

621.815
GAL

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Diseño de una Máquina Destalonadora de Neumáticos”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención de Título de:

INGENIERO MECÁNICO



Presentada por:

Juan José Gallardo Bastidas

GUAYAQUIL-ECUADOR

Año: 2013

AGRADECIMIENTO

A mi familia por su apoyo constante.

A todas las personas que colaboraron en la realización de este trabajo y en especial al Ing. Manuel Helguero, director de tesis, por su invaluable ayuda.

DEDICATORIA

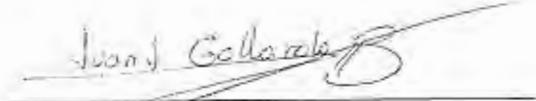
A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)


Juan José Gallardo Bastidas

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Dr. Kleber Barcia V. Ph.D.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. Manuel Helguero G.
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Alfredo Torres G.
VOCAL

RESUMEN

Actualmente en Guayaquil por ordenanzas municipales las empresas encargadas del aseo no tienen la obligación de recoger los neumáticos enteros, a menos que estos hayan sido triturados en trozos pequeños de un tamaño máximo de 5x5 cm, lo cual está obligando a grandes productores, distribuidores e importadores a buscar sistemas de triturado de neumáticos, para los cuales el desarrollo de esta máquina es un complemento importante, ya que en el país aún no se cuenta con maquinaria de este tipo.

El presente trabajo, como parte de un conjunto de máquinas para este proceso, desarrolla el diseño de una Máquina Destalonadora de neumáticos, empleada para la remoción de los alambres ubicados en el interior de estos, cercanos al rin. Esto con la finalidad de aprovechar el alambre retirado como chatarra, como también reducir la cantidad de energía empleada en el proceso de triturado, aumentando la vida útil de las máquinas dispuestas para este fin.

Como primera parte se revisa los fundamentos teóricos sobre los neumáticos, desde sus propiedades hasta los procesos de construcción. También se analiza, el proceso de reciclaje desde el punto de vista legal en

el país, hasta las distintas formas de reutilizar los neumáticos usados. Para concluir con la parte teórica, se analiza el funcionamiento de distintos tipos de máquinas comerciales empleadas en el proceso de reciclaje de neumáticos, en donde previo a una matriz de decisión se seleccionará la máquina Destalonadora de neumáticos, para realizar su análisis y diseño final.

Una vez elegida la máquina, se realizará un diseño de forma, en donde se determinará la relación que existe entre cada componente. Se obtendrá el modelo matemático que representa el proceso de destalonado, con el cual se obtiene las fuerzas resultantes y por consiguiente la potencia requerida para este proceso. Una vez conocidas las fuerzas que actúan en los componentes, estos se analizarán y diseñarán empleando un criterio de falla, obteniendo factores de seguridad adecuados. Dimensionadas las partes, se realiza un prototipo virtual empleando el Software Inventor, con el cual se hará un análisis de elementos finitos, para ciertos elementos de geometría y condiciones de carga complejas. Se seleccionarán elementos normalizados como reductor de velocidad, poleas, bandas de transmisión y motor eléctrico.

Finalmente se determina el presupuesto para el diseño y construcción de la máquina.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ABREVIATURAS.....	XII
SIMBOLOGÍA.....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
ÍNDICE DE TABLAS	XVII
ÍNDICE DE PLANOS.....	XXII
INTRODUCCIÓN	XXIII
CAPÍTULO 1	
1. GENERALIDADES SOBRE LOS NEUMÁTICOS.....	1
1.1 Características de los neumáticos	1
1.1.1 Composición de un neumático	4
1.1.2 Estructura de los neumáticos	9
1.1.3 Dimensiones generales.....	15
1.1.4 Propiedades	17
1.2 Construcción de un neumático	19

1.2.1	Confección	20
1.2.2	Conformación	22
1.2.3	Cocción	23
1.3	Caucho	24
1.3.1	Caucho Natural	24
1.3.2	Caucho Sintético	25
1.3.3	Vulcanización	26
1.3.4	Propiedades	27

CAPÍTULO 2

2	RECICLAJE DE NEUMÁTICOS	28
2.1	Marco legal	28
2.1.1	Propuestas planteadas.....	30
2.1.2	Normativa a nivel nacional	31
2.2	Los neumáticos como residuos	33
2.2.1	Relleno Sanitario.....	34
2.2.2	Problemática en el Ecuador	48
2.2.3	Estadística mundial	50
2.3	Procesos de reutilización de los neumáticos usados.....	53
2.3.1	Regeneración.....	56

2.3.2 Pirolisis y termólisis.....	62
2.3.3 Incineración.....	64
2.3.4 Reducción de tamaño y separación de componentes.....	65
2.4 Aplicaciones de los neumáticos fuera de uso.....	70

CAPÍTULO 3

3 MÁQUINAS Y EQUIPOS.....	80
3.1 Introducción.....	80
3.2 Máquinas Semiautomáticos.....	83
3.2.1 Destalonadora Hidráulica.....	83
3.2.2 Trituradoras.....	88
3.3 Máquinas Manuales.....	90
3.3.1 Desarmadora.....	90
3.3.2 Destalonadora Mecánica.....	92
3.3.3 Cortadora Lineal.....	100
3.3.4 Picadora.....	101
3.4 Selección de la máquina Destalonadora.....	103

CAPÍTULO 4

4 DISEÑO DE UNA MAQUINA DESTALONADORA DE NEUMÁTICOS 106

4.1 Diseño de Forma	110
4.2 Análisis de fuerzas.....	114
4.2.1 Rodillos de desbaste y ejes.....	123
4.2.2 Sistema de separación de rodillos	150
4.2.3 Sistema de soporte y alimentación	157
4.2.4 Sistema de transmisión de potencia	158
4.2.5 Sistema de reducción de velocidad.....	172
4.2.6 Bastidor	172
4.3 Selección de elementos normalizados	173
4.3.1 Motor eléctrico.....	173
4.3.2 Poleas y bandas de transmisión	174
4.3.3 Reductor de velocidad.....	181
4.4 Diseño de los elementos utilizando el Software Inventor ..	183
4.5 Simulación del prototipo utilizando el Software Inventor ...	185

CAPÍTULO 5

5 ANÁLISIS DE COSTOS 190 |

CAPÍTULO 6

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 196

APÉNDICES

BIBLIOGRAFIA

ABREVIATURAS

AGMA	American Gear Manufactures Association
AISI	American Iron and Steel Institute
cm	Centímetro
F.S.	Factor de seguridad
GJ	Giga Joule
hr	Hora
ILM	Iguanas Landfill Management
INVEC	Corporación de inversiones del Azuay
Kg	Kilogramos
KW	Kilo watts
m	Metro
MDD	Matriz de decisión
MIPRO	Subsecretaria de comercio e inversiones
MPa	Mega Pascales
N	Newtons
NFU	Neumáticos fuera de uso
Pulg.	Pulgadas
rpm	Revoluciones por minuto
SBR	Caucho estireno butadieno
Ton	Toneladas
UE	Unión europea
Unit.	Unitario
USD	United States dollar

SIMBOLOGÍA

F	Fuerza
LT	Neumáticos para camión
P	Neumáticos tipo turismo
Sy	Resistencia a la fluencia
Sut	Resistencia ultima
tf	Espesor final
to	Espesor inicial
Vo	Velocidad inicial
Vf	Velocidad final

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Fig. 1.1 Neumático Diagonal.....	10
Fig. 1.2 Neumático Radial.....	11
Fig. 1.3 Sección transversal de un neumático radial.....	12
Fig. 1.4 Dimensiones principales de un neumático.....	15
Fig. 1.5 Sección de la banda de rodamiento para llantas diagonales.....	21
Fig. 1.6 Sección transversal de la banda de rodamiento para llantas radiales.....	21
Fig. 1.7 Montaje de capa radial, laterales, telas y pestañas de un neumático.....	22
Fig. 1.8 Neumático verde.....	23
Fig. 1.9 Prensa para vulcanización de neumáticos.....	24
Fig. 1.10 Diagrama de tensión deformación para caucho natural.....	27

CAPÍTULO 2

Fig. 2.1 Partes principales del relleno sanitario.....	35
Fig. 2.2 Relleno Sanitario "Las Iguanas", vista aérea de la infraestructura.....	41
Fig. 2.3 Acopio de neumáticos en Relleno Sanitario "Las Iguanas".....	46
Fig. 2.4 Vertido de desechos en el Relleno Sanitario Las Iguanas.....	47

Fig. 2.6 Clasificación de tecnologías de reciclaje según el nivel de tratamiento	55
Fig. 2.7 Proceso de pirólisis del caucho de NFU	64
Fig. 2.8 Planta de reciclado de neumáticos a temperatura ambiente	68
Fig. 2.9 Molido criogénico de neumáticos usados	70
Fig. 2.10 Arrecifes artificiales usando NFU	72
Fig. 2.11 Utilización de neumáticos en parques infantiles	74
Fig. 2.12 Utilización de NFU en pista de atletismo	75
Fig. 2.13 Césped Sintético utilizando NFU	77
Fig. 2.14 Pavimentos de seguridad usando NFU	78
Fig. 2.15 Reductor de velocidad de caucho reciclado	79
Fig. 2.16 Betún de carretera modificado con polímeros de NFU	80
CAPÍTULO 3	
Fig. 3.1 Subdivisión de los Tratamientos mecánicos	83
Fig. 3.2 Máquina Destalonadora Hidráulica	84
Fig. 3.3 Sistema auxiliar de fijación de alambres	86
Fig. 3.4 Trituradora de neumáticos de 4 ejes paralelos	90
Fig. 3.5 Partes de un neumático desarmado	91
Fig. 3.6 Máquina desarmadora	92
Fig. 3.7 Máquina destalonadora	94
Fig. 3.8 Partes principales de la Máquina Destalonadora Mecánica	99

Fig. 3.8 Partes principales de la Máquina Destalonadora Mecánica.....	99
Fig. 3.9 Partes principales de la Máquina Destalonadora Mecánica.....	100
Fig. 3.10 Máquina Cortadora Lineal.....	102
Fig. 3.11 Máquina Picadora	103

CAPÍTULO 4

Fig. 4.1 Fases del proceso de diseño.....	108
Fig. 4.2 Diseño de forma de la Destalonadora, vista frontal	111
Fig. 4.3 Diseño de forma de la Destalonadora, vista lateral.....	112
Fig. 4.4 Vista lateral del laminado plano.....	115
Fig. 4.5 Diagrama de cuerpo libre del rodillo fijo, en el proceso de desbaste ..	120
Fig. 4.6 Fuerzas de contacto en cilindros circulares rectos	126
Fig. 4.7 Magnitud de las componentes del esfuerzo debajo de la superficie	126
Fig. 4.8 Carga repetida en los rodillos desbastadores.....	131
Fig. 4.9 Diagrama de fuerzas en Eje "a", vista frontal.....	136
Fig. 4.10 Diagrama de fuerzas en Eje "a", vista lateral.....	136
Fig. 4.11 Diseño del Eje usando el Software Inventor	138
Fig. 4.12 Diagrama de fuerza cortante en el plano X-Y.....	139
Fig. 4.13 Diagrama de fuerza cortante en el plano X-Z.....	139
Fig. 4.14 Diagrama de fuerza cortante resultante.....	140

Fig. 4.15 Diagrama de momento flexionante en el plano X-Y	140
Fig. 4.16 Diagrama de momento flexionante en el plano X-Z.....	140
Fig. 4.17 Diagrama de momento flexionante resultante	141
Fig. 4.18 Software Inventor - Diámetro ideal del eje	143
Fig. 4.19 a) Rosca Cuadrada, b) Rosca ACME	152
Fig. 4.20 Diagrama de fuerzas a) subir la carga, b) bajar la carga	152
Fig. 4.21 Esquema de la caja de transmisión.....	159
Fig. 4.22 Diagrama de fuerzas entre dos engranes.....	162
Fig. 4.23 Selección del perfil de la correa y diámetro de la polea menor.....	177
Fig. 4.24 Vista explosionada de la caja porta rodillos	185
Fig. 4.25 Vista frontal en 3D de la Máquina Destalonadora.....	185
Fig. 4.26 Vista trasera en 3D de la Máquina Destalonadora.....	186
Fig. 4.27 Restricciones aplicadas a las superficies	188
Fig. 4.28 Cargas aplicadas a las superficies	188
Fig. 4.29 Representación grafica de la distribución de esfuerzos en "Cajera" .	190
Fig. 4.30 Representación grafica de los desplazamientos en la "Cajera"	190

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 1

Tabla 1.1 Composición de neumático tipo P	6
Tabla 1.2 Composición de neumático tipo LT.....	7
Tabla 1.3 Composición de neumático usado.....	7
Tabla 1.4 Composición química de un neumático.....	8
Tabla 1.5 Resistencia al corte de trozos de neumático	17
Tabla 1.6 Contenido energético y emisiones de CO2 de combustibles	18
Tabla 1.7 Propiedades de los elastómeros	27

CAPÍTULO 2

Tabla 2.1 Composición de los desechos	43
Tabla 2.2 Datos estadísticos de neumáticos desechados en KTon/año	51
Tabla 2.3 Destinación de los neumáticos usados en la Unión Europea.....	52
Tabla 2.4 Utilización que se da a los neumáticos reciclados (Unión Europea) ...	52
Tabla 2.5 Productos obtenidos según las diferentes tecnologías de reciclado ...	55

Tabla 2.6 Comparación entre molido a temperatura ambiente y criogénico	69
--	----

CAPÍTULO 3

Tabla 3.1 Especificaciones Generales, Destalonadora Hidráulica estacionaria..	87
---	----

Tabla 3.2 Especificaciones Generales, Destalonadora Hidráulica móvil.....	87
---	----

Tabla 3.3 Especificaciones Técnicas Generales, Destalonadora Mecánica	100
---	-----

Tabla 3.4 Ponderación de los factores de la MDD	104
---	-----

Tabla 3.5 Escala de calificación en la MDD	104
--	-----

Tabla 3.6 Matriz de decisión con factores ponderados.....	105
---	-----

CAPÍTULO 4

Tabla 4.1 Condiciones iniciales para el proceso de laminado	118
---	-----

Tabla 4.2 Tabla de resultados del proceso de laminado	118
---	-----

Tabla 4.3 Condiciones iniciales para el proceso de desbaste	122
---	-----

Tabla 4.4 Tabla de resultados del proceso de desbaste	122
---	-----

Tabla 4.5 Condiciones iniciales de los cilindros en contacto	126
--	-----

Tabla 4.6 Propiedades del Acero AISI 3115.....	128
--	-----

Tabla 4.7 Resultados de los esfuerzos de contacto en los cilindros	129
--	-----

Tabla 4.8 Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga	132
---	-----

Tabla 4.9 Propiedades del Acero AISI 3115, tratado térmicamente	133
---	-----

Tabla 4.10 Parámetros para la aplicación del criterio de falla de Goodman	134
Tabla 4.11 Reacciones en el soporte 1	140
Tabla 4.12 Reacciones en el soporte 2	140
Tabla 4.13 Propiedades mecánicas acero AISI 4337	143
Tabla 4.14 Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga	145
Tabla 4.15 Factores típicos de concentración de esfuerzos para cojinetes	147
Tabla 4.16 Parámetros para el cálculo del diámetro del eje	148
Tabla 4.17 Cálculo del factor de seguridad para la fluencia del primer ciclo.....	149
Tabla 4.18 Condiciones iniciales para el cálculo del tornillo de potencia	154
Tabla 4.19 Parámetro de la geometría del tornillo de potencia.....	155
Tabla 4.20 Cálculos obtenidos para el tornillo de potencia.....	156
Tabla 4.21 Esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad tornillo de potencia ..	156
Tabla 4.22 Condiciones iniciales para el cálculo de fuerzas en engranes	162
Tabla 4.23 Resultados del análisis de fuerza en engranes.....	162
Tabla 4.24 Condiciones iniciales para el cálculo de engranes.....	169
Tabla 4.25 Cálculos generales de engranes	169
Tabla 4.26 Resultado de los distintos factores de engranes.....	170
Tabla 4.27 Resultados de la resistencia a la flexión en engranes	171
Tabla 4.28 Resultados de los esfuerzos en engranes.....	171
Tabla 4.29 Resultados de los factores de seguridad para flexión y desgaste...	171

Tabal 4.30 Eficiencia de los métodos de trasmisión de potencia.....	174
Tabla 4.31 Factores de servicio para transmisiones de banda en V.....	176
Tabla 4.32 Características generales del reductor de velocidad	184
Tabla 4.33 Especificaciones técnicas del reductor de velocidad	184
Tabla 4.34 Costo de elementos normalizados.....	193
Tabla 4.35 Costos de elementos fabricados	195
Tabla 4.36 Costo de los componentes eléctricos	195
Tabla 4.37 Costo de ensamblaje de la máquina.....	196
Tabla 4.38 Costo total de la máquina.....	196

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1	Caja Porta Rodillos - Dimensiones Generales.....	APÉNDICE P
Plano 2	Caja Porta Rodillos - Vista explosionada.....	APÉNDICE Q
Plano 3	Caja Porta Rodillos - Lista de partes.....	APÉNDICE R
Plano 4	Máquina Destalonadora - Ensamblaje.....	APÉNDICE S

INTRODUCCIÓN

Los neumáticos son elementos formados por medio de materiales compuestos, los cuales están constituidos principalmente por: caucho, negro humo, acero y fibras. El mayor porcentaje en peso del neumático es el caucho, ya sea natural o sintético, este polímero al combinarlo con un agente vulcanizante como el azufre, adquiere buenas propiedades como: resistencia al desgaste, resistencia al calor, difícil degradación ante agentes externos y demás propiedades que son necesarias para un neumático.

Debido a las características anteriormente mencionadas, los neumáticos son elementos aptos para el reciclaje, ya que el caucho, después de ser usado mantiene muchas de sus propiedades y además no son elementos biodegradables, por lo que enterrarlos en rellenos sanitarios no sería una buena decisión.

Actualmente en Guayaquil, hay reglamentaciones municipales que prohíben la recolección de neumáticos enteros por las empresas encargadas del aseo, a menos que estos hayan sido previamente triturados en trozos de 5 x 5 cm. Esto con la finalidad de promover el reciclaje y evitar los problemas causados por el entierro de neumáticos enteros en el relleno sanitario

Por esta razón muchos importadores, distribuidores y productores de neumáticos a nivel nacional, están buscando alternativas para el reciclaje de de estos.

El presente trabajo trata del "Diseño de una Máquina Destalonadora" para retirar el alambre metálico del interior de los neumáticos usados, enfocada al procesamiento de neumáticos de rin 12" hasta 22.5", abarcando de esta manera un gran porcentaje de los neumáticos desechados en autos, buses y camiones.

Para iniciar el proceso de diseño, se realiza una investigación de la maquinaria existente para este fin, por medio de la cual se selecciona el tipo de maquinaria más apropiado a diseñar y se procede a realizar un estudio minucioso del proceso de funcionamiento de esta, para así obtener el modelo matemático que describe dicho funcionamiento.

Conociendo los requerimientos que deberá cumplir la máquina se procederá a analizar cada elemento de esta, de tal forma que cumpla con las solicitaciones mecánicas empleando un criterio de falla. Obtenidos los esfuerzos en cada elemento, se diseñará cada uno de estos con ayuda del el programa Inventor, en el cual se podrán introducir las restricciones y fuerzas, para de esta manera poder validar los resultados obtenidos manualmente.

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES SOBRE LOS NEUMÁTICOS

1.1 Características de los neumáticos

Los neumáticos son productos de ingeniería compleja. Se componen de numerosos compuestos de caucho, diferentes tipos de negro de carbón, material de relleno como la arcilla y sílice y productos químicos y minerales añadidos para permitir o acelerar la vulcanización. Los neumáticos también tienen varios tipos de tela de refuerzo y alambre de acero.

Un neumático es básicamente un elemento que permite a un vehículo desplazarse en forma suave a través de superficies lisas. Consiste en una cubierta principalmente de caucho que contiene aire el cual soporta al vehículo y su carga.

Su invención se debe al norteamericano Charles Goodyear quién descubrió, accidentalmente en 1880, el proceso de vulcanización, con el que se da al caucho la resistencia y solidez necesaria para fabricarlo.

Es común confundir lo que es una llanta, un neumático y una rueda, existiendo distintas definiciones como:

- **Llanta**, descrita como el cerco metálico de las ruedas de los vehículos.
- **Neumático**, es la cubierta deformable y elástica que se monta en la llanta de las ruedas de ciertos vehículos, y que sirve de envoltura protectora a una cámara de aire que puede ser independiente o no.
- **Rueda**, es una pieza de forma circular que gira alrededor de un eje.

En la actualidad, la mayoría de los neumáticos de vehículos de pasajeros como los de camión son radiales, también existe otro tipo de neumáticos llamados diagonales, utilizados principalmente en camiones, los cuales poseen la ventaja de soportar mayores cargas pero a su vez tienen la desventaja de ser menos flexibles e incrementar el consumo de combustible.

La complejidad de la forma y de las funciones que cada parte del neumático tiene que cumplir, se traduce también en una complejidad de los materiales que lo componen. El principal componente del neumático es el caucho que representa casi la mitad de su peso.

La fabricación de neumáticos concentra un gran porcentaje de la industria del caucho constituyendo el 60 % de la producción anual del mismo.

Los tipos de caucho más empleados en la fabricación de los neumáticos son:

- Cauchos naturales (NR)
- Polibutadienos (BR)
- Estireno – Butadieno (SBR)
- Polisoprenos sintéticos (IR)

La matriz de caucho más utilizada es el copolímero estireno-butadieno (SBR), en el que la proporción es de aproximadamente un 25 % en peso de estireno, o una mezcla de caucho natural y SBR.

Todos los tipos de cauchos poseen diferentes propiedades, pero también con algo en común: todos, una vez vulcanizados,

pueden ser muy duraderos, por lo que necesitarían una gran cantidad de tiempo para su degradación.

La combinación se realiza de modo que los cauchos naturales proporcionen elasticidad y los sintéticos estabilidad térmica.

1.1.1 Composición de un neumático

Los neumáticos están compuestos principalmente por:

- **Caucho:** Caucho natural y caucho sintético.
- **Reellenos reforzantes:** Materiales que mejoran las propiedades mecánicas. Ej.: El negro de humo, formado de partículas muy pequeñas de carbono, que aumenta la tenacidad y la resistencia a la tracción, a la torsión y al desgaste.
- **Fibras reforzantes:** presentes usualmente en forma de hilos, que aportan resistencia a los neumáticos. Pueden ser textiles o de acero. Ej.: algodón, nylon, poliéster y alambre de acero.

- **Plastificantes:** Se adicionan para facilitar la preparación y elaboración de las mezclas, utilizándose para el control de la viscosidad. Reducen la fricción interna durante el procesado y mejoran la flexibilidad a bajas temperaturas del producto. Ej.: aceites minerales (aromáticos, nafténicos y parafínicos) y de tipo éster.
- **Agentes vulcanizantes:** Se usa para entrecruzar las cadenas de polímero en el caucho. Ej.: El azufre.
- **Acelerantes:** Sirven para disminuir el tiempo de vulcanización. Ej.: compuestos órgano - sulfurados, benzotiazol y derivados, óxido de zinc y ácido esteárico.
- **Otros componentes:** antioxidantes o antiozonizantes, adhesivos.

Debido a que la composición de los neumáticos varía de acuerdo al tipo de aplicación, se ha clasificado a los neumáticos en dos tipos según su función.

Estos son: Tipo turismo (P) y camión (LT), los cuales tienen pesos medios de 11 y 55 Kg. respectivamente.

Porcentajes de sus componentes:

<i>NEUMÁTICO NUEVO TIPO P</i>	
<i>COMPONENTES</i>	<i>PORCENTAJE %</i>
Caucho natural	14
Caucho sintético	27
Negro de carbón	28
Alambre de acero	14-15
Textil, cargas, aceleradores, antiozonantes, etc.	16-17

<i>CONDICION</i>	<i>PESO MEDIO</i>
<i>Nuevo</i>	11 Kg.
<i>Usado</i>	9 Kg.

Tabla 1.1 Composición de neumático tipo P

Fuente: http://www.biotyre.com/es/industries_rubber-tyre.php

<i>NEUMÁTICO NUEVO TIPO LT</i>	
<i>COMPONENTES</i>	<i>PORCENTAJE %</i>
Caucho natural	27
Caucho sintético	14
Negro de carbón	28
Alambre de acero	14-15
Textil, cargas, aceleradores, antiozonantes, etc.	16-17

<i>CONDICION</i>	<i>PESO MEDIO</i>
<i>Nuevo</i>	55 Kg.
<i>Usado</i>	45 Kg.

Tabla 1.2 Composición de neumático tipo LT

Fuente: http://www.biotyre.com/es/industries_rubber-tyre.php

<i>NEUMÁTICO USADO</i>	
<i>COMPONENTES</i>	<i>PORCENTAJE %</i>
Caucho	70
Alambre de acero	17
Fibra y chatarra	13

Tabla 1.3 Composición de neumático usado

Fuente: http://www.biotyre.com/es/industries_rubber-tyre.php

1.1.1.1 Composición química de un neumático

La composición química suele variar de acuerdo al tipo de neumático y al fabricante. De manera general se puede ver la composición química de un neumático en la Tabla 1.4.

<i>Elemento</i>	<i>Abreviación</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Carbono	C	70	%
Hidrogeno	H	7	%
Azufre	S	1-3	%
Cloro	CL	0,2-0,6	%
Fierro	FE	15	%
Oxido de Zinc	ZnO	2	%
Dióxido de Silicio	SiO ₂	5	%
Cromo	Cr	97	ppm
Níquel	Ni	77	ppm
Plomo	Pb	60-760	ppm
Cadmio		5-10	ppm
Talio		0,2-0,3	ppm

Tabla 1.4 Composición química de un neumático

Fuente: Combustibles alternativos, Holderbank 1997

Algunos detalles importantes sobre la composición de los neumáticos que habría que tener presente son las siguientes:

- Los neumáticos contienen cloro en un 1% de su peso. Es importante mencionar que el cloro es un agente oxidante lo cual habría que tener en consideración.

- Los policlorobifenilos (PCB), peligrosos productos clorados cuya fabricación está prohibida, están presentes en los neumáticos viejos, mezclados con algunos de sus componentes como aceites y plastificantes.

1.1.2 Estructura de los neumáticos

La estructura de los neumáticos puede diferir un poco dependiendo de si es un neumático diagonal o uno radial. A continuación se explicará la diferencia de los dos tipos de neumáticos.

Debido a que los neumáticos radiales son los más usados actualmente, la estructura de estos es la que se va a tomar como referencia para posteriores análisis.

1.1.2.1 Neumáticos diagonales

Este tipo de neumático se caracteriza por tener una construcción diagonal que consiste en colocar las capas de manera tal, que las cuerdas de cada capa queden inclinadas con respecto a línea del centro orientadas de ceja a ceja.

Este tipo de estructura brinda al neumático dureza y estabilidad que le permiten soportar la carga del vehículo.

La desventaja de este diseño es que proporciona al neumático una dureza que no le permite ajustarse adecuadamente a la superficie de rodamiento ocasionando un menor agarre, menor estabilidad en curvas y mayor consumo de combustible.



Fig. 1.1 Neumático Diagonal

Fuente: Dirección de transporte CONAE. Manual de Información Técnica de neumáticos

1.1.2.2 Neumáticos radiales

En la construcción radial, las cuerdas de las capas del cuerpo van de ceja a ceja formando semiovalos. Son ellas las que ejercen la función de soportar la carga.

Sobre las capas del cuerpo, en el área de la banda de rodamiento, son montadas las capas estabilizadoras. Sus cuerdas corren en sentido diagonal y son ellas las que soportan la carga y mantiene la estabilidad del neumático.

Este tipo de construcción permite que el neumático sea más suave que el convencional lo que le permite tener mayor confort, manejabilidad, adherencia a la superficie de rodamiento, tracción, agarre, y lo más importante contribuye a la reducción del consumo de combustible.



Fig. 1.2 Neumático Radial

Fuente: Dirección de transporte CONAE. Manual de información Técnica de neumáticos

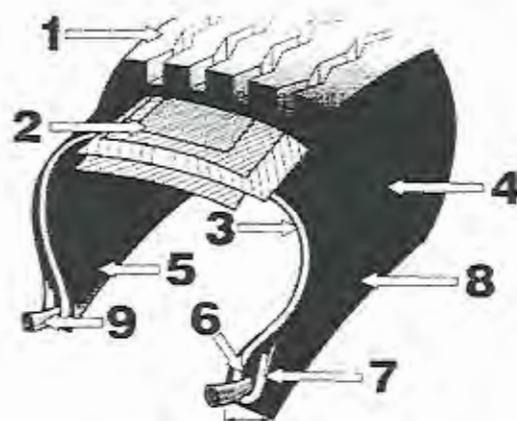


Fig. 1.3 Sección transversal de un neumático radial

Fuente: Guía de Análisis de condiciones para llanta radial.

The Maintenance Council. U.S.A.

Las partes fundamentales de un neumático radial son:

1.- Banda de rodamiento

Esta parte, generalmente de caucho, proporciona la interface entre la estructura de la llanta y el camino. Su propósito principal es proporcionar tracción y frenado.

2.- Cinturón (Estabilizador)

Las capas del cinturón (estabilizador), especialmente de acero, proporcionan resistencia al neumático, estabiliza la banda de rodamiento y protege a ésta de picaduras.

3.- Capa radial

La capa radial, junto con los cinturones, contienen la presión de aire. Dicha capa transmite todas las fuerzas originadas por la carga, el frenado, el cambio de dirección entre la rueda y la banda de rodamiento.

