juego de cuchillas es una actividad muy repetitiva, es necesaria para mantener los niveles y la calidad de la hojuela en la producción. El tiempo que se emplea

para realizar estos mantenimientos es de 16 horas, sin embargo, este tiempo se puede reducir a tan solo 6 horas si en los inventarios de bodega se maneja un juego de cuchillas que pueda utilizarse como comodín para reducir los tiempos de mantenimiento.

Otros elementos que también tienen fallas son la criba o filtros, los cuales se utilizan para que el material procesado tenga las dimensiones requeridas. El roce que tiene la criba con el material y las cuchillas provoca desgaste en ambos. Esta falla es propia del proceso. El plan que se puede implementar para aumentar la vida útil de este repuesto es utilizar una lámina de un material tratado que aumentaría sus propiedades abrasivas e incrementaría su vida útil. Otras fallas en la maquinaria, menos comunes, son los cojinetes del motor del *blower* y sus aspas, las cuales son fallas inusuales que pueden evitarse por un monitoreo del estado de los equipos.

El sistema de tuberías que descarga el material del molino a la tolva para empacar también sufre desgaste por el roce de material. Este desgaste se muestra en forma de picadura y provoca desperdicio de material. Para corregir este tipo de falla el técnico suelda sobre el área dañada.

### **2.2.3 Fallas comunes en la compactadora**

La compactadora, por no ser un proceso que tiene constante funcionamiento, como el molino, tiende a tener menos fallas en sus elementos mecánicos, sin embargo, también presenta fallas por su funcionamiento. Dentro de estas pueden mencionarse la ruptura de los cables de acero que se encargan de realizar el trabajo de compresión del material. Esto se produce debido a que el sistema hidráulico de la compactadora se encuentra conectado con un conjunto de poleas y cables que tiran de una placa metálica que es la que realiza la compresión, sin embargo, la fuerza que esta puede ejercer es



realizada principalmente por el juego de cables acerados, que realizan la mayor parte de la compresión. El juego de cables sufre tensión durante el proceso de compactado a lo largo de su estructura, y por lo el mismo efecto este se deforma hasta romperse. La metodología para anticiparse al momento previo de la ruptura es la medición periódica del juego de cables, hasta determinar una elongación menor a 9,7 mm, que es el largo en donde el cable tiene mayor probabilidad de ruptura. Otras posibles fallas que puede presentar el sistema es el desgaste de las bisagras de la puerta por la presión que se genera durante el proceso de compactada; también existen fallas en el sistema eléctrico, botones y *microswitch*.

#### **2.2.4 Tiempos de reparación de elementos mecánicos de los molinos y compactadora**

Los tiempos de reparación y mantenimiento son muy variados, ya que dependen de la gravedad del problema presentado y la disponibilidad de los técnicos y los recursos. Se pueden o no realizar los mantenimientos de forma inmediata, un ejemplo representativo para el caso de los molinos es el de afilar las cuchillas, ya que solo se cuenta con un juego para cada molino, por lo que estas se desmotan y llevan al taller a rectificar. Este proceso puede ser muy variado debido a que la maquinaria y la herramienta para rectificar puede estar utilizándose, generándose demoras en el proceso que, como mínimo en tiempo, ocupa alrededor de 14 horas, y por lo tanto también retraso a producción, por ejemplo, si las cuchillas tuvieron demasiado desgaste, mayor a 2 mm, es necesario emplear mayor cantidad de tiempo para rectificarlas. De acuerdo a lo anterior, solo se tiene estandarizado para este tipo de mantenimiento algunas horas, pero cuando se supera este tiempo se habla de al menos un costo de oportunidad Q600,00 hora por máquina.

Otros elementos de las máquinas como los cojinetes requieren menos tiempo y es más constante su reparación. El problema que se puede dar es que cuando estos son muy especiales, solo pueden ser adquiridos con el fabricante. En general las fallas que se presentan con mayor frecuencia son:

Tabla XI. **Costos de oportunidad en mantenimiento de molino**

Fallas	Tiempo promedio reparación hr.	Pérdida por costo oportunidad Q	Ocurrencia al año	Pérdida por costo por año Q
Cambio de cuchillas	14	Q. 8 400,00	52	Q 436 800,00
Falla eléctrica	2	Q. 1 200,00	6	Q 7 200,00
Falla en banda	2	Q. 1 200,00	2	Q 2 400,00
<i>Blower</i>	4	Q. 2 400,00	2	Q 4 800,00
TOTAL				Q 451 200,00

Fuente: elaboración propia.

Al analizar la situación de los mantenimientos y los tiempos que se involucran, al menos para el caso del molino, se ve que el de mayor influencia e impacto al costo de oportunidad es el cambio de cuchillas. Por eso se propone que para reducir el tiempo a la mitad se tenga un juego de cuchillas extras. Para el caso de las fallas, por ser un problema que no presenta una misma causa, no se puede prevenir la falla al igual que se hace con la banda, mientras que para el caso del *blower* se conoce cuáles son los daños más comunes, por lo que se pueden fabricar las piezas con que mayor problema da. Con ello se reduciría el tiempo de mantenimiento en 1 hora. Con esta propuesta el costo de oportunidad que se pierde por mantenimientos sería el siguiente:

Tabla XII. **Costo de oportunidad en propuesta del mantenimiento del molino**

Fallas	Tiempo promedio reparación hr.	Pérdida por costo de oportunidad	Frecuencia de mantenimiento	Pérdida por costo de oportunidad anual	Alternativa de
Cambio de cuchillas	7	Q 8 400,00	52	Q 218400,00	Juego de cuchillas extra
Falla eléctrica	2	Q 1 200,00	6	Q 7200,00	
Falla en banda	2	Q 1 200,00	2	Q 2400,00	
<i>Blower</i>	3	Q 1800,00	2	Q 3600,00	Fabricación de piezas.
				Q 232800,00	

Fuente: elaboración propia.

Con la propuesta de las acciones indicadas se lograría reducir 49 % las pérdidas que se tienen por el costo de oportunidad, de igual forma esto permitiría que se incremente en un 6% la producción, ya que este es el tiempo que representa con respecto el tiempo total. En lo que respecta al mantenimiento que se tiene en el área de compactado, el fallo más común se debe a fallas eléctricas, sin embargo, el que repercute más por el tiempo que necesita emplearse es el fallo del sistema hidráulico y ruptura de cables. En el caso de la compactadora, se tiene un costo de oportunidad por cada hora de Q. 400/hora, por lo que a pesar que sus frecuencias de mantenimiento han sido menores, este se representa de la siguiente forma:

Tabla XIII. **Costo de oportunidad en mantenimiento de compactadora**

Fallas	Tiempo promedio reparación hr.	Pérdida por costo oportunidad Q 400,00/h	Ocurrencia al año	Pérdida por costo por año Q
Ruptura de cables	24	Q 9 600,00	6	Q 57 600,00
Daños a polea	12	Q 4 800,00	0,25	Q 1 200,00
Falla eléctrica	3	Q 1 200,00	2	Q 2 400,00
Falla sistema hidráulico	24	Q 9 600,00	1	Q 9 600,00
<b>TOTAL</b>				<b>Q 70 800,00</b>

Fuente: elaboración propia.

Como se observa, las actividades que mayor costo de oportunidad emplean son la de ruptura de cables, pero con la propuesta que se indica en los capítulos anteriores, de realizar las mediciones para lograr anticiparse a la ruptura, se facilitaría y reduciría el tiempo de mantenimiento a tan solo 4 horas de paro en la maquinaria, por lo que se propone realizar una medición de longitud para realizar los cambios antes de llegar al límite de ruptura. Para el caso de la falla del sistema hidráulico, la única forma de reducir el mantenimiento es incluirla dentro del programa de mantenimiento preventivo para la revisión y reparación, por lo que este mantenimiento se eliminaría de la lista, ya que los costos de paro son muy altos en comparación con el costo de revisarlo.

Tabla XIV. Costo de oportunidad en propuesta del mantenimiento de la compactadora

Fallas	Tiempo promedio reparación hr.	Perdida por costo de oportunidad	Frecuencia de mantenimiento	Perdida por Costo de oportunidad anual	Alternativa de
Ruptura de cables	4	Q1 600,00	6	Q 9 600,00	Utilizar predictivo con la longitud de ruptura.
Daños a polea	12	Q 4 800,00	0,25	Q 1 200,00	
Falla eléctrica	3	Q 1 200,00	2	Q 2 400,00	
				Q 13 200,00	

Fuente: elaboración propia.

Al realizar estas modificaciones se lograría reducir en un 80% los tiempos y las pérdidas que se tienen en costo de oportunidad al tener mantenimientos correctivos. Para reducir los tiempos es necesario realizar las indicaciones mencionadas, así como incluir dentro del programa de mantenimiento preventivo la revisión, inspección y seguimiento de estas actividades, ya que esto ayudaría a reducir más los tiempos y las pérdidas que se tienen por el costo de oportunidad que resulta cuando el equipo está parado.

## **2.3 Propuesta de mejora para molino y compactadora**

Para iniciar el proceso de propuestas de mejoras de los equipos es necesario utilizar la información adquirida por medio de observación y recolección de datos en las visitas realizadas a la planta de reciclaje, de manera que se logre tabular y registrar a detalle cada operación de mantenimiento realizada, tomando nota de los hallazgos y análisis, con el fin de utilizar la estadística para el establecimiento de estándares que permitan la mejora de los procesos. Con base en lo anterior se determina que los métodos que se utilizarán para establecer un análisis más profundo de los equipos son:

- Utilización de la distribución normal para determinar un estándar de la reparación de las piezas con base en los datos históricos. Se utilizará esta herramienta porque indica con un mayor grado de probabilidad la recurrencia de un hecho.
- Análisis de aceites hidráulicos (Hydrex Aw, recomendado por el fabricante), para determinar el desgaste de los equipos, por medio del análisis de su composición, en donde indica qué otros elementos se encuentran adicionales, aparte de la composición del aceite.

Para la siguiente propuesta será necesario actualizar operaciones de mantenimiento y estructurar un plan, en donde exista una programación de las distintas actividades a realizar de acuerdo al equipo. También se debe mencionar que dicha propuesta busca prevenir fallas en los equipos que afecten los tiempos de producción, ya que actualmente existen algunos mantenimientos en los procesos de molienda y compactado que representan un gran costo de oportunidad cuando se tiene paro. Para lograr reducir los costos por paro se tiene contemplado generar un plan de mantenimiento con una menor frecuencia, lo cual permitirá monitorear de mejor forma los elementos mecánicos y piezas previas a una falla o un mantenimiento correctivo. En

cuanto al tema de eficiencia, actualmente en el departamento de mantenimiento no es un indicador que se esté utilizando, por lo que indicar alguna eficiencia en este punto es erróneo, sin embargo, por los indicadores que se desean implementar más adelante se pretende contar con indicadores de disponibilidad, mantenimientos preventivos versus correctivos, con base en el análisis de los capítulos posteriores.

### 2.3.1 Plan de mantenimiento preventivo para el molino de las piezas que presentan fallas más comunes

Como se menciona con anterioridad, se pretende generar un mantenimiento que permita lograr una mayor frecuencia de inspección de los equipos, y prevenir paros inesperados, por lo que se propone un mantenimiento preventivo de las piezas que presentan fallas más comunes. De igual forma se abarcará otros elementos mecánicos que si bien no presentan una falla común pueden provocar un mantenimiento correctivo. Para ello se realizará un estudio de los registros de mantenimientos de años anteriores, para determinar un estándar que pueda ser determinado bajo un método estadístico de distribución normal.

Figura 10. Componentes de molino



Fuente: elaboración propia.

Las cuchillas del molino son el elemento mecánico que presenta mayor desgaste en su superficie. Esto se evidencia cuando su capacidad productiva baja, por lo que se debe buscar la manera de estandarizar el proceso de mantenimiento con el objetivo de obtener el máximo aprovechamiento de este elemento mecánico. Con base en los datos obtenidos en la planta se propone lo siguiente:

- Las cuchillas del molino deben afilarse cuando este procese 8TM de producto terminado o un aproximado a 216 horas de trabajo efectivo, de acuerdo a lo que se reduce la capacidad productiva del equipo. Esto se debe a que el desgaste en su superficie reduce su eficiencia de corte, generando que la misma cantidad nominal de producción sea procesada en mayor cantidad de tiempo. Con base en un análisis estadístico se determinó que puede existir un rango para el cambio efectivo que puede variar entre 198 horas a 234 horas.

Tabla XV. **Promedio de horas de trabajo vs. mm de rectificado**

Mes	Periodo de horas de trabajo / cambio de cuchillas	mm Rectificados
Enero	198	3
Febrero	220	5
Marzo	212	4
Abril	218	4,5
Mayo	226	5,5
Junio	224	5,4
Julio	220	5,1
Agosto	200	4,57
Septiembre	225	5,4
Octubre	230	5,8
Noviembre	205	4,5
Diciembre	211	4,8
Promedio	216	5



Continuación de tabla XV.

Desviación	11	1
Rango 95% nivel de confianza	198	4
	234	6

Fuente: elaboración propia.

Con base en lo anterior se recomienda que el desgaste por rectificado de cuchillas no debe exceder más de 2 milímetros de su longitud original. Según el fabricante el rectificar una cuchilla más de 2 mm reduce el # por mm desgastado en un 20% de la vida útil total de la pieza, ya que se está desperdiciando la cuchilla teniendo un mayor desgaste.

