



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

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE VIRUTAS DE MADERA  
PARA EL DEPARTAMENTO DE CARPINTERÍA EN UNA FÁBRICA  
DE APLICADORES DE PINTURA**

**Fredy Ronaldo Escobar Calito**

Asesorado por el Ing. Werner Asdrúbal Morales Manchame

Guatemala, octubre de 2016



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE VIRUTAS DE MADERA  
PARA EL DEPARTAMENTO DE CARPINTERÍA EN UNA FÁBRICA  
DE APLICADORES DE PINTURA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**FREDY RONALDO ESCOBAR CALITO**

ASESORADO POR EL ING. WERNER ASDRÚBAL MORALES MANCHAME

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2016



**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. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

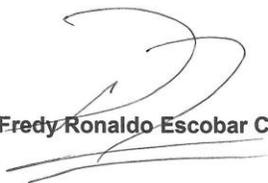


**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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:

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE VIRUTAS DE MADERA  
PARA EL DEPARTAMENTO DE CARPINTERÍA EN UNA FÁBRICA  
DE APLICADORES DE PINTURA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha de 24 de febrero de 2014.

  
**Fredy Ronaldo Escobar Calito**



Guatemala, julio de 2016

Ing. Roberto Guzmán Ortiz  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica

Ingeniero:

Le saludo cordialmente, esperando que tenga éxito en sus labores. El motivo de la presente es para informar que he finalizado la asesoría del trabajo de graduación: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE VIRUTAS DE MADERA PARA EL DEPARTAMENTO DE CARPINTERÍA EN UNA FÁBRICA DE APLICADORES DE PINTURA**, del estudiante de Ingeniería Mecánica Fredy Ronaldo Escobar Calito, con carnet 199616560, aprobando el contenido del mismo.

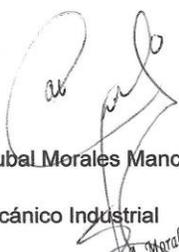
Sin otro particular, me suscribo.

Atentamente,

Werner Asdrubal Morales Manchame

Ingeniero Mecánico Industrial

Colegiado 9725



Werner A. Morales Manchame  
ING. MECÁNICO - INDUSTRIAL  
COL. No. 9,725



Ref.E.I.M.220.2016

El Coordinador del Área de Diseño de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE VIRUTAS DE MADERA PARA EL DEPARTAMENTO DE CARPINTERÍA EN UNA FÁBRICA DE APLICADORES DE PINTURA** desarrollado por el estudiante **Fredy Ronaldo Escobar Calito**, carné **199616560** recomienda su aprobación.

*"Id y Enseñad a Todos"*



Ing. Alvaro Antonio Avila Pinzón  
Coordinador Área de Diseño  
Escuela de Ingeniería Mecánica



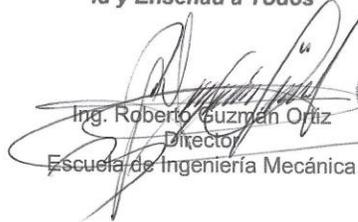
Guatemala, agosto 2016



Ref.E.I.M.284.2016

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área de Diseño del trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE VIRUTAS DE MADERA PARA EL DEPARTAMENTO DE CARPINTERÍA EN UNA FÁBRICA DE APLICADORES DE PINTURA** del estudiante **Fredy Ronaldo Escobar Calito**, carné No. **9616560** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Ing. Roberto Guzmán Ortiz  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, octubre de 2016  
/aej



Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 509.2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE VIRUTAS DE MADERA PARA EL DEPARTAMENTO DE CARPINTERÍA EN UNA FÁBRICA DE APLICADORES DE PINTURA**, presentado por el estudiante universitario: **Fredy Ronaldo Escobar Calito**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, octubre de 2016

/gdech





## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por darme la fortaleza y fuerza para lograr esta meta.
<b>Mis padres</b>	Por el apoyo incondicional que siempre me brindaron y estar orgullosos de mi.
<b>Mis hijos</b>	Alejandro Escobar López, Sofía, Sebastián, Rodrigo y Sahara Valeria Escobar Chour, espero que este triunfo sea de inspiración para sus vidas.
<b>Mis hermanos</b>	Cissy e Irving Escobar Calito.



## AGRADECIMIENTOS A:

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mi <i>alma mater</i> .
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por ser la casa de estudios donde aprendí y recorrí la senda del conocimiento.
<b>Mi asesor de tesis</b>	Ing. Werner Asdrubal Morales Manchame, por su gran ayuda en la realización de este trabajo de graduación.
<b>Catedráticos</b>	Por sus enseñanzas y conocimientos compartidos para mi preparación académica.
<b>Delia Chour</b>	Por siempre ser inspiración en mi vida y ayudarme a ser mejor cada día.
<b>Mis compañeros y amigos</b>	Que de una u otra manera forman parte de este triunfo.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. ASPECTOS Y CONCEPTOS GENERALES.....	1
1.1. Conceptos generales .....	1
1.1.1. Madera.....	1
1.1.2. Residuos de la madera .....	2
1.1.2.1. Polvo de madera.....	3
1.1.2.2. Polvo de tableros .....	4
1.1.2.3. Aserrín seco y húmedo.....	5
1.1.2.4. Virutas secas y húmedas.....	6
1.1.2.5. Astillas .....	7
1.1.2.6. Despunteros.....	7
1.1.3. Peligros a la salud.....	7
1.1.4. Reglamentación .....	10
1.1.5. Efectos del aserrín sobre la maquinaria.....	11
1.1.6. Sistemas de extracción.....	12
2. ANTECEDENTES Y SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA .....	15
2.1. Antecedentes .....	15
2.1.1. Política de calidad.....	15

2.1.2.	Funciones principales.....	16
2.1.3.	Departamento de producción .....	17
2.1.3.1.	Productos .....	18
2.1.3.2.	Brochas .....	18
2.1.4.	Materia prima utilizada en la producción de brochas.....	18
2.1.4.1.	Cerda.....	18
2.1.4.2.	Madera .....	19
2.1.4.3.	Resina epóxica.....	20
2.1.4.4.	Lámina.....	21
2.1.5.	Departamento de mantenimiento y limpieza .....	22
2.1.6.	Maquinaria.....	23
2.2.	Situación actual .....	25
2.2.1.	Historial de fallas existentes .....	25
2.2.2.	Causa de las fallas .....	28
2.2.2.1.	Contaminación del ambiente .....	29
2.2.3.	Evaluación desde la perspectiva de seguridad industrial.....	31
2.2.4.	Evaluación del costo de mantenimiento .....	32
2.2.5.	Costos asociados a la limpieza .....	37
2.2.6.	Tiempos improductivos de personal y equipos.....	38
3.	SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE VIRUTAS .....	41
3.1.	Funcionamiento del sistema de extracción y características .....	41
3.1.1.	Materiales a utilizar en el sistema de extracción .....	45
3.1.2.	Pérdidas por fricción y fugas de aire .....	52
3.2.	Diseño de un extractor de viruta de madera .....	53

3.2.1.	Algunas consideraciones de diseño.....	53
3.3.	Propuesta de diseño de un sistema de extracción de virutas para el departamento de carpintería .....	57
3.3.1.	Maquinaria de la fábrica.....	57
3.3.2.	Fases para diseño de sistema de extracción.....	57
4.	ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.....	63
4.1.	Cotización de sistema propuesto .....	63
4.1.1.	Gasto histórico de repuesto .....	65
4.1.2.	Gasto de horas extras por mantenimientos correctivos .....	65
4.1.3.	Gastos por limpieza en el área de carpintería .....	66
4.1.4.	Gastos por paros planificados para limpiar área de carpintería.....	67
4.1.5.	Gastos por paros no planificados por reparación de equipo.....	67
4.1.6.	Indicadores financieros .....	70
4.1.7.	Ventajas de la inversión.....	73
	CONCLUSIONES .....	75
	RECOMENDACIONES .....	77
	BIBLIOGRAFÍA.....	79



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Polvo de madera .....	3
2.	Tableros MDF .....	4
3.	Textura del aserrín .....	5
4.	Virutas de madera .....	6
5.	Estructura de un sistema de extracción .....	12
6.	Cerda utilizada en la fabricación de brochas.....	19
7.	Madera utilizada para la fabricación de cabos .....	20
8.	Recipientes de resina epóxica para fabricación de brochas .....	21
9.	Ferrúl de 4" de metal .....	22
10.	Departamento de mantenimiento .....	24
11.	Cantidad de repuestos 2014-2015, fresadora A.....	27
12.	Cantidad de repuestos 2014-2015, fresadoras B.....	27
13.	Cantidad de repuestos 2014-2015, fresadoras C.....	28
14.	Ambiente en el área de carpintería .....	30
15.	Costo mensual de repuestos 2014-2015.....	33
16.	Costo de repuestos 2014-2015, fresadoras A.....	35
17.	Costo de repuestos 2014-2015, fresadoras B.....	35
18.	Costo de repuestos 2014-2015, fresadoras C.....	36
19.	Pareto de consumo de repuestos .....	36
20.	Cantidad y costo de horas por limpieza 2014-2015 .....	38
21.	Sistema de extracción portátil .....	43
22.	Sistema de extracción estacionario.....	44
23.	Sistema de extracción central .....	45

24.	Materiales a utilizar .....	47
25.	Distintos radios de codos .....	48
26.	Ciclón para sistema de extracción de virutas .....	49
27.	Abanico para sistema de extracción de virutas .....	51
28.	Decibelios dB (A) .....	51
29.	Sistema propuesto .....	61

## TABLAS

I.	Repuestos de 2014-2015.....	26
II.	Costo total de repuesto para máquina .....	34
III.	Velocidad en tuberías .....	54
IV.	Requerimiento de caudal (CFM) a una velocidad específica .....	55
V.	Presión estática en el sistema .....	56
VI.	Tubería y caudal .....	58
VII.	Diámetro de cada tramo .....	59
VIII.	Diámetro de 4 pulgadas.....	59
IX.	Cálculo de presión estática.....	60
X.	Cuadro de productos .....	60
XI.	Costos del equipo .....	64
XII.	Factores de horas extras .....	66
XIII.	Gastos no planificados .....	68
XIV.	Datos históricos de julio 2014-julio 2015 .....	69
XV.	Costos del proyecto de instalación .....	70
XVI.	Cálculo de VAN, TIR y <i>payback</i> .....	72

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>dB</b>	Decibel
<b>µm</b>	Milésima parte de un milímetro
<b>M</b>	Metro
<b>Min</b>	Minutos
<b>#</b>	Número
<b>%</b>	Porcentaje
<b>Q</b>	Quetzales
<b>U</b>	Unidad
<b>W</b>	Watts



## GLOSARIO

<b>Bandeja</b>	Pieza de plástico para almacenar pintura.
<b>Brocha</b>	Herramienta compuesta por cerdas unidas a un mango que se utiliza para pintar.
<b>Conama</b>	Comisión Nacional del Medio Ambiente en Guatemala.
<b>Convicción</b>	Ética o política fuertemente arraigada.
<b>Cromatografía</b>	Es una técnica de separación, no debe confundirse con una técnica cuantitativa o cualitativa de análisis. Es una de las técnicas analíticas ampliamente utilizada, permite separar físicamente los distintos componentes de una solución por la absorción selectiva de los constituyentes de una mezcla.
<b>Dermatitis</b>	Reacción alérgica, irritación de la piel.
<b>Despilfarro</b>	Derroche de dinero o bienes, gasto excesivo e innecesario.
<b>Dosificación</b>	Dosis cuantificada.

<b>Golpes de ariete</b>	Sobrepresión en las tuberías.
<b>Map-10</b>	Máquina dosificadora y armadora cabezas de brochas.
<b>Map-6</b>	Máquina diseñada para el ensamble de brochas.
<b>OSHA</b>	Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (por sus siglas en inglés).
<b><i>Payback</i></b>	Producto interno bruto o ingreso per cápita.
<b>PIB</b>	Producto interno bruto.
<b><i>Retailers</i></b>	Detallista, comerciante al por menor, expendedor, minorista, revendedor, vendedor al detalle.
<b>Rodillo</b>	Cilindro envuelto de material absorbente para pintar superficies.
<b><i>SETS</i></b>	Producto elaborado que incluye una bandeja, un rodillo, un maneral y una o dos brochas.
<b>Sibos</b>	Nombre asignado a fresadoras de madera diseñadas para la fabricación de mangos para brochas.
<b>Tabletas</b>	Pieza de madera utilizada para producir cabos para brochas.

<b>Textura</b>	Es en oportunidades descrita como la capacidad de sentir sensaciones no táctiles.
<b>TIR</b>	Tasa interna de retorno, es un instrumento financiero.
<b>Ultrasonido</b>	Es una onda acústica cuya frecuencia está por encima del límite perceptible por el oído humano (aproximadamente 20 000 Hz).
<b>VAN</b>	Valor actual neto, es un instrumento financiero.
<b>Washes</b>	Es un tipo de pintura lavable.



## RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se analizan los conceptos claves a tomar en cuenta previo a realizar propuestas que mejoren el desempeño de la empresa, se introducirán los conceptos de extractores de aserrín en la industria, factores de riesgo de tener ambientes saturados de aserrín, regulaciones ambientales sobre el polvo, ruido e impacto al medio ambiente.

Asimismo, la situación actual de la empresa en la que se incluirán los antecedentes de la empresa, misión y visión, las políticas de calidad, las actividades a las que se dedica, se hará un desglose de todas las materias primas para la fabricación de aplicadores de pintura, historial de accidentes de trabajo, así como los actos y condiciones inseguras, se analizarán los historiales de fallas frecuentes existentes determinando las causas de las mismas y enfocándose en las más urgentes de atender.

Se explicará la forma de calcular un sistema de extracción eficiente y se propondrá un diseño de sistema de extracción aplicado a la empresa y sus necesidades, con el fin de reducir al mínimo los problemas ocasionados por la saturación actual de aserrín en el ambiente de trabajo.

Finalmente, se evaluarán los costos de implantación del sistema propuesto, su viabilidad y factibilidad.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Diseñar un sistema adecuado, eficiente y viable de extracción de viruta de madera en una fábrica de aplicadores de pintura.

### **Específicos**

1. Reducir la cantidad de partículas en el ambiente interno de la planta hasta valores tolerables para el ser humano.
2. Reducir el gasto en mantenimiento de la maquinaria del departamento de carpintería.
3. Reducir el índice de faltas no planificadas del personal, debido a enfermedades respiratorias.
4. Desarrollar un ambiente limpio y ordenado para que sea fuente de motivación para todo el personal.



## INTRODUCCIÓN

La importancia de mantener un ambiente adecuado para la salud de los colaboradores, así como para el medio ambiente que rodea la planta, motiva la presente propuesta denominada Diseño de un sistema de extracción de virutas de madera para el departamento de carpintería en una fábrica de aplicadores de pintura. Así como la reducción del gasto en mantenimiento de la maquinaria provocada por la polución.