4.- Costado (Pared)

El caucho del costado (pared) está especialmente compuesto para resistir la flexión y la intemperie proporcionando al mismo tiempo protección a la capa radial.

5.- Sellante

Una o dos capas de caucho especial (en neumáticos sin cámara) preparado para resistir la difusión del aire. El sellante en estos neumáticos reemplaza la función de las cámaras.

6.- Relleno

Piezas también de caucho con características seleccionadas, se usan para llenar el área de la ceja (talón) y la parte inferior del costado (pared) para proporcionar una transición suave del área rígida de la ceja, al área flexible del costado.

7.- Refuerzo de la ceja (talón)

Es otra capa colocada sobre el exterior del amarre de la capa radial, en el área de la ceja, que refuerza y estabiliza la zona de transición de la ceja al costado.

8.- Ribete

Elemento usado como referencia para el asentamiento adecuado del área de la ceja sobre el rin.

9.- Talón

Es un cuerpo de alambres de acero de alta resistencia utilizado para formar una unidad de gran robustez. El talón es el ancla de cimentación de la carcasa, que mantiene el diámetro requerido de la llanta en el rin.

1.1.3 Dimensiones generales

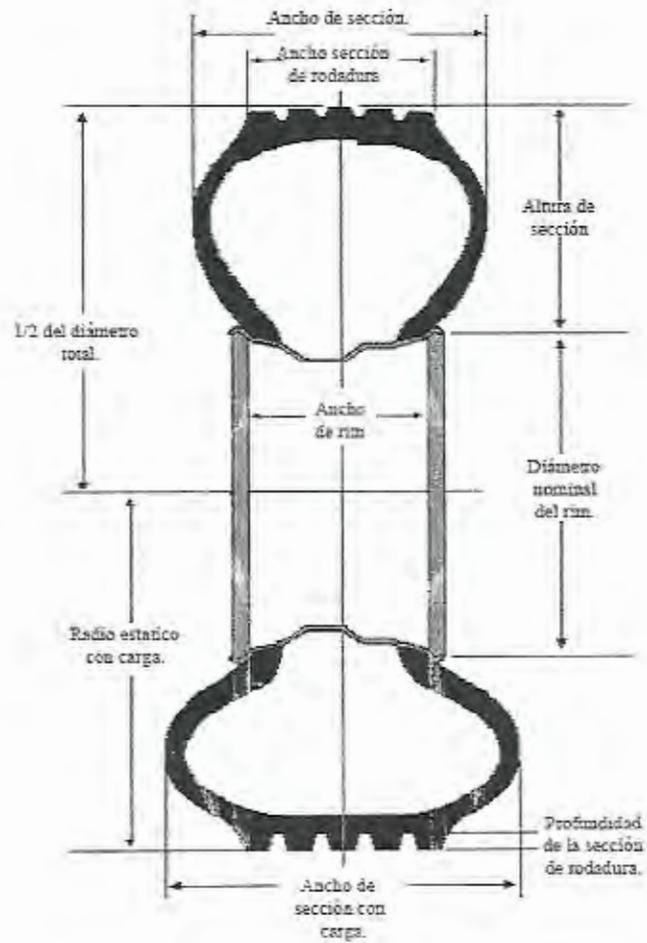


Fig. 1.4 Dimensiones principales de un neumático

Fuente: General Technical Information. Bridgestone Medium & Light Truck Price List and Data Book Effective. Julio de 1996.

- **Diámetro total:** La distancia medida desde un extremo de la banda rodante hasta el opuesto, estando el neumático sin carga.

- **Ancho total:** Medida de la sección transversal del neumático estando éste sin carga. Esta medida incluye los costados de la llanta.
- **Ancho de sección:** Medida de la sección transversal excluyendo rebordes del neumático.
- **Ancho de la sección de rodadura:** Distancia que existe entre los extremos de la banda rodante estando el neumático sin carga.
- **Profundidad de la sección de rodadura:** La mayor profundidad de la ranura existente entre la banda de rodamiento y su base.
- **Altura de sección:** Distancia entre el asiento de ceja hasta la banda de rodamiento, estando el neumático sin carga.
- **Ancho de rin:** Distancia transversal entre los costados del asiento de la ceja del rin.
- **Diámetro nominal de rin:** Diámetro del rin medido desde el asiento de ceja hasta el extremo opuesto del mismo.

1.1.4 Propiedades

1.1.4.1 Propiedades mecánicas

A continuación se presenta una tabla en donde se observan algunas propiedades mecánicas de neumáticos, las cuales se obtuvieron mediante un ensayo directo de esfuerzo cortante usando como probetas pedazos cortados de neumáticos usados.

En la tabla se listan resultados de otros investigadores para poder realizar comparaciones. En esta tesis se usará el valor del esfuerzo cortante de 83 [Kpa], que es el estudio reciente.

<i>Autor</i>	<i>Tamaño máximo [mm]</i>	<i>Esfuerzo Normal [Kpa]</i>	<i>Criterio de falla por estrés</i>
Humphrey (1993)	51	17-68	Pico o 10% de desplazamiento
	76	17-63	
	38	17-62	
Foose (1996)	50, 100, 150	1-76	Pico o 9% de desplazamiento
Gebhardt (1997)	1400	5,5-28	10% de desplazamiento
Yang, S., Lohnes (2002)	10	0-83	10% de desplazamiento

Tabla 1.5 Resistencia al corte de trozos de neumático

Referencia: Yang, S., Lohnes, R. A., and Kjartanson, B. H., "Mechanical Properties of Shredded Tires," Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 25, No.1, March 2002, pp. 44-52.

1.4.2 Propiedades térmicas

Los neumáticos tienen excelentes propiedades de combustión debido a su alto contenido de carbono. Su valor calorífico neto oscila entre 32 y 34 [GJ/Ton].

La tabla a continuación contiene información sobre el contenido energético y las emisiones de CO₂ de distintos combustibles.

<i>Combustible</i>	<i>Energía</i>	<i>Emisiones</i>	
	<i>GJ/Ton</i>	<i>KgCO2/Ton</i>	<i>KgCO2/GJ</i>
Neumáticos	32	2.720	85
Carbono	27	2.430	90
Coque de petróleo	32,4	3.240	100
Aceite diesel	46	3.220	70
Gas natural	39	1.989	51
Madera	10,2	1.122	110

Tabla 1.6 Contenido energético y emisiones de CO₂ de combustibles

Fuente: Consejo empresarial mundial de desarrollo sostenible, 2005 – CO₂ Emission Factors of Fuels.

1.2 Construcción de un neumático

Preparación de la mezcla

Para la preparación de la mezcla se utilizan dos mezcladores, el primario y secundario.

El principio de funcionamiento de estos mezcladores es la plastificación que consiste en un proceso mediante el cual el caucho cambia su estado físico de una presentación sólida a una presentación pastosa plástica mediante el incremento de temperatura, esto posibilita la adición de los diferentes componentes tanto sólidos como líquidos.

Mezclados todos los componentes se obtiene un material con características de dureza, elasticidad y homogeneidad requeridas.

Finalmente se obtienen láminas de caucho que serán utilizadas en otros procesos.

1.2.1 Confección

1.2.1.1 Calandrado

Se somete al caucho proveniente de las mezcladoras a la máquina denominada calandria.

En esta máquina, se mezcla el caucho con el nylon obteniendo un producto laminado para luego enrollarlo con tela y así evitar que este se pegue.

En este proceso se obtienen principalmente las lonas del cuerpo.

1.2.1.2 Extrusión

En este proceso el caucho proveniente de la calandria, ingresa a una extrusora en donde se lo calienta y se lo obliga a pasar través de un molde para obtener tiras de caucho con secciones transversales deseadas.

En este proceso principalmente se obtienen: La banda de rodamiento, la capa radial y los costados del neumático.

La diferencia entre la fabricación de una banda de rodamiento diagonal y radial, está en que a las llantas

radiales al final del proceso se les introduce alambre de acero en su sección transversal como se puede ver en las figuras a continuación.

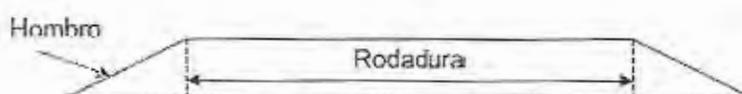


Fig. 1.5 Sección de la banda de rodadura para llantas diagonales



Fig. 1.6 Sección transversal de la banda de rodadura para llantas radiales

Fuente: <http://hdl.handle.net/123456789/1181>

1.2.1.3 Conformado del talón

Al caucho proveniente del mezclador secundario, se lo calienta para mezclarlo con alambre de acero en láminas delgadas las que se enrollan en círculos concéntricos. El número de vueltas de estos círculos depende del neumático a fabricarse.

1.2.1.4 Elaboración de cinturones estabilizadores

En este proceso se le aplica goma a una serie de alambres de acero que darán como resultado los cinturones estabilizadores.

1.2.2 Conformación

1.2.2.1 Carcasa

Una vez que se ha obtenido la capa radial, laterales, telas del cuerpo y pestaña, se emplea una máquina llamada "expandir" la que mediante presión y temperatura une los elementos antes citados. Obteniendo la carcasa o cuerpo del neumático; este proceso es independiente para las radiales y diagonales.

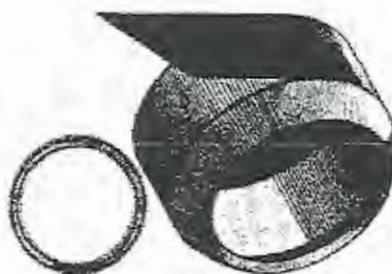


Fig. 1.7 Montaje de capa radial, laterales, telas y pestañas de un neumático

Fuente: <http://hdl.handle.net/123456789/1181>

1.2.2.2 Neumático verde

Una vez obtenida la carcasa, se procede a unir esta con los cinturones estabilizadores y la banda de rodamiento, para así obtener lo que se conoce como neumático verde.



Fig. 1.8 Neumático verde

Fuente: Guillermo Castro; Materiales y compuestos para la industria del neumático; 2008.

1.2.3 Cocción

Al neumático verde se lo introduce en una presa especial, en donde se lo inflará y se le aplicará presión dentro de moldes especiales que tienen la forma del neumático. Estos contienen las marcas que llevará el neumático tales como: las especificaciones de tamaño y los diseños de la banda de rodamiento. Esto se realiza a una temperatura de 120°C por un tiempo de 15 minutos.



Fig. 1.3 Prensa para Vulcanización de neumáticos

Fuente: Guillermo Castro; Materiales y compuestos para la industria del neumático; 2008.

1.3 Caucho

Los elastómeros o cauchos son materiales poliméricos cuyas dimensiones pueden cambiar grandemente cuando se les aplica una tensión; y estos vuelven a sus dimensiones originales cuando esta se elimina.

1.3.1 Caucho Natural

El caucho natural es un hidrocarburo de gran importancia que se extrae a partir del árbol *Hevea Brasiliensis*. De este árbol lo que se obtiene es un fluido lechoso y turbio el cual contiene el caucho en suspensión. Cuando se calienta el látex o se le añade ácido acético, los hidrocarburos en suspensión, con pequeñas cantidades de otras sustancias se coagulan y pueden extraerse del líquido. El producto

obtenido es el caucho bruto, viscoso y pegajoso, blando en caliente y duro y quebradizo en frío. Al estirarlo, no vuelve a adquirir su forma primitiva. Después de un proceso de secado y de ahumado se utiliza en diferentes productos.

Hoy en día alcanza el 30 % del mercado de los cauchos, el resto lo ocupan los cauchos sintéticos, todos basados en hidrocarburos.

1.3.2 Caucho Sintético

Caucho de estireno butadieno (SBR), es el caucho sintético más importante y ampliamente usado, es un copolimero de estireno y butadieno. La presencia de estireno en el copolimero produce un caucho más duro y fuerte.

El caucho SBR es de menor costo que el caucho natural y por ello es utilizado en muchas aplicaciones. El SBR tiene mayor resistencia al desgaste pero mayor generación de calor. Una desventaja del SBR y del caucho natural es que absorben disolventes orgánicos como la gasolina y el aceite.

1.3.3 Vulcanización

Es un proceso químico por el cual las moléculas del polímero se unen mediante entrecruzamiento formando moléculas mayores y queda restringido el movimiento molecular.

En 1839 Charles Goodyear descubrió un proceso de vulcanización para el caucho utilizando azufre y carbonato de plomo, él encontró que cuando una mezcla de caucho natural, azufre y carbonato de plomo se calentaban, el caucho cambiaba de un material termoplástico a uno elastómero.

El entrecruzamiento de los átomos de azufre da rigidez a las moléculas de caucho, y la vulcanización aumenta la resistencia a la tensión del caucho natural.

El caucho y el azufre reaccionan muy lentamente incluso a elevadas temperaturas, de forma que para acortar el tiempo de curado se añaden aceleradores químicos además de otros aditivos como rellenos, plastificantes y antioxidantes.

1.3.4 Propiedades

Elastómero	Resistencia a la tensión $\times 1.000$ psi†	Elongación %	Densidad g/cm ³
Caucho natural* (cis-polisopreno)	2,5-3,5	750-850	0,93
SBR o Buna S* (butadieno-estireno)	0,2-3,5	400-600	0,94
Nitrilo o Buna N* (butadieno-acrilonitrilo)	0,5-0,9	450-700	1,0
Neopreno* (policloropreno)	3,0-4,0	800-900	1,25
Silicona (polisiloxano)	0,6-1,3	100-500	1,1-1,6

* Propiedades del caucho puro vulcanizado.
† 1.000 psi = 6,89 MPa.

Tabla 1.7 Propiedades de los elastómeros

Fuente: Smith William; *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*, Cap. 9, pág. 382.

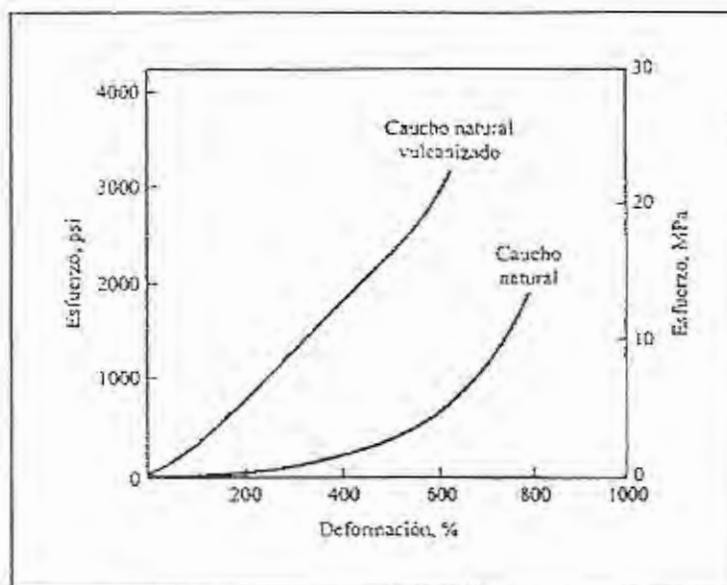


Fig. 1.10 Diagrama de tensión deformación para caucho natural

Fuente: Smith William; *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*, Cap. 9, pág. 382.

CAPÍTULO 2

2 RECICLAJE DE NEUMÁTICOS

2.1 Marco legal

A nivel nacional no existe una ley específica que regule el manejo y disposición de los neumáticos como desechos.

En la ciudad de Guayaquil, La Muy Ilustre Municipalidad, publicó la Gaceta Oficial No. 3 el día 6 de enero del 2011, en la cual en el artículo 13 se prohíbe el desecho de neumáticos de vehículos o maquinarias en la vía pública para su posterior recolección, excepto que estas hayan sido trozadas en fracciones de 5x5 cm. como máximo.

Es por esta razón que actualmente en Guayaquil los principales importadores y generadores de neumáticos usados están

buscando formas de reducir de tamaño los neumáticos, para que estos puedan ser recolectados por la empresa municipal de aseo de Guayaquil "Puerto Limpio".

Es importante hacer referencia que en otros países como los conformados por la Unión Europea y más específicamente en España, ya se ha trabajado e implementado este tipo de leyes, las cuales brevemente voy a mencionar:

En 1999, la Unión Europea adoptó la Directiva 1999/31/CE, relativa al vertido de residuos. Esta Directiva se transpuso al derecho interno español a través del Real Decreto 1481/2001. Este Decreto establece el régimen jurídico aplicable a las actividades de eliminación de residuos mediante su depósito en vertederos. Asimismo establece que no se admitirán en ningún vertedero los neumáticos usados enteros a partir del 16 de julio de 2003, y neumáticos usados troceados a partir del 16 de julio de 2006.

En el 2005 se aprueba el Real Decreto 1619/2005, sobre la gestión de neumáticos fuera de uso. Este Decreto constituye la culminación de un proceso tendente a optimizar la gestión de los NFU y atribuye la responsabilidad básica de dicha gestión a los

responsables de la puesta en el mercado de los neumáticos nuevos, ya sean fabricantes, importadores o adquirientes en otro Estado de la UE.

Actualmente en el país, la Corporación de Inversiones del Azuay, INVEC, mantiene conversaciones con tres empresas, dos europeas y una ecuatoriana, interesadas en instalar en el país una planta para el reciclaje de neumáticos.

Paralelamente, el INVEC está gestionando con las autoridades nacionales y locales la redacción de normativas que impulsen el reciclaje de llantas.

En el Ecuador se desecha anualmente alrededor de 2,4 millones de neumáticos, lo que equivale a 55.000 toneladas. Un porcentaje de ellos son reutilizados para el reencauchado, principalmente en camiones, pero la gran mayoría es incinerada o depositada en basureros al aire libre, suponiendo una amenaza contra el medio ambiente.

2.1.1 Propuestas planteadas

Ante este problema, INVEC ha visitado tres empresas en España, Alemania y en Ecuador, interesadas en instalar una planta de reciclaje que absorba la cantidad

de llantas usadas, transformándolas en combustible para cementeras o como material componente en la construcción de carreteras, canchas deportivas, parques infantiles, planchas aislantes o suelas de calzado, entre otros.

El principal requerimiento de las empresas para instalar la planta, que supondrá una inversión superior a los tres millones de dólares, es la existencia de leyes y normativas que regulen el reciclaje a escala nacional.

2.1.2 Normativa a nivel nacional

En este sentido INVEC está gestionando con empresas, abogados e instituciones el desarrollo del "Proyecto de Ley de gestión de neumáticos fuera de uso en la República del Ecuador".

Este borrador pretende convertirse en el marco jurídico nacional para que productores, importadores, distribuidores, comercializadores y otros integrantes del sistema de producción y venta de neumáticos adopten los mecanismos para facilitar su reciclaje.

Esta propuesta está encaminada también a ser un complemento del proyecto gubernamental REUSALLANTA, que tiene el objetivo de reencauchar los neumáticos usados y así evitar que se desechen innecesariamente miles de neumáticos.

Debido a que los neumáticos se pueden reencauchar una cantidad limitada de veces, que aproximadamente es de dos a tres veces, persiste la necesidad de reciclar los neumáticos.

Además, INVEC ha presentado en el Municipio de Cuenca un borrador de ordenanza en esta materia, a la vez que con el Gobierno Provincial está desarrollando una ordenanza cuya aprobación se prevé este lista en el 2012. Con ambos reglamentos se pretende que las instituciones públicas favorezcan e impulsen el reciclaje de neumáticos.

El presidente ejecutivo de INVEC, asegura que, además del beneficio medioambiental, el proceso de reciclaje de neumáticos es una oportunidad para generar nuevos negocios y con ello, nuevos puestos de trabajo.

2.2 Los neumáticos como residuos

Uno de los residuos que más caracterizan a las sociedades modernas, tan dependientes del automóvil, son los neumáticos fuera de uso. Aunque se trata de un residuo no peligroso, presenta una alta capacidad calorífica que dificulta su extinción en caso de incendios y no es degradable.

Estas y otras características, constituyen factores que aconsejan la adopción de ciertas medidas y de ser posibles normas que los regule teniendo en cuenta esas particularidades propias.

Es cierto que en principio los neumáticos usados no generan ningún peligro inmediato, pero su eliminación de manera inapropiada o su producción en grandes cantidades, puede contaminar gravemente el medioambiente u ocasionar problemas a la hora de eliminarlos.

No en vano, los neumáticos han sido diseñados para resistir condiciones mecánicas y meteorológicas duras, son resistentes al ozono, la luz y las bacterias, lo que les hace prácticamente indestructibles por el paso del tiempo. Su almacenamiento en el vertedero no permite recuperar ni energía ni materia.

Los neumáticos enteros son flexibles y por su forma y tamaño limitan la rehabilitación del vertedero al ser difícilmente compactables, además son refugio ideal de insectos y roedores, y acumulan gases y lixiviados, frecuentes en los basureros.

2.2.1 Relleno Sanitario

El Relleno Sanitario es una técnica de eliminación final de los desechos sólidos en el suelo, que no causa molestia ni peligro para la salud y seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de terminado el mismo. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más pequeña posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen.

Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos en el Relleno, por efecto de la descomposición de la materia orgánica.

2.2.1.1 Partes de un relleno sanitario

De acuerdo a la construcción de un relleno sanitario las partes principales de las que consta son:

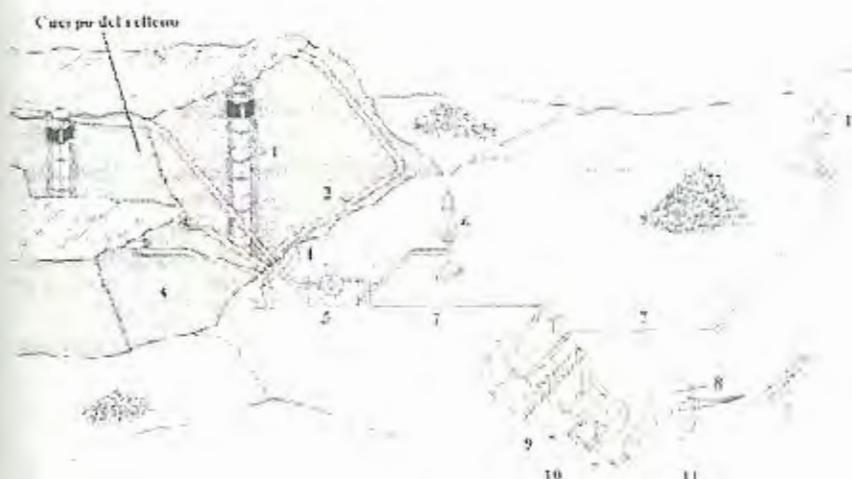


Fig. 2.1 Partes principales del relleno sanitario

Fuente: <http://www.municipioloja.com/direccionigiene/proyectos>

Partes que componen un relleno sanitario:

- 1) **Pozos de desfogue**, Son los pozos con las chimeneas verticales que se colocan en el cuerpo de la basura.
- 2) **Colector de gas**, El gas aspirado en diferentes chimeneas se conduce a ellas y se junta.

3) **Talud del relleno o celda**, Es importante para evitar hundimientos y lograr mayor estabilidad. Este talud, está compuesto de una capa de los residuos sólidos (basura) y una capa de arcilla. Dentro del talud o celda constan las siguientes partes:

- Suelo natural
- Capa impermeabilizante compactada, que consta de una capa de arcilla y una capa de piedra.

4) **Punto de recepción**, las aguas condensadas se separan del flujo de gas mediante un sifón ó equipo refrigerador y con una bomba se llevan a la planta de tratamiento de las aguas lixiviadas.

5) **Soplador (compresor)**, El soplador produce depresión para succionar los gases del cuerpo del relleno y sobrepresión para mandar los gases al incinerador ó a la planta de tratamiento de biogás ó al sistema consumidor de gas pobre.

6) **Incinerador (Antorcha)**, Unidad compuesta de la antorcha, donde se quema el biogás que no se consume en ningún proceso bajo control.

atraviesan las capas de basura, aumentan su volumen en una proporción mucho mayor que la que produce la misma humedad de los desechos; de ahí la importancia de interceptar y desviar las aguas de escorrentía y pequeños hilos de agua antes del inicio de la operación, puesto que si el volumen de este líquido aumenta demasiado, puede causar no sólo problemas en la operación del relleno, sino también contaminar las corrientes de agua, nacimientos y pozos vecinos.

2.2.1.3 Gases

Un relleno sanitario no es otra cosa que un digestor anaeróbico en el que, debido a la descomposición natural o putrefacción de los desechos sólidos, no sólo se producen líquidos, sino también gases y otros compuestos.

La descomposición natural o putrefacción de la materia orgánica por acción de los microorganismos presentes en el medio, ocurre en dos etapas: aerobia y anaerobia.

La aerobia es la etapa en la que el oxígeno está presente en el aire contenido en los intersticios de la masa de residuos enterrados, siendo rápidamente consumido.

La anaerobia, en cambio, es la que predomina en el relleno sanitario y produce cantidades apreciables de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), así como trazas de gases de olor repugnante como ácido sulfhídrico (H_2S), amoníaco (NH_3) y mercaptanos.

El gas metano reviste el mayor interés porque, a pesar de ser inodoro, es inflamable y explosivo si se concentra en el aire en una proporción de 5 a 15% en volumen; los gases tienden a acumularse en los espacios vacíos dentro del relleno; aprovechan cualquier fisura del terreno o permeabilidad de la cubierta para salir, pudiendo originar altas concentraciones de metano con el consiguiente peligro de explosión en las áreas vecinas. Este control se puede lograr, construyendo un sistema de drenaje vertical en piedra, colocado en diferentes puntos del relleno sanitario, para que éstos sean evacuados a la atmósfera.

Como el gas metano es combustible, se puede quemar simplemente encendiendo fuego en la salida del drenaje, una vez concluido el relleno sanitario.

Es de anotar que la recuperación y aprovechamiento del gas metano con propósitos comerciales, sólo se

recomienda para rellenos sanitarios que reciban más de 200 ton/día y siempre que las condiciones locales así lo ameriten.

2.2.1.4 Relleno Sanitario Las Iguanas

Pertenece a la Muy Ilustre municipalidad de Guayaquil y está administrado por ILM (Iguanas Landfill Managment) bajo concesión para la disposición final de los desechos sólidos.

La ciudad de Guayaquil, con una población de aproximadamente tres millones de habitantes, y una tasa de crecimiento del 2% anual, produce alrededor de 3000 toneladas diarias de desechos, que desde 1994, son dispuestos en el Relleno Sanitario Las Iguanas.

El Relleno Sanitario se encuentra en el extremo Noroeste de la ciudad de Guayaquil, a 14,5 Km. del centro de la ciudad, próximo a la población llamada "Pascuales" en el sector "Las Iguanas"; sus coordenadas geográficas son: Latitud 9.770.155.856 y longitud 615.937.585 y tiene una extensión aproximada de 200 hectáreas.



Fig. 2.2 Relleno Sanitario "Las Iguanas", vista aérea de la infraestructura

Fuente: <http://www.consortio-ilm.com/obras.html>

De acuerdo a las características topográficas, se escogió el método de baranco o vaguada (según definición de Tchobanoglous).

La recolección trabaja 24 horas, no cuenta con sistemas de estaciones de transferencia y tiene recolectores con capacidad de cargar desechos desde 7 hasta 20 toneladas.

En el relleno sanitario se está depositando un aproximado de 850000 toneladas de desechos sólidos anuales y se espera que para el 2021, fecha en la que se estima el serrado del relleno se tengan un aproximado de 23 millones de toneladas de desechos sólidos en el lugar.

2.2.1.4.1 Infraestructura

Se cuenta con un sistema de balanzas eléctricas y mecánicas y demás vehículos que ingresen con capacidad de hasta 35 toneladas.

También se cuenta con una infraestructura vial, con su respectiva iluminación hasta el área de oficinas, ubicadas en la parte alta del proyecto.

Se construyó una red de canales de drenaje de lixiviados sobre el terreno natural donde posteriormente se dispusieron los desechos.

Estos canales de forma triangular están cubiertos por una geomembrana de 1mm de espesor y tienen una área de drenaje de 0.63 m², los que se llenan de piedras de mediano tamaño (5 – 10 cm) que sirven para el escurrimiento de los lixiviados los mismos que se depositan en un tanque de almacenamiento.

2.2.1.4.2 Operación del relleno

Una vez preparada la zona, se procede a la colocación de residuos, disponiéndolas en celdas cuyas zonas de

descarga tienen un frente de 20 m. y de altura 4.4 m.; la pendiente con la que normalmente se trabaja los desechos es 1 vertical, 6 horizontal. Con esta pendiente y los residuos característicos de Guayaquil en época seca se puede compactar las celdas en capas de 80 cm. con rodillos de 45 Ton.; obteniéndose densidades mayores de 1 Ton. por m³.

En el cuadro detallado a continuación se describe la composición de los desechos que ingresan al Relleno Sanitario.

<i>Tipo de Basura</i>	<i>Porcentaje</i>
Residuos de comida	58
Papel	11
Plástico	9
Cartón	5
Vidrio	4
Textil	3
Madera	3
Poda de jardín	2
Metales	2
Cuero-Caucho	1
Otros	2
TOTAL	100%

Tabla 2.1 Composición de los desechos

Fuente: Consorcio I.L.M; Relleno Sanitario "Las Iguanas"

2.2.1.4.3 Manejo de Gases

Los gases en el vertedero se los controla mediante chimeneas verticales de 1m. de diámetro y llenadas con piedras de tamaño mediano (15 cm.) las que están colocadas cada 50 m. y circundadas por mallas de gavión, conectadas desde el terreno natural hasta la última capa. Cuando los gases que se emanan llegan a una nivel bajo de explosividad mayor de 5%, se implantan quemadores.