- Luego de haberse usado de ambos lados las cuchillas y llegar al fin de su vida útil, como lo indica el fabricante se podría seleccionar el lado más deteriorado y proceder a cortar las correderas de una cuchilla con el fin de obtener mayor área de ajuste. Para ello se propone el desarrollo de una pieza que sujete la cuchilla, ya que esto permitirá tener un mayor agarre al momento de colocarlo al portacuchilla.
- Será necesario que se realice una revisión a la cabina al inicio de cada jornada de trabajo, para determinar si es necesario realizar una limpieza, esto para evitar la acumulación de polvos. Con base en las estadísticas recolectadas durante un año, la situación actual es de 61 limpiezas en los molinos, por lo que en promedio debe realizarse una limpieza cada día de lunes a viernes.

Tabla XVI. Limpieza de recámara de molienda por mes

Mes	# veces limpieza recamara
Enero	64
Febrero	56
Marzo	62
Abril	64
Mayo	58
Junio	62
Julio	59
Agosto	60
Septiembre	61
Octubre	55
Noviembre	65
Diciembre	63
Promedio	61

Fuente: elaboración propia.

- Dentro del plan también se contempla el monitoreo de los compartimientos del molino en el área donde trabajan las cuchillas, con el fin de detectar si existe un aumento en la temperatura o ruido, lo cual indicaría que existe algún roce de materiales que pueda desgastar de forma abrupta las cuchillas u otras piezas. Esto se realiza ya que algunas veces existe desgaste en los ejes, los cuales necesitan ser balanceados. Si bien es cierto la situación aún no se ha dado, el fabricante recomienda el seguimiento.

Con respecto al motor del molino, para su mantenimiento debe utilizarse un método que permita abarcar todos los elementos, ya sean cojinetes, carcasa, eje rotor, estator y embobinado. Para cada elemento se propone lo siguiente:

- En lo que se refiere a los cojinetes, debe existir un plan de monitoreo con el que se pueda verificar el funcionamiento adecuado. El método indicado es una revisión cada determinada cantidad de horas, según lo sugiera la marca del fabricante. Otro método que se puede utilizar como un indicador es un poco más empírico pero funcional. Existe equipo que se utiliza para la evaluación de los cojinetes por medio del nivel de ruido que produce la máquina en vacío. Para esta evaluación se debe capacitar al técnico para que cumpla con la competencia que le permita determinar si existe un daño en este elemento. Dicho monitoreo puede realizarse de forma trimestral, mientras que una revisión del cojinete se puede realizar cada semestre. La medición de ruido cumple con la finalidad de mantener un monitoreo de ruido y a la vez el determinar que no exista desgaste o daño en el elemento.
- Para la carcasa se recomienda solo mantenerla libre de cualquier suciedad o polvo, ya que este genera desgaste a las piezas. También se puede pintar, ya que esto conserva en muy buen estado los equipos. Este mantenimiento se propone con base en la experiencia de los técnicos y el supervisor de campo.
- En cuanto al eje, lo que se recomienda es no colocarlo con cojinetes que puedan presentar alguna avería en su estructura, además se debe buscar que se encuentre totalmente alineado, evitando así el desgaste de sus superficies por el roce con la carcasa. Para ello se puede realizar un balance dinámico que tiene un costo elevado, pero menor al costo del eje.
- El embobinado es una parte muy importante del motor, por lo que el mantenimiento eléctrico debe realizarse por un técnico especialista. Al momento de ser extraído el rotor del motor se debe buscar tener la mayor sutileza para evitar el contacto entre el embobinado. De tener mejores posibilidades se sugiere usar sistemas hidráulicos de extracción

que reducen los tiempos de mantenimiento. Además se sugiere lo siguiente:

- Realizar una limpieza en todas sus superficies con algún producto dieléctrico; esto ayuda a conservar las propiedades del embobinado.
  - Luego, ponerse a secar por medio de alguna lámpara infrarroja, ya que permite un método de secado mucho más uniforme.
  - Utilizar algún producto para barnizar el embobinado, generando una capa que lo protege.
  - Colocar nuevamente a secar con la misma lámpara infrarroja.
  - Por último, se coloca la bobina dentro de la carcasa.
- En cuanto al motor *blower* que se utiliza en el sistema de empuje de material por los ductos hacia el silo, el mantenimiento se debe realizar de igual forma, siguiendo los pasos anteriormente mencionados para lo que se refiere al motor. En cambio, para el resto del *blower* se sugiere lo siguiente mantener lo más ajustado posible las hélices del *blower*, con el fin de evitar que al momento del funcionamiento estas generen fricción por el roce entre metales. Este ajuste se logra rectificando sus caras en un torno, generando balance en su estructura.

### **2.3.2 Plan de mantenimiento preventivo de compactadora**

En lo que respecta al mantenimiento de la compactadora, esta maquinaria cuenta con tres factores importantes para su funcionamiento.

Figura 11. Componentes de compactadora



Fuente: elaboración propia.

El sistema hidráulico es parte fundamental para realizar el trabajo de compactado, de igual forma tiene gran importancia dentro del mantenimiento, ya que con el método que se desea implementar de análisis de aceite hidráulico HYDREX AW, que es el recomendado por el proveedor, se pueden realizar ensayos de laboratorio que ayudarán a determinar posibles acciones preventivas de fallas que tenga el sistema hidráulico, que a simple vista no se pueden determinar. Para este análisis será muy importante determinar si existe algún desgaste o contaminación de metales y detectar otros compuestos que son diferentes al aceite, permitiendo analizar el elemento que está sufriendo desgaste.

Tabla XVII. Hoja de especificación de aceite hidráulico

Aceite	Aceite Hidráulico HYDREX AW
Grado de viscosidad	22
Punto de ebullición	207
Viscosidad 40C	21,6
100 C	4,3
Índice de viscosidad	101
Estabilizador por oxidación, hora	650

Continuación tabla XVII.

<b>Estabilizador hidráulico por cobre mg/cm<sup>2</sup></b>	<b>0,17</b>
<b>Descomposición dieléctrica KV</b>	<b>44</b>
<b>Contenido Ferroso</b>	

Fuente: Productor empresa Petro Canadá. *Hoja de especificación de aceite hidráulico, marca Hydrex aw., marzo 2015.*

Otro proceso que es necesario realizar es la revisión de sus empaques, esto con el fin de evitar el deterioro de los mismos, y que esto a su vez cause fugas en el sistema, generando por consiguiente una pérdida de presión de compactado.

En lo que respecta al sistema bomba–motor, será conveniente utilizar el sistema antes descrito para el motor y en cuanto a la bomba, es necesario revisar los empaques que se están utilizando, en un tiempo de cada semestre según indicación del fabricante, y verificar si es necesario un cambio o aún se encuentran en buenas condiciones. Además debe verificarse que en su interior no se encuentren hélices dañadas, ya que estas pueden sufrir deterioro si el sistema no se encuentra alineado correctamente. Por último, el sistema de poleas debe mantenerse totalmente limado sobre sus superficies, esto con el fin de evitar asperezas que puedan provocar un mayor desgaste al cable de tensión. También es necesario colocar sobre su eje y alrededor de la superficie, grasa y aceite que faciliten el accionamiento de estos dispositivos.

### **2.3.3 Programa de mantenimiento para molino y compactadora**

Para desarrollar un programa de mantenimiento del molino se tabuló la información que se tiene de otros años buscando detallar todas las partes en

que se compone la máquina, para determinar para cada pieza un período de mantenimiento adecuado a cada una de sus partes:

Tabla XVIII. Programa de mantenimiento preventivo del molino

Elemento Mecánico	Subparte	Actividad de mantenimiento	Periodicidad	holgura	± días
Motor	Carcasa	Pintura de su estructura	anual	± 5 %	18
	Embobinado	Revisión de bobina. Limpieza con dieléctrico y secado de embobinado	anual	± 5 %	18
	Ventilador	Limpieza y revisión de ventilador	anual	± 5 %	18
	Cojinete	Cambio de cojinete	1,6 años	± 5 %	30
	Eje	Limpieza y revisión de superficies	anual	± 5 %	18
Blower	Carcasa	Limpieza y pintura de su estructura	anual	± 5 %	18
	Ventilador	Limpieza, revisión y reparación de aspas	semestral	± 5 %	9
	Cojinete	Cambio de cojinete	2 años	± 5 %	36,5
	Eje	Limpieza, revisión de superficies y rectificación	anual	± 5 %	18
Sistema de aire	Tubería	Revisión de superficies	semanal	± 7 %	0,5
		Mantenimiento de tubería (pintura y soldadura)	anual	± 5 %	18
Sistema de agua	Tubería	Limpieza y revisión de mangueras	semanal	± 7 %	0,5
Cámara de molienda	Cuchillas	Rectificado de superficie de cuchillas	semanal	± 20 %	1,4
		Cambio de cuchillas	2 meses	± 10. %	7
	Criba	Limpieza de agujeros y superficie	semanal	± 20 %	1,4
		Cambio de criba	6 meses	± 5 %	9
	Rotor	Limpieza de eje	semanal	± 20 %	1,4
		Cambio de cojinete	05 años	± 5 %	90
Rectificado de superficie		10 años	± 5 %	180	

Continuación Tabla XVIII.

Mecanismo de transmisión de potencia	Poleas	Revisión de superficies	6 meses	± 5 %	9
	Faja	Revisión de superficies	6 meses	± 5 %	9
	Guarda faja	Limpieza y pintura de su estructura	anual	± 5 %	18

Fuente: elaboración propia.

En lo que respecta a la compactadora, se propone un plan que abarca la mayor cantidad de fallas que puedan presentar los diferentes elementos mecánicos, de modo que se tenga una revisión constante de los mismos, y cambios antes de que estos fallen.

Tabla XIX. Programa de mantenimiento preventivo de compactadora

Elemento Mecánico	Sub-parte	Actividad de mantenimiento	Periodicidad	holgura	± días
Motor	Carcasa	Pintura de su estructura	anual	± 5 %	18
	Embobinado	Revisión de bobina. Limpieza con dieléctrico y secado de embobinado	anual	± 5 %	18
	Ventilador	Limpieza y revisión de ventilador	anual	± 5 %	18
	Cojinete	Cambio de cojinete	1.6 años	± 5 %	30
	Eje	Limpieza y revisión de superficies	anual	± 5 %	18
Pistón hidráulico	Carcasa	Limpieza y pintura de su estructura	anual	± 5 %	18
	Empaques	Revisión de empaques	semestral	± 5 %	9
		Cambio de empaques	1.6 años	± 5 %	30
	Pistón	Revisión de eje	anual	± 5 %	18
Líquido hidráulico	Revisión de la viscosidad del aceite	anual	± 5 %	18	
Sistema de cables	Cables	Revisión de superficies	semanal	± 7 %	0,5
		Cambio de cables	18 meses	± 5 %	24
	Poleas	Lubricación de poleas	Mensual	± 5 %	2
		Cambio de poleas	5 años	± 5 %	185



Continuación tabla XIX.

Sistema hidráulico	Bomba	Revisión de engranes	anual	± 5 %	18
		Revisión de empaques	semestral	± 5 %	9
		Cambio de empaques	1.6 años	± 5 %	30
	Válvulas	Revisión de válvulas	semestral	± 5 %	9
		Cambio de válvulas	18 meses	± 5 %	24
	Líquido hidráulico	Revisión de líquido hidráulico	2 meses	± 5 %	3
Cambio de líquido hidráulico		anual	± 5 %	18	
Sistema eléctrico	Contactores	Limpieza de contactores	6 meses	± 5 %	9
		Cambio de contactores	5 años	± 5 %	90

Fuente: elaboración propia.

## 2.4 Análisis financiero de la propuesta

Ahora se realiza un análisis de la cuestión monetario relacionada con este proyecto:

### 2.4.1 Costos en los que se incurre

Para realizar los mantenimientos a los molinos se tiene que invertir en repuestos y suministros como los siguientes:

Tabla XX. Costos de mantenimiento preventivo del molino

ITEM	Cantidad	Precio	Total	Costo mensual
Pintura color verde	1	Q 225,00	Q 225,00	Q 225,00
Barniz eléctrico	1	Q 130,53	Q 130,53	Q 10,88
Aceite dieléctrico	1	Q 110,00	Q 110,00	Q 18,33
Cojinete de motor	2	Q 168,75	Q 337,50	Q 17,58
Cojinete de ventilador	2	Q 55,50	Q 311,00	Q 12,96

Continuación Tabla XX.

Lija para limpieza piezas	10	Q 4,50	Q 45,00	Q 45,00
Cojinetes <i>Blower</i>	2	Q 186,20	Q 372,40	Q 15,52
Libra de electrodo 6020	5	Q 25,00	Q 25,00	Q 10,42
Cepillo para limpieza	1	Q 35,00	Q 35,00	Q 11,67
Afilado de cuchillas	1	Q 500,00	Q 500,00	Q 1000,00
Cambio de criba	1	Q 450,00	Q 450,00	Q 75,00
Cojinetes de cámara	2	Q7480,00	Q4960,00	Q 249,33
Cambio de faja	5	Q 125,00	Q 625,00	Q 52,08
		total	Q18226,43	Q 1743,76

Fuente: elaboración propia.