Con este proyecto se beneficiará el control del medio ambiente, se mejorará las condiciones de trabajo de los operarios y se reducirá el índice de faltas no programadas por enfermedades respiratorias, también se mejorará a la productividad de la fábrica, porque se reducirán gastos de mantenimiento, además se favorecerá a la empresa con un ingreso por la venta de la viruta recolectada por el sistema de extracción.

Trabajar en un ambiente limpio y ordenado aumenta la productividad del personal, con la implementación del sistema de extracción se propone cambiar las condiciones ambientales del área de trabajo.

Se hará un análisis económico para determinar la factibilidad de invertir en un extractor de virutas, así como las ventajas y desventajas de una inversión de tal magnitud. Se tomarán en cuenta algunas variables que son muy importantes en la ingeniería económica, como lo son el TIR, el VAN y el *payback*. Con estos tres indicadores se pretende determinar si la inversión traerá será rentable.



# **1. ASPECTOS Y CONCEPTOS GENERALES**

## **1.1. Conceptos generales**

Se presenta la definición de varios conceptos generales, relacionados con el desarrollo del trabajo de investigación académico, iniciando con la madera y sus características detalladamente, los antecedentes y situación actual de la empresa.

### **1.1.1. Madera**

Se considera como el material de los troncos y ramas de árboles y arbustos desprovistos de corteza. El árbol es un ser vivo del reino de las plantas que produce su propia sustancia mediante fotosíntesis, utilizando el agua y ciertos nutrientes del suelo y el gas carbónico de la atmósfera. Es un material noble multiuso, puede ser utilizado en la construcción, industria o con fines particulares, entre sus características y cualidades están las siguientes.

- Es fácil de trabajar porque se puede cortar con métodos simples, unirse fuertemente mediante clavos, conectores, pernos o adhesivos.
- Tiene propiedades de resistencia mecánica, es rígida pero flexible, es resistente al impacto y tiene amortiguador de vibraciones.
- Sufre pequeños cambios dimensionales por efecto de cambios de temperatura.
- Es biodegradable, tiene una cierta durabilidad natural, la que puede ser mejorada artificialmente introduciéndole preservantes.

- Cambia sus dimensiones frente a variaciones de humedad, tiene cierta aislación acústica, la que puede ser mejorada en cierto grado por el sistema constructivo.
- Es buen combustible, puede ser ventajoso al usarla para producir energía, pero limita el uso de la madera en construcción, no obstante esta desventaja puede ser minimizada introduciéndole productos ignífugos o retardantes del fuego.

La madera es históricamente uno de los materiales más utilizados por el hombre. Como materia prima de diversos usos en base de madera tiene muchas ventajas. Es un recurso renovable mediante un manejo sustentable, es decir, armonizando su aprovechamiento con su velocidad de renovación en un marco asimilable por el medio ambiente. Es un material noble multiusos, que puede ser utilizado en la construcción, industria o con fines particulares.

### **1.1.2. Residuos de la madera**

Cualquiera de los procesos de transformación de la madera arrojará residuos debido al tallado, lijado, fresado, entre otros. Al que es sometida por sus tantas aplicaciones. Dependiendo de la herramienta y la intensidad con la que se trabaje la madera, así será el tamaño, consistencia y demás propiedades de los residuos, los cuales pueden ser reutilizados en diferentes maneras. Por su tamaño y origen, la revista MM (2004) las clasifica de la siguiente manera.

### 1.1.2.1. Polvo de madera

Es un residuo pulverizado muy fino similar a la harina con una granulometría promedio, generalmente entre 10  $\mu\text{m}$  y 30  $\mu\text{m}$ ; pero, durante los procesos como el lijado se pueden emitir partículas extrafinas que llegan hasta tamaños inferiores de 7  $\mu\text{m}$ . Casi siempre se convierte en un desperdicio y causa polución; tiene muy pocos usos comerciales, es volátil y altamente combustible. El polvo de madera es quizás el residuo más complejo de recolectar y disponer, es imposible capturarlo completo; la exposición a este desperdicio afecta nocivamente la salud de los trabajadores y daña los mecanismos y el sistema eléctrico de las máquinas y las herramientas.

Figura 1. Polvo de madera



Fuente: elaboración propia.

Su clasificación se realiza con base en criterios botánicos, provenientes de maderas duras o blandas. El polvo de las maderas duras (teca, caoba, palisandro, entre otros). Tiende a presentar mayor densidad, por lo que permanece flotando menos tiempo en el aire que el de las maderas blandas (pino, abeto, cedro, entre otros), Además, las especies duras presentan un mayor contenido de plaguicidas. Según la Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA), se ha comprobado que el aserrín representa un peligro para la salud, por lo mismo existen actualmente normas sobre su control en el contexto de una organización.

#### **1.1.2.2. Polvo de tableros**

Como el resto de los polvos provenientes de la madera, los de los tableros son potencialmente peligrosos, deben ser debidamente controlados y dispuestos con sistemas de extracción especializados. Durante el mecanizado de los tableros de MDF, además de desperdicios de grado fino (menores a 20  $\mu\text{m}$ ), se desprenden ciertos compuestos químicos tales como el formaldehído, utilizado en los aglomerantes.

Figura 2. **Tableros MDF**



Fuente: elaboración propia.

### 1.1.2.3. Aserrín seco y húmedo

Son partículas que se derivan del aserrado y que tienen un diámetro de entre 0,5 y 5 mm; pueden estar secas o húmedas, según el material y la humedad relativa del ambiente. El aserrín húmedo es más pesado y complejo de extraer y disponer a diferencia del residuo seco, se apelmaza y forma costras en los ductos de transporte y causar obstrucciones.

Figura 3. Textura del aserrín



Fuente: elaboración propia.

Este residuo es considerado un producto útil, se puede emplear como sustrato hidropónico, en la elaboración de algunos tableros de madera y para la fabricación de pellets destinados a la alimentación de calderas de biomasa.

#### 1.1.2.4. Virutas secas y húmedas

Es un desperdicio más grueso que el aserrín en forma de pequeñas hojuelas de madera, proveniente de los procesos de corte y cepillado, los tamaños oscilan entre 5 y 30 milímetros., es producto de la madera maciza; los tableros no generan este tipo de residuo.

Figura 4. Virutas de madera



Fuente: elaboración propia.

Por lo general es seca, puede estar impregnada de los líquidos utilizados en el taller, como solventes, pinturas, barnices o pegantes, lo que la hace más pesada y aumenta su capacidad de combustión. Incluso, puede estar mezclada con clavos o trozos de otros elementos; recortes de cantos de PVC o ABS, y

pedazos de fórmica o papel melamínico. La viruta limpia sirve para elaborar camas o lechos para animales de granja y la fabricación de briquetas.

#### **1.1.2.5. Astillas**

Son trozos de madera o de tableros bien definidos, fragmentos irregulares que dan lugar a un combustible local que tienen una forma subrectangular y una longitud comprendida entre 5 y 50 milímetros.

#### **1.1.2.6. Despunte**

Son los recortes más grandes que quedan después del mecanizado, tienen tamaños mayores a los 50 mm, que utilizan como leña. El grupo National Timber Product Stewardship de Australia, establece que la energía producida por madera reciclada emite 50 veces menos emisiones de gases de efecto invernadero que la combustión de carbón negro y 30 veces menos que el gas natural, cuando se usa en instalaciones industriales.

### **1.1.3. Peligros a la salud**

Según el State Compensation Insurance Fund la exposición al polvo de aserrín puede causar problemas de salud. Los efectos nocivos asociados con la exposición al polvo de aserrín, incluyen dermatitis y/o efectos alérgicos al sistema respiratorio. Cuando un trabajador resulta sensibilizado al polvo de aserrín, puede sufrir una reacción alérgica después de exposiciones repetidas. Otros efectos del polvo de aserrín a la salud humana, son irritación de los ojos, asma, sequedad y obstrucción nasal y dolor de cabeza frecuente.

Las sustancias químicas naturales de la madera que aparentan estar asociadas con las reacciones alérgicas, se encuentran en el interior del árbol o sea el corazón de la madera.

Según el Departamento de Seguros de Texas, la madera es un complejo material biológico y químico que crea una variedad de peligros al usarse para construir un producto. Un producto secundario peligroso creado al usar materiales de construcción de madera es el aserrín, ya que puede causar numerosos problemas de salud para el trabajador tales como el asma, la bronquitis crónica, entre otros, problemas respiratorios causados por las alergias, han sido atribuidos a la exposición al aserrín.

También puede causar la dermatitis, cáncer pulmonar, gastrointestinales y nasales. Se ha comprobado que el aserrín de algunas maderas es tóxico al cuerpo humano. El aserrín arrojado de las máquinas de carpintería causa lesiones a los ojos, dichas lesiones también pueden ocurrir cuando los trabajadores se limpian el sudor de la frente, debido a que pueden llevarse aserrín en los ojos.

Los contaminantes biológicos incluyen moho y hongos, que a menudo crecen sobre la corteza de los árboles. También es posible que la madera haya sido tratada con sustancias químicas para ayudar a su preservación. Los preservantes comunes para madera son arsénico, cromo, cobre y creosota. Al procesarse la madera se pueden generar polvos de aserrín que contengan los preservantes químicos, lo cual complica los efectos potenciales a la salud. La exposición a polvo de aserrín en el lugar de trabajo es un problema que afecta a muchos y diversos sectores, pero de manera especial al de la madera.

Son las operaciones de lijado, fresado y pulido las que originan las partículas de polvo de madera más finas, con un diámetro inferior a 5 micras (son las que se incluyen en el concepto de polvo respirable, es aquella fracción del polvo que alcanza la zona de intercambio gaseoso, los alvéolos pulmonares). Esto da lugar a una amplia gama de enfermedades profesionales respiratorias (asma, bronquitis crónica, enfisema pulmonar), hasta cáncer de cavum y de senos nasales.

Se ha descrito una incidencia inusualmente alta de cáncer nasal entre los trabajadores de carpinterías. Un reciente análisis agrupado de estudios comparativos de 12 grupos humanos en siete países, confirmó el alto riesgo de cáncer nasofaríngeo entre los trabajadores de la carpintería (Demers y cols. 1995). La causa de estos excesos de cáncer nasal no se conoce, pero según informes recientes del Reino Unido y Estados Unidos, informan el riesgo de cáncer nasal entre los trabajadores de la fabricación de muebles ha aumentado.

Estos efectos se pueden reducir si se dispone de un sistema de extracción de virutas de madera. Las máquinas que producen aserrín deben equiparse con sistemas de extracción de polvo. Si el sistema de extracción es inadecuado para eliminar el aserrín, el operario tendrá que llevar una mascarilla. La Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC), ha determinado ya que existe suficiente evidencia de la carcinogenicidad del aserrín para los seres humanos y que el aserrín es cancerígeno para los seres humanos.

Otros estudios indican que el aserrín puede ser un irritante de las membranas mucosas de los ojos, nariz y garganta. Algunas maderas tóxicas son más activamente patógenas y pueden producir reacciones alérgicas y ocasionalmente trastornos pulmonares e intoxicación sistémica.

El mayor uso de maquinaria fresadoras, espigadoras y tornos, produce más aserrín y hace necesaria una nueva tecnología de un sistema de extracción de polvo para un mayor control del aserrín. La mayoría del aserrín producido en un taller de carpintería se elimina por medio de sistemas de extracción local.

#### **1.1.4. Reglamentación**

Hasta 1985 el polvo de aserrín estaba regulado por la OSHA bajo la Norma de Polvos Irritantes. La investigación ha enseñado que el polvo de aserrín no es solo polvo. Los polvos de los diferentes tipos de madera tienen diferentes efectos sobre los trabajadores. Las maderas duras y las blandas tienen diferentes niveles de límite permisible de exposición al polvo en suspensión en el aire. Las maderas duras, tales como el haya y el roble están listadas con peligros a la salud, más graves que los de las maderas blandas. El cedro rojo occidental (*western red cedar*), está en una categoría aparte por ser una especie de madera alérgica.

El límite OSHA de exposición al polvo de madera en el aire recomendado para el trabajo con las especies blandas, tiene un umbral de máximo  $5 \text{ mg/m}^3$  respirable, es decir, que durante ocho horas diarias de labores en promedio, el trabajador no debe estar expuesto al polvo por encima de este volumen. Para los polvos de maderas duras el nivel de exposición máximo respirable es de  $1 \text{ mg/m}^3$  como son: roble, caoba, haya, nuez, abedul, olmo y la ceniza; en el caso de los residuos del cedro rojo occidental es de  $0,5 \text{ mg/m}^3$ , basado en sus efectos alérgicos causantes del asma y el cáncer nasal.

Existen prácticas seguras de trabajo que pueden mitigar los efectos dañinos del aserrín, así como reducir o minimizar los niveles del polvo de dicho aserrín pueden ser:

- Orden y limpieza.
- Buen aseo.
- No se debe usarse aire comprimido para limpiar las superficies de trabajo (barra o use aspiradora para recolectar el polvo).
- Si es posible, usar un sistema de extracción local para capturar y eliminar el polvo de los equipos de trabajo en madera.
- Asegurarse que los equipos de control del polvo, estén debidamente mantenidos.
- Usar métodos húmedos donde sea apropiado para minimizar la generación de polvo.

#### **1.1.5. Efectos del aserrín sobre la maquinaria**

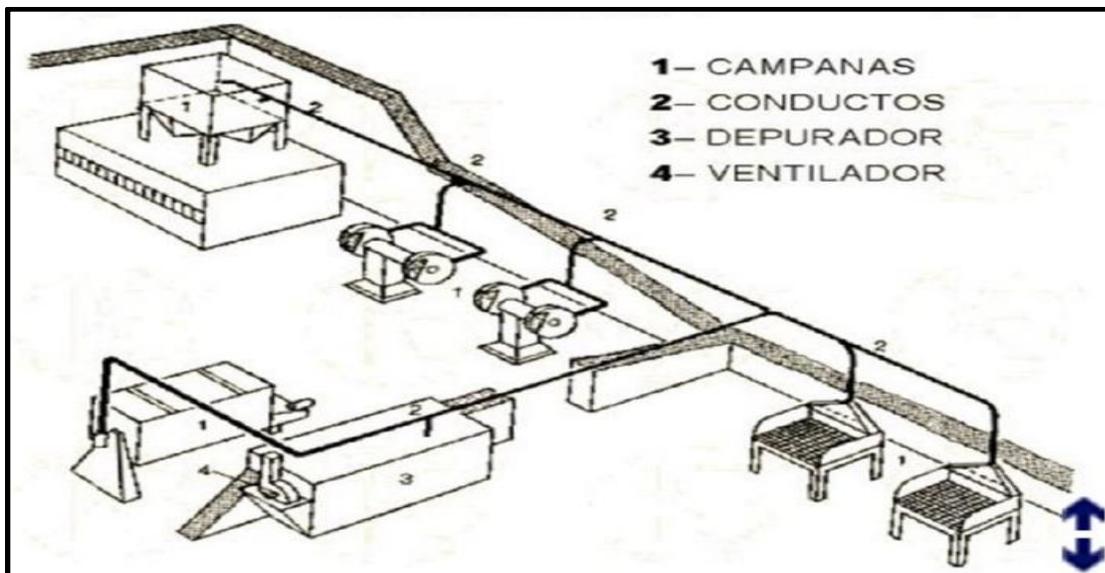
La tecnificación no es solo la adquisición de nuevas y modernas máquinas, también exige la implementación de instalaciones y ambientes adecuados que protejan las inversiones de los empresarios. Es importante cuidar la tecnología y el talento humano, y no exponerlos a sufrir riesgos industriales; la alternativa de ahorrar dinero en la seguridad industrial, repercute económicamente en las empresas. Los fabricantes de máquinas y herramienta para trabajar madera, insisten en concientizar a los empresarios para que utilicen sistemas de extracción para manejar correctamente los residuos que deja dicha madera al trabajarla, estos residuos del maquinado de la madera pueden adherirse a rodamientos y engranajes, causando con un desgaste innecesario y por lo tanto, incurrir en gastos excesivos de mantenimiento y reparación de los equipos y maquinaria.