2.2.1.4.4 Manejo de Lixiviados

Considerando que en la ciudad la composición de los desechos es básicamente orgánica y existe una alta humedad y temperatura, en consecuencia la generación de los lixiviados es inmediata y abundante; por estas circunstancias la cobertura de las celdas debe ser diaria, por lo cual se requieren espesores de 60 cm. en la superficie de cada nivel y 20 cm. en los taludes, este espesor de cobertura (arcilla) garantiza la no emisión de malos olores.

Se mantienen pendientes del 2% para que los lixiviados escurran hasta el colector, además se optaron por drenar

horizontalmente cada nivel (cada 5 m.), consiguiendo un drenaje controlado de los distintos niveles.

En razón de que la evapotranspiración potencial anual promedio de la ciudad es de 1.600 milímetros, el método seleccionado para la eliminación de los lixiviados es por evaporación; sin embargo en las épocas de lluvias la eliminación por este método es muy difícil y se requiere el uso de piscinas impermeabilizadas con geomembrana para el almacenaje.

Para evitar el escurrimiento de las aguas lluvias sobre toda la cuenca del Relievo Sanitario, se construyeron canales perimetrales sobre el terreno natural para desviar las aguas.

2.2.1.4.5 Realidad actual del relleno sanitario

Actualmente la empresa Municipal de aseo de Guayaquil "Puerto Limpio", no posee un sistema de tratamiento ya sea de reciclaje o reducción del volumen de los neumáticos, por lo que surge la necesidad de analizar posibles soluciones a este problema.

Al realizar una visita al relleno sanitario las iguanas pude conocer que por órdenes internas se ha dispuesto que los neumáticos sean separados del relleno y recolectados para darles un tratamiento a futuro.

Esta medida fue implementada recientemente en el tercer trimestre del año en curso 2012. Antes de esta disposición, los neumáticos enteros, eran enterrados en el relleno.



Fig. 2.3 Acopio de neumáticos en Relleno Sanitario "Las Iguanas"

Es importante mencionar que a pesar de que se estableció esta medida interna de separación y acopio de neumáticos, no se la realiza en un 100%, ya que de todas formas se siguen enterrando neumáticos enteros, que en

el momento de la descarga del camión al relleno, son de difícil acceso para su separación o simplemente se pasan por alto (Fig. 2.4 y 2.5).



Fig. 2.4 Vertido de desechos en el Relleno Sanitario Las Iguanas



Fig. 2.5 Relleno Sanitario con presencia de neumáticos

2.2.2 Problemática en el Ecuador

Los neumáticos como ya se menciona en el capítulo uno, se los puede dividir en dos grandes grupos; los neumáticos para pasajeros (P) y los neumáticos para transporte pesado (LT).

Según estadísticas de INVEC, en el Ecuador se desecha anualmente alrededor de 2.4 millones de neumáticos entre neumáticos para pasajeros y de transporte pesado, lo que equivale a 55.000 toneladas.

Un porcentaje de ellos son reutilizados para el reencauchado, principalmente en camiones, pero la gran mayoría es incinerada o depositada en basureros al aire libre, suponiendo una amenaza contra el medio ambiente.

Según estadísticas realizadas por la Subsecretaría de comercio e inversiones (MIPRO), el Ecuador importa cerca de 450.000 neumáticos anuales para transporte pesado, pero tan solo 150.000 neumáticos que representan el 33% se reencauchan, lo que da como resultado que 300.000 neumáticos de transporte pesado van a parar en los basureros además de los neumáticos del tipo "pasajeros" que por lo general no se reencauchan.

Como se puede observar, la generación de neumáticos usados anualmente en el Ecuador es inmensa y solo un pequeño porcentaje de estos son posibles de reencauchar.

Es cierto que el porcentaje de reencauche actual en el Ecuador es bajo en comparación con otros países y es algo que habría que potencializar. Además es importante mencionar que el reencauchado solo puede ser realizado de dos a tres veces, por lo que siempre el neumático terminará como residuo y hay que tomar medidas para poder controlar esto.

En el Ecuador para eliminar estos residuos se usa con frecuencia la quema directa que provoca graves problemas medioambientales, ya que produce emisiones de gases que contienen partículas nocivas para el entorno, aunque no es menos problemático el almacenamiento, ya que provocan problemas de estabilidad por la degradación química parcial que éstos sufren y producen problemas de seguridad en el vertedero.

Las montañas de neumáticos en los vertederos forman arrecifes donde la proliferación de roedores, insectos y otros animales dañinos constituye un problema añadido. La reproducción de ciertos mosquitos, que transmiten por picadura ciertas

enfermedades, llega a ser 4.000 veces mayor en el agua estancada de un neumático que en la naturaleza.

Las posibilidades de reciclaje de los neumáticos fuera de uso "NFU", es decir el aprovechamiento de sus materiales para otros usos distintos de la valorización energética, han experimentado en los últimos tiempos un importante aumento.

2.2.3 Estadística mundial

Debido a los millones de automóviles que circulan por las autopistas alrededor del mundo, se genera millones de toneladas métricas de neumáticos usados. Ecuador desecha anualmente alrededor de 2,4 millones de neumáticos, lo que equivale a 55.000 toneladas.

A continuación se expondrán datos de neumáticos usados en algunos países de la unión europea y EEUU.

<i>País</i>	<i>1994</i>	<i>1997</i>	<i>1998</i>	<i>1999</i>	<i>2002</i>
Alemania	600	650	650	598	650
Austria	-	40	41	52	41
Belgica	71	65	70	66	70
Dinamarca	26	38	39	35	39
España	139	115	330	255	330
Finlandia	-	30	30	33	30
Francia	326	480	380	380	380
Grecia	27	58	58	65	58
Holanda	65	65	65	100	65
Irlanda	19	8	8	20	8
Luxemburgo	4	2	2	3	2
Portugal	30	19	45	60	52
Reino Unido	292	400	380	385	435
Suecia	-	65	65	58	65
Total	-	2.394,56	2.522,14	2.480	2.584,14
EEUU	850	850	900	900	950

Tabla 2.2 Datos estadísticos de neumáticos desechados en KTon/año

Fuente: DG XI, Unión Europea. ETRA, European Tyre Recycling Association. DPA, Desarrollo Protección Ambiental, Sociedad Limitada.

Como se puede observar las estadísticas de los desechos son alarmantes, obligando a la mayoría de éstos países a desarrollar planes de manejo y distribución de neumáticos usados.

También existen estadísticas que indican el destino de los neumáticos desechados en la unión europea, estos los presento a continuación.

<i>Destino</i>	<i>1992</i>	<i>1994</i>	<i>1996</i>	<i>1998</i>	<i>KTon</i>	<i>%</i>
Exportación como neumático de segunda	6	8	8	11	277,49	11
Reencauchado	13	12	11	11	277,49	11
Reciclaje	5	6	11	18	454,08	18
valorización energética	14	18	20	20	504,53	20
Vertido	62	56	50	40	1.009,06	40
Total	100	100	100	100	2.522,64	100

Tabla 2.3 Destinación de los neumáticos usados en la Unión Europea

Fuente: NEDES (Asociación para el Aprovechamiento de los Neumáticos Desechables)

Presento a continuación los usos al reciclar los neumáticos desechados en la unión europea.

<i>Destino</i>	<i>1999 Cantidad [Ton]</i>	<i>Porcentaje sobre el total reciclado</i>
Superficies deportivas y pavimentos de seguridad	181,301	39
Productos de consumo	97,624	21
Construcción	88,326	19
Asfaltos cauchutados	32,541	7
Vías de tren / tranvía	23,244	5
Otros usos	41,839	9
Total	464,875	100

Tabla 2.4 Utilización que se da a los neumáticos reciclados (Unión Europea)

Fuente: ETRA (European Tyre Recycling Association)

2.3 Procesos de reutilización de los neumáticos usados

Existen varios tipos de tecnologías empleadas para la recuperación y/o reciclaje de los NFU. Según el uso que se le vaya a dar se empleará una o varias tecnologías. Se pueden distinguir las siguientes:

- **Tecnologías de Regeneración;** desvulcanización, recuperación del caucho (reclaiming).
- **Otras tecnologías;** Pirólisis-Termólisis
- **Incineración**
- **Tecnologías de reducción de tamaño;** Se distingue el realizado a temperatura ambiente, criogénica y húmeda.
- **Tratamientos Mecánicos;** proceso mecánico mediante el cual los neumáticos son comprimidos, cortados o fragmentados en piezas irregulares. Entre ellos se encuentran el troceado (*ripping*), trituración (*cutting*), entre otros. Este tipo de procesos pueden realizarse solos o por lo general son un complemento a las tecnologías de reducción de tamaño.

En la Figura 2.6 se clasifican algunas de las diferentes tecnologías de reciclaje según el nivel de tratamiento. Es interesante resaltar

que dependiendo de la aplicación que se le vaya a dar se empleará un nivel, varios o todos los niveles.

En la Tabla 2.5 se proporciona un sumario de los materiales obtenidos, tamaño en milímetros y tecnologías más empleadas. Donde el término *Todas las fuentes* incluye; neumáticos cortados de camión y coche, neumáticos enteros de camión y coche, cámara de aire del neumático, mezcla de neumáticos coche/camión y otros neumáticos.

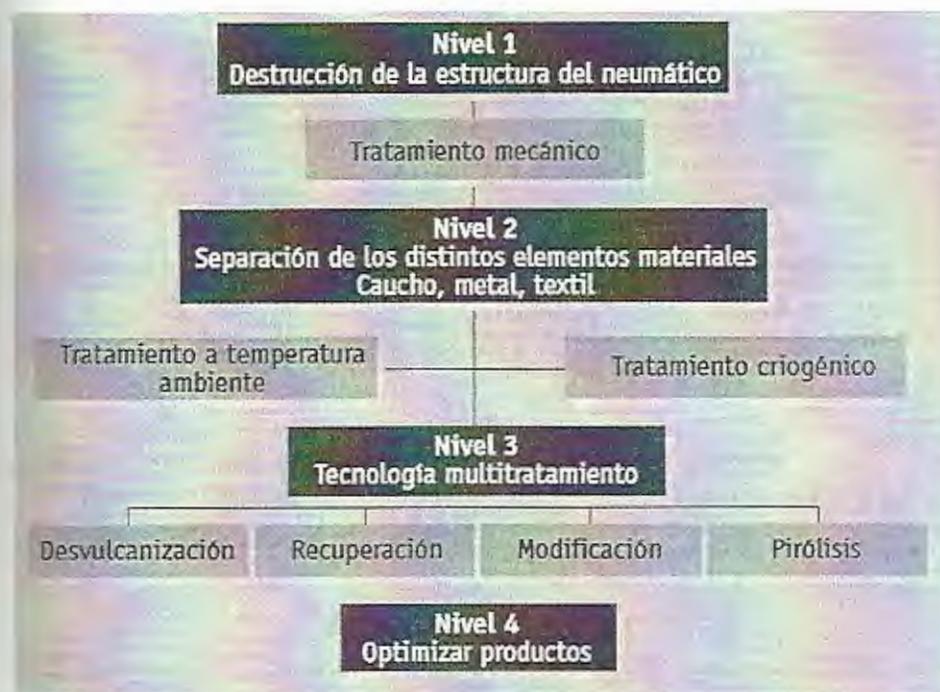


Fig. 2.6 Clasificación de las tecnologías de reciclaje según el nivel de tratamiento

Fuente: ETRA (European Tyre Recycling Association), 2003

Producto	Tamaño	Fuente	Tecnología
Neumático entera (W)		Neumáticos enteros coche- camión	Mecánica (M)
Neumáticos (X)	> 300 mm	Todas	Mecánica (M)
Neumáticos (sired) (S)	50-300 mm	Todas	Mecánica (M)/reducción a temperatura ambiente (A)
Neumáticos (chips) (C)	10-50 mm	Todas	Mecánica (M)/reducción a temperatura ambiente (A)
Granulado (G)	1-10 mm	Todas	Reducción a temperatura ambiente (A)/criogénico (C)
Polvo (P)	< 1 mm	Todas	Reducción a temperatura ambiente (A)/criogénico (C)
Polvo fino (F)	< 500 μ m	Todas	Reducción a temperatura ambiente (A)/criogénica (C)/ recuperación (R)/ desvulcanización (D)
Buffing (B)	0-40 mm	Neumáticos pisados camión-coche	Buffing (B)
Recuperado (reclaiming) (R)	Normalmente se suministra en bloques	Todas y granulado	Recuperación (R)
Desvulcanizado (D)	Depende del tamaño del polvo	Polvo de todas las fuentes	Reducción criogénica (C)/ temperatura ambiente (A)/ desvulcanización (D)
Neumático (Y)	< 10 mm	Todas	Pirólisis (P)/buffing (B)/ Reducción criogénica (C)
Neumáticos de Carbón (Z)	< 500 μ m	Piroclítico	Otras tecnologías (D)

Tabla 2.5 Productos obtenidos según las diferentes tecnologías de reciclado

Fuente: Encarnación Cano Serrano, Lidia Cerezo García, Marina Urbina Fraile; Valorización material y energética de neumáticos fuera de uso; 2007

2.3.1 Regeneración

Dentro de este grupo se tiene dos clasificaciones principales:

- Desvulcanización
- Recuperación

2.3.1.2 Desvulcanización

Los procesos de desvulcanización se pueden clasificar en dos grandes grupos;

Procesos físicos; la desvulcanización se produce con la ayuda de una fuente de energía externa. Se encuentran los procesos:

- Mecánicos
- Termo-mecánicos
- Crio-mecánicos
- Microondas
- Ultrasónicos.

Procesos químicos; son los más empleados por las industrias. Los agentes químicos empleados son generalmente disulfuros o mercaptanos orgánicos empleados durante un trabajo mecánico a elevada

temperatura, también encontramos agentes inorgánicos y otro tipo de procesos como puede ser la catálisis por transferencia de fase (PTC).

Según esta clasificación se desarrollan a continuación algunos de los procedimientos mencionados:

Desvulcanización química; Se emplean agentes químicos que rompen los enlaces para eliminar el azufre del enlace químico entrecruzado. La reacción tiene lugar con el azufre para evitar la formación de enlaces S-S. Un reciente estudio realizado por M. Kojima et al. emplea CO₂ supercrítico (en presencia de disulfuro de difenilo como reactivo de la desvulcanización) para la desvulcanización del caucho natural vulcanizado con varios contenidos de negro de carbono.

Desvulcanización térmica; Calentamiento del polvo de caucho a una elevada temperatura sin la presencia de agentes químicos. Empleado en los primeros métodos de recuperación y solamente es viable con el caucho natural. También se incluye la desvulcanización por microondas (es en esencia un proceso térmico) donde el movimiento de las moléculas provocado por la energía de microondas eleva la

temperatura del polvo provocando la rotura del enlace químico entrecruzado. Un ajuste fino de esta energía de microondas puede conseguir romper los enlaces S-S y C-S pero no C-C.

Desvulcanización mecánica; Existe un proceso patentado descrito por Nashville que emplea aleaciones Fe-Co para reducir mediante catálisis la densidad de entrecruzamientos de cloropreno y EPDM (caucho etileno-propileno), con un porcentaje de desvulcanización del 43%. Pero los componentes obtenidos presentan peores propiedades que el componente original.

Desvulcanización químico-mecánica; Se aplica sobre el polvo de caucho una fuerza a cortadura mecánica (molienda) formando radicales libres que pueden producir radicales en la cadena principal, se añaden agentes químicos (dioles, disulfuro) que reaccionan con estos radicales evitando su recombinación y, al mismo tiempo, los entrecruzamientos se abren y la viscosidad se reduce.

Desvulcanización termo-mecánica; Se emplean extrusoras que calientan el polvo. Un estudio emplea una extrusora durante un periodo corto de tiempo produciendo

una masa viscosa que es mezclada con el compuesto virgen. Se ha obtenido un aumento de la fracción sólida y una disminución sustancial del número medio de entrecruzamientos.

Desvulcanización termo-química; Es un proceso básicamente de recuperación pero no emplea bases o ácidos normalizados. Se lleva a cabo en una autoclave en seco o con vapor. Las temperaturas empleadas se encuentran en un rango de 150-190°C durante un tiempo dado, después del cual se extrae la masa ablandada y se lamina en un molino de rodillos.

Desvulcanización ultrasónica; Las partículas de caucho reducidas (de malla 10 a malla 30) se cargan en una tolva y luego se introducen en una extrusora. Ésta empuja y tira mecánicamente de las partículas de caucho. Mediante esta acción mecánica las partículas de caucho se calientan y el caucho se ablanda. A medida que el caucho ablandado es transportado por el interior de la extrusora, el caucho queda expuesto a energía ultrasónica. La combinación de calor, presión y masticación mecánica basta para lograr distintos grados de desvulcanización.

Este proceso continuo permite reciclar el caucho en ausencia de agentes químicos. En ciertas condiciones de presión y temperatura, las ondas ultrasónicas pueden romper el enlace químico entrecruzado del azufre en el caucho produciendo la desvulcanización, con alguna degradación de la cadena principal.

La consecuencia más deseable del proceso es que el caucho tratado por ultrasonidos se pueda reprocesar y revulcanizar de manera similar a los elastómeros no vulcanizados.

Sólo se dispone de información acerca de los efectos de la desvulcanización sobre el medio ambiente de los procesos químicos y ultrasónicos. En ambos casos hay emisión de contaminantes atmosféricos y efluentes líquidos.

Se pueden mencionar emisiones de aproximadamente 50 compuestos orgánicos, entre otros benceno, tolueno y heptanos. También es posible que se libere ácido sulfhídrico (H_2S) y dióxido de azufre (SO_2) como producto de la oxidación del ácido sulfhídrico (H_2S). Por consiguiente, para el proceso se necesitan filtros que

controlen las emisiones y lavadores de gas para remover el dióxido de azufre (SO₂).

En lo que se refiere a los efluentes líquidos provenientes del lavador de gas, debe tratárselos adecuadamente antes de verterlos en una masa de agua.

2.3.2.2 Recuperación

El interés en el proceso de recuperación del caucho data de mediados de 1.800 a raíz de la patente publicada por Charles Goodyear sobre la vulcanización del caucho con azufre.

El objetivo original de la recuperación del caucho vulcanizado es romper los entrecruzamientos, para permitir reutilizar los componentes de caucho. Esta ruptura de los enlaces se puede dar mediante rotura del entrecruzamiento químico tridimensional del azufre (desvulcanización) o mediante el fraccionamiento de las cadenas del polímero (despolimerización). El procedimiento es relativamente sencillo para el caucho natural, la dificultad radica cuando se aplica en cauchos sintéticos, particularmente SBR (caucho de estireno-butadieno).

La recuperación consiste en la conversión del entrecruzamiento tridimensional en un enlace 2D-dimensional, produciendo un material blando, plástico, de bajo módulo, procesable y vulcanizable, esencialmente de productos termoplásticos simulando muchas de las propiedades del caucho virgen.

2.3.2 Pirolisis y termólisis

Pirolisis y Termólisis

La pirolisis es un proceso de degradación térmica que se produce en ausencia de oxígeno o en condiciones en que la concentración de oxígeno es suficientemente baja como para no causar combustión.

Por lo general, ese proceso produce aceite de bajo contenido energético (en comparación con el aceite diésel), un gas sintético conocido como "syngas" (de propiedades caloríficas bajas), alquitrán de negro de humo y acero. El proceso es complejo y se cree que tiene aplicaciones limitadas para neumáticos de desecho.

El alquitrán de pirolisis producido mediante este proceso tiene escaso valor comercial pues es una mezcla de los

diferentes tipos de negro de humo utilizados en la fabricación de neumáticos. En consecuencia, el producto resultante no tiene la misma calidad que la de los negros de humo utilizados en la fabricación de neumáticos nuevos.

Otra posibilidad es utilizar el alquitrán de pirolisis como carbón activado. No obstante, se considera que las técnicas de mejoramiento no son económicamente viables en vista de la actual demanda limitada del producto en el mercado. Por todas estas razones, se prevé que la pirolisis sólo tendrá un uso limitado en la gestión de los neumáticos de desecho.

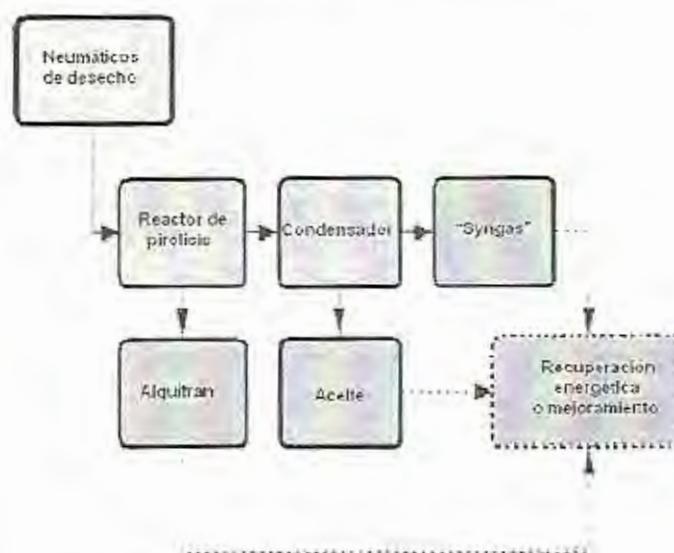


Fig. 2.7 Proceso de pirolisis del caucho de NFU

Fuente: Juniper consulting, WMW Technologies and Treatment, 2004

Los productos obtenidos después del proceso de pirolisis son principalmente: Gas similar al propano que se puede emplear

para uso industrial; Aceite industrial líquido que se puede refinar en Diesel; Coque; Acero.

2.3.3 Incineración

Proceso por el que se produce la combustión de los materiales orgánicos del neumático a altas temperaturas en hornos con materiales refractarios de alta calidad. Es un proceso costoso y además presenta el inconveniente de la diferente velocidad de combustión de los diferentes componentes y la necesidad de depuración de los residuos por lo que no resulta fácil de controlar y además es contaminante.

Genera calor que puede ser usado como energía, ya que se trata de un proceso exotérmico. Con este método, los productos contaminantes que se producen en la combustión son muy perjudiciales para la salud humana, entre ellos el Monóxido de carbono - Xileno Hollín - Óxidos de nitrógeno, Dióxido de carbono - Óxidos de zinc Benceno - Fenoles, Dióxido de azufre - Óxidos de plomo, Tolueno. Además el hollín contiene cantidades importantes de hidrocarburos aromáticos policíclicos, altamente cancerígenos. El zinc, en

concreto, es particularmente tóxico para la fauna acuática. También tiene el peligro de que muchos de estos compuestos sean solubles en el agua, por lo que pasan a la cadena trófica y de ahí a los seres humanos.

2.3.4 Reducción de tamaño y separación de componentes

Los tres mayores procesos empleados para producir polvo de caucho y separar la fibra y el acero de los neumáticos son: la molienda mecánica a temperatura ambiente, la molienda criogénica y la molienda húmeda.

Antes de la molienda a tamaños menores de 1 mesh (0.2 mm) el neumático se reduce a trozos relativamente grandes (< 300 mm, *cuts*) y después a tiras de tamaño entre 50-300 mm (*shred*).

2.3.4.1 Molienda a temperatura ambiente

El proceso se denomina "a temperatura ambiente" porque todos los pasos de reducción de tamaño se realizan a la temperatura del aire ambiente o cercana a ésta, es decir, no se aplica frío para que el caucho se vuelva quebradizo.

Los equipos de cada línea de reciclado varían de acuerdo a cada fabricante, pero de manera general los neumáticos son objeto de las siguientes operaciones:

- a) Como primer paso los neumáticos se procesan hasta obtener astillas de 2 pulgadas (50 mm) en una trituradora preliminar.
- b) Luego las astillas de neumático ingresan en un granulador, que reduce las astillas a un tamaño inferior a 3/8 de pulgada (10 mm).
- c) El acero se remueve por medios magnéticos y la fibra se elimina mediante una combinación de zarandas vibratorias y tamices de viento.
- d) Luego, mediante sucesivos molidos se llega al tamaño apropiado, generalmente de malla 10 a malla 30 (0,6 mm a 2 mm).

El molido a temperatura ambiente resulta seguro y económico si el caucho que desea obtenerse es relativamente grueso, es decir, de una malla no menor de 20 (0,8 mm) aproximadamente.

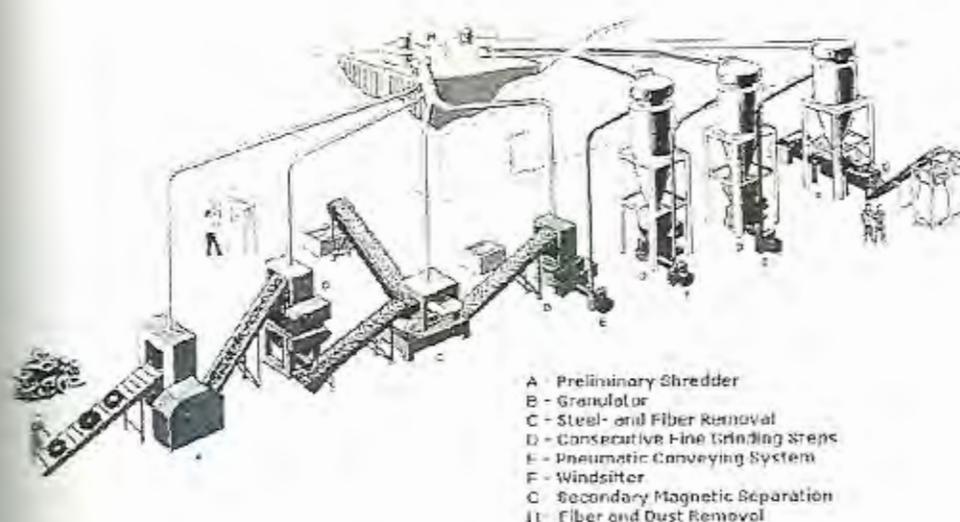


Fig. 2.8 Planta de reciclado de neumáticos a temperatura ambiente

Fuente: Kurt Reschner, Berlín, Germany

2.3.4.2 Molienda criogénica

Este proceso se denomina "criogénico" porque los neumáticos o las astillas de éstos se enfrían a una temperatura inferior a los -80°C utilizando nitrógeno líquido. Por debajo de esta temperatura el caucho se vuelve prácticamente tan quebradizo como el vidrio y la reducción de tamaño puede lograrse mediante aplastamiento y molido. Este tipo de reducción de tamaño facilita el molido y la liberación de acero y fibra, lo que se traduce en un producto final más limpio.

La principal desventaja en este caso es el costo, en otras palabras, debe considerarse el elevado costo del nitrógeno líquido además del costo del molido inicial. También se necesitan procedimientos operacionales de seguridad para prevenir accidentes laborales.

El proceso criogénico consta de los pasos siguientes:

- a) Como primer paso los neumáticos se procesan hasta obtener astillas de 2 pulgadas (50 mm) en una trituradora;
- b) Esas astillas de 2 pulgadas (50 mm) se llevan a una temperatura inferior a los -120° C en un túnel de enfriamiento de operación continua;
- c) Se quiebran las astillas en el molino de martillo, lo que produce partículas de tamaños muy variados;
- d) Se separa el acero y la fibra;
- e) Se seca el material;
- f) Se clasifica por tamaños determinados de partículas.



Fig. 2.9 Molido criogénico de neumáticos usados

Parámetro	A temperatura ambiente	Criogénico
Temperatura de funcionamiento	Ambiente, máx. 120° C	Menor de -80° C
Principio de reducción de tamaño	Cortado, desgano, rotura	Quiebre criogénico de las piezas de caucho quebradizas
Morfología de las partículas	Esponjosa y áspera, alta superficie específica	Pareja y lisa, baja superficie específica
Distribución del tamaño de las partículas	Distribución relativamente pequeña del tamaño de las partículas, sólo se produce una reducción limitada del tamaño en cada paso del molido	Distribución amplia del tamaño de las partículas (de 10 mm a 0,2 mm) en un solo paso del proceso
Consumo de nitrógeno líquido	No se aplica	0,5 a 1,0 kg de nitrógeno líquido por kg de neumático

Tabla 2.6 Comparación entre molido a temperatura ambiente y criogénico

Fuente: Kurt Reschner, Berlin, Germany, 2006

2.3.4.3 Molienda húmeda

No se ha escrito demasiado acerca de este tipo de molienda, aunque alguno de los procesos de reducción de tamaño a temperatura ambiente incluye extrusoras.

El procedimiento seguido normalmente consiste en una serie de ruedas de molienda con agua pulverizada inyectada continuamente para asegurar el enfriamiento del polvo. Después de este proceso se separa el agua del polvo y se seca.

14 Aplicaciones de los neumáticos fuera de uso

Actualmente en distintas partes del mundo se dan múltiples usos a los neumáticos usados, por ejemplo en Europa existen más de 500 productos en el mercado que usan NFU reciclados, según datos del ETRA 2005. La mayoría de ellos no se exportan o se comercializan en otros países, provocando que en un país exista una aplicación que se desconozca en los otros.

Están creciendo las aplicaciones del troceado y de neumáticos enteros y las especialidades (p.e. elastómeros termoplásticos), se detallarán los tres tipos de aplicaciones más importantes:

- Neumáticos enteros
- Neumáticos Triturados
- Aplicación en materiales bituminosos

2.4.1 Aplicación de neumáticos enteros

Arrecifes Artificiales, se espera que los neumáticos usados en la creación de arrecifes artificiales puedan perdurar más de 30 años porque los neumáticos sumergidos en agua marina se encuentran en un medio estable químicamente y protegidos de la radiación ultravioleta, lo que limita la cantidad de lixiviados contaminantes.