Para el caso de la compactadora la inversión que se necesita para los mantenimientos básicos es la siguiente:

**Tabla XXI. Costos de mantenimiento preventivo de la compactadora**

ITEM	Cantidad	Precio	Total	Costo mensual
Pintura color verde anticorrosiva	1	Q 225,00	Q 25,00	Q 18,75
Barniz eléctrico	1	Q130,53	Q 130,53	Q 10,88
Aceite dieléctrico	1	Q110,00	Q 110,00	Q 9,17
Cojinete de motor	2	Q149,50	Q 299,00	Q 15,57
Grasa	1	Q540,00	Q 540,00	Q 45,00
Cambio de empaques	8	Q35,75	Q 286,00	Q 14,90
Aceite hidráulico (litro)	6	Q172,10	Q 1032,62	Q 86,05
Cambio de cables	2	Q832,71	Q 1665,42	Q 92,52
Cambio de empaques	16	Q44,25	Q 708,00	Q 36,88
Cambio de electroválvulas	1	Q1325,00	Q 1325,00	Q 73,61
Limpieza de contactos	1	Q152,57	Q 152,57	Q 12,71
		total	Q 6474,14	Q 416,04

Fuente: elaboración propia.

En resumen, la inversión que se requiere para el plan de mantenimiento propuesto en los equipos de molino y compactadora para cubrir el mantenimiento preventivo es la siguiente:

**Tabla XXII. Resumen de inversión en molino y compactadora**

Mantenimiento	Inversión
Compactadora	Q 18226,43
Molino	Q 6474,14
Total	Q 24700,57

Fuente: elaboración propia.

No se considera el costo de mano de obra para el cálculo de la inversión, ya que el costo de los técnicos está incluido como un costo fijo implícito dentro de la actividad de la organización.



### **3. EVALUACIÓN DEL MANEJO DE MATERIAL EN EL PROCESO DE MOLINO Y COMPACTADORA DE LA INDUSTRIA RECICLADOS DE CENTRO AMÉRICA, S.A.**

#### **3.1. Evaluación de la distribución del área de empaque y abastecimiento del molino**

Dentro de la planta existen dos lugares destinados a los almacenamientos de materiales con base en el seguimiento del proceso: área de material por procesar y material empaçado. El área de material por procesar es un espacio destinado cercano a cada molino, cada uno de estos espacios es de 10 metros cuadrados. Dicha área se emplea para colocar el material que espera para ingresar a ser procesado, esto le genera al operador un almacenamiento de 0.3 TM o alrededor de dos horas de operación. El área es reducida, ya que el tipo de materia prima que se procesa se caracteriza por tener volumen y no peso. Cuenta con iluminación y esta resguardada de las condiciones ambientales. El área de empaque de producto terminado, al igual que la del material por procesar, cuenta con un espacio bastante reducido, ya que en esta área se debe realizar maniobra de montacargas, de modo que cada molino tiene espacio promedio de 8 metros cuadrados, dificultando la operación de traslado y movimientos del producto terminado.

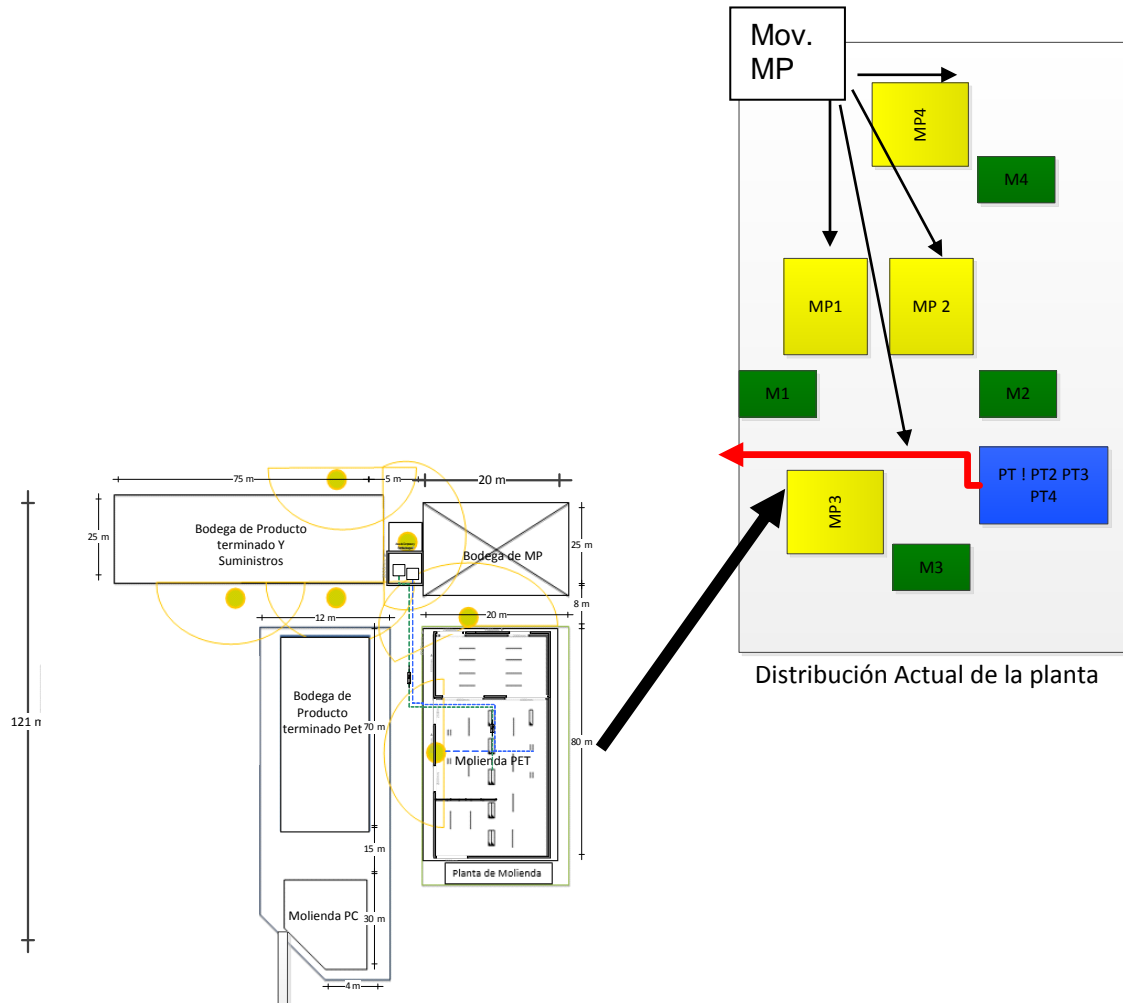
Para las áreas mencionadas con anterioridad es necesario generar y aprovechar al máximo el espacio. Esto se puede lograr con la implementación de estructuras aéreas que permitan utilizar la mayor cantidad de espacio disponible. Con ello se estaría duplicando el espacio, ya que la planta cuenta con una altura de 5 metros, con la condición de que para el almacenamiento en estas áreas el material no puede ser colocado con una altura superior a 2 metros, por lo que esto permitiría al operador de bodega ingresar más material.

### **3.2. Evaluación del manejo de materiales en el proceso de molienda**

Las estaciones de trabajo de abastecimiento y llenado de la planta de reciclaje muestran deficiencias en cuanto a la distribución de espacio, que impiden a los operadores el realizar las operaciones de forma más eficiente. En el área de empaque, que es un área promedio de 8 metros cuadrados, no se encuentran delimitados los espacios para cada máquina, ni el área de operación del área de colocación de producto terminado, por lo que esto dificulta la operación debido a las obstrucciones que puedan existir al momento de almacenar el producto terminado y la materia prima. Esta situación genera demoras entre la operación de llenado y sellado de los operadores de las maquinas.

En el caso de abastecimiento, existe un área de aproximadamente 10 metros cuadrados en donde se debe colocar materia prima que se ingresará al proceso, sin embargo el área se sobre abastece por las características del material que representa más volumen que peso, lo que dificulta la operación de depositar material, reduciendo el espacio de maniobra del operador de producción, y por lo tanto dificultando el proceso. Los problemas presentados anteriormente son consecuencia de una distribución inadecuada que se presente en el siguiente *layout*, en donde se identifica la materia prima (MP), maquinaria (M#) y el producto terminado:

Figura 12. Distribución actual en planta de molienda

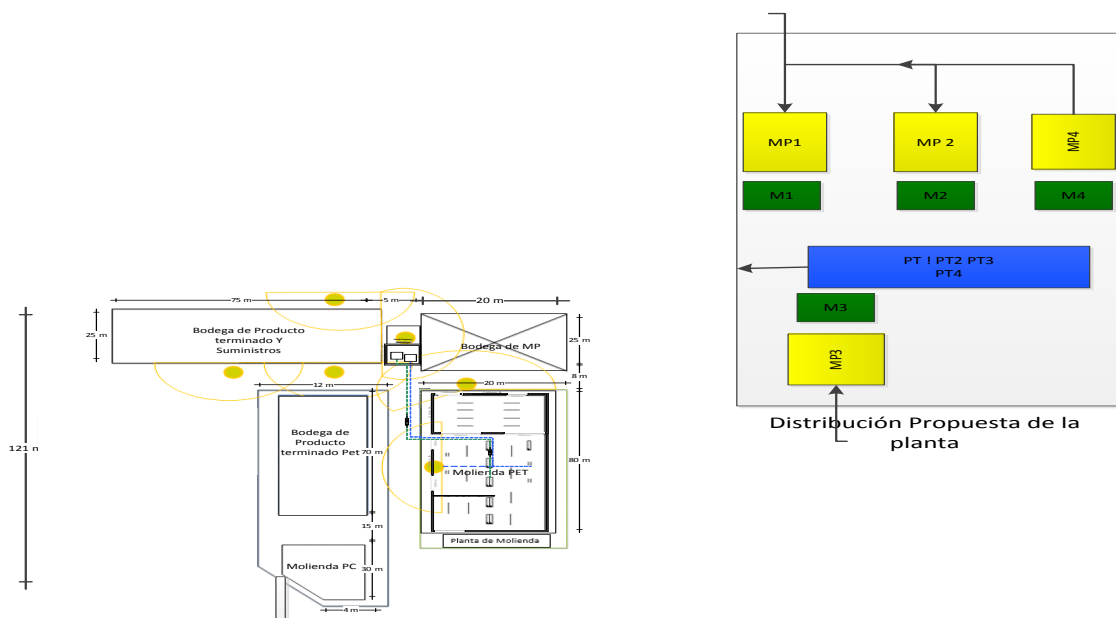


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.

De acuerdo al análisis del método de *layout* se identifica que dentro del flujo de cada operación existen puntos de intersección que provocan interrupciones en el flujo de cada proceso, evidenciándose en demoras entre operaciones. La ventaja que representa la operación de la planta es la independencia y la simplicidad del proceso, ya que esto permite aislar cada proceso de acuerdo a sus necesidades.

Para realizar la nueva distribución de la planta se distribuyeron los equipos de forma paralela, esto permite independizar los flujos de cada una de las operaciones, logrando que se tenga, en el caso del abastecimiento, que es un factor crítico, un espacio adecuado que permite a cada equipo contar con materia prima en todo momento, sin riesgo de bloquear el flujo de otro proceso. En lo que respecta al producto terminado, se concentrara en un solo punto, esto permitirá la extracción del producto terminado por parte de la bodega, sin interrumpir el flujo de los equipos, a diferencia de la distribución actual, en que sí se interrumpe el flujo en al menos un equipo. La otra ventaja que se tiene con la nueva distribución es el aprovechamiento de toda el área de la planta, ya que se cuenta con espacio libre en donde puede colocarse otro equipo en caso de ser necesario. De acuerdo a lo indicado en el párrafo anterior, se presenta la siguiente distribución por medio del método de *layout*.

**Figura 13. Propuesta de distribución en planta de molienda**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.



### **3.3. Condiciones en las que se encuentra el material**

La materia prima que se procesa son desechos que provienen de los botaderos municipales. Estos se encuentran en malas condiciones, porque cuentan con residuos en su interior y exterior, de diversos materiales orgánicos que dificultan el poder procesarse por considerarse contaminantes. Dichos elementos pueden o no contaminar el plástico de acuerdo a las especificaciones del material, ya que algunos son considerados por el proveedor como un contaminante leve, como lo es el caso de la etiqueta de polietileno y la tapa rosca de polipropileno o polietileno y envases de otros colores, mientras que existen otros contaminantes que el cliente considera como críticos, como lo puede ser el caso del PVC (Policloruro de vinilo), caucho, vidrio, metal y residuos orgánicos. Entre los últimos contaminantes mencionados, afecta a los equipos el metal, ya que daña las cuchillas, que son las que al momento de tener contaminación tienen contacto con el producto. En el caso de los otros contaminantes, por considerarse con una dureza menor, no dañan ningún elemento mecánico de la maquinaria, sin embargo afectan la calidad del producto terminado.

El material por ingresar al proceso algunas veces se encuentra al aire libre, por lo que tiende a impregnarse de partículas de tierra o agua, las cuales no alteran el proceso, ya que existen mecanismos dentro de la maquinaria que eliminan dichas partículas, sin embargo, estos trabajos adicionales que realiza el equipo repercuten en daños a largo plazo en los elementos mecánicos de la tubería que traslada material, así como en el ventilador del *blower*.