Otro peligro de la acumulación de residuos de madera es el de incendio. La madera es altamente inflamable y al fraccionarla en pequeños pedazos el riesgo se incrementa por el calentamiento normal de la maquinaria al estar operando. La correcta operación de una máquina se relaciona directamente con la implementación de un sistema de extracción de virutas bien dimensionado y correctamente instalado, incluso en muchos casos es un requisito para la garantía de los equipos.

### 1.1.6. Sistemas de extracción

Los sistemas de extracción y conducción de residuos de madera son sencillos: un motor eléctrico hace girar el equipo aspirante (extractor centrífugo), para generar la succión a través de una o un conjunto de mangueras conectadas a él.

Figura 5. Estructura de un sistema de extracción



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

El extractor transporta las partículas más pequeñas y las impulsa por la tubería hacia el ciclón o elemento filtrante para descargarlas en un depósito, también llamado silo. La fuerza aspirante es tan grande que además del polvo son arrastradas las virutas y pequeños trozos de madera. La capacidad de succión del extractor y el diámetro de las boquillas de acoplamiento al igual que el número de mangueras y de silos, está determinado por la cantidad de residuos existentes y el número de máquinas a aspirar.

Funciona como un acueducto, donde cada sección de manguera de cada máquina, desemboca en una línea matriz conectada a un sistema que ayuda a separar el residuo del aire para llevarlo al depósito. Todos los ramales llegan al conducto principal, con el objetivo que el aire pueda circular e impulsar los desechos hacia un módulo de ciclón, cuya función es separar el aire de las virutas; la fuerza centrífuga genera un efecto ciclónico y el aire se conduce hacia arriba, mientras que el aserrín y las virutas caen a los contenedores.



## **2. ANTECEDENTES Y SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA**

### **2.1. Antecedentes**

La empresa fue fundada en 1978, su actividad comercial consiste en la fabricación y comercialización de diferentes aplicadores de pintura. Esta empresa comercializa sus productos a nivel centroamericano y en más de 20 países a nivel global por medio de su división de exportaciones. Su tecnología innovadora y la experiencia del personal laboral son actualmente los elementos más valiosos de la empresa. La compañía posee un programa de fabricación de aplicadores de pintura que se enfoca a satisfacer la necesidad del mercado, cumpliendo estándares de calidad.

La compañía fabrica sus productos con cerdas completamente naturales y otras materias primas que se caracterizan por su excelente calidad, además cada aplicador es elaborado a mano, lo que refleja la experiencia y habilidad de personal técnico. Actualmente sus productos poseen un reconocido prestigio en el mercado por los estándares internacionales y la excelente calidad.

#### **2.1.1. Política de calidad**

Las políticas de una empresa representan una de las vías para hacer operativa la estrategia, suponen un compromiso al desplegarla a través de los niveles jerárquicos, se refuerza por el compromiso y la participación del personal, lo que significa que la política empresarial proporciona la orientación precisa para que los ejecutivos y mandos intermedios elaboren planes concretos de acción que permitan alcanzar los objetivos.

La política de la empresa es ofrecer productos y servicios que los clientes reconozcan por su excelente valor. La meta es administrar los procesos de forma que las tareas se realicen bien desde la primera vez. Todos son responsables de la calidad y se debe contribuir a ella trabajando en equipo y sintiéndose orgulloso del trabajo. Se deben mejorar constantemente los productos y servicios. Los procesos deben ser realizados en toda la organización de forma que se pueda medir la calidad e identificar áreas para mejorar, utilizando métodos confiables. Se espera el mismo compromiso de parte de los proveedores y se trabajará con ellos para lograr los requerimientos.

Para garantizar y mantener la calidad que por muchos años ha caracterizado a la empresa, se cuenta con un laboratorio de calidad enfocado a supervisar para que se cumplan los estándares en cada uno de los aplicadores que se producen. Esta es la filosofía que ha llevado a ser actualmente lo que son y serán, lo cual les permitirá a través de su cumplimiento, seguir ofreciendo un buen servicio.

### **2.1.2. Funciones principales**

Las funciones principales de la empresa son la manufactura de aplicadores de pintura, entre los más importantes se encuentran brochas y rodillos. Para su realización emplea tecnología innovadora y cuenta con la experiencia del personal laboral, quienes son actualmente los elementos más valiosos de la empresa.

La compañía posee un programa de fabricación de aplicadores de pintura que se enfoca en satisfacer las necesidades del mercado, produciendo brochas y rodillos que cumplen con estándares de calidad.

Cada línea de producción requiere estrategias específicas, los expertos tienen que tomar decisiones difíciles en cuanto a la extensión de la línea y sus características. La amplitud de una línea de productos depende de los objetivos de la empresa, tienden y deben estar conscientes para planear este crecimiento.

La compañía fabrica sus productos con cerdas completamente naturales y otras materias primas que se caracterizan por su excelente calidad, además, cada brocha es elaborada a mano, lo que refleja la experiencia y habilidad de personal técnico.

En el proceso de producción la empresa se apoya en dos departamentos igualmente importantes, siendo:

- Departamento de Producción
- Departamento de Mantenimiento y Limpieza

### **2.1.3. Departamento de Producción**

Tiene la capacidad para diseñar la estrategia más adecuada para la consecución de sus objetivos, se encuentra en un plano de igualdad con el resto de los departamentos de la fábrica, desde el momento de armonizar las necesidades o intereses de todos los departamentos de la planta, hasta decidir la estrategia que quedará como definitiva, para conseguir el rendimiento óptimo de la planta en cuestión. Dicho a su vez se subdivide en el departamento de carpintería el cual es el que interesa en el presente trabajo.

### **2.1.3.1. Productos**

Siendo un conjunto de características y atributos tangibles, la empresa se dedica a la fabricación de aplicadores de pintura como rodillos y brochas. En este apartado interesa únicamente el tema de las brochas.

### **2.1.3.2. Brochas**

Es un instrumento que consiste en un conjunto de cerdas unidas a un mango que se utiliza para pintar, reteniendo entre sus fibras un determinado material, por lo general alguna clase de pintura para luego distribuirlo uniformemente sobre una superficie.

### **2.1.4. Materia prima utilizada en la producción de brochas**

El componente más importante de una brocha son las cerdas (filamentos que untan la pintura). Existen muchos tipos de materiales que se utilizan y cada uno tiene sus características que pueden hacer al material bueno o malo para aplicaciones de pintura.

#### **2.1.4.1. Cerda**

Se le denomina al pelo de animales, generalmente son de cerdo. Las cerdas naturales son las mejores en la aplicación de pinturas a base de aceite, esmaltes, barnices y barnices con laca. Una brocha natural no debe ser utilizada con un terminado de látex o basada en agua.

Generalmente la cerda absorbe el agua como el cabello humano en la ducha, esta absorción resulta en que estas se hínchen con lo cual pierde también su firmeza haciéndola inmanejable. También, el agua la reseca y después de varias aplicaciones tiende a romperse y quedarse en la pintura.

Figura 6. **Cerda utilizada en la fabricación de brochas**



Fuente: elaboración propia.

#### **2.1.4.2. Madera**

La madera utilizada en la fabricación de aplicadores de pintura es de pino blanco. Siendo la mejor opción para la elaboración de cabos, brinda un aspecto más estético, además de mayor calidad. Un cabo está elaborado de madera muy fuerte la cual disminuye la hinchazón. Las cerdas y el cabo están en contacto generalmente con líquidos como agua, solventes y lacas.

Si la madera es blanda absorbe los líquidos y por lo mismo tiende a dilatarse, lo que provoca que se estire la juntura del ferrúl, es decir, la lámina de la pieza. En el caso contrario cuando el cabo se contrae, se encoge y deja un ferrúl sujetado con menor firmeza. Casualmente, la juntura tiende a aflojarse y por lo mismo resulta más dificultoso para trabajar.

Figura 7. **Madera utilizada para la fabricación de cabos**



Fuente: elaboración propia.

#### **2.1.4.3. Resina epóxica**

Resina sintética termoestable de gran tenacidad resistente a los agentes químicos y de gran poder adherente. El epóxico que se utiliza en las brochas viene en distintas potencias de reacción. Las mejores brochas tienen un nivel más fuerte y más durable, el cual mantiene los filamentos firmemente en su posición.

Este componente tendrá que resistir los distintos solventes y sustancias químicas al cual será sujeto, tanto en la aplicación como en la limpieza de la brocha. El epóxico está fabricado de manera que penetre por dentro de los filamentos y que se fije internamente de 1/16 pulgada del borde del ferrul o lámina.

Figura 8. **Recipientes de resina epóxica para fabricación de brochas**



Fuente: elaboración propia.

#### **2.1.4.4. Lámina**

La banda de metal que sujeta las cerdas al cabo se denomina ferrul. Es un componente de la brocha muy importante, especialmente en las brochas de mayor calidad, como una herramienta profesional promete durar, el metal empleado debe ser resistente a todas las condiciones que se exponga por varios solventes.

El mejor material es el acero inoxidable, el cual es empleado en la profesional series. El cobre también es buen material, tanto como el cobre amarillo y el níquel. Hay tres formas de sujetar el cabo al ferrul, clavar es la mejor, así como las grapas, la tercera forma que es enganchar, se emplea cuando los cabos son de plástico.

Figura 9. **Ferrul de 4" de metal**



Fuente: elaboración propia.

#### **2.1.5. Departamento de Mantenimiento y Limpieza**

En el siguiente apartado se describen las características del Departamento de Mantenimiento y Limpieza, para efectos del presente trabajo de graduación se enfocará en el Departamento de Mantenimiento de la carpintería. El perfecto funcionamiento de la maquinaria y de las instalaciones en general del departamento de carpintería de la fábrica, está a cargo del departamento de mantenimiento y limpieza, este cuenta con el personal capacitado y equipado cumplir con su función.

La meta más importante del Departamento de Mantenimiento y Limpieza es el garantizar el perfecto funcionamiento de la maquinaria y las instalaciones de la planta para que con ello la producción pueda cumplir con las metas asignadas. Muchas veces una avería grave causará daños serios periféricos a la máquina, incrementando los costos de reparación. Una eliminación completa de fallas no es posible en la práctica, pero se le puede acercar con una atención sistemática en el mantenimiento.

El segundo propósito del mantenimiento es de anticipar y planificar con precisión sus requerimientos. Eso quiere decir, que se pueden reducir los inventarios de refacciones y eliminar la parte principal del trabajo en tiempo extra. Las reparaciones a los sistemas mecánicos se pueden planificar de manera ideal durante los paros programados de la planta.

El tercer propósito es de incrementar la disponibilidad para la producción de la planta por medio de la reducción importante de la posibilidad de algún paro durante el funcionamiento de la planta y de mantener la capacidad operacional del sistema por medio de la reducción del tiempo de inactividad de las máquinas críticas. Idealmente las condiciones de operación de todas las máquinas se deberían conocer y documentar.

El último propósito del Departamento de Mantenimiento es de tener el área de carpintería limpia y ordenada.

#### **2.1.6. Maquinaria**

La fábrica cuenta con 7 máquinas, que están agrupadas según su función en la fabricación de las distintas medidas de brochas. Todas son fresadoras dedicadas al moldeado de cabos.

- Fresadora copiadora A: cuentan con 1 máquina que es utilizada para hacer cabos de 1 a 4 pulgadas Premium. Básicamente lo que hace es golpear la madera hasta arrancar las porciones deseadas para iniciar a darle forma, esto lo consigue girando a altas revoluciones, su potencia es mecánica.
- Fresadora copiadora B: son 2 máquinas fresadoras de revoluciones medias, potencia electroneumático, con las que se fabrican cabos de 4, 5 y 6 pulgadas, estas trabajan con un giro perpendicular al del eje giratorio.
- Fresadora copiadora C: son 4 máquinas fresadoras de alta revolución y potencia neumática utilizadas para la fabricación de cabos de 1, 2 y 3 pulgadas. Es una de las más importantes, el 80 % del total de cabos son elaborados en ellas.

Figura 10. **Departamento de Mantenimiento**



Fuente: elaboración propia.

## **2.2. Situación actual**

En el siguiente apartado se describirán las condiciones actuales de la empresa y se definirán cuáles son los principales problemas que afronta en el Departamento de Carpintería.

Actualmente la planta tiene una capacidad instalada del 82 %, sin embargo, no se alcanza el volumen de producción planificada, se tienen repetitivos paros por desperfectos de maquinaria y el cuello de botella es el departamento de carpintería, por lo cual los esfuerzos para buscar mejoras serán en esta área. Para el presente estudio se determinó buscar oportunidades y reducir el tiempo de paros de maquinaria, para ello se siguió la estrategia de buscar las raíces del problema. Como primera acción se determinó identificar las fallas para luego elaborar un análisis exhaustivo para encontrar las causas.

### **2.2.1. Historial de fallas existentes**

Es una herramienta clave para diseñar cualquier plan de mejora, se pueden determinar los primeros indicios por los cuales se ocasionan y luego mediante estudio determinar su origen. Toda falla puede ser producida por la combinación de varias circunstancias como por ejemplo:

- Operación inadecuada por parte de los operarios.
- Desgaste por uso, estar sometido a condiciones inapropiadas que no corresponde con su diseño, entre otros.

Por lo tanto un registro único y específico por equipo permite encontrar la falla de forma puntual, facilitando su análisis y reduciendo el tiempo que el

Departamento de Mantenimiento solucionará dicho problema, ya que tendrá pleno conocimiento de su naturaleza y se podrán planificar debidamente, los materiales, herramientas, equipos de trabajo, instrumentos y personal necesarios para su pronta reparación.