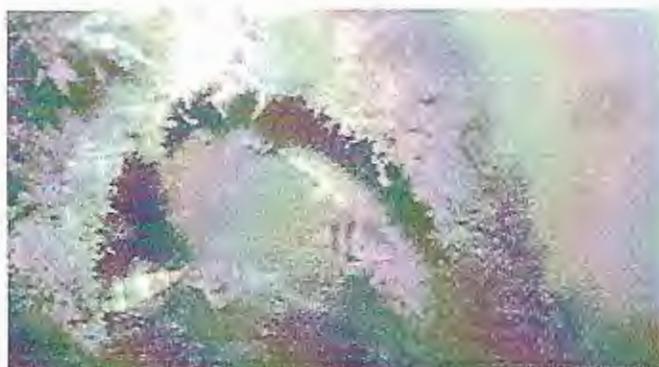


Fig. 2.10 Arrecifes artificiales usando NFU

Fuente: Encarnación Cano Serrano, Lidia Cerezo García, Marina Urbina Fraile; Valorización material y energética de neumáticos fuera de uso; 2007

Balas de Neumáticos, Las balas prismáticas de 1 tonelada de peso se fabrican con prensas hidráulicas, que compactan entre 100 y 125 neumáticos por unidad. Las dimensiones habituales son 75cm. X150cmX135cm. Son una buena alternativa a los gaviones metálicos en la construcción de estructuras de contención y presas. Se han utilizado con éxito en la estabilización de márgenes fluviales degradados por la erosión del agua.

Por su forma geométrica e instalación modular se adaptan muy bien a ser recubiertas con hormigón o para la formación de muros.

Barreras Acústicas, los neumáticos constituyen la base de la estructura y se recubren con tierra, de esta forma no les afecta la luz. Como la estructura es inmóvil, el desgaste del material es mínimo.

Pistas Provisionales, para la circulación de vehículos sobre terrenos poco estables en explotaciones forestales, accesos a canteras, etc.



Fig. 2.11 Utilización de neumáticos en parques infantiles

Fuente: Encarnación Cano Serrano, Lidia Cerezo García, Marina Urbina Fraile; Valorización material y energética de neumáticos fuera de uso; 2007

2.4.2 Aplicación de los neumáticos triturados

Rellenos ligeros, empleados como relleno de terraplenes se utilizan fundamentalmente sobre cimientos compresibles o de baja capacidad portante para limitar las cargas transmitidas al cimiento y los asentamientos totales.

Los rellenos ligeros también pueden utilizarse sobre estructuras o tuberías enterradas, para limitar las cargas sobre la estructura y la concentración de tensiones por consolidación diferencial, ya que su deformabilidad permite la generación de un efecto bóveda sobre la estructura.

Pistas de atletismo, los gránulos de caucho procedentes de NFU son una materia prima básica en la composición de los distintos revestimientos sintéticos, se pueden clasificar en revestimientos realizados "in situ", mixtos y prefabricados, atendiendo a su puesta en obra, que a su vez pueden ser compactos o multicapas si el tipo de mezclas que lo componen es homogéneo o compuesto por capas de distintas calidades.

En la construcción de una pista de atletismo se emplean aproximadamente de setenta a ochenta toneladas de gránulos de caucho, según el sistema que se instale y de la superficie de la pista, siendo las partículas de caucho de un tamaño comprendido entre 1 y 4 mm.



Fig. 2.12 Utilización de NFU en pista de atletismo

Aislamiento térmico, los neumáticos triturados son materiales física y químicamente resistentes. Se puede considerar que presentan una capacidad de aislamiento térmico 8 veces superior a la de un suelo. La utilización de rellenos de NFU en terraplenes de carreteras proporciona una protección eficaz frente a la penetración de la helada en el suelo subyacente.

Aislamiento acústico, el caucho es un material con buena absorción acústica, por lo que resulta adecuado para la fabricación de pantallas antirruido en carreteras. Los NFU troceados, así como enteros o embalados, han sido utilizados como material de relleno de terraplenes longitudinales utilizados como barreras antirruido. Paneles de caucho granulados, aglomerado con resinas de poliuretano, se ha utilizado como capa de aislamiento en barreras acústicas prefabricadas.

Campos de hierba artificial, existen en el mercado alfombras de hierba artificial, iniciadas para los campos de jockey, para la práctica del fútbol que consisten en una base asfáltica, seguidas de una capa de arena y otra de gránulos de caucho de NFU y por último las fibras.

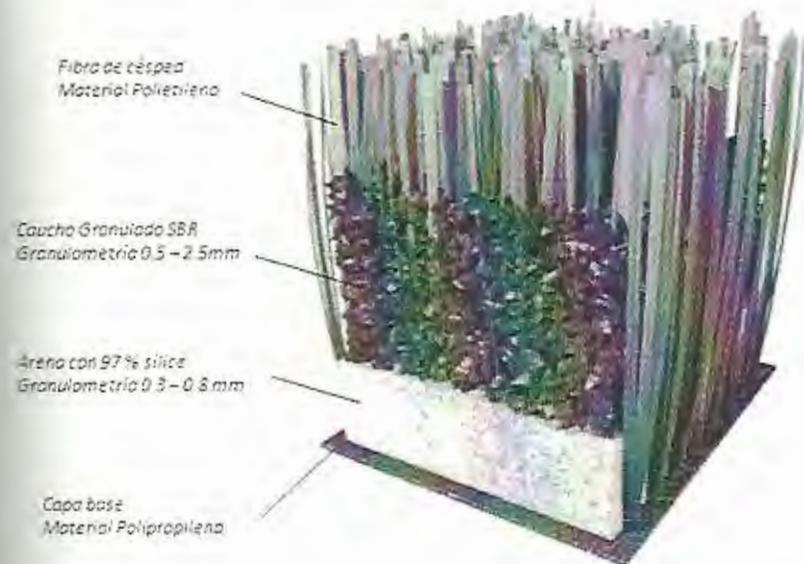


Fig. 2.13 Césped Sintético utilizando NFU

Fuente: <http://www.mondoiberica.com.es/>

Colchonetas para animales, recubiertas por 2 capas de tela sintética la cual protege al granulado contra los rayos ultravioleta. La capa interior es impermeable y puede lavarse y desinfectarse fácilmente.

Pavimentos de seguridad, se utilizan principalmente en parques infantiles, guarderías y residencias de ancianos para evitar posibles lesiones por caídas al resultar un pavimento elástico. Su composición es a base de gránulos de caucho aglomerados con resinas de poliuretano.



Fig. 2.14 Pavimentos de seguridad usando NFU

Fuente: Encarnación Cano Serrano, Lidia Cerezo García, Marina Urbina Fraile; Valorización material y energética de neumáticos fuera de uso; 2007

Capas drenantes en vertederos, para la recogida de lixiviados se establece la instalación de una capa de drenaje de espesor superior a 0.5 mm. Esta capa requiere una permeabilidad superior a 10^{-3} m/s y los rellenos de NFU troceados superan este requisito (10-2-10-1).

Calzado, las suelas de los zapatos fabricadas con polvo o granulado son muy duraderas y a menudo duran más que el cuerpo del zapato.

Equipamientos viales y ferroviarios, se han utilizado productos reciclados en equipamientos viales prefabricados (bordillos, badenes, isletas, bandas sonoras, conos de señalización, barreras de seguridad, quitamiedos, etc.).



Fig. 2.15 Reductor de velocidad de caucho reciclado

Fuente: <http://www.zicla.com/productos/73/>

2.4.3 Aplicación en materiales bituminosos

En carreteras: una de las aplicaciones de los NFU es en la red vial, lo que supone un gran mercado potencial capaz de consumir por si solo todo el neumático que se recicle.

Las exigencias actuales en las carreteras hacen que sustituyamos el betún convencional por betunes modificados con polímeros, los más actualizados SBS (estireno-butadienoestireno), EVA (acetato de vinilo-etileno), polietilenos, EPDM (monómero dienoetileno- propileno), etc.

La aplicación en la red de carreteras tiene grandes ventajas para el empleo del caucho reciclado; se están utilizando

productos elastoméricos a los que el caucho reciclado podría sustituir o complementar, pueden utilizar grandes volúmenes en cada obra y dado que la construcción de carreteras se da en todo el territorio nacional, no se necesita transportarlo a grandes distancias.

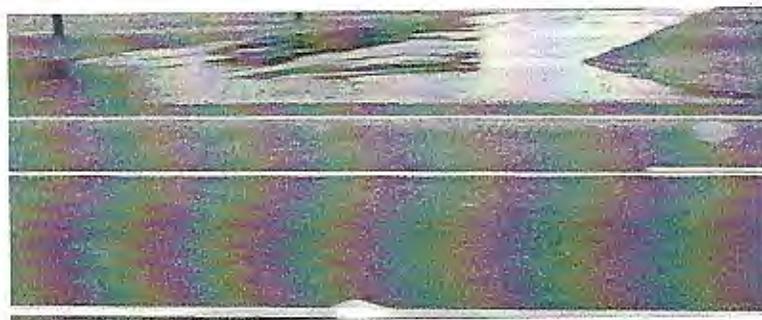


Fig. 2.16 Betún de carretera modificado con polímeros de NFU

Fuente: Encarnación Cano Serrano, Lidia Cerezo García, Marina Urbina Fraile; Valorización material y energética de neumáticos fuera de uso; 2007

CAPÍTULO 3

MÁQUINAS Y EQUIPOS

3.1 Introducción

Como ya se explico en capitulo anterior existen numerosos procesos de reutilización de los neumáticos usados, los cuales dependen principalmente del tipo de producto final que queramos obtener.

Los procesos de interés en esta tesis serán los de "Reducción de Tamaño y separación de componentes" y siendo más especifico en los "Tratamientos Mecánicos", los cuales son los procesos de corte que se realizan inicialmente en los procesos de "Reducción de Tamaño y separación de componentes".

Con la aplicación de estos tratamientos mecánicos el objetivo principal es de reducir el tamaño del neumático lo máximo posible y además retirar parte del alambre metálico o "talón" que se encuentra en el interior de estos, todo esto con la finalidad de facilitar los procesos finales de molido.

Tanto para el molido a temperatura ambiente, criogénica y húmeda se necesita reducir el neumático a astillas de un tamaño aproximado de 50 mm para posteriormente ser molida, separada la fibra y el alambre metálico.

Los distintos tipos de maquinaria que actualmente se comercializan para este fin, se puede clasificar según si el tipo de proceso que se realiza es o no fácilmente automatizable. Es decir si el proceso requiere poca mano de obra, se podrá decir que el proceso es automático o semiautomático, caso contrario el proceso será manual.

Por lo general las máquinas empleadas en los procesos semiautomáticos tienen capacidades mucho mayores en comparación a la de los procesos manuales ya que su operación será continua por lo que deberán ser construidas para este fin. Es debido a esto que las máquinas para los procesos

semiautomáticos por lo general son de mayor tamaño y robustez que las manuales, lo que conlleva a que su costo sea también más elevado.



Fig. 3.1 Subdivisión de los Tratamientos mecánicos

El tipo de proceso que se ha escogido de acuerdo a la problemática actual del país entre otras consideraciones, es el destalonamiento. Es por esto que a continuación se describirá

con más detalle las máquinas para estos procesos específicos y también de forma general las de los procesos restantes.

3.2 Máquinas Semiautomáticos

3.2.1 Destalonadora Hidráulica

Este proceso consiste en retirar los alambres o "talón" halándolos directamente del neumático, hasta que estos debido a la fuerza de cizallamiento interna, se desprendan del caucho y sean removidos.



Fig. 3.2 Máquina Destalonadora Hidráulica

Fuente: TERIER, Máquinas para el triturado y reciclado de neumáticos; Republica Checa

Estas máquinas tienen un funcionamiento principalmente hidráulico, ya que la fuerza que se requiere para el proceso es elevada.

Dentro de estas máquinas se diferencian las que son estacionarias que poseen un motor eléctrico y las móviles, las cuales tienen un motor de combustión interna.

3.2.1.1 Diseño General

Cada fabricante posee distintos diseños pero de forma general se va a detallar las principales partes de estos equipos:

- ***Sección de alojamiento del neumático***

En esta parte de la máquina es en donde se aloja y fija el neumático para su posterior destalonado.

- ***Sección de alado del alambre "talón"***

Una vez que se tiene listo el neumático, el cilindro hidráulico que dispone en el extremo de su vástago de un gancho con una geometría especial, se introduce dentro de la cámara del neumático y se fija en el "talón". El cilindro hidráulico es retraído y procede a halar los alambres metálicos hasta que se

desprendan completamente del neumático y puedan ser retirados.

- **Sistemas auxiliares**

Algunas máquinas cuentan con sistemas auxiliares que automatizan y mejoran el funcionamiento de estas.

Por ejemplo, en la sección de "alado del alambre", ciertos fabricantes colocan un cilindro el cual sirve para fijar el alambre al gancho que los ala, para garantizar que estos no se suelten durante esta etapa.



Fig. 3.3 Sistema auxiliar de fijación de alambres

*Fuente: Eagle International; Tire Debeaders;
Dakota Dunes; USA*

- **Sistemas Hidráulico**

El accionamiento principal de esta máquina es de tipo hidráulico. Cuenta con un cilindro hidráulico de doble efecto que es el que realiza el trabajo mecánico. Además posee una central hidráulica con todos los accesorios necesarios como: motor, bomba, válvulas de distribución, válvulas de seguridad, etc.

- **Bastidor**

Es el "Cuerpo de la máquina", el cual soporta todos los accesorios de esta y absorbe las fuerzas internas generadas durante el trabajo, por lo que es fabricado en acero de construcción soldado, de gran resistencia y robustez para brindar estabilidad durante la operación.

- **Panel de control**

Es el conjunto de controles eléctricos y electrónicos, los cuales permiten operar la máquina.

Después de consultar a varios fabricantes de estas máquinas, se ha realizado un cuadro con especificaciones técnicas relevantes de las destalonadoras hidráulicas tanto estacionarias como móviles.

Estos son valores promedio, que servirán como referencia y para comparación con otros equipos.

<i>Especificaciones</i>	<i>Datos promedio</i>		<i>Unidades</i>
	<i>A</i>	<i>B</i>	
Motor	Eléctrico	Eléctrico	-
Diámetro Máximo del neumático	800	1300	[mm]
Potencia	15	30	[Kw]
Peso de la máquina	1500	2500	[Kg]
Tiempo del ciclo de alado	20	-	[s]

Tabla 3.1 Especificaciones Generales, Destalonadora Hidráulica estacionaria

<i>Especificaciones</i>	<i>Datos Promedio</i>	<i>Unidades</i>
Motor	Combustión Interna	-
Diámetro Máximo del neumático	Llantas de camiones "Súper Single Truck Tires"	-
Diámetro Mínimo del neumático	275/70/R22.5	-
Potencia	84	[Kw]
Tiempo del ciclo de alado	35	[s]

Tabla 3.2 Especificaciones Generales, Destalonadora Hidráulica móvil

3.2.2 Trituradoras

Los tipos de trituradoras usadas para estos procesos, son las trituradoras de ejes paralelos.

Según la información técnica obtenida de los principales fabricantes de estas máquinas, se puede clasificar a las trituradoras de acuerdo a los dispositivos de corte, teniendo:

- Trituradoras de 1 eje
- Trituradoras de 2 ejes
- Trituradoras de 4 ejes

Para la elección de alguno de los dispositivos de trituración mecánica se consideran:

- Tipo de material a triturar
- Volumen a triturar
- Tiempos de trituración
- Potencia Instalada
- Tamaño del elemento triturado

3.2.2.1 Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento de estas máquinas, es el de cizallamiento.

Estas máquinas poseen cuchillas dispuestas en un eje, las cuales enganchan inicialmente el producto a triturar, y lo cortan por cizallamiento durante el giro del eje, utilizando como segundo elemento de corte un estator (Trituradoras 1 eje) o un rotor (Trituradoras múltiples ejes).

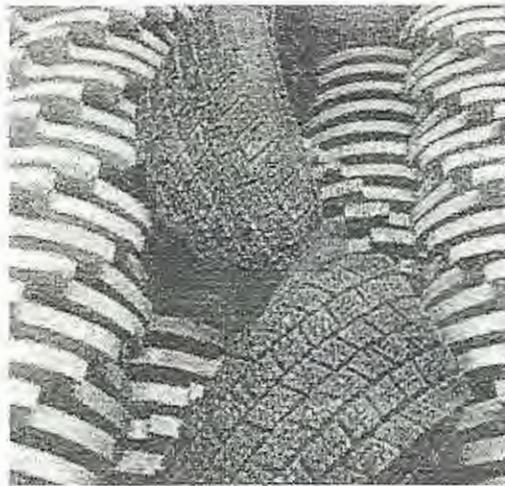


Fig.3.4 Trituradora de neumáticos de 4 ejes paralelos

*Fuente: Encarnación Cano Serrano, Lidia Cerezo García, Marina Urbina Fraile;
Valorización material y energética de neumáticos fuera de uso; 2007*

3.3 Máquinas Manuales

3.3.1 Desarmadora

Como su nombre lo indica, esta máquina sirve para desarmar el neumático en tres partes, las cuales serán procesadas posteriormente.

Las partes del neumático separado las he nombrado como: arandela y anillo de caucho, tal como se indica en la Fig. 3.5.

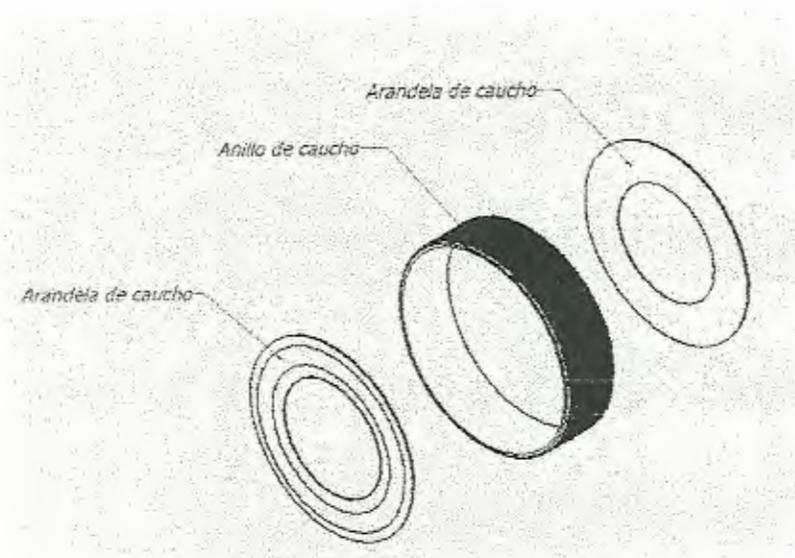


Fig. 3.5 Partes de un neumático desarmado

3.3.1.1 Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento de esta máquina es el de corte. La herramienta principal que se utiliza es una cuchilla, la cual una vez sujetado firmemente el neumático, esta realiza el corte de la parte central del neumático "arandela" mientras el neumático empieza a girar.

Esta máquina es operada manualmente por una persona, la cual una vez desarmado cada neumático, lleva los componentes a la siguiente fase del proceso.

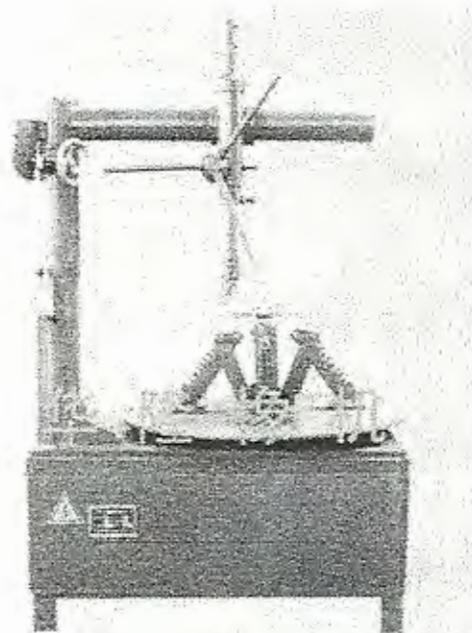


Fig. 3.6 Máquina desarmadora

Fuente: HUANLONG, Qingdao, China

3.3.2 Destalonadora Mecánica

Esta máquina es capaz de procesar las arandelas obtenidas en el proceso anterior con la máquina desarmadora y también puede procesar neumáticos enteros.

Es importante mencionar que en ciertos centros muy pequeños de reciclado de neumáticos, no necesariamente tienen una máquina desarmadora, pero utilizando una herramienta tan simple como una cuchilla, se logra desarmar el neumático.

3.3.2.1 Principio de Funcionamiento

El principio de esta máquina, es el de desbastar la arandela de caucho progresivamente, hasta que los alambres metálicos o el "talón", sean visibles y se puedan retirar manualmente.

Para realizar esto, estas máquinas de manera general cuentan con dos rodillos metálicos paralelos y rotatorios, mediante los cuales se realiza el desbaste.

Al finalizar este proceso, se obtienen los alambres metálicos del talón y el resto de la arandela de caucho o el

neumático se traslada al siguiente proceso. Esta máquina es operada por una sola persona.

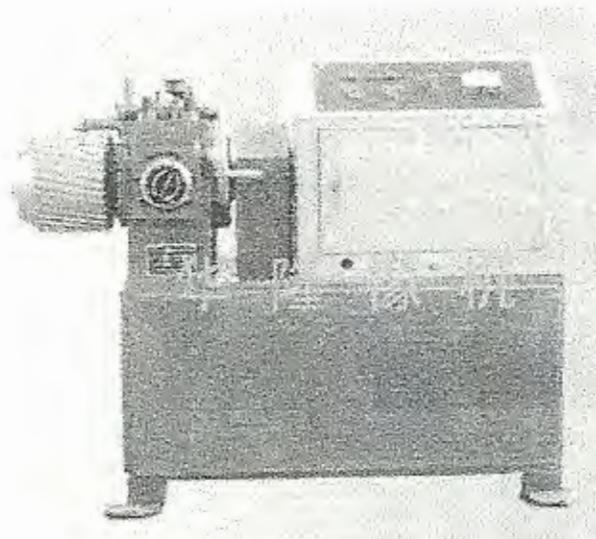


Fig. 3.7 Máquina destalonadora

Fuente: HUANLONG, Qingdao, China

3.3.2.2 Diseño General

Todas estas máquinas tienen pequeñas variaciones en su construcción de acuerdo a cada fabricante, pero en forma general se componen de las siguientes partes principales:

- ***Bastidor***

Es el "Cuerpo de la máquina", el cual soporta todos los accesorios de esta y absorbe las fuerzas internas generadas durante el trabajo, por lo que es fabricado

en acero de construcción soldado, de gran resistencia y robustez para brindar estabilidad durante la operación de destalonamiento.

- ***Rodillos desbastadores***

Estos rodillos desbastan el neumático, para que de esta manera se liberen los alambres o "talón" del interior de estos. Su principio de funcionamiento es sencillo, pero es realmente importante conocer como se realiza.

El objetivo principal es que la parte interior del neumático cerca al Rin, sea desbastada, para lo cual estas máquinas poseen velocidades de rotación distintas en cada rodillo con lo que se asegura un esfuerzo cortante en el neumático.

Estos rodillos tienen en su superficie ranuras, las cuales generan superficies filosas apropiadas para el desbaste y desgarrado del caucho.

Otro de los requerimientos de los rodillos es que puedan procesar neumáticos enteros sin desarmarlos previamente. Para poder realizar esto, uno de los

rodillos tiene una geometría especial tal como se muestra en la Fig. 3.8 (Rodillo Desbastador # 2), este tipo de geometría facilita el posicionamiento inicial del neumático entre los rodillos.

Mucha de la energía consumida por este equipo será debido a la fricción ocasionada entre los rodillos y el neumático. Es decir gran parte de esta energía se convertirá en calor. Es por esta razón que ciertos fabricantes integran sistemas de refrigeración dentro de estos rodillos, dependiendo del tipo de servicio en el que se vaya a desempeñar.

Además de las características ya mencionadas, otra propiedad importante de estos elementos es su resistencia al desgaste ya que estarán sometidos a severas condiciones de trabajo.

- ***Sistema de ajuste de la separación de los rodillos***

Debido a que no todos los neumáticos tienen el mismo espesor, es necesario que la distancia de separación de los rodillos sea regulable. Esto sirve también para regular la cantidad de desbaste producida y poder

obtener una correcta separación entre los alambres "talón" y el caucho.

El mecanismo utilizado para este fin, es un sistema de engranaje del tipo sin fin-corona o un tornillo de potencia. Este mecanismo es apropiado ya que posee las siguientes características:

- Elevada potencia de salida
- Reducida velocidad de salida
- Un solo sentido de avance (anti-retorno)

- ***Sistema de soporte y alimentación de neumáticos***

En esta máquina por ser de uso manual, por seguridad es necesario colocar el neumático primeramente en un soporte, de esta manera se evita que el operario pueda tener contacto con los rodillos. Luego de esto, mediante un sistema mecánico el operario introduce el neumático dentro de los rodillos desbastadores.

Para realizar este movimiento, se utiliza un sistema de engranajes del tipo piñón-cremallera. Con este sistema de engranajes se puede obtener un movimiento

rectilíneo a la salida, entregando a la entrada un movimiento circular o viceversa.

- ***Motor principal***

El motor principal es el que entrega la energía total a la máquina para su funcionamiento. Los motores usados son del tipo eléctrico y pueden ser monofásicos o trifásicos dependiendo de los requerimientos del comprador, aunque por lo general a estas máquinas industriales se les instalan motores trifásicos.

- ***Sistema de reducción de velocidad***

Debido a que la velocidad de los rodillos es reducida, entre valores de 20 y 30 revoluciones por minuto, es necesario reducir la velocidad del motor que tiene valores estándares de fabrica que están próximos a 1800 o 3600 RPM.

- ***Sistema de transmisión de potencia***

Unas vez que se obtiene la velocidad requerida con el reductor de velocidad, se necesita trasmitirla a los rodillos desbastadores.

Para realizar esto, estas máquinas poseen un sistema de transmisión de potencia por engranajes, mediante el cual se accionan de manera conjunta ambos rodillos, a las distintas velocidades requeridas.

- **Panel de control**

Es el conjunto de controles eléctricos y electrónicos, los cuales permiten operar la máquina.

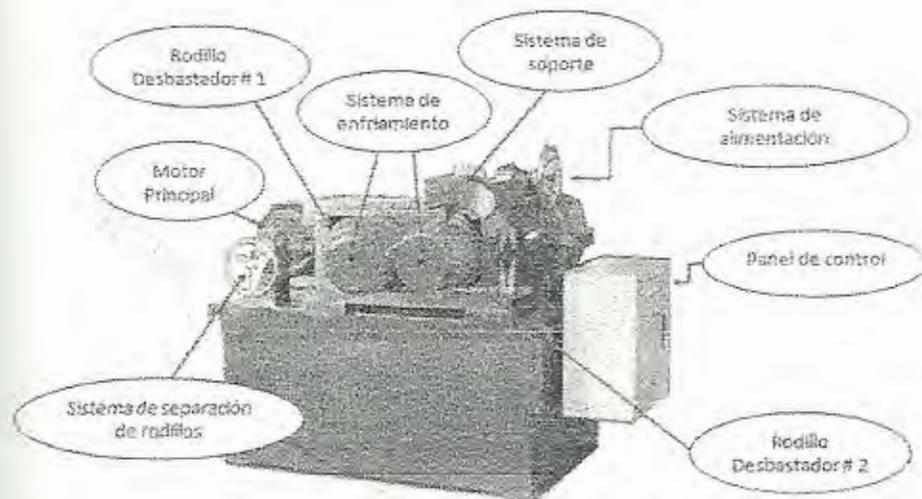


Fig. 3.8 Partes principales de la Máquina Destalonadora Mecánica



Fig. 3.9 Partes principales de la Máquina Destalonadora Mecánica

Fuente: Leshan Shengxing Machinery, Sichuan, China

Después de consultar a varios fabricantes, se ha realizado un cuadro con especificaciones técnicas relevantes de las Destalonadoras Mecánicas.

Estos son valores promedio, que servirán como referencia y medio de comparación con otros equipos.

<i>Especificaciones</i>	<i>Rangos</i>	<i>Unidades</i>
Tamaño del Rin del neumático	12" - 22,5"	Pulg
Capacidad de procesamiento	30 - 40	[Neumáticos/hr]
Potencia del motor principal	15	[Kw]
Peso	1200 - 1500	[Kg]
Velocidad del rodillo rápido	17 - 30	rpm
Velocidad del rodillo lento	14 - 21	rpm
Relación de velocidades	1,2 - 1,4	-

Tabla 3.3 Especificaciones Técnicas Generales, Destalonadora Mecánica

3.3.3 Cortadora Lineal

El objetivo de esta máquina, es el de realizar tiras largas de caucho con el "anillo de caucho" y lo sobrante de la "arandela de caucho" de los anteriores procesos. Todo esto con la finalidad de ir reduciendo el tamaño del neumático, para que el proceso de picado no requiera de una elevada energía y por lo tanto máquinas de tamaño y peso elevado.

Principio de Funcionamiento

Estas máquinas poseen dos discos de corte, entre los cuales los pedazos del neumático ingresan y mediante el giro de estos se van cortando tiras continuas del neumático. Esta máquina puede ser operada por una sola persona.



Fig. 3.10 Máquina Cortadora Lineal

Fuente: HUANLONG, Qingdao, China

3.3.4 Picadora

Esta máquina es utilizada para picar las tiras que se han producido en el proceso anterior.

Principio de Funcionamiento

El principio de funcionamiento de estas máquinas es el de corte por cizallamiento.