Tanto en molienda como en el compactado, la materia prima presenta las mismas condiciones, sin embargo, en molienda el tener un material contaminado presenta mayores problemas que en el proceso de compactado, ya que este último proceso es considerado solo un subproceso dentro de la

cadena de valor de la hojuela o peletizado, por lo que al final el proceso más afectado es la molienda.

### **3.4. Evaluación de la distribución de la estación de trabajo del proceso de abastecimiento para el molino**

No existe una distribución adecuada de la estación de trabajo, esto se evidencia en los desplazamientos que realiza el operador durante la operación de abastecimiento dentro de su área de trabajo, ya que la capacidad del molino necesita que se ingrese en promedio 3kg/min y el operador logra ingresar en promedio 2.5 kg/min. Dentro de las causas que perjudican esta operación se encuentra la poca delimitación del área de proceso con el área de abastecimiento de materia prima, ya que muchas veces dentro del área de proceso se encuentra la materia prima que dificulta la operación, y el operador de producción no puede realizar los movimientos necesarios. Otro factor que influye es la distribución de los equipos, ya que el diseño del área para colocar una herramienta básica, como lo son las cuchillas, provoca retrasos al operador cuando es necesario usarlas, ya que debe parar y moverse para lograr utilizar esta herramienta. Para esta situación se debería limitar el área o colocar alguna estructura que garantice el perímetro necesario del operador para realizar la operación sin ningún problema. Otro aspecto a mencionares la altura de la banda transportador a, la cual es inferior a 1,5 metros, lo cual dificulta la operación del operador porque este debe inclinarse durante el proceso, causando incomodidad para realizar la operación, por lo que se debe ajustar la altura de la estructura de la banda inclinada para que se logren cubrir los 1,5 metros de altura necesaria para poder realizar de forma adecuada la operación de abastecimiento.

### **3.5. Análisis de movimientos realizados en el proceso de abastecimiento de material para el molino**

El operador en la acción de abastecimiento del molino muestra algunas deficiencias en sus operaciones, entre ellas se pueden resaltar los traslados que tiene dentro de su propia estación de trabajo, que son difíciles, ya que la materia prima obstaculiza el desplazamiento y la libertad de los movimientos, los cuales retrasan el proceso. Durante la operación de abastecimiento también se observan cruces de mano para las actividades de corte de *jumbo*, alcance de herramienta de corte y manejo de material contaminado, lo cual es una mala técnica que no debe existir si se desea realizar las operaciones lo más rápido posible.

Para el caso de las preformas, se observa que los operarios deben utilizar movimientos repetitivos en donde pierden tiempo, esto se debe a que no existe un diseño de la estación de trabajo que ayude al trabajador a realizar movimientos necesarios. En otros procesos de molienda, se observa un proceso de alimentación poco eficiente, ya que se lanza el producto hacia la apertura de la máquina, por lo que es un proceso mucho más cansado, por la fuerza que se requiere, además de que el recorrido que el operario hace dentro de la estación de trabajo implica mayor agotamiento para él. Al analizar la capacidad actual de los equipos con las cuchillas recientemente afiladas, en referencia con la capacidad teórica de producción, se observa una eficiencia de la operación del 65% de la capacidad del equipo. Si se supone que con estas condiciones se obtienen estos resultados, deberían ser superiores por el concepto de que se maneja una capacidad promedio, lo cual evidencia una deficiencia en la alimentación de los equipos. Por lo tanto, al colocar otro operador en abastecimiento, este se incrementa, esto se debe a que el operador no logra ingresar suficiente material para que la máquina logre procesar a su máxima capacidad.

### **3.6. Análisis de movimientos realizados en el proceso de llenado de producto final para el molino**

El proceso de llenado requiere que el operario tenga habilidad para realizar las operaciones de preparación y corte de bolsa de empaque, sustitución de bolsa de empaque en silo de producto terminado, traslado de material a báscula, chequeo y ajuste de peso, cierre de bolsa, preparación y estiba de bolsa. No realizar las operaciones de forma adecuada puede provocar pérdidas de producto terminado, debido a que este cae al suelo en el área. Los movimientos de los operarios dentro de un área de ajuste de peso y sellado de bolsa dificultan que realicen las operaciones rápido, esto se debe a que solo se cuenta con un equipo para tres operadores, dificultando y atrasando estas operaciones, por lo que se necesita tener más equipos y delimitar las áreas y adquirir herramientas para cada molino, ya que esto facilitaría la operación de llenado de producto terminado. Se deben tener en cuenta estos aspectos:

- La tasa de atención  $\mu=1/\text{min}$
- Velocidad de llegada  $\lambda=0,17$  clientes/min
- Porcentaje uso del sistema =17%
- $L_s = (0.17)/(1-.17) = 0,2$
- $W_s = (1)/(1-.17) = 1,2$

Al analizar el uso de las máquinas para sellar las bolsas por medio del método de teoría de colas, se observa que este sistema actual es eficiente, ya que cuenta con un porcentaje de uso del 17%, por lo que la capacidad del equipo ayuda en la operación, porque durante el proceso las personas no tienen que esperar a que esta se desocupe, ya que la longitud de operadores en el sistema es de apenas 0,2 operadores y el tiempo en el proceso es de 1,2 min.

### **3.7. Evaluación de la distribución de la estación de trabajo del proceso de llenado de producto final para el molino 40-60**

Como se mencionó en el inciso anterior, se tienen debilidades en el proceso de molienda, específicamente en la operación de llenado, porque las estaciones de trabajo cuentan con equipos que son compartidos. Esto le genera atraso a los operadores de producción que se encuentran realizando la operación de llenado, por la razón de que existe cola por la utilización del equipo, aparte de que en algún momento podría crearse confusión y contaminación cruzada al momento de empacarse, por lo que con base en la evaluación, se recomienda la adquisición de herramientas individuales para cada área de trabajo.

Otra situación que contribuye a dificultar el proceso es la altura del área de trabajo en donde se llena el material, por lo que el operario debe agacharse cada vez que extrae el producto. También se encuentra el área de empaque en donde la herramienta es colocada lejos del material empacado, por lo que el operario tiene que detener la operación para alcanzar la selladora. El tener herramientas individuales ayudaría y facilitaría el distribuir las áreas, para tener una donde colocar la herramienta para sellar la báscula y el producto terminado con mayor facilidad.

### **3.8. Propuesta de mejora en el manejo de material en el proceso de molienda**

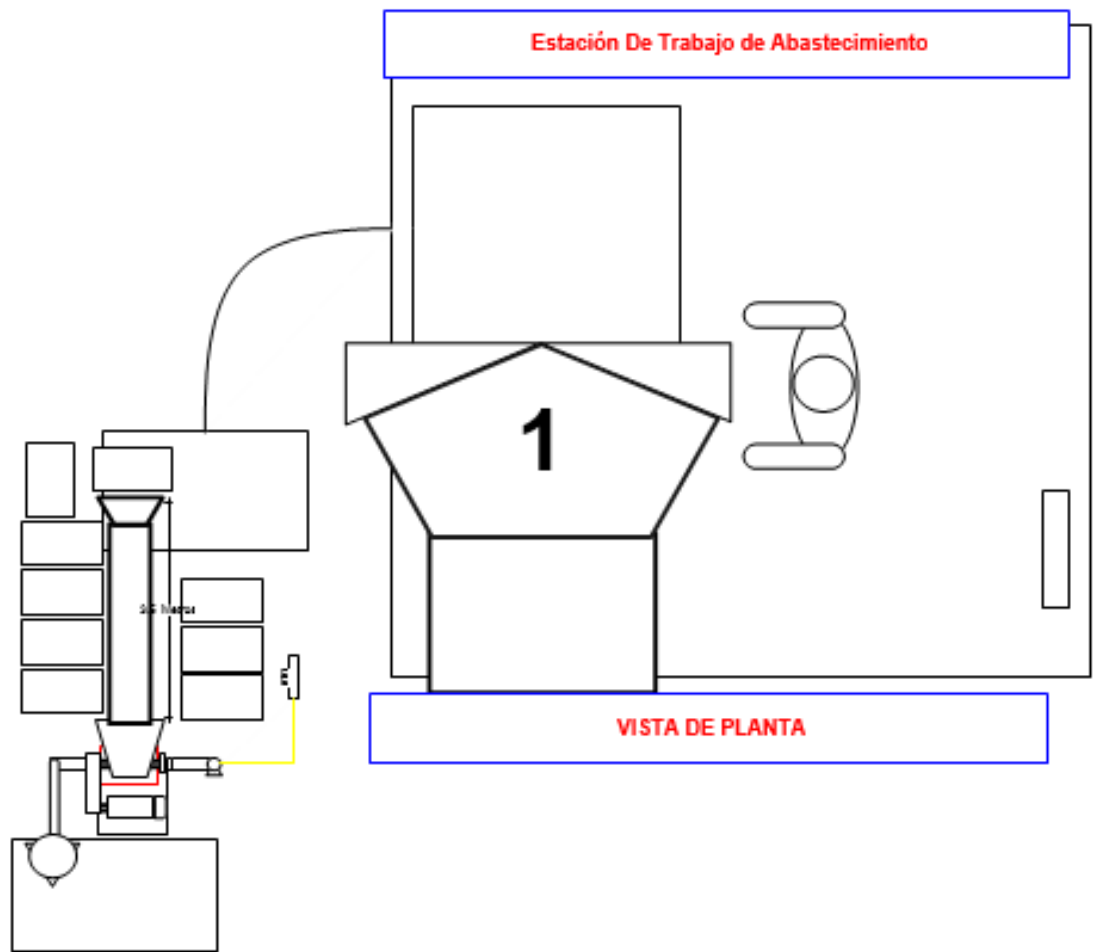
El material que se utiliza para el proceso de reciclaje se caracteriza por ser liviano y generar un gran volumen. Esto dificulta el abastecimiento de la materia prima, por lo que debe tratarse de aprovecharse al máximo el flujo continuo de material. La forma de garantizar esto es colocar un silo de almacenaje que permita mantener un *stock* de materia prima y que el operador

gradúe el flujo del material de acuerdo a la operación mecánica del molino, con esto se reduciría la actividad de trasladar y posicionar el material dentro del área de almacenaje, y se aprovecharía al máximo la máquina, evitando las operaciones extras.

### **3.9. Diseño de la estación de trabajo del área de abastecimiento**

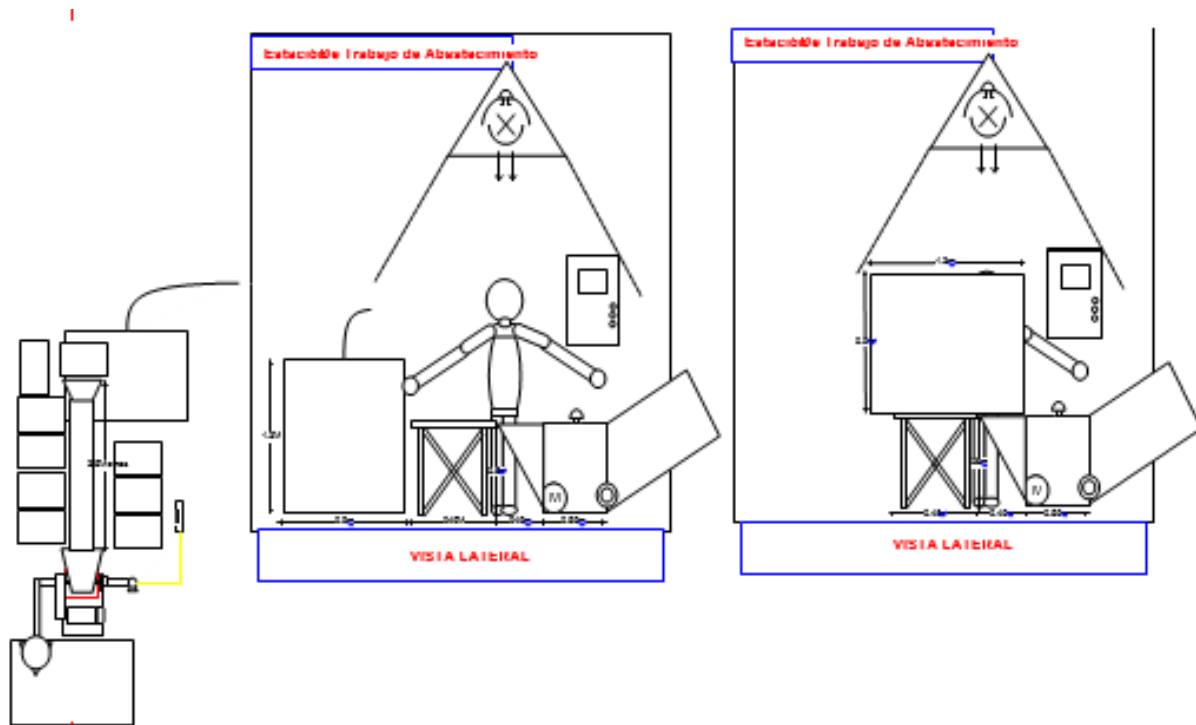
Para el diseño de la estación de trabajo del abastecedor del molino, el espacio a utilizar debe contar con un área disponible para movilizarse dentro de las pilas de material, por lo que en el diseño se incluye un área en donde el operador puede movilizarse libremente. Se reacomodó el área de trabajo modificando la bandeja de entrada a la faja, esto con el fin de aumentar el espacio donde se deposita el plástico y evitar que este caiga fuera de la bandeja. Otra modificación que sería necesaria realizar es la colocación de los dispositivos de paro de los equipos dentro del área de trabajo del operador, además es necesario incluir para esta estación un foco sobre el área, el cual le permita observar de mejor manera el material a procesar, permitiendo al operador detectar algún material u objeto peligroso para el proceso. En lo que respecta a facilidad de operación, se propone la modificación de la mesa que se encuentra frente a la faja, redistribuyendo el largo de la misma y aumentando la altura, con esto se logrará que el espacio del *jumbo* de plástico quede distribuido la mayor cantidad dentro de la mesa y otra parte cerca del área de descarga, reduciendo tiempos en los traslados del operador dentro de la faja, ya que la actual cuenta con un área mayor y una altura no muy buena, lo que dificulta la operación de abastecimiento a la banda, por lo que se propone una que se encuentre a la altura de la banda para facilitar el ingreso de material y que también facilite la operación al momento de subir el *jumbo* a la mesa, ya que esta podrá ser utilizada como soporte para realizar un menor esfuerzo.