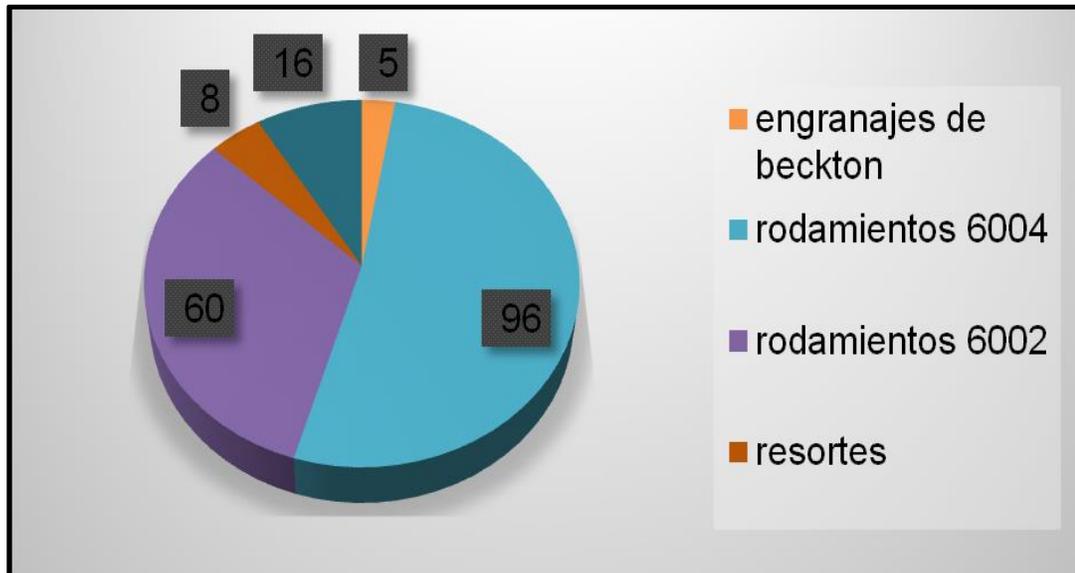
Se verificó el historial de repuestos adquirido por la empresa para mantener su producción en los límites permitidos por la alta gerencia y de ahí se deduce cuáles han sido las fallas que experimentan las máquinas a lo largo de un año.

**Tabla I. Repuestos de 2014-2015**

Máquina	Especificación repuestos	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Total
A	Engranajes de beckton	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
A	Rodamientos 6004	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	96
A	Rodamientos 6002	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	60
A	Resortes	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
A	Rollos de Masking tape	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-	16
B	Bote de Moly Coat Lubricante para cadena	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	2
B	Rodamientos 6004	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	192
B	Rodamientos 6002	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	132
B	Cuchillas según muestras Rotativos	16	-	33	-	33	-	33	-	33	-	33	-	181
B	Resortes según muestra rotativo	-	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16
C	Camisa según muestra SIBOS	5	-	-	5	-	-	11	-	5	-	5	-	31
C	Rodamientos 6004	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	396
C	Rodamientos 6002	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	264
C	Cuchillas según muestras sibos	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	240
C	Eje según muestra sibos	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	5
C	Galón de aceite hidráulico H68	-	-	-	-	7	-	-	7	-	-	-	-	14
C	Limitswich S/M Sibos	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	8
C	Metro esparrago de 5/16 para sibos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	5
C	Pies de beckton 1 1/4"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-	16
C	Relés de 11 pines 110 V	16	-	16	-	16	-	16	-	16	-	16	-	96
C	Relés de 8 pines 110 V	16	-	16	-	16	-	16	-	16	-	16	-	96
C	Swiches NO-NC	33	-	33	-	33	-	33	-	33	-	33	-	198

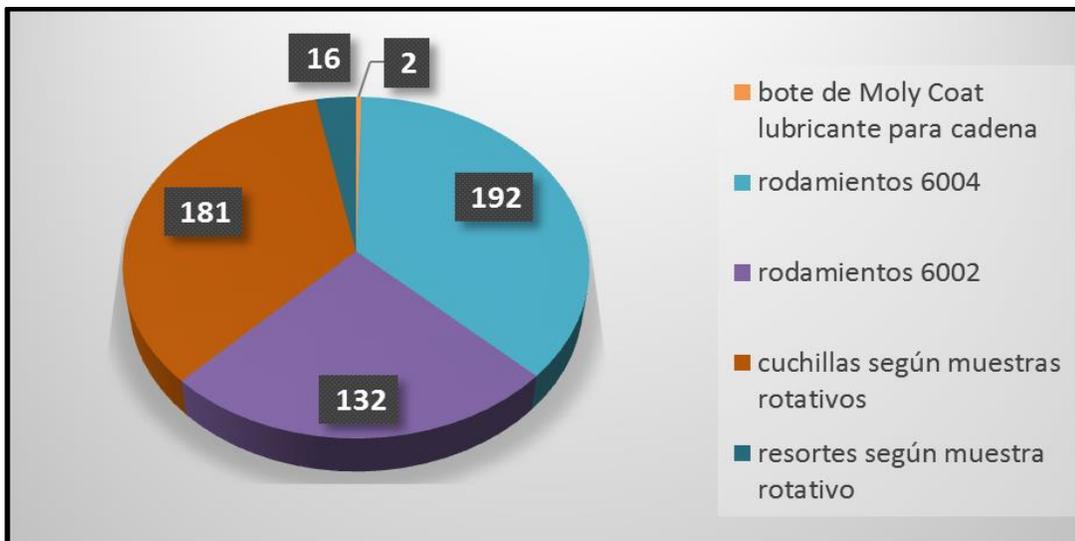
Fuente: elaboración propia.

Figura 11. Cantidad de repuestos 2014-2015, fresadora A



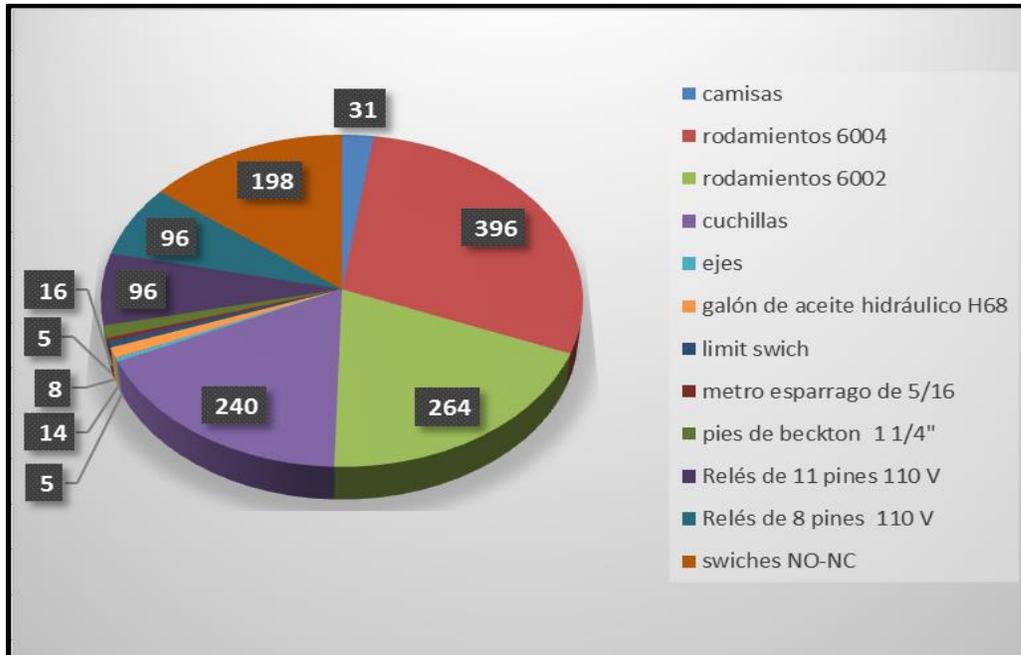
Fuente: elaboración propia.

Figura 12. Cantidad de repuestos 2014-2015, fresadoras B



Fuente: elaboración propia.

Figura 13. Cantidad de repuestos 2014-2015, fresadoras C



Fuente: elaboración propia.

De la figura 13 se deduce que es recurrente el consumo de rodamientos y de repuestos eléctricos, también que es un factor común en los tres tipos de máquinas y que por lo tanto, es muy importante buscar la causa de este consumo y sobre todo encontrar la solución.

### 2.2.2. Causa de las fallas

El crecimiento de la demanda de los productos fabricados en la planta ha ocasionado un incremento en la producción y esto a su vez ha incrementado la producción de residuos por cada máquina. Según el historial de fallas se pudo determinar que actualmente el consumo de diferentes tipos de rodamientos y de

relés es el rubro de mayor demanda e incidencia del Departamento de Carpintería.

Al entrevistar al gerente de la planta, indicó que la razón es la acumulación de polvo y aserrín en las máquinas. En la planta se produce una saturación muy considerable de polvo de madera, viruta y aserrín. Estos residuos provocan, entre otras cosas lo siguiente:

- Asentarse en partes internas de las máquinas y obstaculizar su óptimo funcionamiento. Como se observa en el historial de fallas, las piezas más afectadas son los rodamientos y relés.
- Asentarse en paredes y en toda la maquinaria, es decir, en todo el ambiente, por lo mismo, esta situación es peligrosa y presenta un gran potencial de incendio y explosión.
- Efectos dañinos en la salud de los trabajadores. El polvo de madera provoca ausencias de los trabajadores por causas de salud.
- Tiempos muertos improductivos por el proceso de reparación, mantenimiento y limpieza.

Esta situación obligó a la creación de un apartado en el departamento de mantenimiento dedicado solo a la remoción de la viruta, aserrín y polvo arrojado por la maquinaria al producir cabos de brochas que cae al suelo y en los alrededores del departamento de carpintería.

#### **2.2.2.1. Contaminación del ambiente**

A continuación se muestra las condiciones de contaminación en las que opera el departamento de producción de cabos de brochas. Es necesario hacer notar que estos escenarios suelen estar más contaminados, de acuerdo con el

informe de gerencia. Aquí radica el riesgo para la seguridad industrial, la salud humana, el alto costo de mantenimiento, la merma en la productividad y la contaminación hacia ambientes exteriores.

Figura 14. **Ambiente en el área de carpintería**



Fuente: elaboración propia.

### **2.2.3. Evaluación desde la perspectiva de seguridad industrial**

Con base en la evaluación realizada se determinó que la empresa tiene oportunidades de mejora en el tema de seguridad industrial. Por lo que se concluyó que:

- La planta no tiene un sistema de gestión de seguridad implementado, sin embargo, la Gerencia ha realizado esfuerzos por proporcionar al personal accesorios básicos de equipo de protección personal (EPP).
- En relación con el Departamento de Carpintería, el personal no usa adecuadamente el EPP.
- Durante entrevistas se pudo constatar que el personal resta importancia a los riesgos que se encuentra expuesto por la contaminación del ambiente el cual se produce principalmente por el polvo de madera y aserrín. Usualmente no utilizan la mascarilla de protección bucal y vías respiratorias porque les resulta incómoda, aunque aceptan que de forma recurrente han enfermado por problemas respiratorios con las consecuencias de ausencia en el trabajo.
- Es necesario resaltar el riesgo de incendio en la planta debido a la presencia de partículas altamente inflamables, como el aserrín y polvo de madera que al estar disperso en el ambiente de trabajo pueden arder con facilidad con consecuencias desastrosas para la empresa. Por lo tanto, se hace evidente la búsqueda de soluciones para minimizar los riesgos.

#### **2.2.4. Evaluación del costo de mantenimiento**

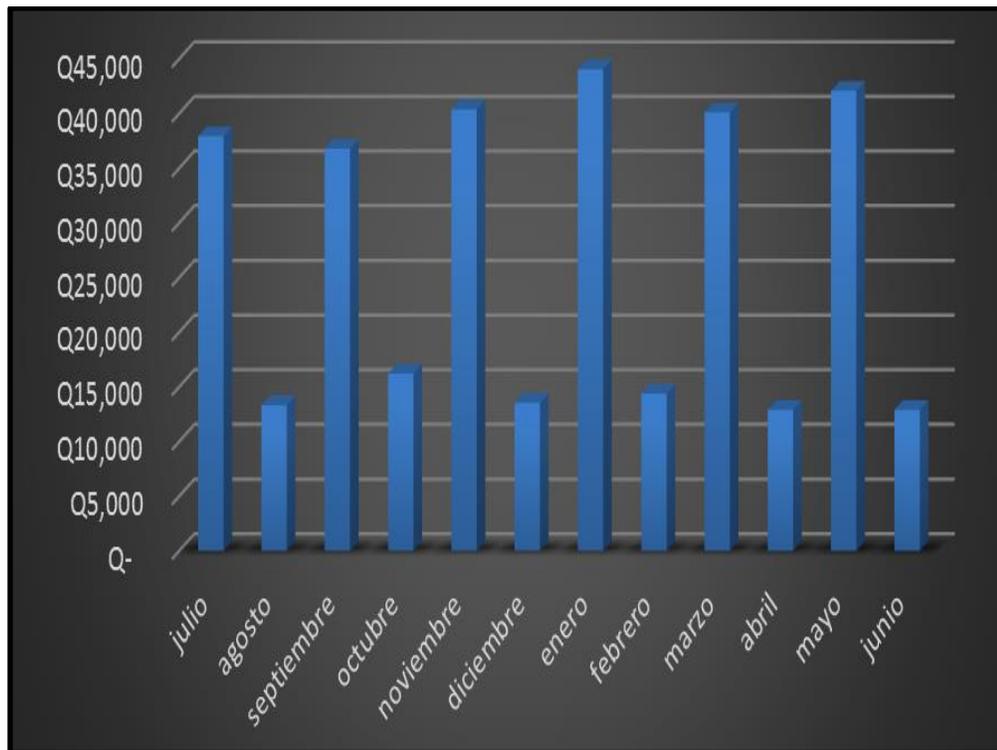
Para buscar mejoras en el sistema se realizó una evaluación acerca de la gestión de mantenimiento, destacando los siguientes puntos.

- La planta cuenta con un sistema de mantenimiento preventivo. Sin embargo, es demasiado costoso porque para que sea efectivo conlleva demasiado tiempo y afecta la producción de la maquinaria y del personal de producción.
- En relación al mantenimiento correctivo cuando existe un problema de falla, el personal de mantenimiento lo atiende. Esto muchas veces conlleva el proceso de limpieza del área de trabajo y por lo tanto más tiempo.
- Alto costo en repuestos que ven su vida útil reducida a causa del daño que ocasiona el aserrín y polvo de madera en el interior de la maquinaria.
- El costo más alto que tiene que pagar la empresa se relaciona con la cantidad de horas improductivas del departamento de carpintería, a causa del tiempo que ocupa la tarea de mantenimiento y limpieza que a la vez, no le permite ser más productivo y competitivo.