Las tiras son colocadas manualmente dentro de la picadora, la cual posee un mecanismo que hace avanzar a esta continuamente una vez que se realiza el primer corte.

Es por esto que las tiras deberán ser cortadas de tal forma que tengan una máxima longitud, para disminuir el trabajo realizado por el operario.

Finalmente se obtendrá pedazos pequeños de neumáticos con una longitud menores a 50 mm, dependiendo de los distintos fabricantes. Esta máquina es operada por una sola persona.

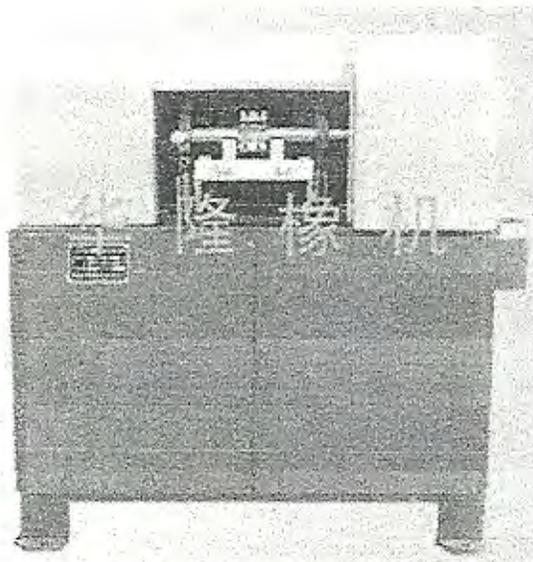


Fig. 3.11 Máquina Picadora

Fuente: HUANLONG, Qingdao, China

1.4 Selección de la máquina Destalonadora

En Guayaquil existe una ordenanza municipal que obliga a los grandes generadores de neumáticos usados a triturarlos.

Actualmente en el Ecuador si existen máquinas para este fin, es por esto que se ha elegido diseñar una máquina Destalonadora, con la cual se tratará previamente al neumático antes de triturarlo, retirándole gran parte de los alambres metálicos en su interior. Realizando esto se obtiene muchas ventajas como por ejemplo:

- Se va a reducir en gran medida la energía requerida para triturar el neumático.
- Los elementos cortantes de la trituradora van a sufrir un menor desgaste.
- Se va a poder disponer del alambre metálico como chatarra.

Para poder elegir entre los dos distintos tipos de Destalonadoras, voy a plantear cinco factores relevantes en estas máquinas y dando una ponderación de acuerdo al grado de importancia, se realizará una matriz de decisión para la selección del tipo de máquina.

- **Costo:** Es valor monetario dado por el fabricante o distribuidor.
- **Rendimiento:** Es la capacidad de producción de la máquina.
- **Mantenimiento:** Es la revisión, corrección y cambio periódico de los elementos de la máquina.
- **Versatilidad:** Es la capacidad que tiene la máquina de adaptarse fácilmente a distintas situaciones de trabajo.
- **Seguridad:** Es el grado de prevención de la máquina ante accidentes laborales.

<i>Factores</i>	<i>Ponderación</i>
Costo	10
Rendimiento	7
Mantenimiento	7
Versatilidad	9
Seguridad	7
TOTAL	40

Tabla 3.4 Ponderación de los factores de la MDD

<i>Escala de calificación</i>	
Regular	1
Bueno	2
Excelente	3

Tabla 3.5 Escala de calificación en la MDD

<i>Alternativas\Factores</i>	<i>Costo</i>		<i>Rendimiento</i>		<i>Mantenimiento</i>		<i>Versatilidad</i>		<i>Seguridad</i>		<i>Total</i>
Ponderación		0,25		0,175		0,175		0,225		0,175	1
Destalonadora Hidráulica	1	0,25	3	0,525	1	0,175	1	0,225	2	0,35	1,525
Destalonadora Mecánica	3	0,75	2	0,35	2	0,35	3	0,675	2	0,35	2,475

Tabla 3.6 Matriz de decisión con factores ponderados

Como resultado se obtiene una puntuación mayor para la máquina Destalonadora Mecánica, que será la elegida para el análisis y diseño.

CAPÍTULO 4

DISEÑO DE UNA MÁQUINA DESTALONADORA DE NEUMÁTICOS

Introducción

El diseño de ingeniería se ha definido como el proceso de aplicar las diversas técnicas y principios científicos con el propósito de definir un dispositivo, un proceso o un sistema con suficientes detalles que permitan su realización. Este proceso es muy iterativo, ya que inicialmente se parte de supuestos, los cuales habrá que mejorar o corregir conforme se avance en el estudio.

Existen numerosas etapas en el proceso de diseño y además dependiendo de cada autor, estas etapas difieren unas de otras.

A continuación se presentará un esquema de las fases del proceso de diseño, según un autor en particular:



Fig. 4.1 Fases del proceso de diseño

*Fuente: Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett;
Diseño en ingeniería mecánica de Shigley;
Octava edición; Mc Graw Hill; 2008*

El proceso de diseño comienza con la identificación de la necesidad, que en este caso particular es la de poder retirar el talón metálico de neumáticos.

A continuación se procede a definir el problema, donde se incluye todas las especificaciones del objeto que se va a diseñar.

Continuando con el proceso de síntesis, el cual tiene como finalidad poder establecer cómo se relacionan entre sí los diferentes componentes y de esta manera tener un esquema global del sistema a ser diseñado. Para esto se realiza un diseño de forma, el cual será el punto de partida geométrico.

Tanto el análisis como la optimización requieren que se construyan o inventen modelos abstractos del sistema que admitan alguna forma de análisis matemático. A estos se los conoce como modelos matemáticos. Cuando se los crea se espera que sea posible encontrar uno que simule muy bien al sistema físico real.

La evaluación representa la prueba final de un diseño exitoso y por lo general implica la prueba del prototipo en un laboratorio o en este caso la simulación utilizando un software apropiado. La comunicación de los resultados a otros es el paso final y vital de presentación del proceso de diseño.

Especificaciones

De acuerdo a las necesidades vistas en el Ecuador y según datos de ciertos fabricantes, se establecerán las especificaciones de la máquina Destalonadora.

- **Tipos de neumáticos a procesar:** Será capaz de procesar neumáticos desde rin 12" hasta 22.5", abarcando neumáticos de tipo "pasajeros" y algunos neumáticos de transporte pesado. Podrá procesar tanto neumáticos enteros, como también neumáticos desarmados.
- **Capacidad:** Tendrá una capacidad de producción mínima de 30 neumáticos por hora, con lo cual se espera procesar cada neumático en 2 minutos o menos.
- **Peso:** El peso de la máquina no deberá superar los 1500 Kg.
- **Manufacturabilidad:** Se seleccionarán partes normalizadas y procesos de construcción que sean factibles de realizar.
- **Costo:** El costo del equipo deberá ser menor que el de máquinas con características similares.

4.1 Diseño de Forma

El diseño de forma se realiza en base a las especificaciones antes mencionadas y tomando en consideración la forma de máquinas que realicen la misma función.

Las partes principales de las que estará conformada la máquina Destalonadora serán las siguientes:

- 1.- Rodillos desbastadores
- 2.- Sistema de separación de rodillos
- 3.- Sistema de soporte y alimentación
- 4.- Sistema principal de transmisión de potencia
- 5.- Sistema de reducción de velocidad
- 6.- Sistema secundario de transmisión de potencia
- 7.- Motor
- 8.- Bastidor

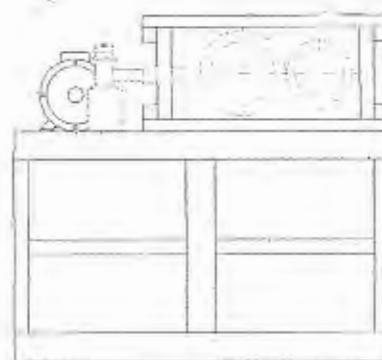


Fig. 4.2 Diseño de forma de la Destalonadora, vista frontal

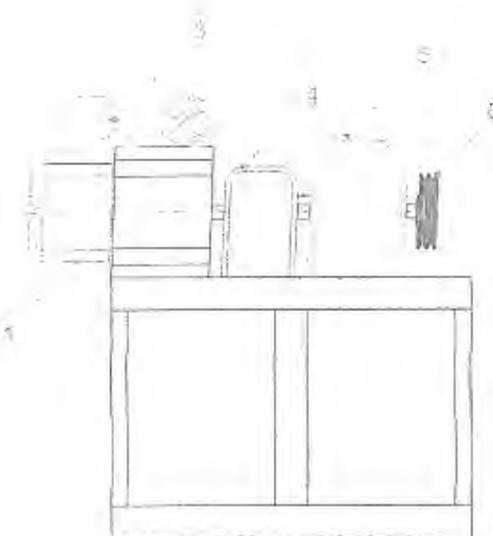


Fig. 4.3 Diseño de forma de la Destalonadora, vista lateral

De acuerdo al diseño de forma, el funcionamiento de la máquina será de la siguiente manera:

Los elementos que realizan el trabajo principal son los rodillos desbastadores, los cuales están representados en el diseño de forma, por cilindros de color rojo (1). Estos elementos serán los encargados de rotar y desbastar el neumático para que se liberen los alambres en su interior. Estos rodillos serán impulsados por ejes acoplados en su interior, mediante chavetas. Los ejes a su vez se apoyarán en rodamientos alojados en sus respectivas cajeras.

Uno de los dos rodillos desbastadores será móvil, por lo que se necesitará un sistema para dicho fin. Empezando por el rodillo móvil, se puede notar que dentro de este deberá haber un sistema que permita la trasmisión de movimiento entre ejes paralelos; en la cual la distancia de estos ejes será cambiante. Debido a que la máxima distancia de separación de los rodillos no va a ser mayor a 3 mm, es posible usar para este fin un sistema de 3 engranajes; en el cual uno será fijo, el otro móvil y el último será el que servirá de conexión para los dos primeros.

Para el rodillo móvil, deberá existir un sistema que permita la regulación de este. Para este fin se ha implementado el sistema de separación de rodillos (2), el cual consta básicamente de un tornillo de potencia, con el que se podrá regular con mucha precisión y poca fuerza la distancia de separación de los rodillos, empleando una manivela.

Para poder introducir el neumático a la máquina, se utiliza un sistema de soporte y alimentación (3), el cual será un sistema de engranajes del tipo piñón-cremallera, con el que se podrá introducir y retirar el neumático de los rodillos desbastadores, empleando una manivela.

Para poder transmitir la potencia del reductor de velocidad (5) hacia los rodillos, se tendrá una caja de transmisión (4), que debido a su geometría y velocidades de salida específicas deberá ser diseñada para cumplir estos requerimientos.

Debido a las altas velocidades que poseen los motores eléctricos y a la baja velocidad de funcionamiento de la máquina, se seleccionará una caja reductora de velocidad (5), utilizando como datos para la selección; la potencia a transmitir y la relación de velocidades de entrada y salida requeridas.

El motor (6), estará conectado al reductor de velocidad por medio de poleas y bandas, una de las principales razones de realizar esto, es debido a que estos elementos servirán como elementos fusibles en el caso de que los rodillos se atasquen y de esta manera proteger los demás elementos de posibles daños. Esta máquina por ser del tipo industrial o consumir una cantidad relativamente alta de energía, tendrá un motor trifásico el cual será más eficiente que uno monofásico, además de generar menos costos de mantenimiento.

4.2 Análisis de fuerzas

Modelo matemático

Después de analizar el principio de operación de esta máquina, se ha dividido dicho proceso en dos subprocesos, los cuales serán analizados individualmente.

- **Proceso de laminación**

Debido a que el neumático es comprimido por los rodillos de desbaste, se está realizando un proceso de laminación para el cual se aplican los siguientes criterios:

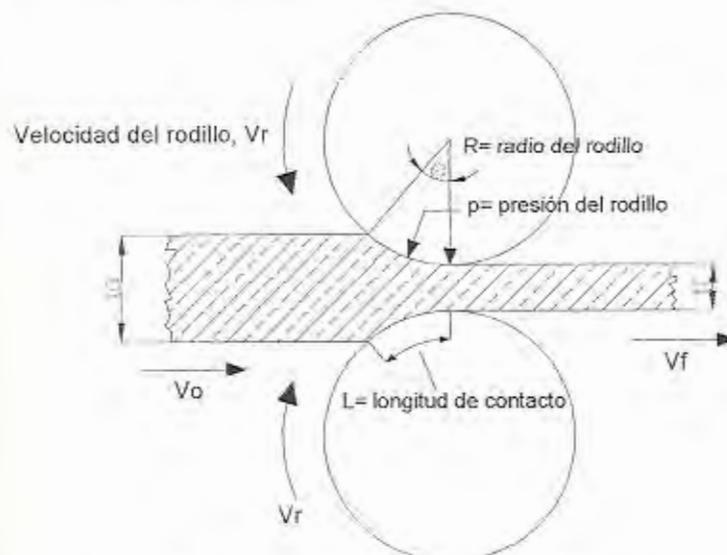


Fig. 4.4 Vista lateral del laminado plano

Fuente: Mikell p. Groover; Fundamentos de manufactura moderna, Cap. 19, pág. 39.

Donde:

Vo: velocidad de entrada del material de trabajo

Vf: velocidad de salida del material de trabajo

La deformación real experimentada por el trabajo de laminado se basa en el espesor del material antes y después del laminado. En forma de ecuación,

$$\epsilon = \ln \frac{t_o}{t_f} ; \text{ Ecuación 1}$$

Donde:

to: espesor inicial

tf: espesor final

Se puede usar la deformación real para determinar el esfuerzo de fluencia promedio \bar{Y}_f , aplicado al material de trabajo en el laminado plano. En forma de ecuación,

$$\bar{Y}_f = \frac{K \times \epsilon^n}{1 + n} ; \text{ Ecuación 2}$$

Donde:

K: resistencia del material

n: coeficiente de endurecimiento

El esfuerzo de fluencia promedio será útil para calcular las estimaciones de fuerza y potencia en el laminado.

La fuerza de rodillo F' requerida para mantener la separación entre los rodillos se puede calcular integrando la presión unitaria de laminado sobre el área de contacto. Esto se puede expresar como sigue:

$$F' = w \int_0^L p \cdot d \cdot L ; \text{ Ecuación 3}$$

Donde:

w : ancho del material de trabajo

p : presión de laminado

d : reducción de espesor (t_0-t_f)

L : longitud de contacto entre el rodillo y el trabajo

Se puede calcular una aproximación de los resultados obtenidos por la ecuación 5 con base en el esfuerzo de fluencia promedio que experimenta el material en la brecha entre los rodillos. Esto es,

$$F' = \bar{Y}_f \cdot w \cdot L ; \text{ Ecuación 4}$$

Debido a que el material a laminar es un elastómero y no posee una deformación permanente para la cual se obtenga el esfuerzo de fluencia, se obtendrá el esfuerzo a partir de la Fig. 1.10, para una deformación del 200%, obteniendo un valor aproximado de 6.9 Mpa.

La longitud de contacto se puede aproximar mediante:

$$L = \sqrt{R(t_o - t_f)} ; \text{ Ecuación 5}$$

El momento de torsión para cada rodillo es:

$$T' = 0.5 F . L ; \text{ Ecuación 6}$$

La potencia requerida para mover cada rodillo es el producto del momento de torsión y la velocidad angular.

$$P' = 2 . \pi . N . F . L ; \text{ Ecuación 7}$$

N: Velocidad de rotación, [1/s]

L: longitud de contacto, [m]

Resultados

<i>Condiciones iniciales</i>	<i>Valor</i>	<i>unidades</i>
w	100	mm
to	20	mm
tf	2	mm
R	125	mm
Vr	17	rpm
Yf	6,9	Mpa

Tabla 4.1 Condiciones iniciales para el proceso de laminado

<i>Especificaciones</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>	<i>Ecuación empleada</i>
L	47,43	mm	7
ε	2,30	-	3
F	32701,11	N	6
T'	775,58	N-m	8
P'	2,76	Kw	9

Tabla 4.2 Tabla de resultados del proceso de laminado

Se ha obtenido una potencia de 2.76 Kw y una fuerza para mantener la separación de los rodillos de 32701 N, la cual servirá para la segunda parte de este análisis.

- **Proceso de desbaste**

Una vez que se ha obtenido la fuerza que ejerce el caucho al ser comprimido entre los rodillos, se procederá a calcular la potencia que se requiere para realizar el deslizamiento de uno de los rodillos (rodillo fijo) sobre el caucho.

Este cálculo se realizará en base a un proceso netamente de fricción entre dos superficies, tal como se muestra en la Fig. 4.5.

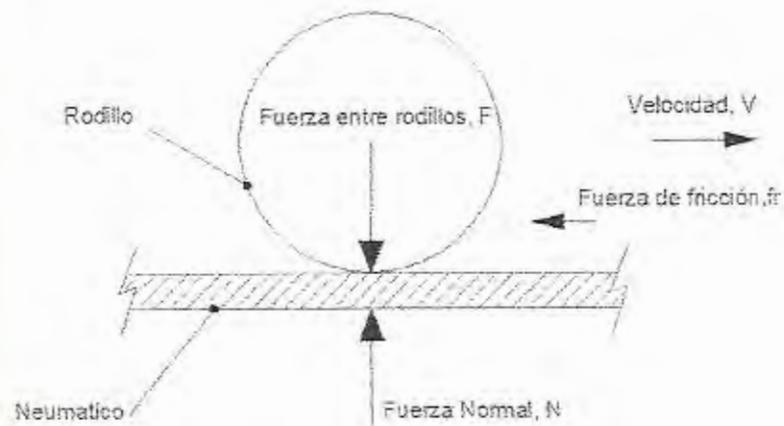


Fig. 4.5 Diagrama de cuerpo libre del rodillo fijo, en el proceso de desbaste

Los rodillos desbastadores poseen velocidades de rotación distintas y el rodillo que realiza el proceso de desbastes (rodillo fijo) que es el de menor tamaño posee una velocidad un poco mayor que el segundo rodillo.

La relación de velocidad de estos rodillos está en un rango de 1,2 – 1,4, por lo que seleccionará un valor medio de 1,3. La velocidad del rodillo móvil es de 17 rpm, por lo que se obtiene como resultado una velocidad de 22,1 rpm en el rodillo fijo.

Para obtener la velocidad de rotación del rodillo para este proceso, se tendrá que calcular la velocidad relativa del rodillo fijo respecto al rodillo móvil.

$$v_{f/m} = v_f - v_m; \text{ Ecuación 8}$$

$$v_{f/m} = 22,1 - 17$$

$$v_{f/m} = 5,1$$

Esta condición se cumplirá siempre y cuando el neumático no deslice entre los rodillos. Debido al proceso irregular de desbaste que se va a generar dentro de los rodillos, no se puede asegurar que esto vaya a suceder, por lo que se va a

asumir una velocidad de rotación máxima de 22,1 rpm, previniendo así los casos en que el neumático deslice entre los rodillos.

Conociendo la fuerza entre los rodillos "F" y según el diagrama de cuerpo libre del proceso de pulido, se puede observar que la fuerza "F" es igual a la normal "N".

Se seleccionará un coeficiente de fricción cinético de 0.8 entre la superficie del rodillo y el neumático. Con estos se calculará la fuerza de fricción "fr":

$$fr = \mu \times N; \text{ Ecuación 9}$$

Del diseño de forma, se realizó una primera aproximación del radio del "rodillo fijo", en un valor de 115 mm. Con esta distancia y la fuerza de fricción, se calculará el torque generado en el rodillo fijo:

$$T = F \times D;$$

$$T = fr \times D; \text{ Ecuación 10}$$

Para calcular la potencia que se requiere para el proceso de pulido, se emplea el torque producido en el rodillo y la velocidad angular de este.

$$P = T \times \omega; \text{ Ecuación 11}$$

<i>Condiciones Iniciales</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
R rodillo fijo	90	mm
Relación de velocidad	1,3	-
w rodillo móvil	17	rpm
w rodillo fijo	22,1	rpm
μ cinético	0,8	-
F'	32701	N

Tabla 4.3 Condiciones iniciales para el proceso de desbaste

Resultados

<i>Parámetros</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>	<i>Ecuación empleada</i>
fr	26160,89	N	11
T	2354,48	N-m	12
P	5,45	Kw	13

Tabla 4.4 Tabla de resultados del proceso de desbaste

Se ha calculado los torques y potencias para cada proceso. Para conocer la potencia total requerida, se sumará la potencia P' y P.

$$P_{total} = P' + P; \text{ Ecuación 12}$$

$$P_{total} = 8.21 \text{ [Kw]}$$

Para calcular el torque total en el rodillo fijo, se sumará el T' rodillo fijo + T pulido.

$$T'_{rodillo\ fijo} = 414 \text{ [N - m]}$$

$$T_{total} = T'_{rodillo\ fijo} + T; \text{ Ecuación 13}$$

$$T_{total} = 3130 \text{ [N - m]}$$

4.2.1 Rodillos de desbaste y ejes

Rodillos de desbaste

El trabajo que se realiza en los rodillos de desbaste puede ser analizado utilizando las fórmulas empleadas para el cálculo de esfuerzos de contacto en cilindros, donde se emplean las siguientes ecuaciones:

$$b = \sqrt{\frac{2F}{\pi l} \cdot \frac{\frac{(1 - \nu_1^2)}{E_1} + \frac{(1 - \nu_2^2)}{E_2}}{\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2}}}; \text{ Ecuación 14}$$

$$p_{max} = \frac{2F}{\pi bl}; \text{Ecuación 15}$$

$$\sigma_x = -2\nu p_{max} \left(\sqrt{1 + \frac{z^2}{b^2}} - \left| \frac{z}{b} \right| \right); \text{Ecuación 16}$$

$$\sigma_y = -p_{max} \left(\frac{1 + 2\frac{z^2}{b^2}}{\sqrt{1 + \frac{z^2}{b^2}}} - 2 \left| \frac{z}{b} \right| \right); \text{Ecuación 17}$$

$$\sigma_z = \frac{-p_{max}}{\sqrt{1 + \frac{z^2}{b^2}}}; \text{Ecuación 18}$$

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_y - \sigma_z}{2}; \text{Ecuación 19}$$

En la figura 4.6 se ilustra una situación similar en la cual los elementos en contacto son dos cilindros de longitud l y diámetros d_1 y d_2 .

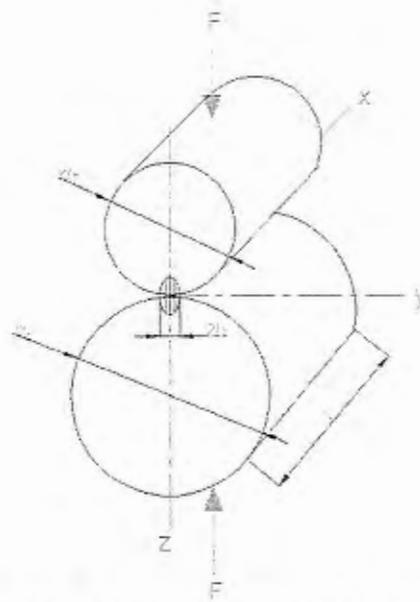


Fig. 4.6 Fuerzas de contacto en cilindros circulares rectos

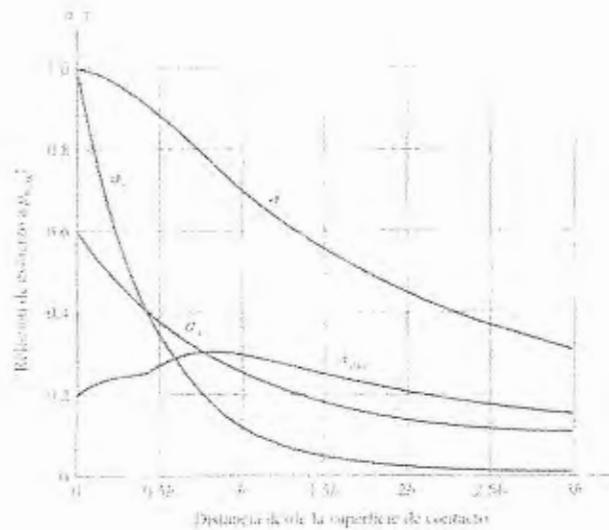


Fig. 4.7 Magnitud de las componentes del esfuerzo debajo de la superficie

Fuente: Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett;
 Diseño en ingeniería mecánica de Shigley;
 Cap 3; Pag 119.

En al Fig. 4.7 se observa una gráfica donde se representan las magnitudes del esfuerzo debajo de la superficie, como función de la presión máxima para los cilindros en contacto, la cual se basa en una relación de Poisson de 0.3 (acero al carbono).

Como se puede observar en la gráfica, los esfuerzos disminuyen drásticamente por debajo de la superficie de contacto, llegando a reducirse hasta un 80% o más para distancias de "3b" medidas desde la superficie de contacto. Esta es la razón por la cual estos rodillos deberán tener en su superficie una dureza muy elevada, la cual se conseguirá mediante un tratamiento térmico.

<i>Condiciones Iniciales</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
v	0,29	-
E	207	Gpa
L	0,25	m
d1	0,18	m
d2	0,25	m
z	5,E-04	m
F	32701,11	N

Tabla 4.5 Condiciones iniciales de los cilindros en contacto

Nomenclatura:

v: relación de poisson

E: módulo de elasticidad

F: fuerza radial en los rodillos

Inicialmente se seleccionará un valor tentativo para el diámetro de uno de los dos rodillos ($d_2=0.25$ m), el cual está relacionado con el tamaño promedio de los neumáticos.

Con este valor asumido se procederá a calcular el valor mínimo del diámetro del segundo rodillo para que cumpla con un factor de seguridad $n=1.6$.

Para esto se utilizará el criterio de falla del esfuerzo cortante máximo como primera aproximación:

$$\tau_{max} = \frac{S_y}{2n}; \text{Ecuacion 20}$$

Para calcular los esfuerzos, hay que seleccionar un material para los rodillos. Se ha seleccionado un acero de maquinaria para cementación AISI 3115, el cual es apto

para aplicaciones donde se requiera alta dureza y resistencia superficial al desgaste.

De la Ecuación 15 se despeja el d_1 , y se obtiene un valor mínimo para el d_1 de 0.077 m. Debido al tamaño de los neumáticos se seleccionará un valor para el d_1 de 0.18 m, el cual cumplirá con el factor de seguridad deseado.

<i>Propiedades</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Esfuerzo de fluencia, S_y	441	Mpa
Resistencia a la tensión, S_{ut}	833	Mpa
Dureza	200 - 300	HB

Tabla 4.6 Propiedades del Acero AISI 3115

Según la ficha técnica de este acero (Apéndice A), realizando un tratamiento térmico se puede obtener una dureza superficial de 62 HRC, siempre que la profundidad mínima de cementación sea de 0.5 mm.

Conociendo la dureza, se realiza un cálculo aproximado de la resistencia última a la tensión, en la capa superficial a cementar.

$$60 \text{ HRC} = 614 \text{ HB}$$

$$\sigma_{ut} = 0.5 \text{ Dureza Brinell} = 307 \text{ [Ksi]}$$

$$\sigma_{ut} = 2116.669 \text{ [MPa]}$$

Nomenclatura:

HRC: Dureza Rockwell C

HB: Dureza Brinell

Valores de los esfuerzos de contacto entre los cilindros

Parámetro	Valor	Unidades	Ecuación
b	2,78E-04	m	14
pmax	300,06	Mpa	15
σ_x (Axiales)	-45,37	Mpa	16
σ_y	-9,76	Mpa	17
σ_z (flexión)	-145,62	Mpa	18
τ_{max}	67,93	Mpa	19

Tabla 4.7 Resultados de los esfuerzos de contacto en los cilindros

Los rodillos desbastadores no van a estar en funcionamiento continuo, ya que una vez que se procesa un neumático este se retira de los rodillos y nuevamente se coloca otro. Los esfuerzos que se producen en los rodillos se representan en la Fig. 4.8.

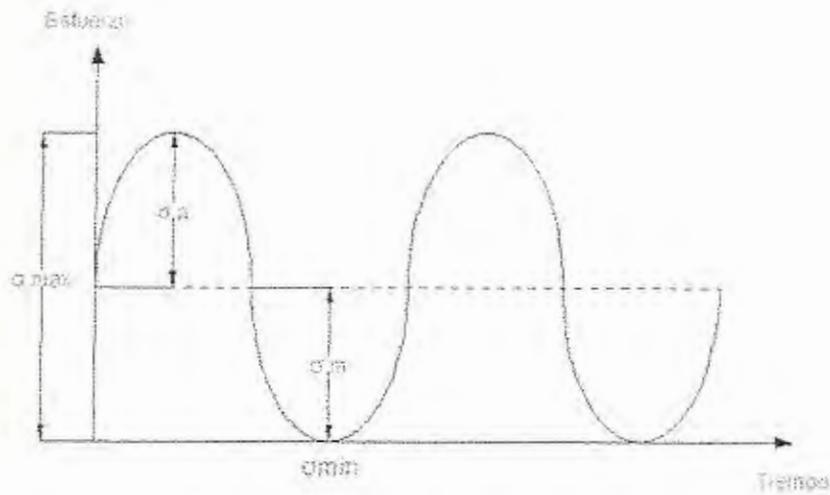


Fig. 4.8 Carga repetida en los rodillos desbastadores

Una vez calculados los esfuerzos en los rodillos, se aplica el criterio de falla por fatiga de Goodman Modificado, para esfuerzos debido a cargas dinámicas fluctuantes.

$$n_f = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}}; \text{Ecuación 21}$$

Donde la resistencia a la fatiga S_e es:

$$S_e = K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e \cdot K_f \cdot S'_e; \text{Ecuación 22}$$

$$S'_e = 0.5 \cdot S_{ut}; \text{Ecuación 23}$$

- **Factor de superficie K_a :**

$$K_a = a S_{ut}^b ; \text{Ecuación 24}$$

Para una superficie maquinada:

$$a = 4.51 \text{ MPa}$$

$$b = -0.265 \text{ MPa}$$

- **Factor de tamaño K_b :**

$$K_b = 1.51 d^{-0.157} ; \text{Ecuación 25}$$

- **Factor K_c es 1 por ser carga combinada**

- **Factor de temperatura $K_d=1$**

- **Factor de confiabilidad K_e :**

$$K_e = 1 - 0.08 Z_a ; \text{Ecuación 26}$$

Para tener una confiabilidad del 95%, el $Z_a=1.645$

- **Factor de esfuerzos varios $K_f=1$**

Resultados

Factores	Valor	Ecuación
Ka	0,59	24
Kb	0,66	25
Kc	1	-
Kd	1	-
Ke	0,87	26
Kf	1	-

Tabla 4.8 Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga

Con las consideraciones antes mencionadas se tiene:

$$\sigma_{min} = 0$$

Componente del esfuerzo alternante (σ_a)

$$\sigma_a = \left| \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \right| ; \text{Ecuación 27}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max}}{2}$$

Componente del esfuerzo medio (σ_m)

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} ; \text{Ecuación 28}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max}}{2}$$

Según lo anterior, las componentes alternantes y medias son iguales.