Figura 14. Vista de planta de estación de trabajo de molienda



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.

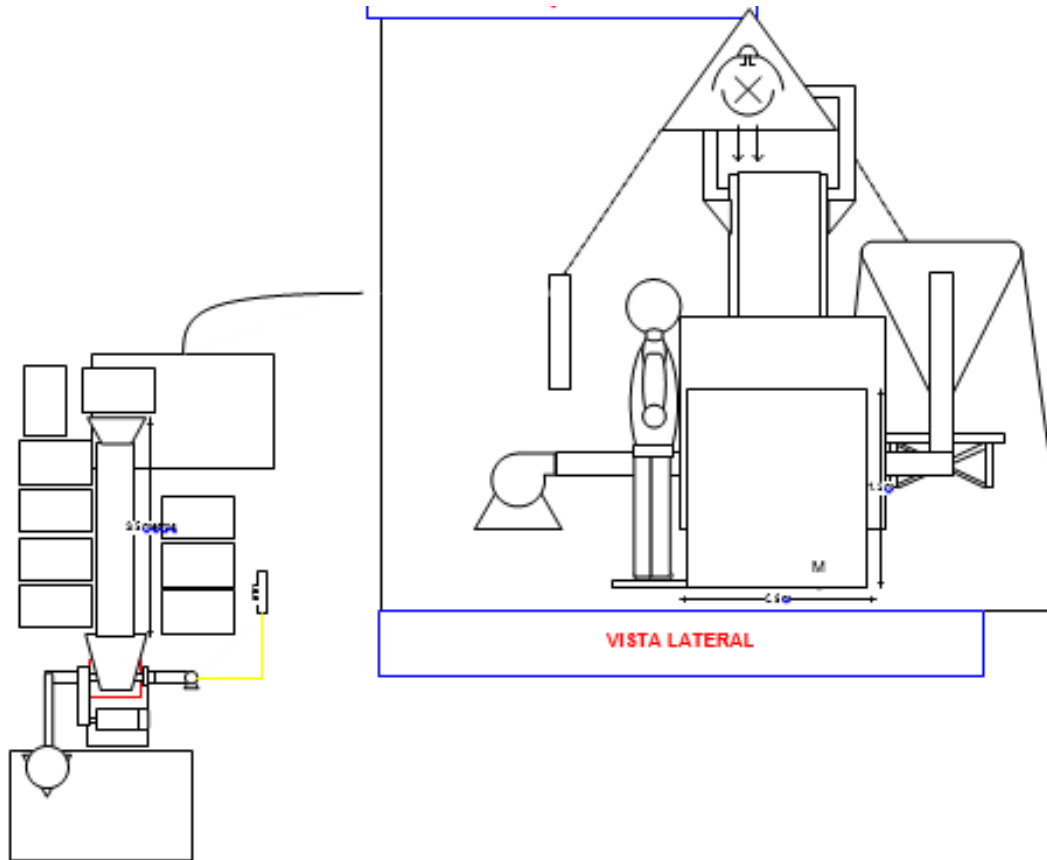
Figura 15. Vista lateral de estación de trabajo de molienda



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.



Figura 16. Vista lateral de estación de trabajo de molienda



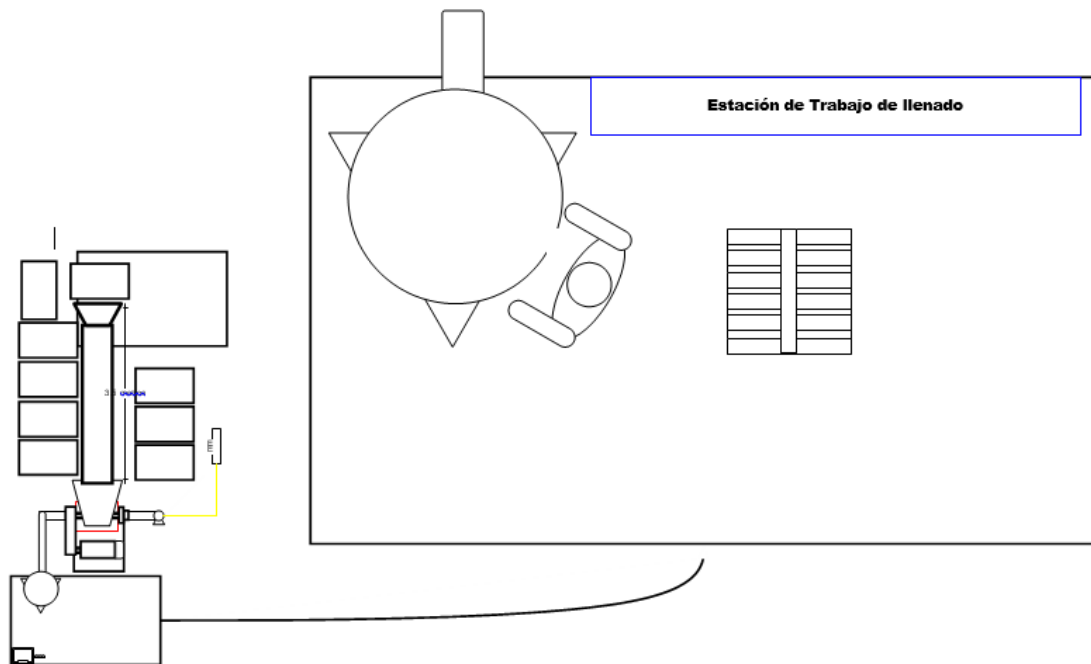
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.

### **3.10. Diseño de la estación del área de llenado de producto final**

En la estación del área de llenado se deberá acomodar cada una de las herramientas necesarias para realizar la operación de empaque. Estas se deben colocar a una distancia horizontal de 0,6 m, lo cual permitirá que el operador tenga una mejor disponibilidad de las herramientas, sin que deba realizar ningún movimiento brusco o fuera de su estación de trabajo.

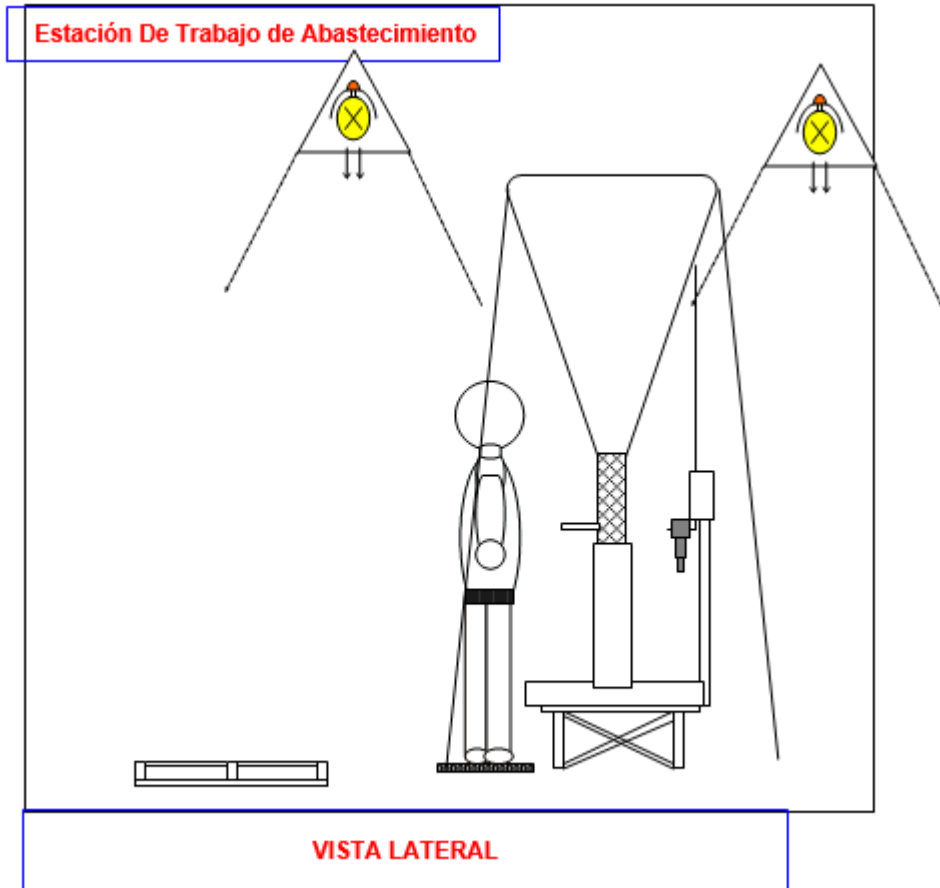
Se tendrán que realizar pequeñas modificaciones en la mesa en donde se recibe el producto de la tolva, como ampliar las patas de la mesa y la tolva, esto con el fin de elevar la altura de ambos, con ello se eliminará la posición incómoda del operador al momento de realizar la operación de llenado de sacos, ya que este se encontrará de pie con la cintura y la espalda verticalmente, y también se facilitara la operación de levantamiento del saco al momento de entarimar. Para esta modificación se tomó muy en cuenta las alturas de los operarios, así como la longitud a la que se encuentran las manos, tanto del producto como de los implementos de trabajo, esto con el fin de estandarizar el proceso con movimientos repetitivos que agilicen el mismo y que a la vez generen la menor cantidad de molestias al operador.

Figura 17. Estación de trabajo. Área de llenado. Vista de planta



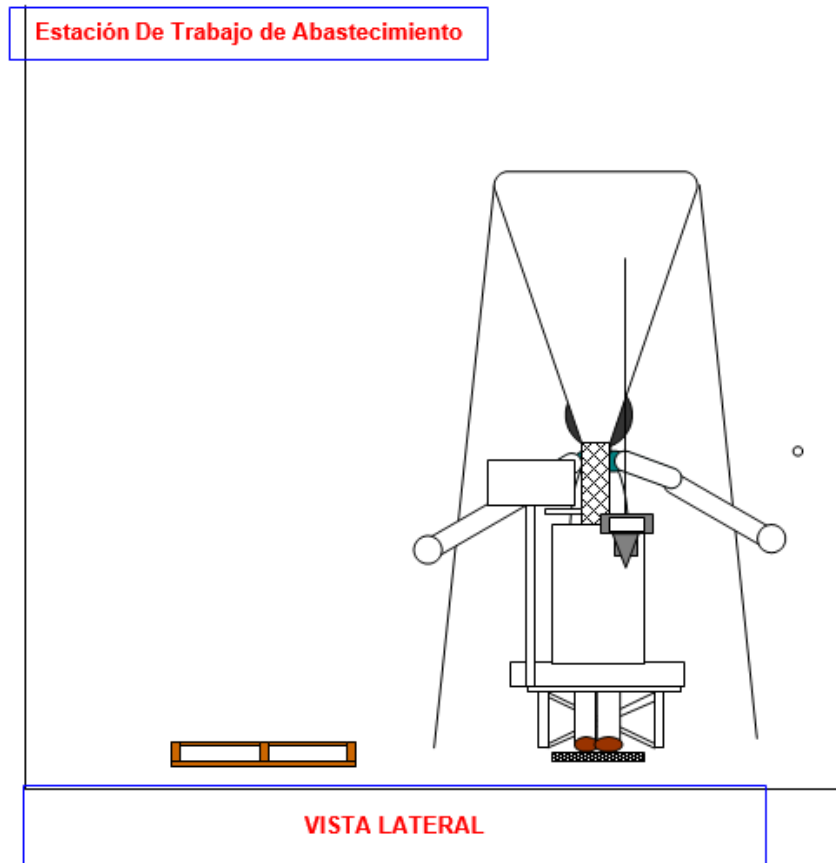
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.

Figura 18. Estación de trabajo. Área de llenado. Vista lateral



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.

Figura 19. Estación de trabajo. Área de llenado. Vista lateral



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.

### 3.11. Propuesta de movimientos que faciliten las operaciones de llenado del producto final y abastecimiento de materia prima en el molino

Con el fin de mejorar la eficiencia de los movimientos realizados en las operaciones de llenado y abastecimiento, se analizó cada uno de estos bajo el concepto de los *therbligs*, eliminando los movimientos ineficientes y proponiendo a la vez mejoras que puedan hacer más eficientes las operaciones mediante el uso de ambas manos.