Lo anterior está documentado por la gerencia, que cuenta con una estadística de falla en los equipos durante el 2014, asociada a problemas ocasionados en el área de carpintería por el aserrín y ha manifestado su interés y compromiso por encontrar soluciones que a corto plazo reduzcan sus costos de mantenimiento, aumenten la productividad de la planta y que mejore las condiciones de seguridad industrial para su personal y para el ambiente.

En la figura 15 se presentan los costos históricos del año anterior sobre el mantenimiento de todas las máquinas de la empresa objeto de estudio, basadas en información proporcionada por el gerente de la planta.

Figura 15. **Costo mensual de repuestos 2014-2015**



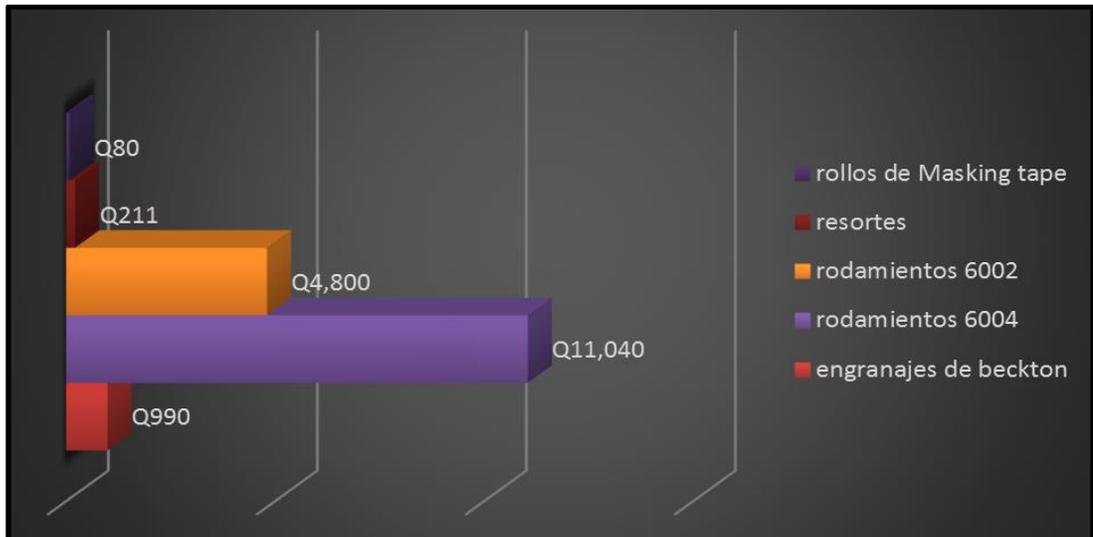
Fuente: elaboración propia.

Tabla II. Costo total de repuesto para máquina

Máquina	Especificación de repuestos	Costo
A	Engranajes de <i>beckton</i>	Q 990,00
A	Rodamientos 6004	Q 11 040,00
A	Rodamientos 6002	Q 4 800,00
A	Resortes	Q 211,20
A	Rollos de <i>masking tape</i>	Q 80,00
B	Bote de <i>Moly Coat</i> lubricante para cadena	Q 198,00
B	Rodamientos 6004	Q 22 080,00
B	Rodamientos 6002	Q 10 560,00
B	Cuchillas según muestras rotativos	Q 35 838,00
B	Resortes según muestra rotativo	Q 422,40
C	Camisa según muestra <i>Sibos</i>	Q 20 460,00
C	Rodamientos 6004	Q 45 540,00
C	Rodamientos 6002	Q 21 120,00
C	Cuchillas según muestras <i>sibos</i>	Q 39 600,00
C	Eje según muestra <i>sibos</i>	Q 650,00
C	Galón de aceite hidráulico H68	Q 2 956,80
C	<i>Limit switch S/M Sibos</i>	Q 2 112,00
C	Metro esparrago de 5/16 para <i>sibos</i>	Q 750,00
C	Pies de <i>beckton</i> 1 1/4"	Q 960,00
C	Relés de 11 pines 110 V	Q 26 611,20
C	Relés de 8 pines 110 V	Q 29 145,60
C	<i>Swiches</i> NO-NC	Q 48 351,60
		Q 324 476,80

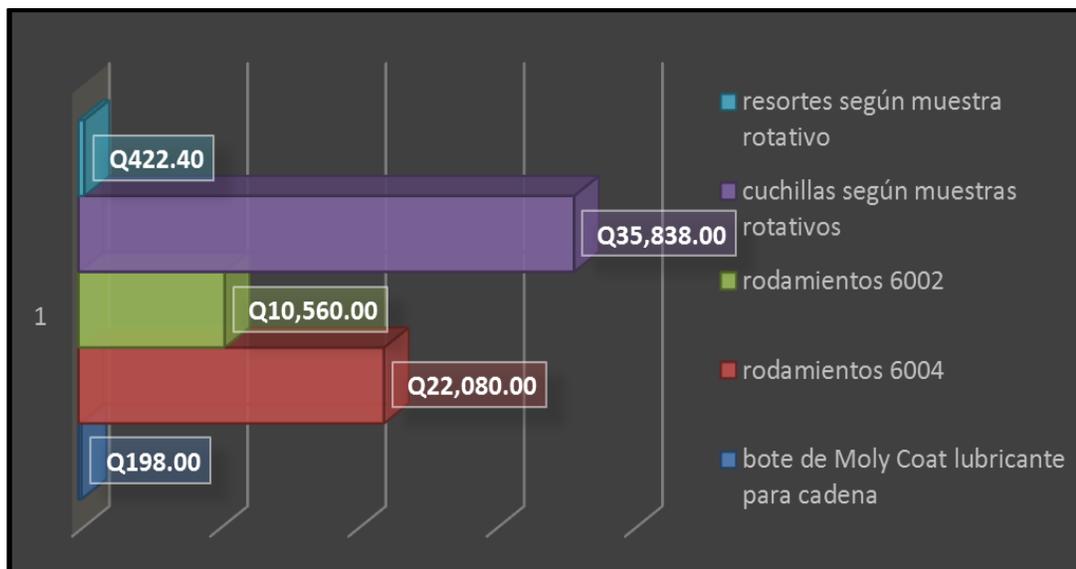
Fuente: elaboración propia.

Figura 16. Costo de repuestos 2014-2015, fresadoras A



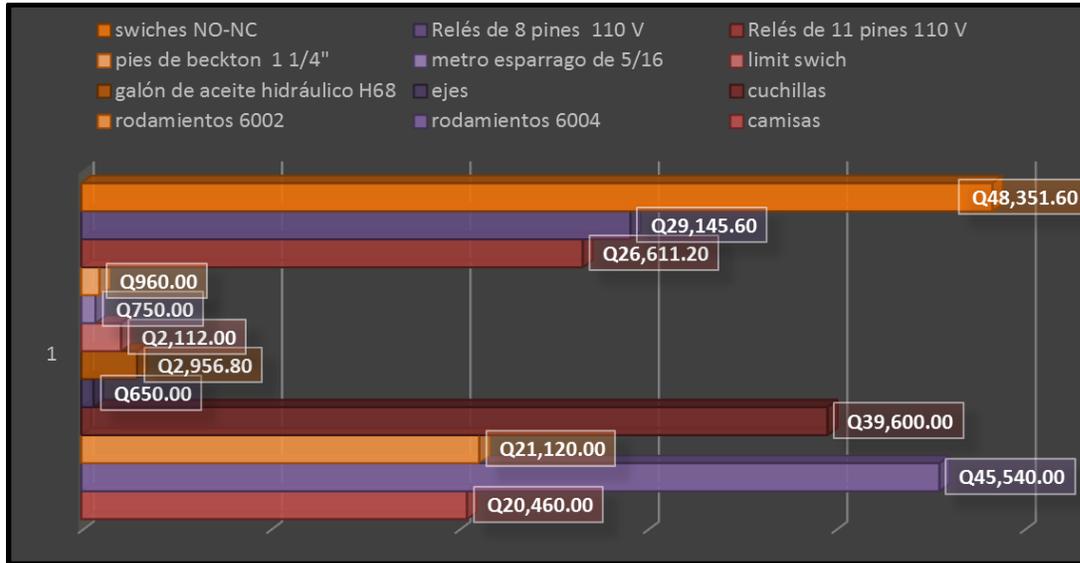
Fuente: elaboración propia.

Figura 17. Costo de repuestos 2014-2015, fresadoras B



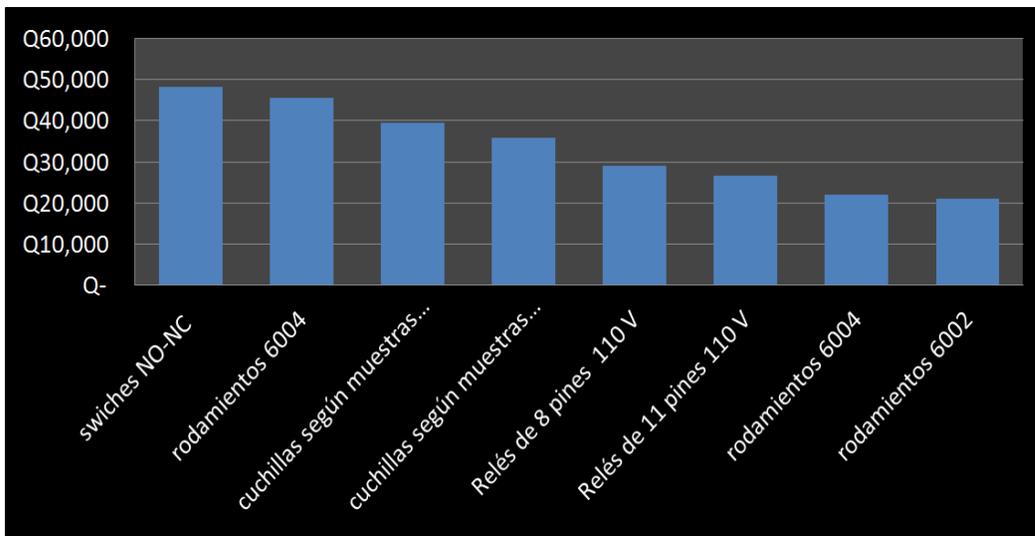
Fuente: elaboración propia.

Figura 18. Costo de repuestos 2014-2015, fresadoras C



Fuente: elaboración propia.

Figura 19. Pareto de consumo de repuestos



Fuente: elaboración propia.

El diagrama de Pareto revela cómo está distribuido el gasto de mantenimiento de la planta. Con la información que aporta, se pueden determinar las compras más recurrentes y de mayor gasto con estos datos se sabe en qué insumos se puede centrar para ahorrar.

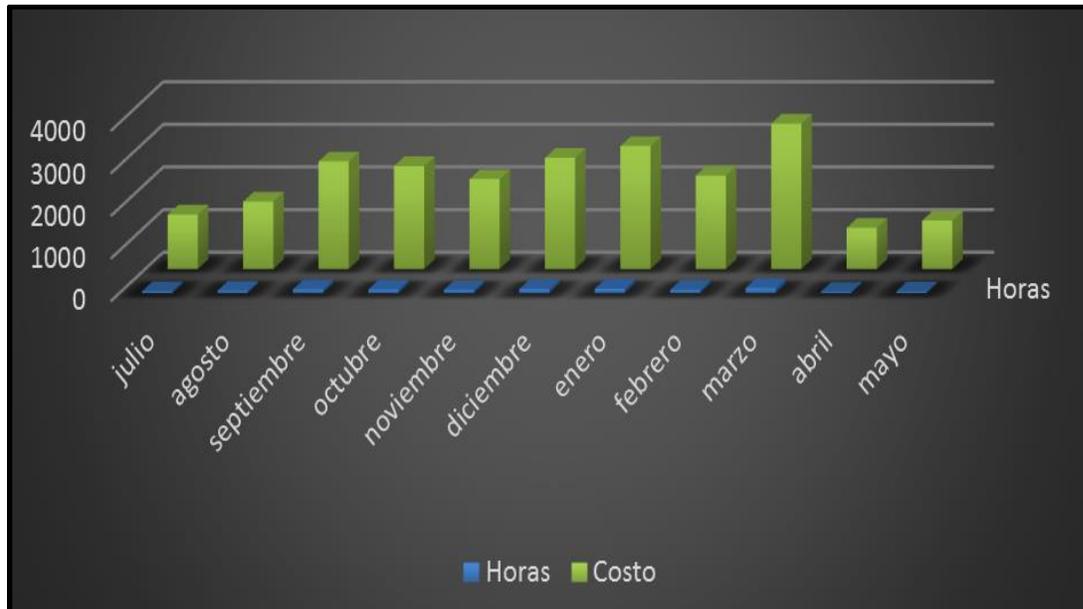
Las figuras 18 y 19 confirman claramente que el consumo de rodamientos y repuestos eléctricos, son el rubro más abultado del gasto del departamento de mantenimiento y limpieza. Si se toma en cuenta lo que se analizó anteriormente con respecto al desgaste acelerado de los repuestos, debido a la contaminación de los mismos, se concluye que ese es el principal problema que el departamento de mantenimiento debe atender a corto plazo.

#### **2.2.5. Costos asociados a la limpieza**

La planta cuenta en su nómina con dos personas dedicadas al trabajo de limpieza del área de carpintería, su función es recoger del suelo todo el material resultante del maquinado de brochas, esto trae consigo tiempo improductivo a costa de la empresa, la maquinaria debe detener el trabajo y el operario debe apartarse para no interrumpir en las tareas de limpieza.

Debido a esta práctica la empresa tiene gasto relacionado con herramientas de trabajo, palas, rastrillos, costales, escobas, guantes, entre otros. Un inconveniente colateral a causa del problema que aborda este trabajo, es que el aserrín se contamina por las tareas de limpieza y almacenaje que reducen su valor de venta.

Figura 20. Cantidad y costo de horas por limpieza 2014-2015



Fuente: elaboración propia.

### 2.2.6. Tiempos improductivos de personal y equipos

Debido al problema que ocasiona la generación de aserrín y polvo de madera en el área de trabajo, la producción se detiene mientras se palean labores de mantenimiento en la maquinaria y limpieza en el departamento de carpintería, con un alto costo para la empresa. Ese tiempo no ha sido posible ocuparlo en tareas rentables para la empresa.

Las normas de seguridad industrial establecen que el origen de los problemas debe erradicarse y no solo mitigarse. Por lo tanto, el presente trabajo presenta soluciones ingenieriles adecuadas a las necesidades de la empresa para optimizar sus recursos y productividad.

Del diagnóstico indicado de la planta se concluye lo siguiente:

- Pierde productividad por falla de la maquinaria.
- Presenta un alto nivel de contaminación.
- La planta paga altos costos por limpieza.
- El mantenimiento preventivo es costoso por la gran cantidad de repuestos que conlleva y por los tiempos muertos improductivos en los que se realiza.
- Se está perdiendo la oportunidad de un valor de retorno de la viruta y aserrín.
- La planta pierde en el tema de competitividad porque no tiene la capacidad instalada para crecer sin afectar a su entorno, como tienen las plantas en otros países.