Debido a que existe una combinación de modos de carga, se procede a calcular un esfuerzo de Von Mises equivalente para cada uno de estos elementos de esfuerzo σ'_a y σ'_m , utilizando los esfuerzos de flexión, torsión y axiales. Se usarán las propiedades del acero AISI 3115 con tratamiento térmico.

Propiedades	Valor	Unidades
Sut	2116,669	Mpa
Se'	1058,33	Mpa

Tabla 4.9 Propiedades del Acero AISI 3115, tratado térmicamente

$$\sigma'_a = \left\{ \left[\sigma_{a \text{ flexion}} + \frac{\sigma_{a \text{ axial}}}{0.85} \right]^2 + 3[\tau_{a \text{ torsion}}]^2 \right\}^{1/2}; \text{Ecuación 29}$$

$$\sigma'_m = \left\{ \left[\sigma_{m \text{ flexion}} + \frac{\sigma_{m \text{ axial}}}{0.85} \right]^2 + 3[\tau_{m \text{ torsion}}]^2 \right\}^{1/2}; \text{Ecuación 30}$$

Resultados

Parámetros	Valor	Unidades	Ecuación
$\sigma'a$	187,21	Mpa	29
Se	361,61	Mpa	22
η_y	4,2	Mpa	31
η_f	1,6	Mpa	21

Tabla 4.10 Parámetros para la aplicación del criterio de falla de Goodman

Debido a que el criterio de Goodman no considera la falla por fluencia, se calcula el factor de seguridad contra la fluencia del primer ciclo n_y y se obtiene un valor de 4.2, el cual supera el factor de seguridad contra la fatiga, por lo que se concluye que la pieza fallará primeramente por fatiga.

$$n_y = \frac{S_y}{\sigma_a' + \sigma_m'} ; \text{Ecuación 31}$$

Se obtiene un factor de diseño o de seguridad contra la fatiga n_f de 1.6, el cual está en el rango normal usado para el diseño en ingeniería.

Ejes o flechas

La máquina Destalonadora posee dos ejes principales en donde se soportan los rodillos desbastadores. El eje crítico o el que será sometido a esfuerzos mayores, será el correspondiente al rodillo fijo y será el cual se analizará a continuación.

Primeramente se hace un análisis de todas las fuerzas presentes en el eje, tal como se muestra en las Figuras 4.9 y 4.10.

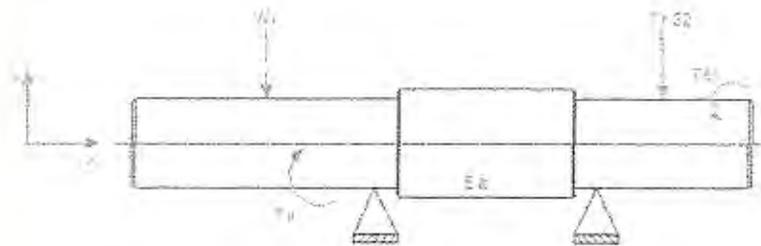


Fig. 4.9 Diagrama de fuerzas en Eje "a", vista frontal

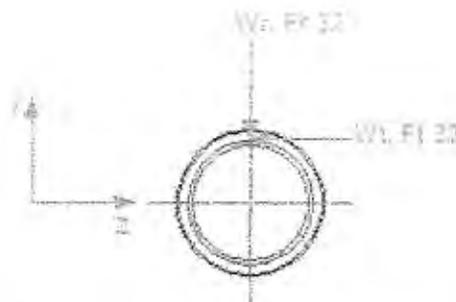


Fig. 4.10 Diagrama de fuerzas en Eje "a", vista lateral

Nomenclatura

Wr: fuerza radial en los rodillos desbastadores

Wt: fuerza tangencial en los rodillos desbastadores

Fr 32: fuerza radial del engrane 3 sobre el engrane 2

Ft 32: fuerza tangencial del engrane 3 sobre el engrane 2

Ea: eje a

Ta: torque en el eje "a"

Conocidas las fuerzas y dando longitudes aproximadas a los tramos del eje "a" basándose en el diseño de forma, se realizan los diagramas de fuerza cortante y momento flector.

Para realizar estos diagramas se empleará el Software Inventor 2012. Utilizando la opción "Generador de componente de eje"; se siguen tres pasos para el diseño de ejes:

1. Diseño

En este primer paso, se dan las longitudes de los tramos del eje, como también se detallan las características de mecanizado de los filos del eje.

2. Cálculo

En este segundo paso se establecerán los parámetros para el cálculo.

Primero se seleccionará el tipo de material, en este caso se seleccionó el acero, de la base de datos del programa.

Ahora se elegirá uno de los dos métodos de reducción de esfuerzos, ya sea el criterio de Von Mises o el de Tresca. En este caso se seleccionó el criterio de Von Mises.

Finalmente se agregarán las cargas al eje, ya sean puntuales o distribuidas y se definirán los puntos de apoyo como se muestra en la Fig. 4.11.

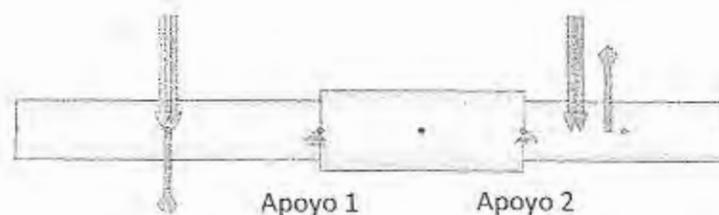


Fig. 4.11 Diseño del Eje usando el Software Inventor

3. Gráficos

Finalmente se generan los diagramas de fuerza cortante y momento flector en los diferentes planos.

Fuerza cortante

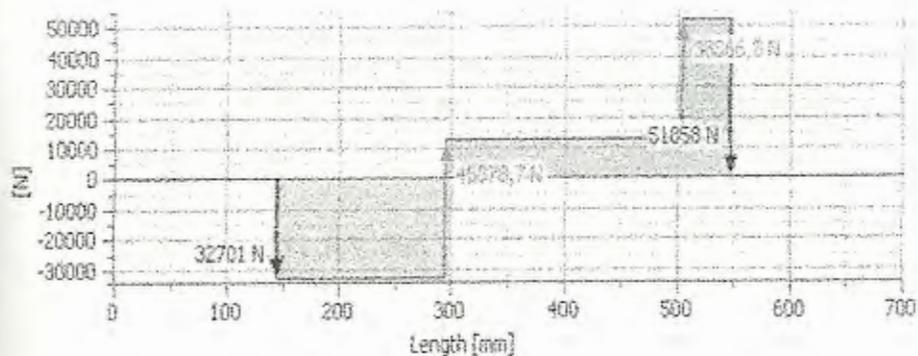


Fig. 4.12 Diagrama de fuerza cortante en el plano X-Y

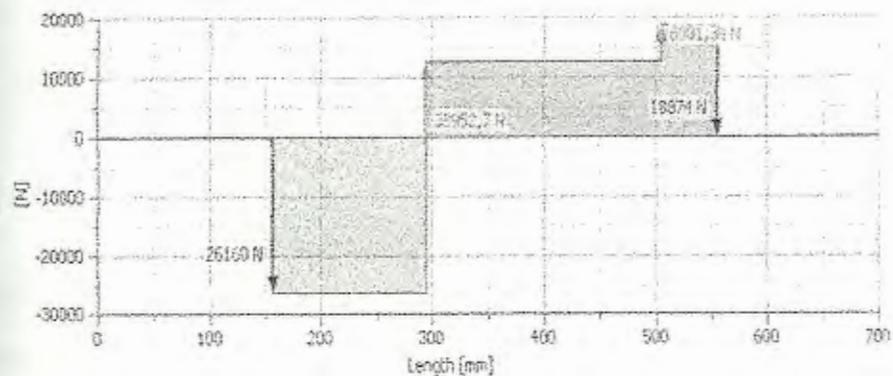


Fig. 4.13 Diagrama de fuerza cortante en el plano X-Z

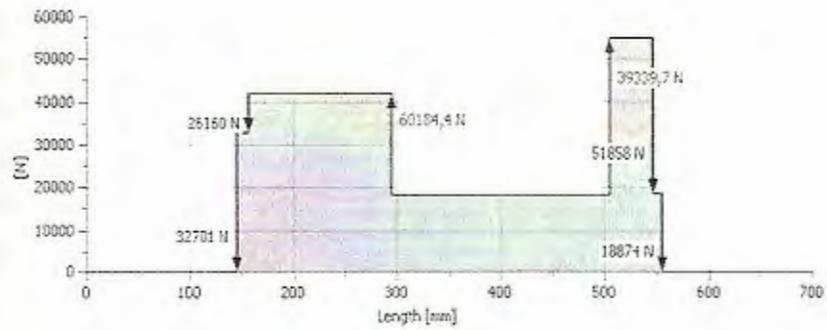


Fig. 4.14 Diagrama de fuerza cortante resultante

Momento flector

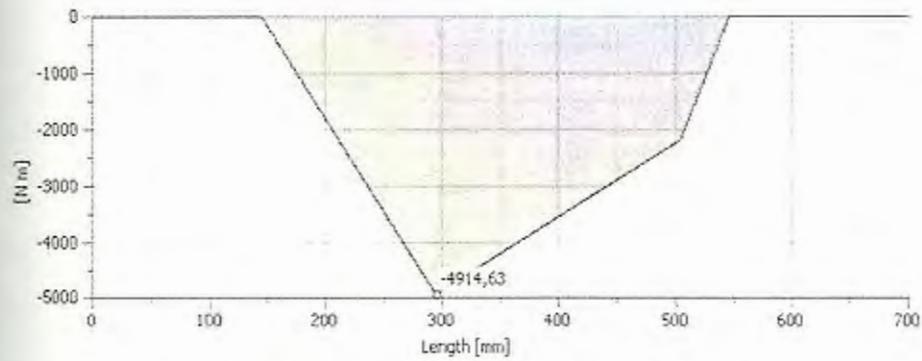


Fig. 4.15 Diagrama de momento flexionante en el plano X-Y

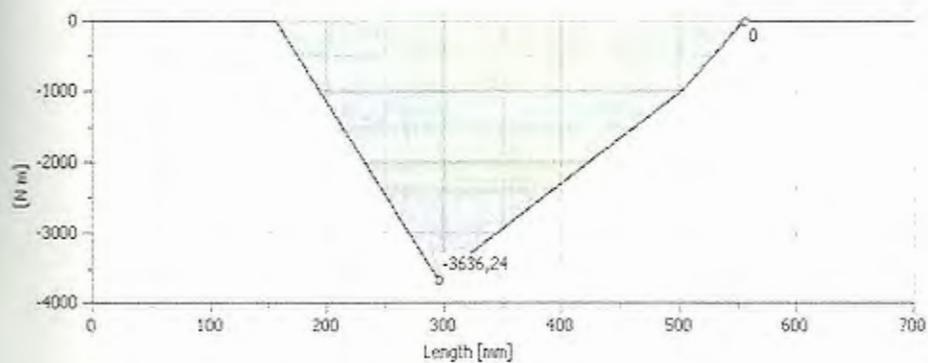


Fig. 4.16 Diagrama de momento flexionante en el plano X-Z

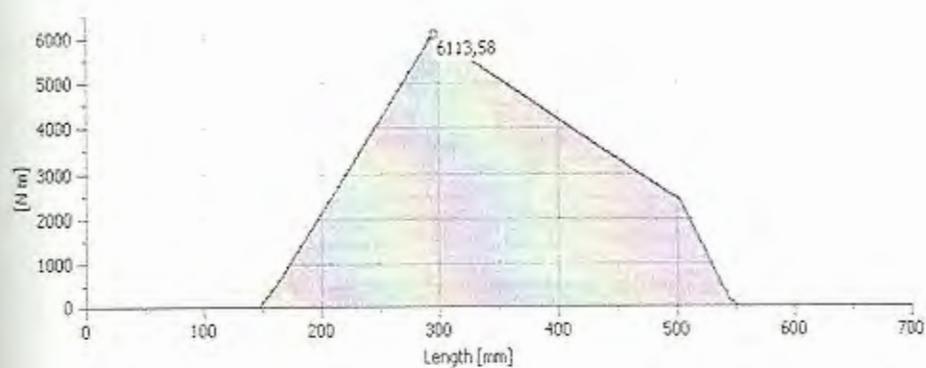


Fig. 4.17 Diagrama de momento flexionante resultante

Se obtienen las reacciones en los apoyos 1 y 2 que se muestran en la Fig. 4.11.

Soporte 1

<i>Parámetros</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
R1x	0	N
R1y	45878,67	N
R1z	38952,66	N
R1r	60184,40	N

Tabla 4.11 Reacciones en el soporte 1

Soporte 2

<i>Parámetros</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
R2x	0	N
R2y	38866,79	N
R2z	6081,34	N
R2r	39339,67	N

Tabla 4.12 Reacciones en el soporte 2

Nomenclatura:

R1x: fuerza de reacción en el soporte 1, en el eje X

R2x: fuerza de reacción en el soporte 2, en el eje X

R1r: fuerza de reacción resultante en el soporte 1

De acuerdo a las reacciones resultantes en los Apoyos 1 = 60184 N y en el Apoyo 2 = 39339 N, se seleccionarán los rodamientos donde se soportará el eje.

El tipo de rodamiento seleccionado será uno de rodillos cilíndricos ya que tienen características apropiadas para condiciones de bajas velocidades de rotación, alta rigidez como también donde se requiera de resistencia a los choques y vibración.

El código del rodamiento seleccionado es el NU220 (Apéndice D), el cual tiene una diámetro interior de 100 mm; soporta cargas dinámicas de 183000 N y cargas estáticas de de 217000 N.

Finalmente el Software proporciona cual debería ser el valor del diámetro de eje, tal que soporte los esfuerzos presentes. Según se puede ver en la Fig. 4.18 el diámetro en el punto crítico será de 110.8 [mm], localizado en el apoyo 1.

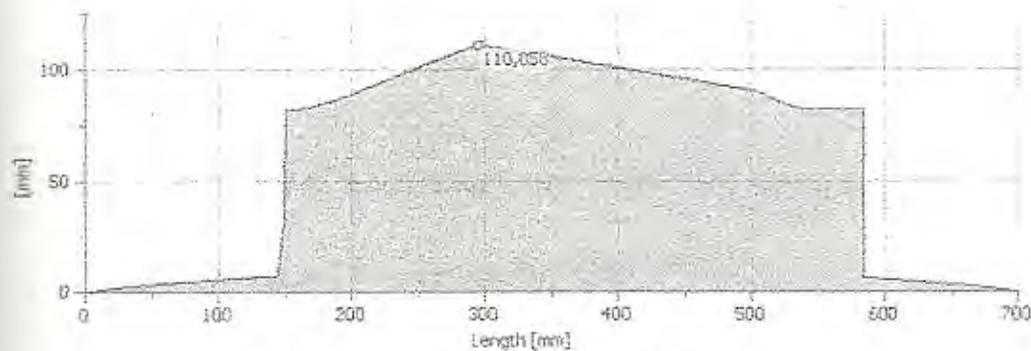


Fig. 4.18 Software Inventor - Diámetro ideal del eje

Obtenidas las fuerzas y momentos flectores, se calculará el diámetro necesario del eje aplicando las fórmulas convencionales del criterio de falla por fatiga de Goodman, para realizar una comparación con los cálculos obtenidos con el Software.

$$d = \left(\frac{16m}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} [4(K_f M_n)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2} \right\} \right)^{1/3}$$

Ecuación 32

Primero se procederá a calcular el límite de resistencia a la fatiga S'_e y luego se obtendrá el valor corregido multiplicándolo por los factores de corrección.

Para calcular el S'_e es necesario conocer la resistencia última del material, por lo que se seleccionará un acero bonificado para maquinaria AISI 4337, el cual es un acero al molibdeno que al combinarse con níquel y cromo soporta altas exigencias de resistencia y tenacidad en secciones grandes.

<i>Propiedades</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Esfuerzo de fluencia, S_y	685	Mpa
Resistencia a la tensión, S_{ut}	1000	Mpa
Dureza	270 - 330	HRB

Tabla 4.13 Propiedades mecánicas acero AISI 4337

Donde la resistencia a la fatiga S_e es:

$$S_e = K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e \cdot K_f \cdot S'_e$$

$$S'_e = 0.5 \cdot S_{ut}$$

- **Factor de superficie K_a :**

$$K_a = a S_{ut}^b$$

Para una superficie maquinada:

$$a = 4.51 \text{ [MPa]}$$

$$b = -0.265 \text{ [MPa]}$$

- **Factor de tamaño K_b :**

$$K_b = 1.51 d^{-0.157}$$

- **Factor K_c es 1 por ser carga combinada**

- **Factor de temperatura $K_d=1$**

- **Factor de confiabilidad K_e :**

$$K_e = 1 - 0.08 Z_a$$

Para tener una confiabilidad del 95%, el $Z_a=1.645$

- **Factor de esfuerzos varios $K_f=1$**

Resultados

Factores	Valor	Unidades	Ecuación
Ka	0,72	-	24
Kb	0,24	-	25
Kc	1	-	-
Kd	1	-	-
Ke	0,87	-	26
Kf	1	-	-

Tabla 4.14 Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga

Para este caso particular en el que se está analizando un eje, se tiene que en las componentes alternantes, el torque será aproximadamente constante por lo que será cero y de las componentes medias, el momento será cero.

Con esto se tiene que $M_m=0$ y el $T_a=0$, lo cual elimina algunos de los términos de la Ecuación 32 y quedando de la siguiente manera:

$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} [3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2} \right\} \right)^{1/3}$$

Para poder aplicar el criterio de Goodman, se selecciona el punto crítico del eje o el punto que está sometido a mayor carga.

Según los diagramas de fuerza cortante y momento flector, se puede observar que el punto crítico del eje será en el *apoyo 1*, en donde existe el momento flector máximo y además existe un torque medio, que es el proporcionado por el motor. Entonces se obtiene que:

$$M_a = 6113.68 [N - m]$$

$$T_m = 3130 [N - m]$$

Debido a que todavía no se ha realizado el diseño del eje, no se pueden tener valores exactos de los factores de concentración de esfuerzos K_t y K_{ts} .

Para hacer una primera aproximación se usarán valores estándar empleados por los fabricantes de cojinetes. Una mirada a los catálogos de cojinetes muestra que un cojinete típico necesita que la relación D/d este entre 1.2 y 1.5, de la misma manera para la relación del radio del filete "r" con el diámetro de perforación "d" tiene valores en el rango de

(0.02 a 0.06). Se seleccionaron las siguientes relaciones obteniendo sus respectivos valores de concentración de esfuerzo K_t y K_{ts} :

<i>Parámetros</i>	<i>Valor</i>
D/d	1,5
r/d	0,04
K_t	2,7
K_{ts}	1,9
q	0,87
K_f	2,48
K_{fs}	1,78

Tabla 4.15 Factores típicos de concentración de esfuerzos para cojinetes

Los valores de K_t y K_{ts} se obtuvieron de las tablas de los Apéndices E y F.

Para calcular los valores de concentración de esfuerzos a la fatiga, K_f o K_{fs} se utilizarán las siguientes formulas:

$$K_f = 1 + q(K_t - 1); \text{ Ecuación 33}$$

$$K_{fs} = 1 + q(K_{ts} - 1); \text{ Ecuación 34}$$

Nomenclatura:

Kt: Factor de concentración de esfuerzos, flexión.

Kts: Factor de concentración de esfuerzos, torsión.

Kf: Factor de concentración de esfuerzos a la fatiga, flexión.

Kfs: Factor de concentración de esfuerzos a la fatiga, torsión.

Resultados

<i>Parámetros</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>	<i>Ecuación</i>
Ma	5736,51	N-m	-
Tm	3130	N-m	-
η_f	1,6	Mpa	21
Se	226,79	Mpa	22
d	0,103	m	32

Tabla 4.16 Parámetros para el cálculo del diámetro del eje, según el Criterio de falla contra la fluencia de Goodman

Debido a que el criterio de Goodman no considera la falla por fluencia, se calcula el factor de seguridad contra la fluencia del primer ciclo n_f utilizando una reducción de esfuerzos por el criterio de Von Mises.

$$\sigma'_{max} = [(\sigma_m + \sigma_a)^2 + 3(\tau_m + \tau_a)^2]^{1/2}; \text{Ecuación 35}$$

$$\sigma'_{max} = \left[\left(\frac{32K_f(M_n + M_a)}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16K_{fs}(T_m + T_a)}{\pi d^3} a \right)^2 \right]^{1/2}$$

Este esfuerzo máximo de von Mises se compara con la resistencia a la fluencia.

$$n_y = \frac{S_y}{\sigma'_{max}}; \text{Ecuación 36}$$

Resultados

Parámetros	Valor	Unidades	Ecuación
σ'_{max}	177,10	Mpa	35
n_y	3,87	-	36

Tabla 4.17 Calculo del factor de seguridad para la fluencia del primer ciclo

Se obtiene un factor de diseño o de seguridad contra la fluencia n_y de 3.87, con lo cual se garantiza que el eje no fallara por fluencia.

Realizando una comparación entre el diámetro obtenido mediante el Software y el calculado manualmente, existe una diferencia porcentual del 6%, lo cual es relativamente baja.

$$\varepsilon\% = \frac{V_{Teorico} - V_{Real}}{V_{Teorico}} = \frac{110 - 103}{110} = 6.36\%$$

4.2.2 Sistema de separación de rodillos

Uno de los requerimientos de esta máquina es que la distancia de separación de los rodillos desbastadores pueda ser regulada, con el fin de ajustarse a los diferentes espesores de los neumáticos.

Para este fin se va diseñar un tornillo de potencia, en donde el requerimiento principal de diseño será que el tornillo sea de tipo autobloqueante, con lo que se garantizará que éste no gire por acción de la fuerza axial aplicada.

Para la transmisión de potencia se emplean dos tipos principales de roscas, las roscas cuadradas y las ACME que se muestran en la Fig. 4.19.

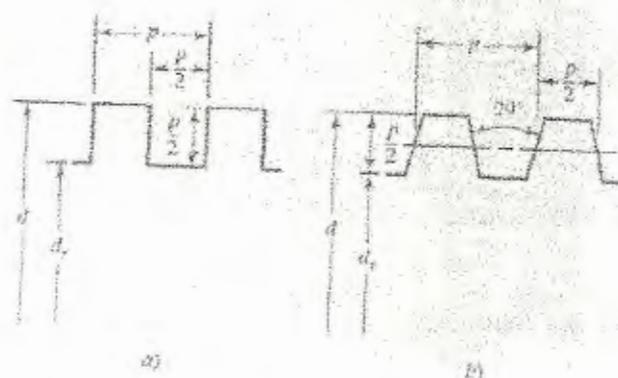


Fig. 4.19 a) Rosca Cuadrada, b) Rosca ACME

Para este caso se ha seleccionado una rosca del tipo cuadrada. En la Fig. 4 se muestran los diagramas de fuerza para subir y bajar la carga.

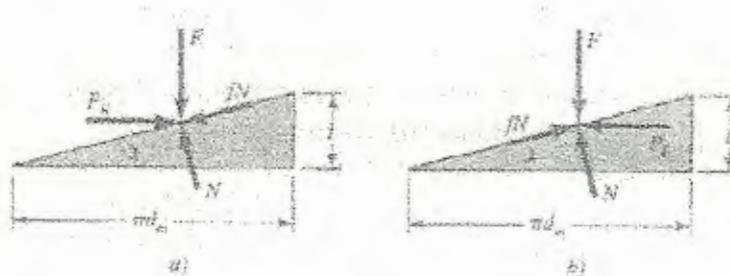


Fig. 4.20 Diagrama de fuerzas a) subir la carga, b) bajar la carga

Fuente: Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett;
 Diseño en ingeniería mecánica de Shigley;
 Cap 8; Pag 401

Debido a que este tornillo estará conectado con la caja que ya se diseñó en un paso anterior, se partirá del diámetro que posee la caja para el alojamiento de este tornillo y se verificará si cumple con los requerimientos necesarios.

Se partirá de un diámetro de 2" y un paso preferido para este diámetro de $\frac{1}{4}$ ". Se calculará el torque necesario para subir la carga "TR" y el necesario para bajar la carga "TL" empleando las siguientes ecuaciones:

$$T_R = \frac{F \cdot d_m}{2} \left(\frac{l + \pi f \cdot d_m}{\pi \cdot d_m - fl} \right) + \frac{F \cdot f_c \cdot d_c}{2} ; \text{Ecuación 37}$$

$$T_L = \frac{F \cdot d_m}{2} \left(\frac{\pi f \cdot d_m - l}{\pi \cdot d_m + fl} \right) + \frac{F \cdot f_c \cdot d_c}{2} ; \text{Ecuación 38}$$

Se calcula la eficiencia del tornillo mediante la siguiente ecuación:

$$e = \frac{Fl}{2\pi T_R} ; \text{Ecuación 39}$$

El esfuerzo cortante nominal en torsión del cuerpo del tornillo se expresa:

$$\tau = \frac{16T}{\pi d_r^3}; \text{Ecuación 40}$$

El esfuerzo axial σ en el cuerpo del tornillo debido a la carga F es:

$$\sigma = \frac{4F}{\pi d_r^2}; \text{Ecuación 41}$$

El esfuerzo de apoyo en la rosca del tornillo σ_B es:

$$\sigma_B = \frac{-2F}{\pi \cdot d_m \cdot n_t \cdot p}; \text{Ecuación 42}$$

Donde n_t es el número de roscas en contacto.

El esfuerzo flexionante σ_b en la raíz de la rosca es:

$$\sigma_b = \frac{6F}{\pi \cdot d_r \cdot n_t \cdot p}; \text{Ecuación 43}$$

Para el cálculo de los esfuerzos de Von Mises se utiliza la siguiente ecuación:

$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) \right]^{1/2}$$

Ecuación 44

Para verificar la fluencia, este esfuerzo máximo de von Mises se compara con la resistencia a la fluencia del material del tornillo, empleando un acero ASISI 1045 con un esfuerzo de fluencia de 320 Mpa.

$$n_y = \frac{S_y}{\sigma'_{max}}$$

Condiciones Iniciales	Valor	Unidades
F	32701	N
d	50	mm
p	6,35	mm
f	0,15	mm
dc real	80	mm
fc	0,09	mm

Tabla 4.18 Condiciones iniciales para el cálculo del tornillo de potencia

Nomenclatura:

F: Fuerza en los rodillos por proceso de laminación

d: Diámetro exterior del tornillo

p: paso del tornillo

f: Coeficiente de fricción entre las partes roscadas

f_c: Coeficiente de fricción del collarín de empuje

Los coeficientes de fricción *f* y *f_c* se obtienen de las tablas de los Apéndices G y H.

Para los cálculos referentes a la geometría del tornillo se emplean las siguientes ecuaciones:

$$\text{Diametro medio: } d_m = d - \frac{p}{2}; \text{Ecuación 45}$$

$$\text{Diametro menor: } d_r = d - p; \text{Ecuación 46}$$

$$\text{Avance: } l = np; n = 1; \text{Ecuación 47}$$

Diametro medio del collarín: *dc*

$$= \frac{dc_{real} - d}{2} + d; \text{Ecuación 48}$$

Parámetros	Valor	Unidades	Ecuación
dm	46,825	mm	45
dr	43,65	mm	46
l	6,35	mm	47
dc	65	mm	48

Tabla 4.19 Parámetro de la geometría del tornillo de potencia

Resultados

<i>Parámetros</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>	<i>Ecuación</i>
Tr	244,51	N-m	37
Tl	176,92	N-m	38
e	0,14	-	39
τ	14,97	Mpa	40
σ	-21,85	Mpa	41
σ_B	-26,61	Mpa	42
σ_b	85,62	Mpa	43

Tabla 4.20 Cálculos obtenidos para el tornillo de potencia

<i>Parámetros</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>	<i>Ecuación</i>
σ_x	85,62	Mpa	-
τ_{xy}	0	Mpa	-
σ_y	0	Mpa	-
τ_{yz}	14,97	Mpa	-
σ_z	-21,85	Mpa	-
τ_{zx}	0	Mpa	-
σ'	101,75	Mpa	44
n_y	3,15	-	36

Tabla 4.21 Esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad,
tornillo de potencia

Analizando los resultados se puede observar que el torque para bajar la carga Tl, es positivo lo que indica que el tornillo será autobloqueante. Al obtener el esfuerzo resultante de Von Mises y compararlo con la resistencia a la fluencia del material seleccionado, se obtiene un factor de

seguridad de 3.15, lo cual garantizará el correcto funcionamiento del mismo.