Tabla XXIII. Descripción de movimientos *therbligs* en área de abastecimiento a molino (método actual)

Mano izquierda	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Mano derecha
Alcanzar <i>Jumbo</i>	20	20	Alcanzar <i>Jumbo</i>
Colocar <i>Jumbo</i>	17	17	Colocar <i>Jumbo</i>
Sostener <i>Jumbo</i>	71	10	Usar cuchilla
		10	Planear
		30	Mover envase
		7	Inspeccionar envase
		30	Mover envase
Colocar <i>Jumbo</i>	17	7	Inspeccionar envase
Sostener <i>Jumbo</i>	61	30	Mover envase
		7	Inspeccionar envase
		30	Mover envase
Colocar <i>Jumbo</i>	17	7	Inspeccionar envase
		30	Mover envase
Sostener <i>Jumbo</i>	61	7	Inspeccionar envase
		30	Mover envase
Colocar <i>Jumbo</i>	17	7	Inspeccionar envase
		30	Mover envase
Sostener <i>Jumbo</i>	61	7	Inspeccionar envase
		30	Mover envase
Colocar <i>Jumbo</i>	17	7	Inspeccionar envase
		30	Mover envase
Sostener <i>Jumbo</i>	61	7	Inspeccionar envase
		30	Mover envase
TOTAL	420	420	TOTAL

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior se pueden identificar uno o dos *therbligs* repetitivos que son ineficientes y pueden remplazarse fácilmente dentro de la operación, tal es el caso de sostener el *jumbo*, por lo que se podría hacer más eficiente la operación si para realiza el movimiento de envase utilizaran ambas manos, esto daría ventaja de reducir considerablemente la operación de llenado, por lo que las modificaciones se presentan a continuación:

Tabla XXIV. **Movimientos propuestos para la operación de abastecimiento**

Mano Izquierda	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Mano Derecha
Alcanzar <i>Jumbo</i>	20	20	Alcanzar <i>Jumbo</i>
Colocar <i>Jumbo</i>	17	17	Colocar <i>Jumbo</i>
Sostener <i>Jumbo</i>	10	10	Usar cuchilla
Mover envase	44	20	Mover
		2	Inspeccionar
		20	Mover envase
Colocar <i>Jumbo</i>	17	2	Inspeccionar envase
		15	Mover envase
Mover envase	44	20	Inspeccionar envase
		2	Mover envase
		20	Inspeccionar envase
Colocar <i>Jumbo</i>	17	20	Mover envase
		2	Inspeccionar envase
Mover envase	44	20	Mover envase
		2	Inspeccionar envase
		20	Mover envase
		2	Inspeccionar envase
Colocar <i>Jumbo</i>	17	18	Mover envase
Mover envase	44	2	Inspeccionar envase
		18	Mover envase
		2	Inspeccionar envase
		20	Mover
Total	274	274	Total

CÁLCULO	
Método actual (min)	420
Método propuesto (min)	274

Reducción (propuesto/ actual)	65%
-------------------------------	-----

Productividad (1/Reducción)	153%
-----------------------------	------

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar, eliminando los movimientos ineficientes de la operación de abastecimiento, se puede obtener una reducción en el tiempo de operación del 65 %, con respecto al método actual, esto daría una ventaja al momento de la operación, pudiendo aumentar la eficiencia en 53 %. En las operaciones de llenado, al igual que las de abastecimiento, se utilizó la misma metodología de los *therbligs*, que permite hacer más eficientes los movimientos, por lo que se presenta el método actual y la propuesta de mejora:

**Tabla XXV. Movimientos realizados en la operación de llenado de producto (método actual)**

Mano izquierda	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Mano derecha
Inspeccionar saco	15	15	Inspeccionar saco
Mover saco	10	10	Mover saco
Sostener saco	80	5	Mover llave (abrir)
		55	Retraso inevitable
		15	Inspeccionar saco
		5	Mover llave (cerrar)
Mover saco	15	15	Mover saco
Sostener saco	25	5	Inspeccionar peso
		20	Colocar o quitar material
Mover saco	15	15	Mover saco
Sostener saco	10	10	Usar desinfectante
Descanso	15	15	Buscar cocedora
Sostener saco	18	18	Usar cocedora
Mover saco	15	15	Mover saco
Colocar saco en tarima	15	15	Colocar saco en Tarima
TOTAL	233	233	Total

Fuente: elaboración propia.

Dentro de dicha operación se detectaron varios movimientos ineficientes, los cuales podían sustituirse utilizando ambas manos para obtener un mismo resultado en menos tiempo.



Tabla XXVI. **Propuesta de movimientos en la operación de llenado de producto**

Mano izquierda	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Mano derecha
Colocación previa saco	5	5	Colocación previa en saco
Sujetar saco	65	5	Mover llave (abrir)
		55	Retraso inevitable
		5	Mover llave (cerrar)
Mover saco	15	15	Mover saco
Inspeccionar peso	5	5	Inspeccionar peso
Usar desinfectante	15	20	Colocar o quitar material
Sostener saco	23	18	Usar cocedora
Mover saco	15	15	Mover saco
Colocación previa en tarima	15	15	Colocación previa en tarima
TOTAL	158	158	Total

CÁLCULO	
Método actual (min)	233
Método propuesto (min)	158

Reducción (propuesto/ actual)	68%
-------------------------------	-----

Productividad (1/Reducción)	147%
-----------------------------	------

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar, se sustituyeron *therbligs* ineficientes por eficientes, los cuales darían como resultado una disminución del 32% del tiempo empleado en el método actual, que garantizaría producir un 47% más de lo que ya se produce.



#### **4. CÓMO IMPLEMENTAR LA EFICIENCIA DE LOS PROCESOS PARA AUMENTAR LA VIDA ÚTIL DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS DEL MOLINO, COMPACTADORA Y MANEJO DE MATERIALES, EN EL PROCESO DE MOLIENDA DE LA PLANTA INDUSTRIAL DE RECICLADOS DE CENTRO AMÉRICA, S.A.**

##### **4.1. Implementación de mejora para el molino y compactadora**

Para obtener un mejor resultado en la implementación de esta propuesta será necesario realizar la instalación de los horómetros en los sistemas eléctricos de ambos equipos, lo cual facilitará tener un mejor control con el tiempo de operación de cada equipo. Luego se procede a generar un plan de horas de operación en el que se especifiquen muy detalladamente la cantidad de horas necesarias que deben transcurrir en cada equipo para realizar los diferentes mantenimientos. Este plan deberá contener cada una de las recomendaciones propuestas en el capítulo anterior, y deberá aplicarse una holgura +- 2,5% al tiempo propuesto, con el fin de no intervenir en un día de producción. Será necesario especificar otras actividades simples que generan un valor agregado al trabajo de mantenimiento, estas pueden ser limpieza de polvo de los equipos, pintura y rotulación de los mismos.

##### **4.2. Actividades necesarias para el mantenimiento preventivo del molino en sus fallos comunes**

Teniendo en cuenta cuáles son las fallas más comunes en la maquinaria se dispone a generar un monitoreo de los elementos críticos. Por dicha razón es necesario realizar un seguimiento de los elementos que lo componen:

Tabla XXVII. Programa de actividades a monitorear por mantenimiento

Elemento Mecánico	Subparte	Monitoreo	Revisión
Motor	Embobinado	Medición de resistencia en diferentes fases	Semestral
	Ventilador	Revisión de balance de la pieza	Semestral
	Cojinete	Verificar que gire libremente	Anual
	Eje	Medición de superficies	Semestral
Ventilador centrífugo	Ventilador	Toma de medidas de aspas	Trimestral
	Cojinete	Verificar que gire libremente	Anual
	Eje	Medición de superficies	Semestral
Cámara de molienda	Cuchillas	Revisión de superficies	Semanal
	Rotor	Medición de resistencia en diferentes fases	Semanal
		Medición de resistencia en diferentes fases	2 años
		Revisión de desgaste y medición de superficies	5 años

Fuente: elaboración propia.

Estas son las actividades necesarias para monitorear previo al mantenimiento preventivo. Estas se realizan a la mitad del ciclo propuesto en el programa. Con dichas revisiones y mediciones se tendrá un pronóstico previo, descartando mayores desgastes y daños a las piezas del molino.

#### 4.3. Actividades necesarias para el mantenimiento preventivo de la compactadora

Al igual que en la molienda, en lo que respecta a la compactadora se propone un plan de actividades que permitan el monitoreo de sus diferentes

elementos mecánicos, de modo que al existir un problema se pueda detectar por sus elementos críticos:

Tabla XXVIII. **Actividades para realizar mantenimiento preventivo en la compactadora**

Elemento Mecánico	Subparte	Monitoreo	Revisión
Motor	Embobinado	Medición de resistencia en diferentes fases	Semestral
	Ventilador	Revisión de balance de la pieza	Semestral
	Cojinete	Verificar que gire libremente	Anual
	Eje	Medición de superficies	Semestral
Pistón hidráulico	Pistón	Revisión de fuga	Semestral
Sistema de cables	Cables	Medición de longitud de cables	Semestral
Sistema hidráulico	Bomba	Medición de tamaño de engranes	Semestral
Sistema eléctrico	Contactores y presostato	Medición de presión	Trimestral
		Revisión de bornes	Anual

Fuente: elaboración propia.

#### **4.4. Elaboración de catálogo de movimientos necesarios para la operación de llenado de producto terminado**

Con base en el análisis que se realizó de los movimientos efectivos que se deben realizar en la operación de llenado, es necesario retroalimentar a los operadores sobre los movimientos que son necesarios que se generen con mayor frecuencia y cuáles son los movimientos que deben evitarse, ya que la implementación de este método permitirá reducir los tiempos de operación por cada movimiento. Se colocan de forma resumida como referencia:

**Tabla XXIX. Therbligs necesarios por operación de llenado**

Mano izquierda	Mano derecha
Colocación previa de saco	Colocación previa de saco
Sujetar saco	Mover llave (abrir)
	Retraso inevitable
	Mover llave (cerrar)
Mover saco	Mover saco
Inspeccionar peso	Inspeccionar peso
Usar desinfectante	Colocar o quitar material
Sostener saco	Usar cocedora
Mover saco	Mover saco
Colocación previa de tarima	Colocación previa de tarima

Fuente: elaboración propia.

Estos movimientos deben evaluarse durante la operación que se realice, ya que el no implementarlos implicará un mayor tiempo en la operación de llenado.

#### **4.5. Elaboración de catálogo de movimientos necesarios para la operación de abastecimiento de materia prima**

De igual forma que en la operación de llenado de producto terminado, se hace énfasis en los movimientos efectivos que es necesario desarrollar en la operación de abastecimiento de molino, para los cuales debe capacitarse al operador. Por el hecho de ser una actividad repetitiva se coloca la secuencia de un ciclo que es consecutivo durante toda la operación.

Tabla XXX. **Therbligs necesarios por operación de abastecimiento**

Mano izquierda	Mano derecha
Alcanzar <i>Jumbo</i>	Alcanzar <i>Jumbo</i>
Colocar <i>Jumbo</i>	Colocar <i>Jumbo</i>
Sostener <i>Jumbo</i>	Usar cuchilla
Mover envase	Mover
	Inspeccionar
	Mover envase
Colocar <i>Jumbo</i>	Inspeccionar envase
	Mover envase

Fuente: elaboración propia.

De existir algún equipo que pueda facilitar la inspección que realiza el operador, generaría que la operación fuese más eficiente.





## **5. EVALUACIÓN DE LAS MEJORAS EN LA EFICIENCIA DE LOS PROCESOS DEL MOLINO Y COMPACTADORA DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA**

### **5.1. Indicadores para el molino y la compactadora**

Con el fin de trabajar bajo el concepto de mejora continua, es necesario recolectar información importante sobre el molino y la compactadora. Con esto se puede garantizar mejor el rendimiento de cada uno de los equipos, por ello es importante la aplicación de indicadores que faciliten mantener los equipos bajo un estándar de funcionamiento, comenzando con el rendimiento en sus diferentes piezas, por lo que la forma correcta para trabajar con dicho modelo de mantenimiento es implementar dos tipos de indicadores. El primero de ellos sería de indicadores generales. Su objetivo es medir la eficiencia de los equipos y la relación con el impacto en los costos y la producción. El segundo indicador es específico, ya que mide el estado de las piezas de acuerdo a la vida útil de las partes críticas con base en los estándares. Dentro de los indicadores generales pueden mencionarse:

- OEE: es un indicador muy completo que da una medición de tres factores muy importantes, sin embargo, para el caso de mantenimiento, solo serán necesarios los indicadores de disponibilidad y capacidad de producción:
  - Capacidad de producción: este indicador mide el rendimiento del equipo. El dato teórico que este tiene por capacidad a producir en determinado tiempo, se toma como referencia para determinar cuánto se está produciendo y así determinar un rendimiento. Para

el caso del molino este factor ayudaría a determinar el filo del molino; en el caso de la compactadora, daría una alerta sobre el sistema hidráulico.