Para optimizar el rendimiento del departamento de carpintería se recomienda la implementación de un sistema adecuado de extracción de virutas y aserrín.



### **3. SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE VIRUTAS**

Un sistema de extracción de virutas actualmente debería formar parte de cualquier empresa de maquinado de madera. Las cantidades de aserrín, virutas o polvo no permiten un flujo normal del proceso de trabajo y un buen funcionamiento de las máquinas, además exponen a las personas a respirar aire contaminado con polvo de madera.

#### **3.1. Funcionamiento del sistema de extracción y características**

Los extractores son elementos importantes de sistemas de aspiración. Normalmente son instalados en el flujo de aire bruto, es decir, antes del separador de virutas. En este caso las aletas del ventilador corren el riesgo de desgastarse o dañarse por pequeños pedazos de madera llevados por el flujo de aire. Es por eso recomendable poner una trampa de cedazo para evitar que piezas pequeñas choquen contra las aletas del ventilador.

Dentro de los sistemas de extracción de polvo empleados en la industria, el tipo de equipo a utilizar para controlar un contaminante del tipo partícula, no solo depende del tamaño de las mismas, también son muy importantes sus características físicas y químicas. De nada servirá un filtro de tela con material húmedo o con alta temperatura, tampoco funcionará un precipitado electrostático si el material a capturar no se puede ionizar.

Un sistema de extracción y conducción de residuos de viruta de madera básicamente es sencillo: un motor eléctrico hace girar el equipo aspirante (extractor centrífugo) para generar la succión a través de una o un conjunto de

mangueras conectadas a él. El extractor transporta las partículas más pequeñas y las impulsa por la tubería hacia el ciclón o elemento filtrante para descargarlas en un depósito llamado silo.

La fuerza aspirante es tan grande que además del polvo son arrastradas también las virutas y pequeños trozos de madera. La capacidad de succión del extractor y el diámetro de las boquillas de acoplamiento, al igual que el número de mangueras y de silos, está determinado por la cantidad de residuos existentes y el número de máquinas a aspirar.

En suma, funciona como un acueducto, donde cada sección de manguera de cada máquina, desemboca en una línea matriz conectada a un sistema que ayuda a separar el residuo del aire para llevarlo al depósito. Todos los ramales llegan al conducto principal, con el objetivo que el aire pueda circular e impulsar los desechos hacia un módulo de ciclón, cuya función es separar el aire de las virutas; la fuerza centrífuga genera un efecto ciclónico y el aire se conduce hacia arriba, mientras que el aserrín y las virutas caen a los contenedores.

La intersección de cada manguera con el conducto principal cuenta con su compuerta corrediza correspondiente para cerrar y abrir independientemente cada sección, según sea necesario y así utilizar solo las conexiones de las máquinas en funcionamiento y no desperdiciar inútilmente la capacidad de la tubería.

En general los sistemas de extracción se distinguen entre los portátiles o móviles, los estacionarios, los de grupos y el centralizado. El equipo de aspiración estacionaria, se instala preferiblemente en el lugar de trabajo, donde siempre se concentren una o varias máquinas trabajando, para economizar de esta manera energía con el uso de ventiladores pequeños.

En la aspiración de grupos, el sistema aspira al mismo tiempo los desechos de varias máquinas con la ayuda de un regulador de potencia se puede optimizar la energía y arrastrar restos desiguales de madera. En la aspiración central, también conocida como centralizada, un ventilador de gran potencia y elevada, demanda de energía aspira los residuos de todos los procesos de una fábrica, por las múltiples conexiones o ramales de la línea principal. Son equipos utilizados en grandes superficies que se instalan en la parte exterior de las plantas, entre otras cosas por el ruido que genera el motor y los grandes contenedores que utiliza.

Figura 21. **Sistema de extracción portátil**



Fuente: Estructplan on line. <http://www.estrucplan.com.ar>. [Consulta: enero de 2015].

Figura 22. **Sistema de extracción estacionario**



Fuente: Estructplan on line. <http://www.estrucplan.com.ar>. [Consulta: enero de 2015].

Figura 23. **Sistema de extracción central**



Fuente: Estructplan on line. <http://www.estrucplan.com.ar>. [Consulta: enero de 2015].

### **3.1.1. Materiales a utilizar en el sistema de extracción**

La capacidad de un sistema de extracción es proporcional a la cantidad de polvo por unidad de tiempo que se quiera recolectar y estos a su vez, al caudal de aspiración; a la longitud y diámetro de las tuberías a su construcción. Por lo que es necesario ubicar el colector lo más cercano posible a los puntos de emisión de polvo.

A continuación se describen los materiales y accesorios necesarios para un sistema de extracción de virutas de madera.

- Tubería flexible: es necesario colocar un tubo flexible en la salida de las máquinas para evitar tanto el ruido como el deterioro del tubo metálico, provocado por la vibración de las máquinas.
- Compuertas: se deben colocar compuertas en todas las máquinas, para eliminar succión innecesaria de las máquinas que no están operando, propiciado así el ahorro energético; además; la colocación de compuertas crea cierta resistencia necesaria para equiparar presiones estáticas, lográndose una succión adecuada en todas las máquinas.
- Tuberías: es importante que no se use tubería menor de 3 pulgadas de diámetro, ya que se dan muchas pérdidas de presión y velocidad por fricción o roce. Los materiales que se emplean para la fabricación de la tubería pueden ser:
  - Hierro galvanizado
  - Hierro negro
  - PVC (policloruro de vinilo o simplemente vinilo)

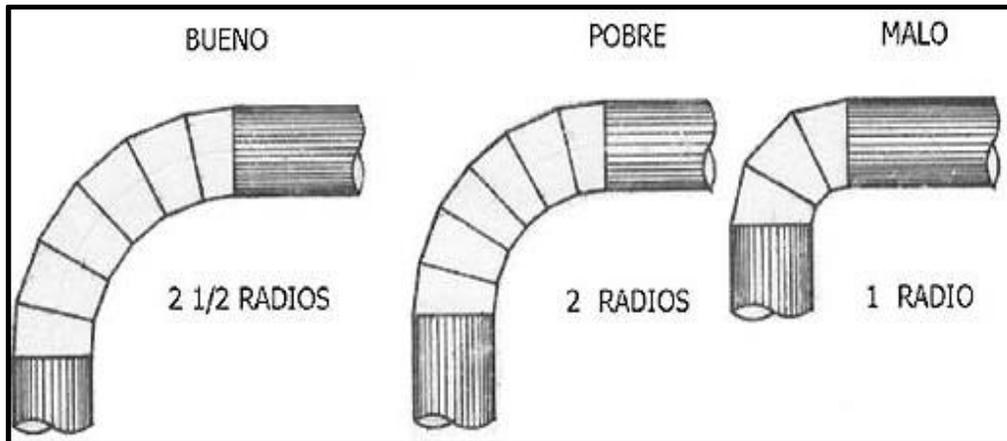
Figura 24. **Materiales a utilizar**



Fuente: elaboración propia.

- Codos: deben tener un radio mínimo de 2 o 2,5 veces el diámetro del ducto, para evitar pérdidas por el roce y las turbulencias durante el paso del material. Además, deben tener un número de secciones de acuerdo al radio del codo, para evitar al máximo la fricción o el roce por las paredes del codo; cuanto mayor sea el número de secciones, se produce menor pérdida de presión y velocidad como consecuencia del roce. En la figura 25 se puede observar cómo se deben fabricar los codos.

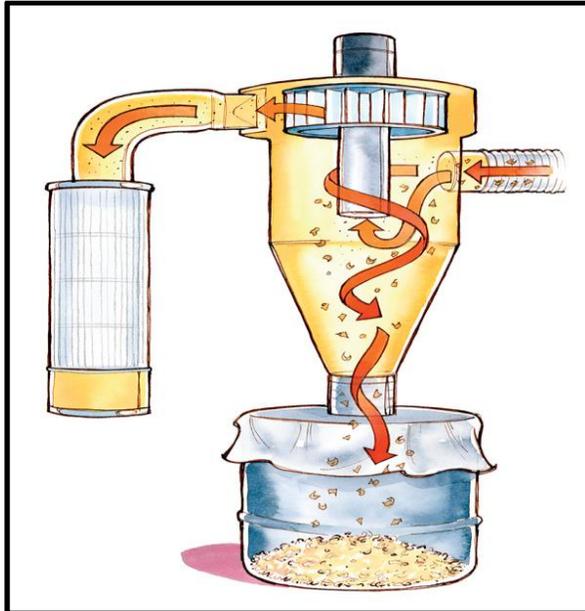
Figura 25. **Distintos radios de codos**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

- Ciclonas: son implementos destinados a separar el exceso de aire de las partículas que trae en suspensión. Se instalan por lo general a la salida del sistema neumático y constituyen un implemento de gran importancia para el sistema. La figura 26 ejemplifica la operación de un ciclón, el tamaño del ciclón se determina de acuerdo al caudal de aire, factor que permite la eficiencia en la separación del material.

Figura 26. **Ciclón para sistema de extracción de virutas**



Fuente: Estructplan on line. <http://www.estrucplan.com.ar>. [Consulta: enero de 2015].

- **Abanicos:** existen dos tipos de abanicos, los axiales que se caracterizan porque la dirección del aire fluye paralela al eje de este y los centrífugos, donde el flujo es radial, o sea que la salida del aire se da en forma perpendicular con respecto a su ingreso.

Los abanicos se rigen por tres leyes fundamentales: el caudal varía directamente según la cantidad de revoluciones por minuto (rpm) de la propela del abanico, es decir, a mayor caudal, requiere mayor cantidad de rpm. La presión total y la estática varían con el cuadrado de la velocidad de la propela. Los caballos de fuerza HP (KW) o amperaje varían con el cubo de la velocidad de la propela. Un ventilador es una fuente de ruido y como tal vendrá caracterizado por una potencia sonora LwL.

El nivel de esta potencia debe formar parte de los datos de catálogo del aparato como una característica más, no es usual encontrarlos y en su lugar se encuentran los valores de presión sonora  $L_p$  a los que deben acompañar las condiciones que han sido determinadas, por ejemplo distancia, campo libre, entre otros.

El espectro sonoro es una herramienta muy útil que permite identificar los sonidos de baja, media y alta frecuencia, es decir, los sonidos graves se encuentran hasta los 400Hz, sonidos de rango medio hasta 1600Hz y sonidos agudos hasta 20Khz, en ventilación se utiliza un espectro sonoro de 8 bandas que son las siguientes 63Hz, 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2 000Hz, 4 000Hz y 8 000Hz.

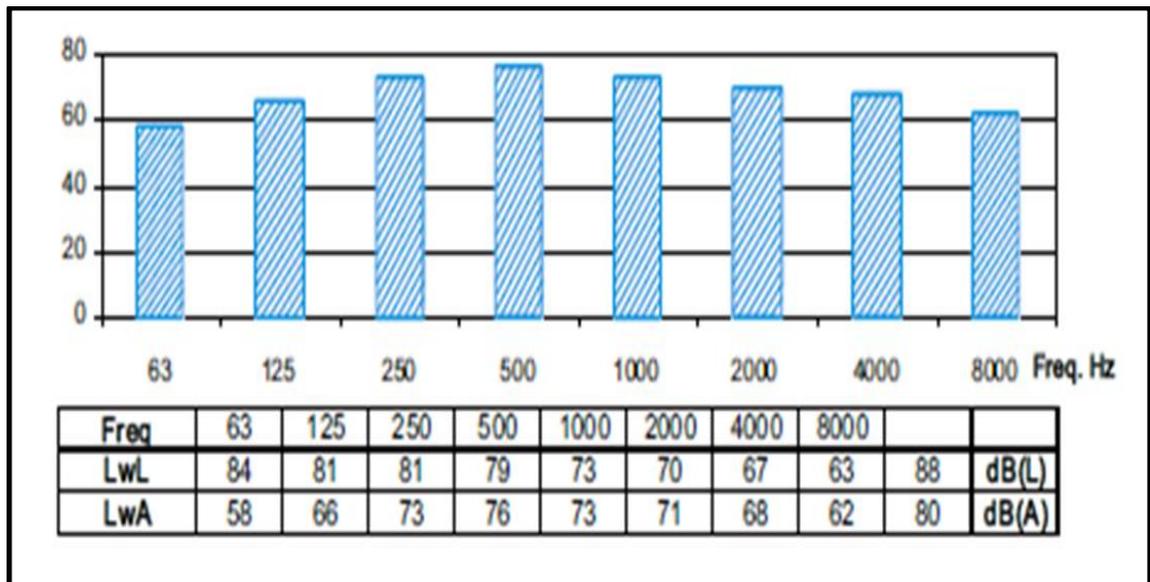
En el eje de las abscisas se encuentra la escala de frecuencia y en el eje de las ordenadas a los decibelios. Se han normalizado internacionalmente unos sistemas de ponderación que su respuesta se acerque lo más posible a la sensibilidad humana, la figura 28 muestra la relación entre la frecuencia y los decibelios que produce un motor. El llamado "A", más fiel a  $L_p$  bajos niveles que a los altos, se ha adoptado para todos los casos. Los valores medidos con este filtro aparecen como  $L_{wA}$ , dB(A)  $L_{wL}$  = potencia sonora sin filtro de ponderación A, su unidad de medida son los dB(L).  $L_{wA}$  = potencia sonora con filtro de ponderación A su unidad de medida son los dB(A).

Figura 27. **Abanico para sistema de extracción de virutas**



Fuente: Estructplan on line. <http://www.estrucplan.com.ar>. [Consulta: enero de 2015].

Figura 28. **Decibelios dB (A)**



Fuente: elaboración propia.

- Silos: permiten depositar el material residual o de desecho. Existen básicamente dos tipos de silos: los no herméticos, es decir, aquellos en que la tubería de descarga de aire limpio puede estar abierta al ambiente, sin causar problema al sistema de extracción, como en el caso del sistema de succión-impulsión.

### **3.1.2. Pérdidas por fricción y fugas de aire**

Los mayores problemas de un sistema de extracción de viruta son la fricción y las fugas de aire. El instalador debe velar por evitar toda clase de fugas en la tubería y cualquier otra sección del sistema. Deben utilizarse todos los accesorios adecuados para la unión de todas las secciones de tubería a lo largo del recorrido de esta, así como en los acoples con el ciclón y demás elementos del sistema.

Nunca deben arrugarse las puntas de la tubería para que encajen más rápido en su lugar, además de fugas puede producir problemas de ruido. Detectar y reparar fugas es un trabajo tedioso que puede evitarse, utilizando todos los accesorios de la medida adecuada.

La tubería y sus accesorios están dimensionados de manera muy ajustada por tres razones.