4.2.3 Sistema de soporte y alimentación

La función de este mecanismo es de poder soportar el neumático y además deberá transformar un movimiento circular proporcionado por el operador, en uno lineal, de tal manera que el neumático pueda ser introducido entre los rodillos.

Debido al labrado exterior en forma helicoidal que se le ha realizado a los rodillos, estos tenderán a halar el neumático entre los rodillos, por lo que la fuerza que requerirá el mecanismo de alimentación para introducir el neumático en los rodillos será mínima.

El mecanismo seleccionado es el de piñon-cremallera, el cual transforma un movimiento circular en uno lineal.

4.2.4 Sistema de transmisión de potencia

Para el sistema principal de transmisión de potencia, se ha diseñado una caja de transmisión que consta de cuatro engranes tal como se muestra en la Fig. 4.21.

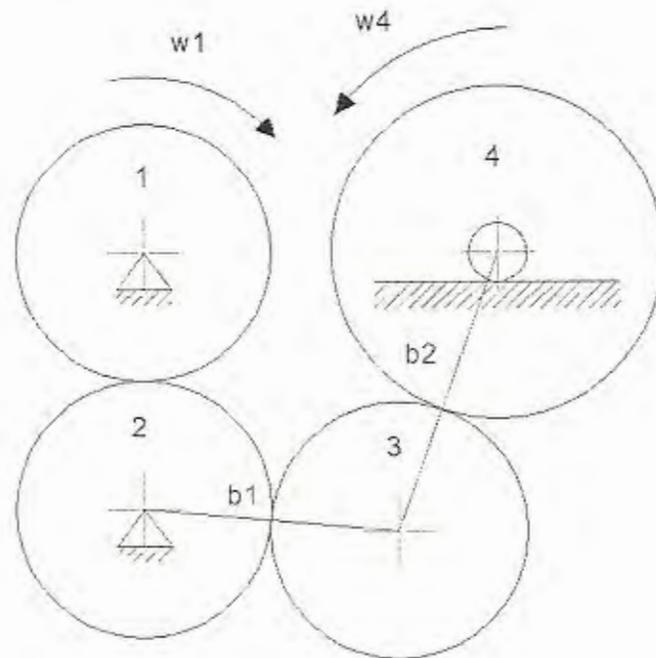


Fig. 4.21 Esquema de la caja de transmisión

Nomenclatura

1, 2, 3, 4: Engranés

b1, b2: Eslabón de unión o biela

w: Velocidad angular

El objetivo principal de esta caja de transmisión, aparte del de proporcionar torque a los dos ejes principales, será el de permitir la separación de los rodillos desbastadores.

Como parámetros iniciales conocidos, se tiene la velocidad de rotación $w_1 = 21.8$ rpm, la cual será proporcionada por el reductor de velocidad, y la potencia que deberán transmitir los engranes que es de 2.76 [Kw], que se obtiene del proceso de laminación.

Se procederá a calcular cual es la relación de velocidades de entrada y salida que deberá tener la caja de transmisión para que la velocidad del eje de salida sea de 17 rpm.

$$m_{v. engranes} = \frac{w_1}{w_4} = \frac{21.8}{17} = 1.28$$

Realizando varias iteraciones, considerando la falla por fatiga a flexión y la falla por picadura, además de tomar en consideración el espacio aproximado del que se dispone para la caja de transmisión, se ha seleccionado un engrane 1 con las siguientes características:

- Engranaje de dientes rectos
- Ángulo de presión = 20°
- Modulo (m) = 8
- Numero de dientes (N) = 24
- Ancho (F) = 75 [mm]

Mediante la siguiente ecuación se obtiene el paso diametral:

$$p_{d1} = m N = 192 \text{ [mm]}$$

Los engranes 2 y 3, serán iguales que el engrane 1; multiplicando el ratio calculado anteriormente por el engrane 1 se obtendrá el diámetro del engrane 4, el cual tiene un valor de 245.56 [mm]. Como se deberá seleccionar un número de dientes enteros, se corrige este diámetro de la siguiente manera:

$$p_{d4} = m N = 8 \times 31 = 248 \text{ [mm]}$$

Los eslabones de unión b1 y b2, estarán sometidos a tensión, por lo que se analizará cada par de engranes para poder calcular la fuerza de tensión en cada eslabón.

En la fig. 4.29, se muestran las fuerzas de contacto entre dos engranes.

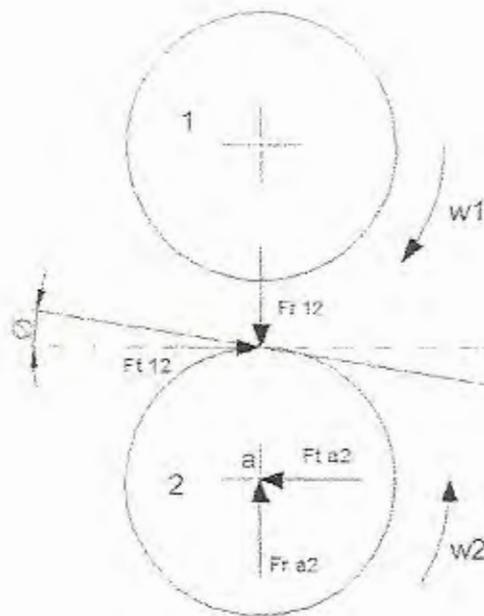


Fig. 4.22 Diagrama de fuerzas entre dos engranes

Nomenclatura:

\varnothing : ángulo de contacto

1: engrane 1

F_{t12} : fuerza tangencial del engrane 1 que actúa sobre 2

F_{r12} : fuerza radial del engrane 1 que actúa sobre 2

$F_{t a2}$: fuerza tangencial del eje a sobre el engrane 2

H : potencia

w : velocidad angular (1/s)

Se emplearán las siguientes ecuaciones para los cálculos:

$$F^t = W^t = \frac{2 H}{d w} ; \text{Ecuación 49}$$

$$W^r = F^t \operatorname{Tag} \phi ; \text{Ecuación 50}$$

Parámetros	Valor	Unidades
H	2,7	Kw
w2	21,8	rpm
w4	17	rpm
d2	0,192	m
d4	0,248	m

Tabla 4.22 Condiciones iniciales para el cálculo de fuerzas en engranes

Parámetros	Valor	Unidades	Ecuación
Wt 23	12319,91	N	49
Wr 23	4484,08	N	50
W23 resultante	13110,57	N	-
Wt 34	12231,07	N	49
Wr 34	4451,75	N	50
W34 resultante	13016,04	N	-

Tabla 4.23 Resultados del análisis de fuerza en engranes

Como se puede observar en la tabla de resultados, las fuerzas radiales que actúan en los eslabones b1 y b2 son

aproximadamente iguales, por lo que se diseñará este elemento empleando la carga máxima de 4484.08 N.

Los eslabones se diseñarán con una sección transversal rectangular $a' \times b'$, donde el ancho a' se ha seleccionado en un valor de 30 mm, el factor de seguridad será de $F.S. = 3$, y se ha seleccionado como material un acero al carbono ASTM A36 con una resistencia a la fluencia $S_y = 250$ Mpa.

Para calcular el espesor b' , se emplea la siguiente ecuación, que toma en cuenta que la fuerza estará aplicada a dos barras:

$$b' = \frac{F \times F.S.}{2 \times a' \times S_y} = \frac{4484 \times 3}{2 \times 30 \times 250} = 0.897 \text{ [mm]}$$

Se seleccionará un espesor b' de 4 mm, para facilitar la construcción de estos elementos y evitar posibles pandeos.

Ahora se verificará que las características y dimensiones seleccionadas para los engranes sean las correctas, basándose en la metodología empleada por la

Asociación americana de fabricantes de engranes (AGMA).

En esta metodología se emplean dos ecuaciones fundamentales de esfuerzo, una del esfuerzo de flexión y la otra de la resistencia a la picadura (esfuerzo de contacto).

La ecuación del esfuerzo de flexión de engranes es:

$$\sigma = W^t K_o K_v K_s \frac{P_d}{F} \frac{K_m K_B}{J} ; \text{Ecuación 51}$$

Nomenclatura:

W^t : carga tangencial transmitida [lbf]

K_o: factor de sobrecarga

K_v: factor dinámico

K_s: factor de tamaño

P_d: paso diametral transversal

F: ancho de la cara del elemento más angosto [pulg]

K_m: factor de distribución de la carga

K_B: factor de espesor del aro

J: factor geométrico de resistencia a la flexión, que incluye el factor de concentración de esfuerzo en la raíz del entalle K_f .

La ecuación del esfuerzo de contacto de engranes es:

$$\sigma_c = C_P W^t K_o K_v K_s \frac{K_H}{d_{w1} b} \frac{Z_R}{Z_I}; \text{ Ecuación 52}$$

Nomenclatura:

C_p: coeficiente elástico

C_f: factor de condición superficial

d_p: diámetro de paso del piñon [mm]

I: factor geométrico de resistencia a la picadura

Para calcular los esfuerzos permisibles, habrá que tomar en cuenta dos factores de seguridad, los cuales serán el objetivo final de estos cálculos.

La ecuación del esfuerzo de flexión permisible es:

$$\sigma_{perm} = \frac{S_t}{S_F} \frac{Y_N}{K_T K_R}; \text{ Ecuación 53}$$

Nomenclatura

S_t: esfuerzo de flexión permisible [lbf/pulg²]

Y_N: factor de ciclos de esfuerzo del esfuerzo de flexión

K_T: factores de temperatura

K_R: factores de confiabilidad

S_F: factor de seguridad en flexión AGMA

La ecuación del esfuerzo de contacto permisible es:

$$\sigma_{c,perm} = \frac{S_c}{S_H} \frac{Z_N C_H}{K_T K_R}; \text{ Ecuación 54}$$

Nomenclatura

S_c: esfuerzos de contacto permisibles [lbf/pulg²]

Z_N: factor de vida de ciclos de esfuerzo

C_H: factores de relación de dureza

S_H: factor de seguridad del desgaste AGMA

Las ecuaciones, tablas y gráficos empleados para determinar los factores relacionados a los cálculos de engranes se han obtenido a partir de la norma AGMA, a continuación se presentarán algunas ecuaciones importantes.

- Factor geométrico de resistencia superficial:

$$I = \frac{\cos \phi_t}{2m_N} \frac{m_G}{m_G + 1}; \text{ Ecuación 55}$$

$$\text{Engranes rectos} \rightarrow m_N = 1$$

$$m_G = \frac{\text{Dientes de la corona}}{\text{Dientes del piñon}} = \frac{N_G}{N_P}$$

- Factor dinámico:

$$K_v = \left(\frac{A + \sqrt{V}}{A} \right)^B; \text{ Ecuación 56}$$

$$A = 50 + 56(1 - B); \text{ Ecuación 57}$$

$$B = 0.25 (12 - Q_v)^{2/3}; \text{ Ecuación 58}$$

Calidad comercial: $Q_v = [3 - 7]$

- Factor de distribución de carga

$$K_m = 1 + C_{mc}(C_{pf} C_{pm} + C_{ma} C_e); \text{Ecuación 59}$$

$$C_{pf} = \frac{F}{10d} - 0.0375 + 0.0125 F; \text{Ecuación 60}$$

$$C_{ma} = A + BF + CF^2; \text{Ecuación 61}$$

Las constantes empíricas A, B, C, se obtienen del Apéndice I

- Factores de los ciclos de esfuerzo, mayores a 10^7 ciclos de carga:

$$Y_N = 1.3558 N^{-0.0178}; \text{Ecuación 62}$$

$$Z_N = 1.3558 N^{-0.0178}; \text{Ecuación 63}$$

Empleando las ecuaciones anteriores, se obtienen las siguientes tablas de resultados:

Parámetro	Descripción	Valor	Unidades
Pd	Paso diametral	5,16	-
ω	Velocidad del piñón	21,8	rpm
H	Potencia transmitida	3,68	Hp
(HB)P	Dureza Brinell, Piñón	350	HB
(HB)G	Dureza Brinell, Corona	350	HB

Tabla 4.24 Condiciones iniciales para el cálculo de engranes

Parámetro	Descripción	Valor	Unidades
F	Ancho entre caras del engrane	2,95	pulg
(N)P	Numero de dientes piñón	24	dientes
(N)G	Numero de dientes corona	31	dientes
(d)P	Diámetro del piñón	7,56	pulg
(d)G	Diámetro de la corona	9,76	pulg
v	Velocidad lineal	43,14	pies/min
mG	Relación de velocidades de engranes	1,29	-
Wt	Fuerza tangencial	2816,38	lbf

Tabla 4.25 Cálculos generales de engranes

<i>Descripción</i>	<i>Abreviación</i>	<i>Valor</i>	<i>Referencia</i>
<i>Factor de sobrecarga</i>	Ko	1	-
<i>Factor de tamaño</i>	Ks	1	-
<i>Factor de espesor del aro</i>	KB	1	-
<i>Factor de temperatura</i>	KT	1	-
<i>Factor de condición superficial</i>	Cf	1	-
<i>Factor de confiabilidad</i>	KR	1	-
<i>Coefficiente elástico</i>	Cp	2300	Apéndice J
<i>Parámetro</i>	Qv	7	-
<i>Parámetro</i>	B	0,73	Ecuación 58
<i>Parámetro</i>	A	65,06	Ecuación 57
<i>Factor dinámico</i>	Kv	1,07	Ecuación 56
<i>Parámetro</i>	Cmc	1	-
<i>Parámetro</i>	Cpf	0,05	Ecuación 60
<i>Parámetro</i>	Cpm	1	-
<i>Parámetro</i>	Cma	0,30	Ecuación 61
<i>Parámetro</i>	Ce	1	-
<i>Factor de distribución de carga</i>	Km	1,35	Ecuación 59
<i>Factor de ciclo de carga, YN, Piñón</i>	(YN)P	0,977	Ecuación 62
<i>Factor de ciclo de carga, YN, Corona</i>	(YN)G	0,981	Ecuación 62
<i>Factor de ciclo de carga, ZN, Piñón</i>	(ZN)P	0,948	Ecuación 63
<i>Factor de ciclo de carga, ZN, Corona</i>	(ZN)G	0,954	Ecuación 63
<i>Factor geométrico resistencia a la flexión, Piñón</i>	(J) P	0,34	Apéndice I
<i>Factor geométrico resistencia a la flexión, Corona</i>	(J) G	0,36	Apéndice I
<i>Factor geométrico resistencia superficial</i>	I	0,091	Ecuación 55

Tabla 4.26 Resultado de los distintos factores de engranes

<i>Descripción</i>	<i>Abreviación</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Resistencia a la flexión, Piñón	(St) P	39855	Psi
Resistencia al contacto, Corona	(St) G	39855	Psi
Resistencia al contacto, Piñón	(Sc) P	141800	Psi
Resistencia al contacto, Corona	(Sc) G	141800	Psi

Tabla 4.27 Resultados de la resistencia a la flexión en engranes

<i>Descripción</i>	<i>Abreviación</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
<i>Esfuerzo de Flexión del diente, Piñón</i>	(σ) P	12853	Psi
<i>Esfuerzo de Flexión del diente, Corona</i>	(σ) G	12139	Psi
<i>Esfuerzo por desgaste del diente, Piñón</i>	(σ_c) P	103124	Psi
<i>Esfuerzo por desgaste del diente, Corona</i>	(σ_c) G	103124	Psi

Tabla 4.28 Resultados de los esfuerzos en engranes

<i>Descripción</i>	<i>Abreviación</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
<i>Factor de seguridad en flexión, Piñón</i>	(SF) P	3,03	Psi
<i>Factor de seguridad en flexión, Corona</i>	(SF) G	3,21	Psi
<i>Factor de seguridad al desgaste, Piñón</i>	(SH) P	1,30	Psi
<i>Factor de seguridad al desgaste, Corona</i>	(SH) G	1,30	Psi

Tabla 4.29 Resultados de los factores de seguridad para flexión y desgaste

Según los resultados de la tabla anterior, se han obtenido factores de seguridad de 3 para la flexión y 1.3 para la falla por desgaste, los cuales se encuentran en el rango de seguridad permitido.

Al comparar el factor de seguridad de flexión "SF" con el de desgaste al cuadrado "SH²", se tienen valores menores para el SH, por lo que el engrane fallará primeramente por desgaste.

4.2.5 Sistema de reducción de velocidad

Para la reducción principal de la velocidad del motor, se empleará un reductor de velocidad de engranajes, el cual se seleccionará en la sección de "Selección de elementos normalizados".

4.2.6 Bastidor

El bastidor es el encargado de soportar todos los elementos que conforman la máquina, como son: motor, caja reductora, caja de transmisión y la caja porta rodillos.

Para este diseño se ha optado por una estructura metálica soldada, conformada de distintos perfiles de acero como ángulos y canales, tal como se ilustra en la Fig. 4.25 y 4.26.

4.3 Selección de elementos normalizados

4.3.1 Motor eléctrico

Para calcular la potencia total requerida por la máquina se sumarán las potencias requeridas para los dos procesos principales (debaste y laminación) además de considerar el rendimiento de cada una de las conexiones mecánicas.

La potencia total requerida por los dos procesos es:

$$P_{total} = P' + P$$

$$P_{total} = 8.21 [Kw]$$

En la máquina existen tres conexiones mecánicas, para transmitir la potencia. Las cuales se presentan en la siguiente tabla con sus respectivos rendimientos.

<i>Métodos de transmisión de potencia</i>	<i>Rendimiento</i>
Transmisión por bandas; η_1	0,97
Transmisión engranajes en reductor; η_2	0,90
Transmisión engranajes en caja de transmisión; η_3	0,92

Tabal 4.30 Eficiencia de los métodos de transmisión de potencia

También hay que considerar la eficiencia del motor eléctrico " η_0 ", que tiene un valor aproximado de 87% para potencias entre 15 y 20 [Hp].

Entonces la potencia requerida por el motor será:

$$P_{requerida} = \frac{P_{total}}{\eta_0 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3}$$

$$P_{requerida} = 11.74 \text{ [Kw]}$$

Debido a que las potencias comerciales son 15 y 20 [Hp], se seleccionará un motor trifásico de 1800 rpm con una potencia de 20 [Hp] o 14.92 [Kw]. La ficha técnica de este motor se presenta en el Apéndice L.

4.3.2 Poleas y bandas de transmisión

La primera transmisión de potencia desde el motor eléctrico hacia los demás componentes será mediante bandas. Se tendrá que considerar ciertos aspectos relevantes como tipo de bandas a utilizar y tipo de poleas.

Se emplea el sistema de bandas justo entre el motor y el primer componente mecánico, ya que de esta manera servirá de elemento fusible en caso de un atascamiento en

Según los resultados de la tabla anterior, se han obtenido factores de seguridad de 3 para la flexión y 1.3 para la falla por desgaste, los cuales se encuentran en el rango de seguridad permitido.

Al comparar el factor de seguridad de flexión "SF" con el de desgaste al cuadrado "SH²", se tienen valores menores para el SH, por lo que el engrane fallará primeramente por desgaste.

4.2.5 Sistema de reducción de velocidad

Para la reducción principal de la velocidad del motor, se empleará un reductor de velocidad de engranajes, el cual se seleccionará en la sección de "Selección de elementos normalizados".

4.2.6 Bastidor

El bastidor es el encargado de soportar todos los elementos que conforman la máquina, como son: motor, caja reductora, caja de transmisión y la caja porta rodillos.

Para este diseño se ha optado por una estructura metálica soldada, conformada de distintos perfiles de acero como ángulos y canales, tal como se ilustra en la Fig. 4.25 y 4.26.

considerando una fuente de potencia con par torsional normal.

$$P_d = P_{nom} K_s$$

$$P_d = 20 \cdot (1.3)$$

$$P_d = 26 \text{ [Hp]}$$

En la Fig. 4.23 aparecen los tipos de banda a usar según la potencia de diseño y la velocidad angular. Aquí se selecciona una banda tipo B.

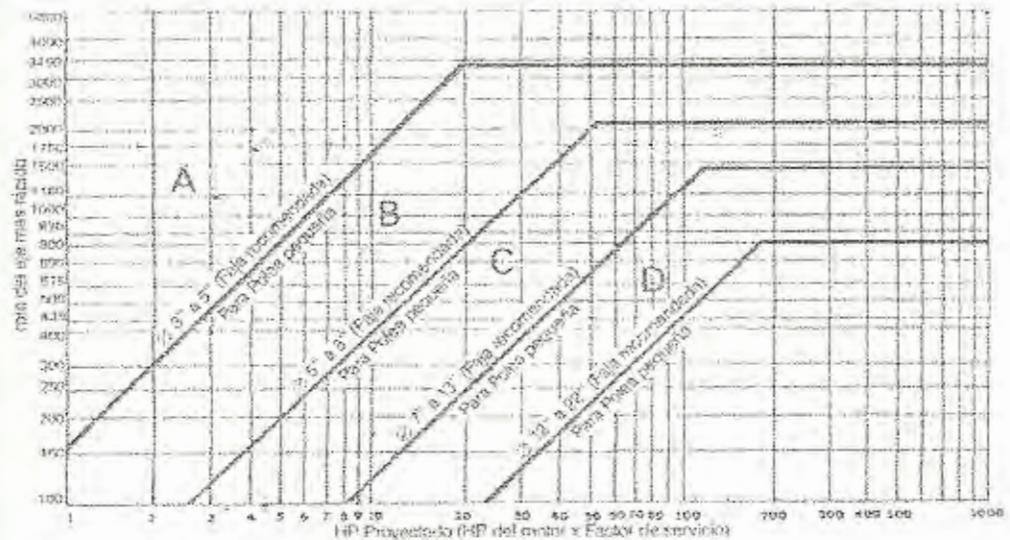


Fig. 4.23 Selección del perfil de la correa y diámetro de la polea menor

Fuente: GoodYear; Cálculos y recomendaciones para correas multi-V-3

Se selecciona una sección de banda tipo B, para la cual los diámetros primitivos recomendados para la polea de eje más rápido son de 5" a 8".

Se calcula la relación de velocidad entre el eje rápido y el eje lento:

$$R_T = \frac{1750}{875} = 2$$

Para calcular el diámetro menor, se procede a obtener un valor medio de los diámetros recomendados para la polea menor, (Fig. 4.23):

$$d_p = \frac{5 + 8}{2} = 7.5 \approx 8$$

Mediante la relación de velocidad se obtiene el diámetro primitivo de la polea mayor:

$$D_p = R_T \times d_p = 16"$$

En donde:

D_p: Diámetro de la polea mayor

d_p: Diámetro de la polea menor

La velocidad periférica de la banda se la calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$V = \frac{\pi \times d_p \times n}{12} = \frac{\pi(9)(1750)}{12} = 4123.34 \left[\frac{ft}{min} \right]$$

Esta velocidad no debe ser mayor a 6000 [ft/min].

En donde:

n: Velocidad de polea menor [RPM]

Se calcula la longitud de paso de la polea, para eso se emplea la siguiente ecuación:

$$L_p = 2C + \pi \frac{(D_p + d_p)}{2} + \frac{(D_p - d_p)^2}{4C}$$

En donde:

L_p: Largo primitivo de la banda

C: Distancia entre centros

La distancia entre centros será de 22". Este valor es mayor que la polea de diámetro mayor y menor que tres veces la suma de las poleas, con lo cual se cumplen las dos

condiciones generales para una correcta distancia entre centros.

$$L_p = 2(22) + \pi \frac{(16 + 8)}{2} + \frac{(16 - 8)^2}{4(22)} = 77.54''$$

Para obtener la longitud externa de la banda, se suma 1.2 al largo primitivo de la banda. Llevando este valor a la tabla del Apéndice M, se verifica que la correa que más se aproxima es la B-74, con un largo externo de 77".

- **Determinación del HP clasificado y números de correas**

a) Determinación del factor de corrección del arco de contacto:

Arco de contacto:

$$A_c = 180 - \frac{D_p - d_p}{C} \times 60 = 158.18^\circ$$

Con este valor, utilizando el Apéndice N se obtiene un factor de corrección por interpolación de:

$$F_{AC} = 0.967$$

- b) Determinación del factor de corrección del largo F_{LP} :

$$F_{LP} = 0.96$$

- c) Determinación del HP básico por correa, utilizando el Apéndice O. Se hace corresponder las rpm del eje rápido con el diámetro de la polea menor:

$$HP_{\text{basico}} = 7.61 \text{ [HP/Banda]}$$

- d) Determinación del HP adicional, utilizando el Apéndice O, se obtiene el HP adicional, encontrándolo al hacer corresponder las rpm con la relación de velocidades.

$$HP_{\text{adicional}} = 0.61 \text{ [HP/Banda]}$$

Se obtiene el HP clasificado, sumando el HP básico y adicional:

$$HP_{\text{clasificado}} = 8.22 \text{ [HP/Banda]}$$

Para obtener el HP efectivo, se multiplica el HP clasificado por los factores de corrección:

$$HP_{\text{efectivo}} = 8.22 \times 0.967 \times 0.96 = 7.63 \text{ [HP/Banda]}$$

El número de bandas a utilizar será:

$$N_{\text{bandas}} = \frac{\text{Potencia diseño}}{\text{Potencia efectiva}} = \frac{26}{7.63} = 3.4$$

$$N_{\text{bandas}} = 4 \text{ bandas}$$

En resumen se necesitarán poleas de 8" y 16", con cuatro ranuras para bandas tipo B y 4 bandas tipo B de 77" de largo exterior.

4.3.3 Reductor de velocidad

Debido a que la velocidad del rodillo desbastador se ha diseñado en un valor aproximado de 22.1 rpm, se deberá reducir la velocidad de 1750 rpm entregada por el motor anteriormente seleccionado.

Mediante el empleo de bandas entre el motor y la caja reductora se obtiene una reducción de velocidad a 875 rpm, ya que se ha seleccionado un juego de poleas con relación de velocidad 2:1.

$$m_{v. \text{ banda}} = \frac{D_{\text{polea}}}{d_{\text{polea}}} = \frac{16''}{8''} = 2$$

Nomenclatura

m_{v. banda}: relación de la velocidad del tren o "ratio"

D_{polea}: diámetro de la polea conducida

d_{polea}: diámetro de la polea conductora

Se ha seleccionado un reductor de ratio 40:1 para transmitir potencias de hasta 20 Hp, con el cual se obtiene una velocidad de salida en el reductor de 21.88 rpm la cual está muy próxima a los valores deseados.

Debido a que esta máquina deberá ser competitiva en el aspecto económico, se seleccionó un reductor de procedencia china con lo que se abaratan los costos, las especificaciones técnicas son las siguientes:

<i>Reductor de Velocidad</i>	
Productor	JIANGSU TAI XING LONG REDUCER CON. LTD
Origen	China
Modelo	ZQ 500-40-II-Z

Tabla 4.32 Características generales del reductor de velocidad

<i>Especificaciones</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Distancia entre ejes	500	mm
Distancia entre piso y eje	300 +/-1.5	mm
Ratio	40	-
Potencia Transmitida	15	Kw
Largo	990	mm
Ancho	350	mm
Alto	590	mm
Peso	390	Kg

Tabla 4.33 Especificaciones técnicas del reductor de velocidad

4.4 Diseño de los elementos utilizando el Software Inventor

Una vez que se han calculado las dimensiones de las piezas para que soporten las condiciones de carga, se ha realizado el diseño de cada una de las piezas y su ensamblaje final.