- Disponibilidad de equipos: este indicador busca detectar cuánto el equipo resta tiempo de producción por algún mantenimiento correctivo, por lo que el objetivo es mantener los equipos en mantenimiento preventivo o, de ser posible, en otros mantenimientos que brinden una mejor prestación de los equipos.

Dentro de los indicadores más específicos se encuentra:

- Razón de vida útil de pieza: el objetivo de este indicador es establecer el tiempo de vida de cada elemento mecánico, obteniendo un tiempo estándar para cada elemento, con la meta de anticipar la reparación y reducir los mantenimientos correctivos.
- Mantenimientos preventivos versus correctivos: la finalidad de este indicador es la de medir el total de mantenimientos que se realizan y clasificarlos en preventivos y correctivos. La meta a lograr es obtener el mayor porcentaje de mantenimiento preventivo con respecto a los mantenimientos correctivos. Lograr un porcentaje mayor al 90% en preventivos es un indicador de que el plan de mantenimiento es bastante bueno y de que los correctivos que ocurren a los equipos son causas puntuales que deben incluirse en el plan para lograr fortalecer el plan de mantenimiento.
- Pareto de fallas: este indicador tiene la finalidad de detectar, de los mantenimientos correctivos, cuáles son las fallas más comunes. Partiendo de esta información se aconseja un plan de acción en el que se puedan cubrir las causas que provocan al menos el 80 % de las fallas, con la finalidad de fortalecer el plan de mantenimiento.

## 5.2. Hoja de control de las actividades del molino y la compactadora

La hoja de control de actividades del molino tiene la función de servir como un control en los trabajos de mantenimiento, en donde el técnico pueda llevar el seguimiento de las actividades a realizar de acuerdo al mantenimiento del molino o la compactadora. La función de la hoja es que el técnico realice todas las actividades sin excepción. Se adjunta un modelo:

Figura 20. Hoja de registro *check list* de mantenimiento preventivo

Check List Mantenimiento					
Línea:		Técnico asignado:		Tipo de Mantenimiento	
Planta:		Hora de inicio:		Correctivo	
Fecha:		Hora de Finalización:		Preventivo	
Maquinaria:		Tiempo de mantenimiento:		Tipo de Preventivo	

No	Actividad	Check	Herramienta/ pieza utilizada
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			

Nombre de tecnico: \_\_\_\_\_ Firma de Tecnico \_\_\_\_\_

Operador (recibe) \_\_\_\_\_ Firma de operador \_\_\_\_\_

Fuente: elaboración propia.

Con el anterior modelo se podrán documentar los manteamientos que se realicen a los equipos de forma más ordenada, además ayudará al técnico a verificar que todas las actividades se realicen, los implementos y herramientas que se utilizaron, los cambios de pieza que se realizaron, los tiempos de

mantenimiento de la maquinaria, el técnico que los realizó y la fecha. Con esta información se podrá tener el historial y lograr de una forma más precisa el análisis de las actividades de mantenimiento, y si estas contribuyen para la gestión del departamento.

### **5.3. Hoja de control de tiempo de operación de los elementos mecánicos**

Como se mencionó en el segmento anterior, es importante documentar la información que se tiene de los equipos. Esto también se aplica en los repuestos que se utilizan, ya que la hoja de control permite documentar el tipo de pieza que se utiliza para que, previo a los mantenimientos preventivos de los equipos, se pueda requerir la pieza idónea para los cambios. Este tipo de documentación también ayuda a tener un historial de los cambios de las piezas.

Figura 21. Hoja de control de operación de repuesto

Hoja de Control de operación de Repuesto					
Equipo	Molino XX	No de Serie	N/A	Proveedor 1	Nils spira
Tipo de Repuesto:	Rodamiento	No de Pieza		Proveedor 2	AgInt
Repuesto:	Cojinete	País Proendencia	Alemania	Proveedor 3	MOM, S.A
Ubicación en maquina:	Rotor	Disponibilidad	Distribucion nacional	Bodega de Repuesto:	No disponible

Ubicación de Pieza	Ubicación de la pieza dentro de la maquinaria
Compartimento central rotor lado que sostiene polea.	
Especificación Pieza	
1 Con jaula de bronce	
2 cojinete de bolas	
3 Autolubricado	
4 Sellado	

Fuente: elaboración propia.

#### 5.4. Hoja de *check list* de mantenimientos realizados al año

La hoja de *check list* de mantenimientos del año se propone como un método de programación anual de los mantenimientos a realizar en las diferentes máquinas. Con ello el encargado del taller podrá tener un control de toda la programación anual, con el cual podrá prever los mantenimientos próximos a realizar. Las ventajas que se obtendrán con este método son:

- Conocer con anticipación los equipos a los cuales se les realizará el mantenimiento preventivo. Esto facilitará al administrador del sistema, ya que le permitirá gestionar los repuestos e insumos necesarios para realizar el mantenimiento.
- Facilitará distribuir los trabajos de mantenimiento a los técnicos, ya que se contará con un programa de actividades que deben asignarse a cada técnico según las competencias que este tenga.

- Permitirá a los técnicos retroalimentarse con anticipación sobre las partes de la maquinaria que trabajará, así como consultar en los manuales, reduciendo errores en las actividades de mantenimiento.

El objetivo de la hoja de *check list* es mantener una periodicidad de revisión y mantenimiento a los equipos. Realizar estos trabajos ayudará a la reducción de mantenimientos correctivos, ya que se estandarizarán las actividades necesarias a desarrollar para tener un adecuado funcionamiento de los equipos.

Figura 22. Hoja de registro *check list* mantenimiento preventivo anual

		SEMANA																																																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
Maquina	Tipo de mantenimiento																																																				
	Semanal																																																				
	Trimestral																																																				
	Semestral																																																				
	anual																																																				
	2 años																																																				
	5 años																																																				
	Trimestral																																																				
	Semestral																																																				
	Anual																																																				
	Molinos																																																				
	Compactadora																																																				

Fuente: elaboración propia.

Con el formato se podrá visualizar y evaluar el cumplimiento de los mantenimientos, ya que juegan un papel importante para el desarrollo de las operaciones.

### **5.5. Hoja de calificación del acondicionamiento de la estación de trabajo de llenado y abastecimiento del proceso de molienda**

Para trabajar con esta hoja de calificación debe tomarse como base la clasificación de los *therbligs* y su división de:

- Características físicas: para el caso de la estación de llenado y abastecimiento se toman en consideración los pesos que cada operador puede llegar a levantar y la repetitividad de los mismos. Con base en esta información se determinará una puntuación para evaluar esta característica.
- Arreglo y acondicionamiento de la estación de trabajo: en esta sección se evalúa todo lo que se relaciona con el ambiente de trabajo. Con ello se hace referencia al ruido al cual se está expuesto, la iluminación del área de trabajo (si es adecuada), las condiciones del trabajo (si es de pie y si este cuenta con alfombra antiestrés o si el diseño de las mesas y demás equipos es adecuado a la fisionomía del operador o este puede ajustarse de alguna manera).
- Diseño de herramienta: para ello se evalúan las herramientas que se utilizan durante la operación. Para el caso de molienda en el área de abastecimiento, si la herramienta de corte que se utiliza tiene un mango adecuado, o para el caso de llenado, si la selladora cuenta con algún sistema de cuerdas retráctil que reduzca su peso y que facilite el uso de la misma. En el caso de compactado, se evaluaría el uso de herramienta que se pueda utilizar para facilitar el sistema de amarre de la paca, si cuenta este con guías que puedan usarse.



## **6. IMPACTO AMBIENTAL DE LA EFICIENCIA DE LOS PROCESOS PARA AUMENTAR LA VIDA ÚTIL DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS DEL MOLINO, COMPACTADORA Y MANEJO DE MATERIALES, EN EL PROCESO DE MOLIENDA DE LA PLANTA INDUSTRIAL DE RECICLADOS DE CENTRO AMÉRICA, S.A.**

### **6.1. Impacto del nuevo sistema de manejo de material al entorno**

A continuación se estudia el impacto del nuevo sistema de manejo de material.

#### **6.1.1 Beneficios o problemas hacia los trabajadores**

El sistema propuesto busca mejorar la ergonomía de los operadores durante los procesos de molienda y compactado. Se busca adaptar y estandarizar las condiciones de las diferentes estaciones de trabajo, por lo que se espera que con ello se reduzca el riesgo de enfermedades profesionales.

Para determinar los problemas que estos puedan generar a los operadores se realiza una evaluación del nuevo sistema por medio de una hoja de acondicionamiento de la estación de trabajo, que permitirá identificar aquellos puntos que necesiten corrección, con base en el diseño del área de trabajo, la herramienta que se utiliza y las condiciones físicas de la persona. Otro de los beneficios que se espera que tenga el sistema es el aumento en la productividad de la operación de cada proceso.

### **6.1.2 Equipo que puede utilizarse para mitigar problemas del sistema de manejo de material**

Para mitigar los problemas que pueda generar en los operadores el manejo de los materiales dentro de las instalaciones, se puede hacer más eficiente el manejo de los materiales, implementando diferentes sistemas de *pallets* hidráulicos que les permitan realizar los movimientos de PT de una forma rápida y sin complicaciones. Para el área de abastecimientos se puede utilizar un sistema de igual forma hidráulico que permita ajustar la materia prima a la altura necesaria, sin tener que levantar los *jumbos* para poder trabajar en el área de abastecimiento de material. Otro sistema que se puede utilizar para reducir el manejo de materia prima dentro de la planta es la creación de silos de almacenamiento, previo a la etapa de alimentación, con ello se reducirán los tiempos por traslado o colocación de *jumbos* en la operación de abastecimiento.

## **6.2. Medidas de mitigación del impacto ambiental para el mantenimiento de maquinaria**

Algunas de estas medidas son:

### **6.2.1. Determinar el manejo de material que no se pueda procesar**

Dentro del material que se rechaza existen algunos materiales que son trabajables pero que contienen solventes u otros líquidos que son tóxicos, y también existen otros materiales que no son trabajables por el tipo de material. En cuanto al primer caso, este material puede reciclarse si se adquiere una maquila de un tercero, que garantice la limpieza del recipiente por medio de métodos de neutralización de las sustancias tóxicas. Los elementos que se desechan porque no pertenecen a un material trabajable por la empresa pueden usarse para comercializarse hacia otra empresa que sí se dedique a trabajar este material o, en última instancia, se pueden tener acuerdos con

empresas que utilizan biomasa para sus diferentes procesos, para obtener el manejo adecuado por medio de estas.

### **6.2.2. Formas de Reciclar los elementos mecánicos de la compactadora y el molino**

Como parte de la protección del medio ambiente se propone que la empresa de reciclaje determine un manejo adecuado de todos los elementos que se desechan durante las diferentes actividades de mantenimiento. Partiendo de que los desechos por reparaciones provienen de máquinas compactadoras se puede recomendar que las piezas que se cambien regularmente, sean electrónicas, metales o aceites, se les pueda reciclar, en el caso de las primeras, por medio de empresas como Selmet, Eco Red, entre otras, que se dedican a separar los componentes eléctricos con base en su composición. Las partes metálicas, como lo son los cables, poleas, cojinetes y demás, pueden reciclarse de forma directa con las empresas que se dedican a fundir los metales para la fabricación de piezas nuevas. Los líquidos hidráulicos, como el usado en el sistema de compactación, se puede reciclar por otros medios.

En los molinos la mayor parte de los elementos son metálicos, por lo que la forma de tratar los diferentes desechos es por medio de la venta de estos como chatarra para que puedan fundirse nuevamente. En cuanto a los otros implementos que se usan durante el mantenimiento, como lo son *wipes* y solventes, estos pueden utilizarse en algunos procesos como biomasa. En Guatemala existen pocas empresas que se dedican a realizar esta operación y en algunas ocasiones se cobra por estos servicios.



## CONCLUSIONES

1. El método de mantenimiento propuesto abarca nuevas metodologías que no se consideraron en el manual dentro de las especificaciones del equipo. Estas fueron desarrolladas posteriormente a la fabricación del equipo. Al realizar un análisis del plan de mantenimiento actual, se puede observar que existe un periodo de tiempo para realizar el plan de mantenimiento en cantidad de días, y este se toma con base en la última fecha de mantenimiento realizado. Esto beneficia algunas máquinas que no tienen un funcionamiento continuo, ya que solo se programa cuando es necesario. Con ello no se está desperdiciando recursos. Otra debilidad que mostraba el plan actual es la de no considerar el análisis del aceite hidráulico, el cual es de suma importancia para el funcionamiento óptimo de la máquina. Ya se contempla en el plan propuesto, mientras que para el caso de los molinos se propone un método de evaluación de los equipos con base en los niveles de decibeles que se generan de ruido.
2. Al revisar los cojinetes que se colocan en los ejes, con respecto de lo que indica el fabricante, se puede observar que no son los descritos por este. Sin embargo, cuando se revisaron y analizaron las ventajas de los nuevos cojinetes, se pudo observar que estos son de jaula de bronce, lo que permite un mejor funcionamiento porque reduce la vibración del molino, y con ello se puede apreciar una baja en la temperatura de operación.

3. Durante el análisis de la operación por medio del método *therbligs* se puede observar que existen movimientos innecesarios, los cuales atrasan la operación de alimentación a los molinos. Sin embargo, con el método propuesto se puede aumentar en un 62 % la eficiencia. Esto le permitiría al operador tener un mayor control de las materias primas que se ingresan al molino, reduciendo el riesgo de daños al equipo por algún material distinto a la materia prima.
  