- La unión aporta la menor cantidad de fricción
- Una unión ajustada es más fácil de sellar para evitar fugas
- El ruido se reduce

### **3.2. Diseño de un extractor de viruta de madera**

Consiste en realizar un sistema eficiente, adecuado y viable de extracción de viruta de madera en una fábrica de aplicadores de pintura, el cual depende de cinco pasos que se presentan a continuación.

- Trazar un plano de distribución de la maquinaria en el área de trabajo
- Determinar la velocidad en los ductos
- Determinar el diámetro y el caudal en cada ramal
- Determinar el diámetro y el caudal en ducto principal
- Calcular la presión estática del sistema

#### **3.2.1. Algunas consideraciones de diseño**

Al trazar el plano de distribución de la maquinaria se debe colocar la máquina con mayor caudal de aserrín lo más cerca posible del extractor, también se debe tomar en cuenta que para que exista menor resistencia, se debe diseñar el ducto lo más corto posible.

Para cada 10 pies de recorrido debe ir una abrazadera que sostenga la tubería, en la medida de lo posible hay que evitar los ductos flexibles ya que aportan mayor resistencia al flujo del aire en el sistema.

- Trazar un plano de distribución de la maquinaria
  - Especificar la localización de cada máquina en el área de trabajo.
  - Especificar la ubicación deseada del extractor.
  - Colocar las medidas y unidades respectivas.
  - Si existe alguna obstrucción o algo que dificulte el flujo de aire debe

quedar especificado.

- Determinar la velocidad en los ramales del sistema.
- Utilice el siguiente cuadro para determinar la velocidad en el sistema.

Tabla III. **Velocidad en tuberías**

Tipo de residuo	Velocidad en ramales (pies/min)	Velocidad en ducto principal (pies/min)
Metal	4 500	4 000
Madera	4 000	3 500
Otros	4 000	3 500

Fuente: elaboración propia.

- Determinar el diámetro y caudal en cada ramal
  - Si la máquina trae de fábrica instalado un cuello al cual se deba acoplar la tubería, el fabricante ha determinado que ese es el diámetro adecuado para la máquina, por lo tanto, es el que se debe utilizar.
  - Si el diámetro es menor a 3 pulgadas el requerimiento es de alta velocidad, no de alto volumen, por lo tanto es recomendable usar una aspiradora.

Para determinar el requerimiento del caudal se utilizó la siguiente tabla:

Tabla IV. **Requerimiento de caudal (CFM) a una velocidad específica**

Día. (pulg.)	3 500 p/m	4 000 p/m	4 500 p/m
3	170	195	220
4	300	350	390
5	465	550	610
6	700	785	880
7	950	1 100	1 200
8	1 200	1 400	1 570
9	1 550	1 800	1 990
10	1 900	2 200	2 450
12	2 800	3 175	3 600
14	3 800	4 300	4 800

Fuente: elaboración propia.

Determinar el diámetro del ducto principal: para determinar dicho diámetro se inició desde la máquina más alejada del extractor, se avanzó hasta la siguiente máquina que se conecte al ducto principal y se incrementó el diámetro para que cubra los requerimientos de caudal de las dos máquinas conectadas y así seguir hasta llegar a la entrada del extractor.

Calcular la presión estática del sistema: la presión estática es la resistencia causada por la fricción al canalizar el flujo de aire. El trabajo del extractor es vencer la resistencia y succionar el caudal adecuado en cada uno de los ramales de un sistema central de extracción de virutas.

Regularmente se utiliza la medida de pulgada de agua (wg) para medir la resistencia de un sistema.

La presión estática total es la sumatoria de varios factores, la pérdida por filtros, pérdida en el peor ramal y la presión estática en el ducto principal. El

peor ramal es por lo general el más alejado y estrecho o con más accesorios como codos. Para calcular la longitud equivalente en tubería recto de un codo, se puede utilizar el diseño de una gráfica.

Se utiliza la tabla V para calcular la presión estática en el sistema el cual está basado en una tubería de cien pies. Si se van a utilizar filtros se debe agregar 2 pulgadas de agua por cada uno.

Tabla V. **Presión estática en el sistema**

Requerimiento de caudal (CFM) a una velocidad específica			
Día. (Pulg.)	3 500 p/m	4 000 p/m	4 500 p/m
3	170	195	220
4	300	350	390
5	465	550	610
6	700	785	880
7	950	1 100	1 200
8	1 200	1 400	1 570
9	1 550	1 800	1 990
10	1 900	2 200	2 450
12	2 800	3 175	3 600
14	3 800	4 300	4 800

Fuente: elaboración propia.

### **3.3. Propuesta de diseño de un sistema de extracción de virutas para el departamento de carpintería**

En el siguiente apartado se presentará y desarrollará el diseño de la propuesta de un sistema de extracción de virutas, para ello en primer lugar se abordará la situación de las máquinas y finalmente las fases para el diseño.

#### **3.3.1. Maquinaria de la fábrica**

Esta cuenta con 7 máquinas destinadas a la fabricación de las brochas de madera que se utilizan en la empresa, a continuación la descripción detallada de fresadora A, B y C de las máquinas.

- Fresadora A para elaboración de cabos Premium: Se cuenta con 1 máquina en la empresa, se sabe por la entrevista al jefe de planta que esta máquina es la que produce el mayor caudal de aserrín de todas las existentes en la fábrica.
- Fresadoras B para la elaboración de cabos de 4 a 6 pulgadas, se cuenta con 2 máquinas.
- Fresadoras C para la elaboración de cabos de ½ pulgada a 3 pulgadas, se cuenta con 4 máquinas.

#### **3.3.2. Fases para diseño de sistema de extracción**

Para diseñar el sistema de extracción de viruta de la empresa, se presenta una serie de pasos detalladamente para determinar el cálculo, diámetro de cada tramo, entre otros.

- Primer paso: hacer un diagrama de la planta especificando la posición deseada de todas las máquinas y el extractor, colocando más cerca del extractor la máquina que más caudal de viruta produce.
- Segundo paso: determinar la velocidad en los ramales de la tabla III se dedujo para desechos de madera.
  - Velocidad en ducto principal 3 500 pies por minuto
  - Velocidad en ramales 4 000 pies por minuto
- Tercer paso: determinar diámetro y caudal de los ramales secundarios: la fresadora A tiene un cuello o collar de 4 pulgadas y las 6 máquinas restantes lo tienen de 3 pulgadas de diámetro y por lo tanto, se dedujo que el fabricante ya calculó que ese es el tamaño adecuado de la tubería que debe acoplarse debido al caudal de aserrín que produce en condiciones normales de trabajo. Por lo tanto la tubería y caudal a utilizar para los cálculos basados en la tabla VI.

Tabla VI. **Tubería y caudal**

Máquina	Cantidad	Diámetro (pulg)	CFM por máquina	CFM total
Fresadora	6	3	195	1 170
Fresadora	1	4	350	350
			Total	1 520

Fuente: elaboración propia.

- Cuarto paso: determinar el diámetro y caudal en el ducto principal, por ese ducto circulará el caudal total de todas las máquinas, este es de 1 520 CFM.

Tabla VII. **Diámetro de cada tramo**

Tramo	Caudal (CFM)	Diámetro (pulg)
1	350	4
2	545	5
3	740	5
4	935	6
5	1 130	7
6	1 325	7
7	1 520	8

Fuente: elaboración propia.

- Quinto paso: calcular resistencia del sistema (presión estática), presión estática de “peor ducto”, del plano se sabe que el “peor ducto” es el tramo uno porque es el más alejado y angosto del sistema.

Tabla VIII. **Diámetro de 4 pulgadas**

Descripción	cantidad	Longitud equivalente (pies)
Tubería	15	15
Codo a 45 °	1	3
Tubería flexible	5 pies	15
Total		33

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Cálculo de presión estática**

Tramo	Longitud	Presión por 100 pies (wg)	Presión Estática resultante (spwg)
Peor tramo	33	10	3,3
2	10	4,5	0,45
3	10	4,5	0,45
4	10	6	0,6
5	10	6,5	0,65
6	10	6,5	0,65
7	10	7,5	0,75
	Pérdida por filtro		2
Total			8,85

Fuente: elaboración propia.

- El requerimiento del sistema es 1 520 CFM y 8,85 spwg: en base a los requerimientos del sistema, se procedió a buscar en el mercado los proveedores que pudieran cumplir con las necesidades. El resultado de esta búsqueda es la siguiente tabla.

Tabla X. **Cuadro de productos**

Modelo	CFM	Hp	Presión Estática
X	1 785	3	10
Y	2 975	5	12
Z	4 850		13,5

Fuente: elaboración propia.

De la anterior lista se eligió el modelo Z debido a que cubre con creces las necesidades y por lo tanto, se está preparado para un crecimiento en el departamento de carpintería.

Figura 29. Sistema propuesto



Extrema carries a full line of Cyclone Dust Collectors. The DC-275 Cyclone Dust Collector comes with 1 micron filter, 7.5 HP 1 or 3 phase motor, 12" inlet, weighs approximately 540 lbs., cyclone, and drum dollies. Does not come with 55 gallon drums.

	DC-275.1	DC-275.3
MOTOR	7.5 HP 1 Phase	7.5 HP 3 Phase
VOLTAGE	208 / 230V	208 / 230V
CFM	4850	4850
PRICE	CFP	CFP

- 7.5 HP 1 or 3PH
- 4850 CFM
- 13.5" Static Pressure
- 14-3/4" Impeller
- low noise operation
- 12" inlet
- 2 stage collection
- Heavy duty dynamically balanced impellers
- 1 micron filter standard
- 140" overall height
- Heavy guage steel construction
- Includes drum dollies
- Optional remote control unit

Fuente: Estructplan on line. <http://www.estrucplan.com.ar>. [Consulta: enero de 2015].



## **4. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD**

El propósito de este estudio consiste en realizar varias operaciones como: cuantificarán las inversiones que demandará el proyecto. Para el desarrollo de este estudio, se procederá a realizar la cotización del sistema propuesto, entre otros. La evaluación económica y financiera del proyecto permitirá analizar la inversión desde el punto de vista monetario. Esta es la última etapa del estudio de factibilidad, los objetivos de esta evaluación son ordenar y sistematizar la información de carácter monetario que proporcionaron las etapas anteriores, elaborar cuadros analíticos y antecedentes adicionales para la evaluación del proyecto y evaluar los antecedentes anteriores para determinar su rentabilidad.

Derivado de la importancia de este último estudio, se detalla a continuación información fundamental sobre los indicadores que se utilizarán para analizar la inversión, acompañada de ejemplos para su mejor comprensión.

### **4.1. Cotización de sistema propuesto**

Las condiciones actuales de la empresa específicamente en el área de carpintería, requieren la instalación de un sistema de extracción de los polvos generados por la manufactura de cabos de madera.

El equipo más adecuado para las necesidades de la fábrica tomando en cuenta que se escogió un sistema de mayor capacidad para que al crecer la capacidad instalada de la maquinaria, no haya necesidad de hacer modificaciones o incluso cambiar de nuevo el sistema.

Los costos puestos en Guatemala del equipo recomendado y que cumple con todas las necesidades son los siguientes:

Tabla XI. **Costos del equipo**

Descripción	Quetzales
	Q 105 000,00
Costo extractor	Q 400,00
Flete Miami Guate	Q 8 000,00
Total	Q 113 400,00
Gastos de importación	
Seguro	Q 1 600,00
Impuestos	Q 11 280,00
Trámite de Importación	Q 800,00
Total	Q 13 680,00
Costo total de la máquina puesta en	
Guatemala	Q 127 080,00

Fuente: elaboración propia.

El costo de todo el equipo puesto en la planta es de Q. 127 080,00, incluye impuestos y gastos de importación requeridos por el país. La instalación por ser relativamente sencilla será realizada por el departamento de mantenimiento de la planta, solamente se requiere de instalar la tubería que va a dar al extractor. Periódicamente se le debe dar un mantenimiento de limpieza y verificación de elementos eléctricos.

Para determinar la factibilidad del proyecto de inversión para adquirir el equipo de extracción, se debe tomar en cuenta varios factores actuales y proyectar los nuevos gastos luego de la implementación del sistema de extracción, son:

- Por compra de repuestos actuales
- Por mantenimientos correctivos
- Por limpieza en el área de carpintería
- Por paros planificados para limpiar área de carpintería
- Por paros no planificados por reparación de equipo
- Por compra de insumos de seguridad industrial

#### **4.1.1. Gasto histórico de repuesto**

Fueron proporcionados los gastos ejecutados en el periodo de julio 2014 a junio 2015, dando como resultado un gasto en 12 meses de Q. 324 477,00 en la tabla XIV se observa el gasto de cada mes ejecutado.

Al realizar un análisis se determina que se podrá reducir a Q. 247 717,00 equivalente a un 23,6 %, esto se puede obtener al no haber exceso de viruta y aserrín, responsables de provocar fatiga y exceso de fricción a varios componentes de la maquinaria.

#### **4.1.2. Gasto de horas extras por mantenimientos correctivos**

Los gastos de horas extras por mantenimientos correctivos determinados en el periodo de julio 2014 - junio 2015 se consumieron 640 horas extras equivalentes a Q.14 080,00 las cuales se presentan en la tabla XII.

Tabla XII. **Factores de horas extras**

Causa	Horas	Porcentaje	Mejora con nuevo sistema
Problemas de cojinetes (por suciedad)	185	20	SÍ
Cambio de cuchillas	432	46	NO
Bajas de presión	85	9	NO
Atasco cabos dañados	88	9	NO
Limpieza exceso de suciedad	89	10	SÍ
Otros	55	6	NO
<b>TOTAL</b>	<b>934</b>		

Fuente: elaboración propia.

Se observa que en dos ítem se puede mejorar al momento de instalar el extractor de viruta, los cuales son:

- Paros por problemas de cojinetes (por suciedad)
- Paros por limpieza exceso de suciedad

Dándose una oportunidad de mejora del 29 % entre los dos, al implementar el proyecto da como resultado una reducción de 274 horas para el nuevo periodo. Por ello se proyecta 660 horas del 2016-2017, como se describe en la tabla XII

#### **4.1.3. Gastos por limpieza en el área de carpintería**

En la actualidad se cuenta con dos personas para labores de limpieza, las cuales representan Q.8 700,00 mensuales, esto incluye el sueldo base y sueldo extraordinario.

Con la implementación del proyecto de instalación de extractor, no serán necesarias estas dos personas para limpieza, ya que los operadores de las maquinarias serán suficientes para realizar mantenimiento rápido a sus equipos, se programarán tres limpiezas de 10 minutos en el día, dando como resultado 30 minutos de limpieza por operador cada día, estas dos personas serán reubicadas luego de la implementación en el área de producción.