4. Determinar la elongación máxima que pueden soportar los cables que realizan el trabajo de tensión en la compactadora, da un indicador al encargado de mantenimiento sobre cuánto puede soportar un juego de cables antes de romperse, lo que es algo que agilizaría los mantenimientos y permitiría trabajar los equipos a su máxima capacidad. Otro factor que sin duda es necesario es el análisis del aceite hidráulico, ya que da la radiografía del estado del aceite, que es de suma importancia porque indica el desgaste que existe en el sistema hidráulico.
  
5. Existen materias primas que pueden ocasionar más desgaste al molino que otros materiales, sin embargo, no es determinante, ya que los equipos fueron diseñados considerando las materias primas a producir.

## RECOMENDACIONES

1. Con el método actual se indica que en determinada fecha se realiza el mantenimiento de acuerdo a la frecuencia que sea necesario, por lo que, en los procesos de molienda y compactado, el método propuesto se enfoca en medir la frecuencia a partir de los días en que la máquina se encuentre funcionando, y por medio de esto se determina el cumplimiento de la cantidad de días para realizar el próximo mantenimiento. Cuando la máquina no es utilizada durante todo el turno sino un par de horas, se tendrá que modificar el período o la cantidad de horas de acuerdo al horómetro, hasta ajustar el tiempo necesario. Con ello se obtendrá un mayor beneficio, ya que los recursos se aprovecharán de una manera más adecuada y se realizarán los mantenimientos solamente cuando sea necesario.
2. Los cojinetes señalados por el fabricante son los utilizados anteriormente, sin embargo, con la investigación y evolución de la tecnología en el área mecánica, estos elementos han sido rediseñados. Los utilizados actualmente son los llamados “jaula de bronce”, ya que son aptos para trabajar en cualquier proceso donde exista una alta velocidad, como se tiene en el proceso de molienda. También soportan condiciones extremas de temperatura. Son adecuados en aplicaciones de movimientos dinámicos, como los que se experimentan en el eje de la cabina del molino.
3. En lo que respecta al acero, con base en el módulo de Young, se determinó un estándar de elongación previo a la ruptura de cables. Este

dato permitirá generar un estándar y nivel crítico previo al cambio de cables. También se reducirán tiempos generados por mantenimientos correctivos. Por último, se logrará implementar mantenimientos con énfasis en lo predictivo.

4. En el análisis de aceites es necesario asegurarse que el laboratorio en donde se realizará dicho proceso se encuentre certificado. Con esto se garantizará la confiabilidad de los resultados. De igual forma, es necesario solicitar al fabricante el o los niveles en los que el aceite pierde sus propiedades útiles para el proceso.
5. Previo a la implementación de los movimientos eficientes, es necesario comunicar al personal operativo la nueva metodología a implementar y sus respectivos objetivos. También es necesario el acompañamiento del encargado o supervisor para observar los lugares en donde se puedan implementar las correcciones, y con esto aumentar la productividad.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ACHESON, J. Duncan. *Control de calidad y estadística industrial*. Alfaomega, 1990. 1084 p.
2. BOTERO, Camilo. *Manual de Mantenimiento*. Colombia: Bogotá. Publicaciones SENA, 1991. 90 p.
3. DUFFUAA RAOUF, Dixon. *Sistema de mantenimiento: planeación y control*. México: Editorial Limusa Wiley, 2006. 419 p.
4. GARCÍA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo: ingeniería de métodos y mediciones del trabajo*. México: McGraw-Hill, 2007. 334 p.
5. Ingeniería Industrial. *Diseño y distribución en planta*. [en línea]. <<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/dise%C3%B1o-y-distribuci%C3%B3n-en-planta/iluminaci%C3%B3n/>>. [Consulta: noviembre 2016].
6. INGRUP. *Política de calidad de la empresa Reciclados de Centro América, S.A.* Guatemala, 2010. 1 p.
7. Municipalidad de Guatemala. *Reglamento específico de localización industrial del Municipio de Guatemala*. Guatemala, 1971. 60 p.
8. \_\_\_\_\_ . *Medida del módulo de elasticidad*. [en línea]. <[http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/solido/din\\_rotacion/alargamiento/alargamiento.htm](http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/solido/din_rotacion/alargamiento/alargamiento.htm)>. [Consulta: noviembre 2016].

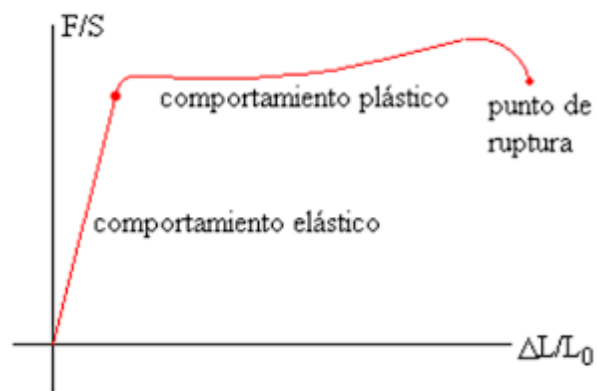
9. NIEBEL, B. *Ingeniería industrial: métodos, tiempos y movimientos*. 9 ed. Colombia, Alfa Omega, 2000. 896 p.
10. PETRO-CANADA. *Hoja de especificación de aceite hidráulico, marca Hydrex aw*. 2015.

## ANEXOS

### Anexo 1. Módulo de elasticidad de Young

#### MODULOS DE ELASTICIDAD O MODULO DE YOUNG

Un modulo elástico es un tipo de constante elástica que relaciona una medida relacionada con la tensión y una medida relacionada con la deformación. Es la relación del esfuerzo a la deformación en los materiales bajo determinadas condiciones de carga; numéricamente, a la inclinación de la tangente o secante de una curva esfuerzo-deformación.



Fuente: Google. [http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/solido/din\\_rotacion/alargamiento/alargamiento.htm](http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/solido/din_rotacion/alargamiento/alargamiento.htm). Consulta: 26 de febrero de 2016

## Anexo 2. Módulos de Young para diferentes materiales

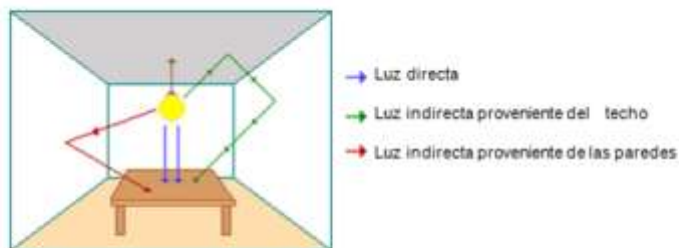
Metal	Módulo de Young, $Y \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$
Cobre estirado en frío	12.7
Cobre, fundición	8.2
Cobre laminado	10.8
Aluminio	6.3-7.0
Acero al carbono	19.5-20.5
Acero aleado	20.6
Acero, fundición	17.0
Cinc laminado	8.2
Latón estirado en frío	8.9-9.7
Latón naval laminado	9.8
Bronce de aluminio	10.3
Titanio	11.6
Níquel	20.4
Plata	8.27

Fuente: Google. [http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/solido/din\\_rotacion/alargamiento/alargamiento.htm](http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/solido/din_rotacion/alargamiento/alargamiento.htm). Consulta: 26 de febrero de 2016.

## Anexo 3. Tablas de iluminación del método de cavidad zonal

### SISTEMAS DE ALUMBRADO

Cuando una lámpara es encendida, el flujo emitido puede llegar a un punto específico de forma directa o indirecta por reflexión en paredes y techo, y el conjunto de estos flujos de luz determinan los diferentes sistemas de iluminación. Sin duda la iluminación directa representa el sistema más económico, sin embargo factores ya estudiados como el deslumbramiento llevan a la contemplación de sistemas de iluminación difusa, semi-indirecta o indirecta.



DIRECTA	SEMIDIRECTA	DIFUSA	SEMIINDIRECTA	INDIRECTA
Flujo dirigido hacia el suelo	La mayor parte se dirige hacia el suelo	50% hacia el suelo y 50% hacia el techo	La mayor parte del flujo proviene del techo	Casi toda la luz se va hacia el techo

### Continuación anexo 3.

#### NIVELES DE ILUMINACIÓN RECOMENDADOS

Los niveles de iluminación recomendados para un local dependen de las actividades que se vayan a realizar en él. La fijación de estos niveles es el primer paso para la determinación del sistema de iluminación que se utilizará en las instalaciones.

Tareas y clases de local	Iluminancia media en servicio (lux)		
	Mínimo	Recomendado	Óptimo
<b>Zonas generales de edificios</b>			
Zonas de circulación, pasillos	50	100	150
Escaleras, escaleras móviles, roperos, lavabos, almacenes y archivos	100	150	200
<b>Centros docentes</b>			
Aulas, laboratorios	300	400	500
Bibliotecas, salas de estudio	300	500	750
<b>Oficinas</b>			
Oficinas normales, mecanografiado, salas de proceso de datos, salas de conferencias	450	500	750
Grandes oficinas, salas de delineación, CAD/CAM/CAE	500	750	1000
<b>Comercios</b>			
Comercio tradicional	300	500	750
Grandes superficies, supermercados, salones de muestras	500	750	1000
<b>Industria (en general)</b>			
Trabajos con requerimientos visuales limitados	200	300	500
Trabajos con requerimientos visuales normales	500	750	1000
Trabajos con requerimientos visuales especiales	1000	1500	2000
<b>Viviendas</b>			
Dormitorios	100	150	200
Cuartos de aseo	100	150	200
Cuartos de estar	200	300	500
Cocinas	100	150	200
Cuartos de trabajo o estudio	300	500	750

### Continuación anexo 3.

- Determinar los coeficientes de reflexión de techo, paredes y suelo: Para tal efecto podemos tomar como base la siguiente tabla:

	Color	Factor de reflexión ( $\rho$ )
Techo	Blanco o muy claro	0.7
	claro	0.5
	medio	0.3
Paredes	claro	0.5
	medio	0.3
	oscuro	0.1
Suelo	claro	0.3
	oscuro	0.1

Fuente: Google. <http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/dise%C3%B1o-y-distribuci%C3%B3n-en-planta/iluminaci%C3%B3n/>. Consulta: 26 de febrero de 2016.

#### Anexo 4. *Therbligs* efectivos

<b>THERBLIGS EFECTIVOS</b>		
Implica un avance directo en el progreso del trabajo. Pueden cortarse, pero es difícil eliminarlos.		
<b>Therblig</b>	<b>simbolo</b>	<b>descripción</b>
alcanzar	AL	Movimiento con la mano vacía desde y hacia el objeto: tiempo depende de la distancia; en general precede a soltar y va seguido de tomar
mover	M	Movimiento con la mano llena ; el tiempo depende de la distancia, el peso y el tipo de movimiento ; en general precedida por tomar y seguida de soltar y posicionar
tomar	T	Cerrar los dedos alrededor de un objeto; inicia cuando los dedos hacen contacto con el objeto y termina cuando se logra el control; depende del tipo de tomar; en general precedido por alcanzar y seguido por mover.
soltar	S	Dejar el control de un objeto; por lo común es el <i>Therblig</i> mas corto
preposicionar	PP	Posicionar un objeto en un lugar predeterminado para su uso posterior; casi siempre ocurre junto con mover, como al orientar una pluma para escribir.
usar	U	Manipular una herramienta al usarla para lo que fue hecha; se detecta con facilidad al hacer que avance el trabajo
ensamblar	E	Unir dos partes que van juntas; suele ir precedido por posicionar o mover, y seguido por soltar.
desensamblar	DE	Opuesto al ensamble, separación de partes que están juntas, en general precedido de posicionar y mover.

Fuente: NIEBEL, Benjamin. *Ingeniería Industrial*. 141 p.

### Anexo 5. *Therbligs* inefectivos

<b>THERBLIGS INEFECTIVOS</b>		
No avanza el progreso del trabajo. Debe eliminarse cuando sea posible		
<b>Therblig</b>	<b>símbolo</b>	<b>descripción</b>
buscar	B	Ojos o manos que deben encontrar un objeto; inicia cuando los ojos se mueven para localizar un objeto
seleccionar	SE	Elegir un artículo entre varios; por lo común sigue a buscar.
posicionar	P	Orientar un objeto durante el trabajo; en general precedido de mover y seguido de soltar ( en contraste a durante para preposicionar)
inspeccionar	I	Comparar un objeto con un estándar, casi siempre con la vista, pero también puede ser con otros sentidos.
panear	PL	Hacer una pausa para determinar la siguiente acción; en general se detecta como una duda antes del movimiento.
Retraso inevitable	RI	Mas halla del control del operario debido a la naturaleza de la operación, por ejemplo, la mano izquierda espera mientras la derecha termina un alcance mas lejano
Retraso evitable	RE	Solo el operario es responsable del tiempo ocioso; como al toser.
Descanso para contrarrestar La fatiga	D	Aparece en forma periódica, no en todos los ciclos, depende de la carga de trabajo físico.
sostener	SO	Una mano detiene un objeto mientras la otra realiza un trabajo provechoso.

Fuente: NIEBEL, Benjamin. *Ingeniería industrial*. 141 p.