#### **4.1.4. Gastos por paros planificados para limpiar área de carpintería**

En el periodo 2014-2015 se paró planificadamente 140 horas mensualmente para realizar labores de limpieza por exceso de viruta y aserrín en toda el área de carpintería, estas horas con un costo de Q3 888,89 mensuales. El costo por hora es un dato que proporcionó la gerencia de la planta y relaciona las unidades producidas por hora, costos y márgenes de las mismas.

Los operadores serán suficientes para estas tareas de limpieza luego de la implementación del proyecto.

#### **4.1.5. Gastos por paros no planificados por reparación de equipo**

En el periodo 2014-2015 se pararon 640 horas por diversas causas, las cuales se describen en la tabla XIII.

Tabla XIII. **Gastos no planificados**

Causa	Horas	Porcentaje	mejora con nuevo sistema
Cambio de cojinetes por suciedad	273	29	SÍ
Cambio de bobinas	132	14	NO
Problemas eléctricos	33	4	NO
Cambio de relés	34	4	NO
Cambio de switch	113	12	SÍ
Problemas neumáticos	55	6	NO
<b>TOTAL</b>	<b>640</b>		

Fuente: elaboración propia.

Se observa en la tabla XIII que en dos Ítem se podría mejorar al momento de instalar el extractor de viruta, los cuales son:

- Cambio de cojinetes por suciedad
- Cambio de *switch*

Luego de la implementación se puede mejorar un 41 % lo que equivale a 386 horas, por ello para el periodo 2016-2017, se estima que se utilizaran 254 horas en paros no planificados. A continuación se muestra la tabla XIII resumen, donde se enlista todos los datos históricos del periodo de julio 2014 a junio 2015.

Tabla XIV. Datos históricos de julio 2014 a julio 2015

Gasto Histórico de Repuestos Mant Correctivo 2015		Gasto de hora extra por mantenimiento correctivo		Personal de limpieza	Hora Máquina por limpieza			Costo de horas paro de maquinaria			Gastos Insumos de Seguridad Industrial	Total
Mes	Costo	Horas	Costo	Sub-Total	Horas	Costo	Sub-Total	Horas	Costo	Sub-Total		
Julio	Q 37 916	72	Q 1 584	Q 8,700	140	Q 27,78	Q 3 888,89	46	Q 27,78	Q 1 278	Q 410	Q 52,192
Agosto	Q 13 317	16	Q 352	Q 8,700	140	Q 27,78	Q 3 888,89	57	Q 27,78	Q 1 583	Q 350	Q 27,840
Septiembre	Q 36 780	67	Q 1 474	Q 8,700	140	Q 27,78	Q 3 888,89	91	Q 27,78	Q 2 528	Q 190	Q 52,087
Octubre	Q 16 195	24	Q 528	Q 8,700	140	Q 27,78	Q 3 888,89	87	Q 27,78	Q 2 417	Q 239	Q 31,440
Noviembre	Q 40 371	67	Q 1 474	Q 8,700	140	Q 27,78	Q 3 888,89	76	Q 27,78	Q 2 111	Q 679	Q 55,750
Diciembre	Q 13 545	19	Q 418	Q 8,700	140	Q 27,78	Q 3 888,89	94	Q 27,78	Q 2 611	Q 457	Q 29,202
Enero	Q 44 040	92	Q 2 024	Q 8,700	140	Q 27,78	Q 3 888,89	104	Q 27,78	Q 2 889	Q 891	Q 60,409
Febrero	Q 14 373	45	Q 990	Q 8,700	140	Q 27,78	Q 3 888,89	79	Q 27,78	Q 2 194	Q 427	Q 29,584
Marzo	Q 40 080	61	Q 1 342	Q 8,700	140	Q 27,78	Q 3 888,89	123	Q 27,78	Q 3 417	Q 127	Q 56,213
Abril	Q 12 895	22	Q 484	Q 8,700	140	Q 27,78	Q 3 888,89	35	Q 27,78	Q 972	Q 812	Q 27,268
Mayo	Q 42 068	88	Q 1 936	Q 8,700	140	Q 27,78	Q 3 888,89	41	Q 27,78	Q 1 139	Q 711	Q 56,507
Junio	Q 12 895	67	Q 1 474	Q 8,700	140	Q 27,78	Q 3 888,89	101	Q 27,78	Q 2 806	Q 901	Q 29,190
<b>Total Año</b>	<b>Q 324 477</b>			<b>Q 104 400</b>			<b>46 666,6667</b>			<b>25 944,4444</b>	<b>6 193,5</b>	<b>Q 507,681</b>

Fuente: elaboración propia

En la tabla XV se demuestran las mejoras posteriores a implementar el proyecto de instalación de extractor de viruta en la empresa objeto de estudio.

Tabla XV. **Costos del proyecto de instalación**

Mes	Gasto histórico de repuestos mant correctivo 2015		Gasto de hora extra por mantenimiento correctivo		Personal de limpieza	Hora máquina por limpieza			Costo de horas paro de maquinaria			Gastos insumos de seguridad industrial	Total	Electricidad	Sub-Total
	Costo	Horas	Costo	Horas		Sub-Total	Horas	Costo	Sub-Total	Horas	Costo				
Julio	Q 37 916	43	Q 1 075	Q -	50	Q 27,78	Q 1 388,89	33	27,78	Q 917	Q 197	Q 40 418	Q 2 992	Q 43 410	
Agos	Q 3 722	10	Q 250	Q -	50	Q 27,78	Q 1 388,89	41	27,78	Q 1 139	Q 168	Q 6 418	Q 2 992	Q 9 410	
Sep	Q 27 185	40	Q 1 000	Q -	50	Q 27,78	Q 1 388,89	65	27,78	Q 1 806	Q 91	Q 30 471	Q 2 992	Q 33 463	
Oct	Q 16 195	15	Q 375	Q -	50	Q 27,78	Q 1 388,89	62	27,78	Q 1 722	Q 115	Q 19 421	Q 2 992	Q 2 413	
Nov	Q 30 776	40	Q 1 000	Q -	50	Q 27,78	Q 1 388,89	54	27,78	Q 1 500	Q 326	Q 33 991	Q 2 992	Q 36 983	
Dic	Q 3 950	12	Q 300	Q -	50	Q 27,78	Q 1 388,89	67	27,78	Q 1 861	Q 219	Q 7 419	Q 2 992	Q 10 411	
Ene	Q 44 040	55	Q 1 375	Q -	50	Q 27,78	Q 1 388,89	74	27,78	Q 2 056	Q 428	Q 47 913	Q 2 992	Q 50 905	
Feb	Q 4 778	27	Q 675	Q -	50	Q 27,78	Q 1 388,89	57	27,78	Q 1 583	Q 205	Q 7 956	Q 2 992	Q 10 948	
Mar	Q 30 485	36	Q 900	Q -	50	Q 27,78	Q 1 388,89	88	27,78	Q 2 444	Q 61	Q 34 380	Q 2 992	Q 37 372	
Abr	Q 12 895	13	Q 325	Q -	50	Q 27,78	Q 1 388,89	25	27,78	Q 694	Q 390	Q 15 368	Q 2 992	Q 18 360	
Mayo	Q 32 473	52	Q 1 300	Q -	50	Q 27,78	Q 1 388,89	30	27,78	Q 833	Q 341	Q 35 037	Q 2 992	Q 38 029	
Jun	Q 3 300	40	Q 1 000	Q -	50	Q 27,78	Q 1 388,89	72	27,78	Q 2 000	Q 432	Q 7 121	Q 2 992	Q 10 113	
<b>Total Año</b>	<b>Q 247 717</b>		<b>Q 9 575</b>	<b>Q -</b>			<b>Q16 666,67</b>			<b>Q18 555,56</b>	<b>Q 2 972,88</b>	<b>Q 285 912</b>	<b>Q35 904,00</b>	<b>Q 321 816</b>	
														<b>-185865.51</b>	

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.6. Indicadores financieros

Los indicadores de evaluación financiera se refieren a una relación entre cifras extractadas de los estados financieros y otros informes contables de una empresa, con el fin de brindar en forma objetiva el comportamiento de la misma. Refleja, en forma numérica el comportamiento o el desempeño de toda la empresa o una de sus partes. A continuación se describen y definen el valor actual neto, la tasa interna de retorno y el periodo de recuperación.

- Valor actual neto: también conocido como valor presente neto o VPN. Este es el valor que se obtiene después de restar los flujos netos de efectivo

actualizados a la inversión inicial, para actualizar dichos flujos, se utiliza el valor llamado tasa de rendimiento esperada mínima aceptada Trema. Es la diferencia entre el valor de mercado de una inversión y su costo.

- Tasa interna de retorno: es la tasa de descuento por la cual el valor presente neto -VPN- es igual a cero, iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial. Evalúa el proyecto en función de una única tasa de rendimiento por período, con el cual la totalidad de los beneficios actualizados son exactamente iguales a los desembolsos expresados en moneda actual.
- El *payback* o período de recuperación: es un método o técnica que se utiliza para expresar los flujos de efectivo futuros en términos de su valor presente, donde cada flujo es descontado con una tasa de interés que representa el costo de oportunidad del inversor. Este método no toma en cuenta los flujos posteriores a la recuperación de la inversión y la rentabilidad del proyecto. El periodo de recuperación de una inversión se refiere al tiempo necesario para que las entradas de caja generadas por la inversión hasta ese momento, anulen o compensen las salidas que ha originado.

Tabla XVI. **Cálculo de VAN, TIR y *payback***

Inversión		
Inicial	Q127 080,00	
Julio	Q 8 782,00	-Q118 298,00
Agosto	Q 18 429,00	Q 99 868,00
Septiembre	Q 18 624,00	Q 81 244,00
Octubre	Q 9 027,00	Q 72 218,00
Noviembre	Q 18 767,00	Q 53 451,00
Diciembre	Q 18 791,00	Q 34 660,00
Enero	Q 9 505,00	Q 25 155,00
Febrero	Q 18 636,00	Q 6 519,00
Marzo	Q 18 841,00	Q 12 322,00
Abril	Q 8 908,00	
Mayo	Q 18 478,00	
Junio	Q 19 077,00	

Fuente: elaboración propia.

TIR: 6,1 %

VAN: Q16 880,89

*Payback*: 8,2 meses

Se observa que el tiempo de retorno de la inversión es de 8 meses y un ahorro en doce meses de Q 185 865,00 posterior a la instalación y puesta en ejecución del sistema de extracción de aserrín y viruta.

#### **4.1.7. Ventajas de la inversión**

La tecnificación de la planta y la búsqueda de una mejor productividad y rentabilidad, exigen también la búsqueda de ambientes e instalaciones adecuadas que protejan la inversión de los empresarios, así como la salud de sus colaboradores.

La inversión propuesta en este trabajo de graduación traerá consigo mejoras relacionadas con todos los aspectos que intervienen con la productividad de la planta y con ello la hará más competitiva a nivel regional, colocándola junto a las empresas más y mejor tecnificadas de la región. Las ventajas de invertir en un sistema de extracción de virutas son las siguientes.

- Mejora del ambiente: al aspirar todos los residuos y polvo que resultan del maquinado de la madera, este se encarga del problema de tener un ambiente contaminado.
- Reducción de accidentes y desastres: con un ambiente limpio de posibles fuentes de incendio, se reduce el riesgo de un desastre que pudiera perjudicar en gran proporción la integridad de la planta.
- Salud ocupacional: la salud de los colaboradores se verá beneficiada al no estar expuestas a la contaminación propia del trabajo en la fábrica.
- Tiempos muertos de la maquinaria: los tiempos de paro de las máquinas se reducirán debido a que no estarán expuestas al polvo que las satura actualmente.
- Tiempos muertos por limpieza: ya no será necesario parar las máquinas varias veces durante el día para hacer limpieza del área de trabajo.
- Costo de mantenimiento: el tiempo de vida útil de los repuestos de la maquinaria aumentará debido a que la polución será absorbida por el extractor antes de que esta contamine el interior de las máquinas.

- Venta de viruta: el aserrín, la viruta y el polvo serán depositados en compartimientos adecuados y clasificados. Con esta práctica no serán contaminados con tierra, agua o algún otro contaminante que se encuentre en el área de trabajo, mejorando con su valor para la venta.
- Costo de limpieza: el personal de limpieza será reubicado en otras áreas donde será más productivo. Además el costo por implementos de limpieza (escobas, rastrillos, palas, guantes, entre otros.), será reducido en gran medida.
- Vida útil de la maquinaria: la maquinaria íntegra se verá beneficiada con la implementación del sistema.
- Productividad: en general la planta será más productiva al no perder tiempo innecesariamente por labores de limpieza, mantenimiento y reducir costos.

## CONCLUSIONES

1. La implementación de un sistema de extracción de virutas trae múltiples beneficios a la empresa, mediante la mejora del ambiente de trabajo y la reducción de costos de mantenimiento y limpieza.
2. Del análisis económico realizado a la empresa se estima que el tiempo de retorno de la inversión es de 8,2 meses, por lo tanto el proyecto es viable.
3. Un sistema de extracción de virutas mejorará la competitividad de la empresa al reducir en gran medida procesos que toman mucho tiempo y recursos, como lo son la limpieza del área de trabajo y los paros por mantenimiento preventivo y correctivo.



## RECOMENDACIONES

1. Continuar la búsqueda de la mejora continua implementando proyectos similares al presente en otras áreas de la planta, ya que tiene mucho potencial de mejora mediante la implementación de procedimientos de ingeniería.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ANDER-EGG, Ezequiel. *Métodos y técnicas de investigación social*. Argentina: Río de Plata, 2003. 175 p.
2. CARDONA REVOLORIO, Juan Ángel. *Diseño y evaluación de un programa de mantenimiento preventivo*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1979. 85 p.
3. CECIL, Guillermo. *Sistemas de contabilidad, procedimientos y métodos*. México: Ediciones Contables y Administrativas, S. A., 1992. 238 p.
4. CHIAVENATO, Idalberto. *Introducción a la teoría general de la administración*. 2a ed. México: McGraw-Hill, 1992. 145 p.
5. DE LA TORRE, Joaquín Zamarrón. *Evaluación de Proyectos de Inversión*. México: Pearson Educación, Prentice Hall. 2002. 256 p.
6. DEL RÍO GONZÁLEZ, Cristóbal. *Técnica presupuestal*. México: Ediciones Contables y Administrativas, S.A. Litografía S. A., 1993. 110 p.
7. ECO, Umberto. *Cómo se hace una tesis*. España: Gedisa, 2009. 240 p.
8. HERNÁNDEZ, Roberto. *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill. 2006. 569 p.

9. IXCOLÍN BARRIOS, Julio César. *Sistemas informáticos para la automatización de programas de mantenimiento*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1995. 132 p.
10. MARKS, Lionel. *Manual del ingeniero mecánico*. México: McGraw-Hill, 1984. 2108 p.
11. ZAPATA, Óscar. *Herramientas para elaborar tesis e investigaciones*. México: Pax, 2005. 280 p.