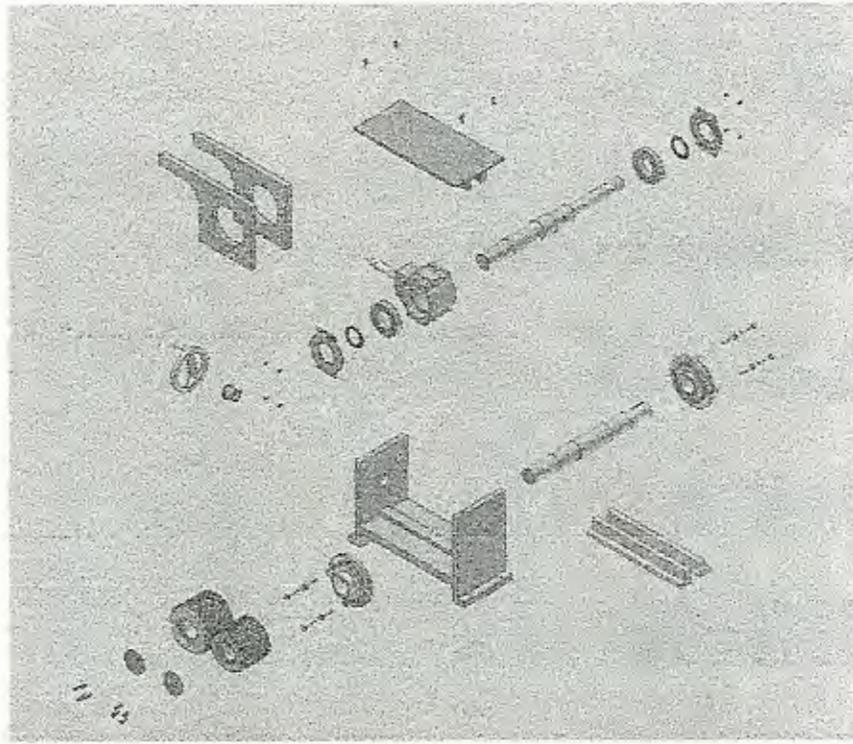


Fig. 4.24 Vista explosionada de la caja porta rodillos

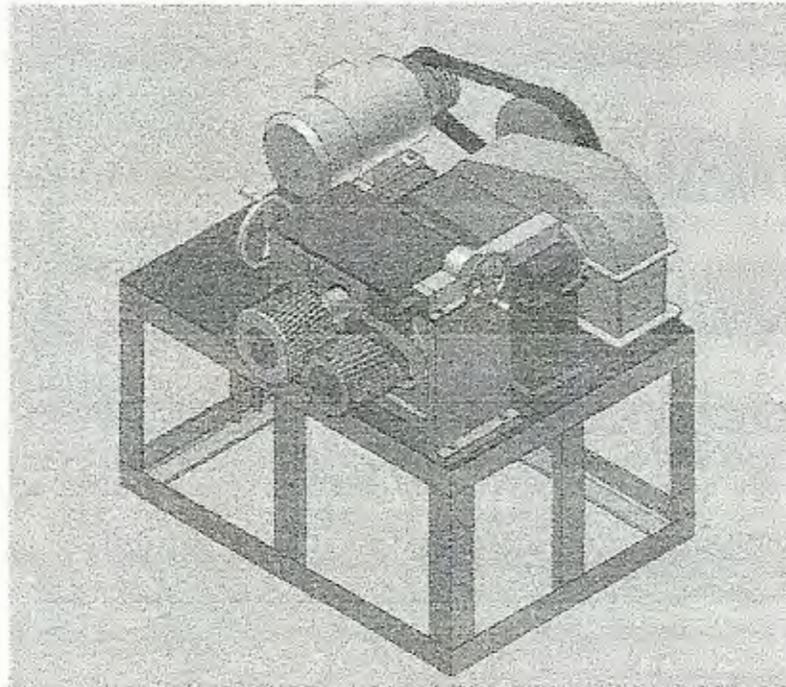


Fig. 4.25 Vista frontal en 3D de la Máquina Destalonadora

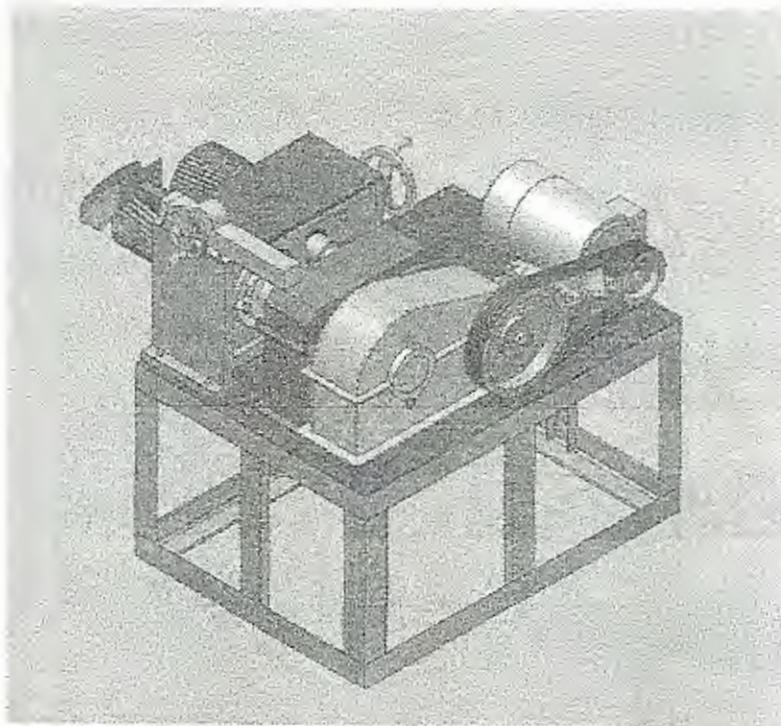


Fig. 4.26 Vista trasera en 3D de la Máquina Destalonadora

4.5 Simulación del prototipo utilizando el Software Inventor

El programa Inventor es una herramienta ampliamente utilizada en el diseño de sistemas mecánicos, la misma ofrece flexibilidad y rapidez a la hora de representar, analizar y simular estos sistemas. El método que utiliza este programa es el análisis de elementos finitos o (FEA) por sus siglas en ingles, el cual divide una pieza en elementos más pequeños llamados nodos, para posibilitar el cálculo.

Los pasos para hacer un análisis de elementos finitos en Inventor son:

1. Crear el Modelo CAD/ Crear Simulación
2. Seleccionar Material
3. Colocar Restricciones
4. Colocar Fuerzas
5. Crear el Mesh o la Malla
6. Resolver
7. Analizar los resultados

4.7.1 Análisis de la Cajera

Una vez que ya he realizado el dibujo de la cajera, según los rodamientos que se van a alojar dentro de esta, se selecciona el acero al carbona como material, el cual se encuentra dentro de la base de datos del programa.

Ahora se establecen las restricciones y las cargas a las que se someterá la cajera. La cajera tendrá dos tipos de restricciones; restricciones fijas y restricciones friccionales. Las cargas que se aplicaran a la cajera serán las cargas de los rodamientos y la carga producida en el proceso de laminación.

Las superficies a las cuales se les ha colocado restricciones y cargas se muestran en las figuras 4.27 y 4.28.

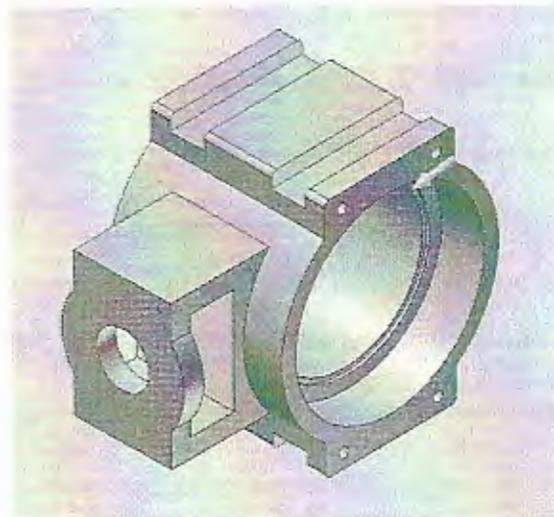


Fig. 4.27 Restricciones aplicadas a las superficies

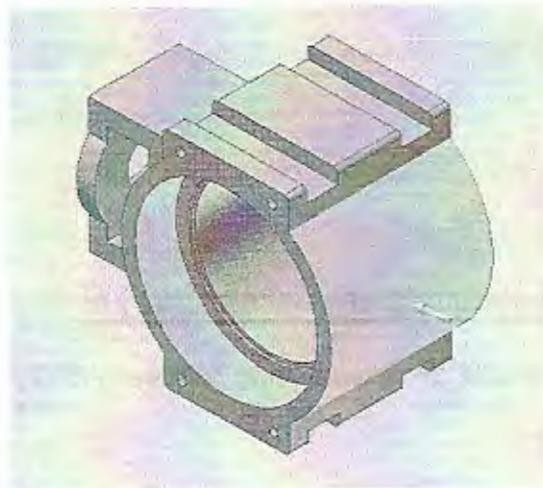


Fig. 4.28 Cargas aplicadas a las superficies

Finalmente se procede a hacer el mallado del elemento y resolver o correr el análisis, en donde se obtiene gráficamente los resultados de distribución de esfuerzos y los desplazamientos generados.

Según los resultados obtenidos, el máximo esfuerzo que se produce en la cajera, es de 13.87 Mpa, valor que está muy por debajo del límite de fluencia del material, obteniéndose un factor de seguridad de 15.

En cuanto a las deformaciones, se obtiene un valor máximo de 0.01 mm, con lo cual se garantizará el correcto funcionamiento de los rodamientos dentro de la cajera.

En las figuras 4.29 y 4.30, se puede visualizar de acuerdo a una escala de colores los valores máximos (color rojo) y valores mínimos (color azul), de los esfuerzos y las deformaciones.

Cabe aclarar que el color rojo en este caso no es necesariamente indicio de falla, simplemente representa el valor más alto presente en la cajera ya sea de esfuerzo o deformación.

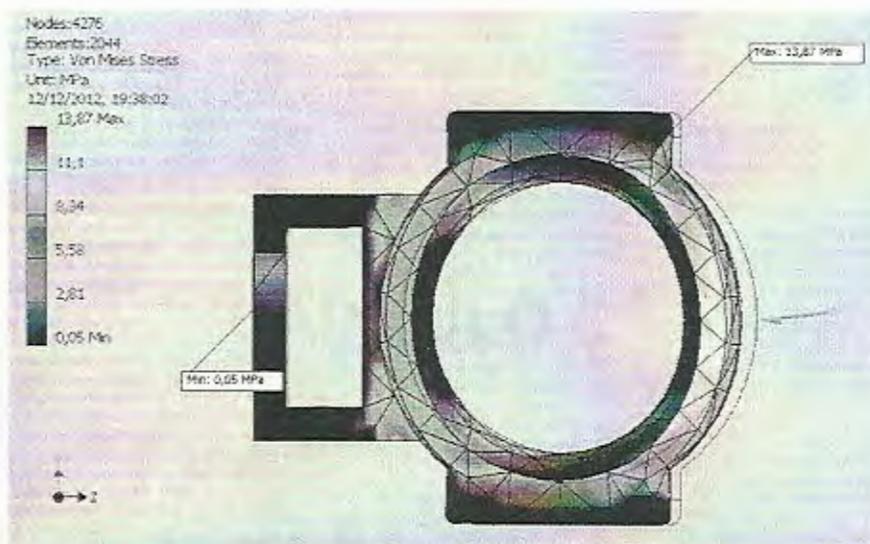


Fig. 4.29 Representación grafica de la distribución de esfuerzos en la "Cajera"

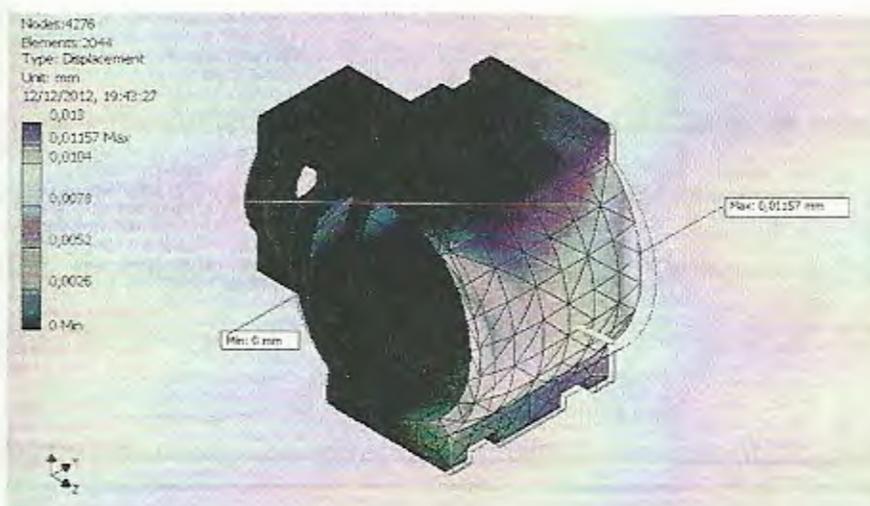


Fig. 4.30 Representación grafica de los desplazamientos en la "Cajera"

CAPÍTULO 5

5 ANÁLISIS DE COSTOS

El costo de fabricación de la máquina Destalonadora de neumáticos deberá ser económicamente competitiva, en comparación a máquinas extranjeras de características similares.

Uno de los inconvenientes al importar una máquina en este país, es la falta de mano de obra para el mantenimiento y la difícil adquisición de repuestos, problemas que se solucionarían si se fabricase la máquina localmente.

Para poder realizar un presupuesto del costo de fabricación, lo que se va hacer será presupuestar los elementos normalizados y además obtener un costo aproximado de los demás elementos que se van a construir.

El valor de las piezas a construir se basará en la complejidad de las mismas, de acuerdo a la cual se estimará cuanto tiempo en horas se requerirá para su construcción y cuántos trabajadores serán necesarios. Conociendo el costo/hora de trabajo de una fábrica metalmecánica y la utilidad de acuerdo al tipo de proceso, sea mecanizado o armado, se obtendrá el costo final de cada pieza y el costo final de la máquina.

5.1 Costos de los elementos normalizados

Ítem	Pieza	Especificaciones Generales	Cantidad	Costo Unit. [USD]	Costo Total [USD]
1	Polea Pequeña	Banda V tipo B Ø 8" con 4 ranuras	1	66	66,30
2	Polea Grande	Banda V tipo B Ø 16" con 4 ranuras	1	197	197,12
3	Banda V	Tipo B de L= 77" Caucho y nylon	4	15	60,18
4	Reductor de velocidad	Ratio 40 Potencia 20 Hp	1	1500	1500,00
<i>Caja de transmisión</i>					
5	Chumacera	Tipo Tensora UCT 214 d=70 mm	1	152	152,00
6	Pernos A	Ø3/8" x 1"	8	0,60	4,80
7	Pernos B	M10x25	24	0,60	14,40
<i>Caja desbastadora</i>					
8	Chumacera	De pared d=4"	2	381	762,00
9	Pernos C	Ø3/8" x 1/2"	8	0,70	5,60
10	Pernos D	M10X25	8	0,70	5,60
11	Pernos E	Ø1/2" x 3"	4	0,75	3,00
12	Rodamiento	Rodillo cilindricos NU220E D=180, d=100,B=34	2	273	546,00
13	HandWheel	Acero d ext=200 mm	2	19	38,00
SUBTOTAL 1					3.355,00

Tabla 4.34 Costo de elementos normalizados

5.2 Costos de elementos fabricados

Ítem	Pieza	Especificaciones Generales	Cantidad	Costo Unit. [USD]	Costo Total [USD]
1	Estructura soporte	Acero A36	1	530	530
2	Soporte del motor	Acero A37	1	66	66
3	Soporte del reductor	Acero A38	1	69	69
<i>Caja de transmisión</i>					
4	Carcasa	Acero A36	1	412	412
5	Bocín	Bronce D=90, d=80, L=30	2	30	59
6	Bridas	Acero A36 D=150, d=85, B=8	4	47	187
7	Bielas	Acero A36	4	37	148
8	Eje corto	Acero AISI 1045 Ø 80 x 270 mm	1	130	130
9	Piñón	Acero AISI 3115 M=8, Z=24, b=75	3	97	292
10	Corona	Acero AISI 3115 M=8, Z=31, b=75	1	131	131
<i>Caja desbastadora</i>					
11	Caja Soporte	Acero A36	1	656	656
12	Eje fijo	Acero AISI 4337 Ø 110 x 875 mm	1	204	204
13	Eje móvil	Acero AISI 4337 Ø 110 x 1010 mm	1	198	198
14	Cajera	Acero A36	1	282	282
15	Cajera-Tornillo	Acero Ø 2" x 290 mm	1	37	37
16	Tapa rodillo	Acero A36	2	31	62
17	Rodillo	Ø 250 x 200 mm	2	516	1032

<i>Sistema de alimentación</i>					
18	Piñón	Acero	1	36	36
19	Cremallera	Acero	1	96	96
20	Carcasa	Acero A36	1	125	125
SUBTOTAL 2					4.750,56

Tabla 4.35 Costos de elementos fabricados

5.3 Costo de los componentes eléctrico

Ítem	Pieza	Especificaciones Generales	Cantidad	Costo Unit. [USD]	Costo Total [USD]
1	Motor eléctrico	Trifásico 20 Hp @ 1750 RPM	1	1127	1127,00
2	Gabinete de arranque	Delta "Y"	1	567	567,00
	Breaker	3P 80AMP Marca SCHNEIDER	1	-	-
	Contactores	25AMP Marca SCHNEIDER	3	-	-
	Timer	Delta "Y"	1	-	-
	Pulsador	Color Verde Marca SHNEIDER	1	-	-
	Pulsador	Color Rojo Marca SHNEIDER	1	-	-
	Luz piloto	Color Verde	1	-	-
SUBTOTAL 3					1.694,00

Tabla 4.36 Costo de los componentes eléctricos

5.4 Costo de ensamblaje

Ítem	Pieza	Especificaciones Generales	Cantidad	Costo Unit. [USD]	Costo Total [USD]
1	Máquina	Alineación y ensamblaje	1	115	115
				SUBTOTAL 4	114,97

Tabla 4.37 Costo de ensamblaje de la máquina

5.5 Costo total de la máquina

Ítem	Especificaciones Generales	Costo [USD]	%	Peso [Kg]
1	Elementos normalizados	3.355,00	31	438,25
2	Elementos fabricados	4.750,56	44	723
3	Componentes eléctricos	1.694,00	16	80,3
4	Ensamblaje	114,97	1	-
<i>Costo total de la máquina</i>		9.914,53	-	-
<i>Imprevistos</i>		991,45	9	-
TOTAL		10.905,98	100%	1.241,55

Tabla 4.38 Costo total de la máquina

CAPÍTULO 6

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- El Proyecto del Diseño de una Máquina Destalonadora de Neumáticos, ayudaría a los productores, importadores, distribuidores y otros interesados en el reciclaje de neumáticos en el país, a obtener beneficios económicos del alambre metálico que poseen ciertos neumáticos.
- El diseño de esta máquina facilitará el posterior triturado de los neumáticos, por lo que indirectamente este proyecto beneficia al cumplimiento de las actuales normativas de disposición de desechos sólidos implantadas en Guayaquil.

- Un factor importante para la realización de este proyecto es la reducción del Impacto Ecológico que producen los neumáticos en el relleno sanitario, ya que estos tardan miles de años en descomponerse y además acumulan gases en su interior que pueden resultar peligrosos.
- El diseño de la máquina cumplió con los requerimientos planteados inicialmente, los cuales son:
 - Procesará neumáticos desde rin 12" hasta 22.5"
 - Tendrá una capacidad mínima de 30 neumáticos/hora
 - El peso total del equipo será de 1270 [Kg], el cual es menor al valor tope planteado de 1500 [Kg].
- Al realizar el modelo matemático, se obtuvo que la potencia se incrementaba proporcionalmente con la cantidad de neumático que entra en contacto con los rodillos, por lo que se preferirá utilizar máquinas desarmadoras en un proceso previo, para así evitar el consumo innecesario de tiempo y energía.
- El consumo energético de esta máquina es relativamente elevado. De los dos procesos principales que realiza esta máquina, el proceso de desbaste es el que consume la mayor parte de esta.

Debido a que este proceso, es netamente de fricción, gran parte de la energía empleada se disipara como calor, lo que se reflejará como una reducción en la eficiencia de la máquina. Será importante analizar otros métodos para retirar el talón de los neumáticos, evitando estas pérdidas de energía.

- Después de realizar este proyecto pude afianzarme en el proceso de diseño y consolidar los conocimientos generales aprendidos a lo largo de mi carrera de Ingeniería Mecánica, aplicando modernas e imprescindibles herramientas de diseño como los programas CAD/CAE; Los resultados obtenidos por estos programas son casi exactos a los obtenidos por los métodos manuales tradicionales, por lo que son confiables.

6.2 Recomendaciones

- La máquina deberá ser instalada en un terreno con una buena cimentación, evitando vibraciones excesivas e innecesarias que resultarían a largo plazo en un deterioro de la Máquina Destalonadora.

- La distancia de separación de los rodillos desbastadores, deberá ser regulada en el momento en que la máquina no esté procesando neumáticos, caso contrario se requeriría de mucha fuerza por el operario para realizar esta acción.
- Durante el montaje de la caja de transmisión con el reductor de velocidad y los rodillos desbastadores, será necesario comprobar la correcta alineación de los ejes ya que se empleo un acoplamiento rígido, el cual no admite desalineamientos.

APÉNDICES

APÉNDICE B

ACERO BONIFICADO PARA MAQUINARIA – AISI 4337



705-AISI 4337 Acero Bonificado para Maquinaria

GENERALIDADES: 705 es un acero al molibdeno el cual tiene una solubilidad limitada y es un buen formador de lebruras. Ejerce un fuerte efecto sobre la templeabilidad y de máquina por medio del cromo aumenta la dureza y resistencia a alta temperatura de los aceros. Menos susceptibles a fragilizado debido al revenido que los demás aceros aleados para maquinaria. Al combinarse con níquel y cromo soporta altas exigencias de resistencia y tenacidad en secciones grandes. Su contenido de níquel le da más templeabilidad, al mismo que a resistencia en caliente.

705 combina alta resistencia (mayoría de la mayor del mercado) con buena tenacidad. Este acero en forma estándar es suministrado bonificado por lo que no se requieren luego un tratamiento térmico, sin embargo si se desea mejores propiedades, puede ser templado al aceite. Susceptible de temple por inducción y también puede someterse a tratamiento de revenido, para obtener durezas superficiales de 600-650 Vickers.

ANÁLISIS TÍPICO

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
%	1.36	0.25	0.70	-	-	1.40	1.40	0.20
UNS (AISI)	0.15(A) 40	0.20(A) 15	0.60(A) 51	0.010	0.004	1.55 (A) 2	0.70(A) 50	0.20(A) 50

EQUIVALENCIAS

UNS/AE	4337
SAE	5140CrNiMo
ASTM	A 6582
ISO	S 40CrNi
AFNOR	35NC15

PROPIEDADES MECÁNICAS EN CONDICIÓN DE SUMINISTRO

Resistencia a la tracción	90-110 kg/mm ²
Esfuerzo de cedencia	max 585 N/mm ² o 20 kg/mm ²
Elongación, A5	min 15%
Reducción de área, Z	min 45%
Resistencia al impacto, KI	min 30 J
Dureza	175-190 HRB

APLICACIONES

- Ejes de gran resistencia para la industria automotriz como:
 - ejes
 - ejes de árbol
 - ejes de cigüeñales
 - ejes de leva
 - ejes de transmisión de alta resistencia
- Ejes para la construcción de maquinaria de trabajo pesado como:
 - Achiques para tractores
 - ejes de transmisión de grandes dimensiones
 - engranajes de temple
 - barras de torsión
 - mandriles
 - portaherramientas
- Aplicaciones donde se requiere resistencia a la fatiga como:
 - En la construcción de equipo pesado para mineros, aviones, equipo militar, etc.

TRATAMIENTO TÉRMICO

Revenido Blando (650-700 °C): Mantener a la temperatura por 2 horas. Enfriar en el horno con una velocidad de 10 °C/h hasta los 600 °C y luego libremente al aire.

Temple de Tercerías (850-900 °C): El acero templado lentamente debe ser calentado hasta aproximadamente 50 °C por medio de la temperatura usada para el revenido (como estándar el 705 es suministrado revenido a 600 °C). Mantener a esta temperatura durante 1 1/2 a 2 horas. Enfriar en el horno hasta los 450 °C y luego libremente al aire.

APÉNDICE C

ACERO AL CARBONO PARA MAQUINARIA – AISI 1045



760= AISI 1045 Acero al Carbono para Maquinaria

GENERALIDADES: Acero al carbono sin alea de estriada manufactura, con buena tenacidad. Característica es su alta uniformidad y rendimiento. Puede utilizarse en condición de suministro o con tratamiento térmico de temple y revenido. Aplicable a partes relativamente simples de máquinas.

ANÁLISIS TÍPICO %

	C	Si	Mn	P	S
760	0.53	0.32	0.60	-	0.04
AISI 1045	0.43-0.50	-	0.60(0.50)	0.030	0.050

EQUIVALENCIAS

AISI	1045	DIN	C45
SAE	1045	UNIFIED M	1045
M.Nr	1045		

PROPIEDADES MECÁNICAS

Resistencia a la tracción	65 kg/mm ²
Esfuerzo de cedencia	32 kg/mm ²
Elongación, A5	110-18%
Reducción de área	40%
Dureza, HB	220-235

APLICACIONES

Componentes sencillos, como por Ej.

- Pernos
- Chavetas
- Piezas de mediana resistencia para aplicación automotriz
- Ejes
- Hachas, azaciones
- Picos, martillos
- Rieles
- Cigüeñales, etc.

TRATAMIENTO TÉRMICO

Temple	850-1050 °C
Normalizado	850-880 °C
Temple en agua	770-810 °C
Temple en aceite	750-830 °C
Revenido (herramientas de corte)	190-300 °C
Revenido de bonificación	550-650 °C

MEDIDAS EN STOCK

REDONDO

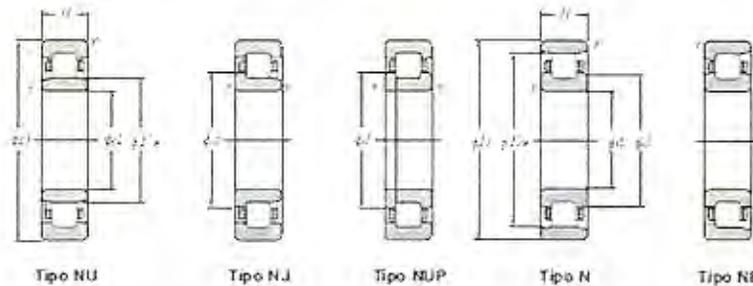
mm	APROX. PULGADAS	PESO APROX. kg/m
14	5/8	10.1
17	5/8	15.0
20	3/4	20.1
22	7/8	27.3
25	1	34.4
27	1 1/8	41.5
30	1 1/4	48.6
33	1 1/4	55.7
36	1 3/8	62.8
39	1 3/8	69.9
42	1 1/2	77.0
45	1 7/8	84.1
48	1 7/8	91.2
51	2	98.3
54	2 1/8	105.4
57	2 1/8	112.5
60	2 1/4	119.6
63	2 1/4	126.7
66	2 3/8	133.8
69	2 3/8	140.9
72	2 7/8	148.0
75	2 7/8	155.1
78	3	162.2
81	3 1/8	169.3
84	3 1/8	176.4
87	3 3/8	183.5
90	3 3/8	190.6
93	3 1/2	197.7
96	3 1/2	204.8
99	3 3/4	211.9
102	3 3/4	219.0
105	4 1/8	226.1
108	4 1/8	233.2
111	4 1/4	240.3
114	4 1/4	247.4
117	4 3/8	254.5
120	4 3/8	261.6
123	4 7/8	268.7
126	4 7/8	275.8
129	4 3/4	282.9
132	4 3/4	290.0
135	4 7/8	297.1
138	4 7/8	304.2
141	5	311.3
144	5	318.4
147	5 1/8	325.5
150	5 1/8	332.6
153	5 1/4	339.7
156	5 1/4	346.8
159	5 3/8	353.9
162	5 3/8	361.0
165	5 3/4	368.1
168	5 3/4	375.2
171	5 7/8	382.3
174	5 7/8	389.4
177	6	396.5
180	6	403.6
183	6 1/8	410.7
186	6 1/8	417.8
189	6 1/4	424.9
192	6 1/4	432.0
195	6 3/8	439.1
198	6 3/8	446.2
201	6 3/4	453.3
204	6 3/4	460.4
207	6 7/8	467.5
210	6 7/8	474.6
213	7	481.7
216	7	488.8
219	7 1/8	495.9
222	7 1/8	503.0
225	7 1/4	510.1
228	7 1/4	517.2
231	7 3/8	524.3
234	7 3/8	531.4
237	7 3/4	538.5
240	7 3/4	545.6
243	7 7/8	552.7
246	7 7/8	559.8
249	8	566.9
252	8	574.0
255	8 1/8	581.1
258	8 1/8	588.2
261	8 1/4	595.3
264	8 1/4	602.4
267	8 3/8	609.5
270	8 3/8	616.6
273	8 3/4	623.7
276	8 3/4	630.8
279	8 7/8	637.9
282	8 7/8	645.0
285	9	652.1
288	9	659.2
291	9 1/8	666.3
294	9 1/8	673.4
297	9 1/4	680.5
300	9 1/4	687.6
303	9 3/8	694.7
306	9 3/8	701.8
309	9 3/4	708.9
312	9 3/4	716.0
315	9 7/8	723.1
318	9 7/8	730.2
321	10	737.3
324	10	744.4
327	10 1/8	751.5
330	10 1/8	758.6
333	10 1/4	765.7
336	10 1/4	772.8
339	10 3/8	779.9
342	10 3/8	787.0
345	10 3/4	794.1
348	10 3/4	801.2
351	10 7/8	808.3
354	10 7/8	815.4
357	11	822.5
360	11	829.6
363	11 1/8	836.7
366	11 1/8	843.8
369	11 1/4	850.9
372	11 1/4	858.0
375	11 3/8	865.1
378	11 3/8	872.2
381	11 3/4	879.3
384	11 3/4	886.4
387	11 7/8	893.5
390	11 7/8	900.6
393	12	907.7
396	12	914.8
399	12 1/8	921.9
402	12 1/8	929.0
405	12 1/4	936.1
408	12 1/4	943.2
411	12 3/8	950.3
414	12 3/8	957.4
417	12 3/4	964.5
420	12 3/4	971.6
423	12 7/8	978.7
426	12 7/8	985.8
429	13	992.9
432	13	1000.0
435	13 1/8	1007.1
438	13 1/8	1014.2
441	13 1/4	1021.3
444	13 1/4	1028.4
447	13 3/8	1035.5
450	13 3/8	1042.6
453	13 3/4	1049.7
456	13 3/4	1056.8
459	13 7/8	1063.9
462	13 7/8	1071.0
465	14	1078.1
468	14	1085.2
471	14 1/8	1092.3
474	14 1/8	1099.4
477	14 1/4	1106.5
480	14 1/4	1113.6
483	14 3/8	1120.7
486	14 3/8	1127.8
489	14 3/4	1134.9
492	14 3/4	1142.0
495	14 7/8	1149.1
498	14 7/8	1156.2
501	15	1163.3
504	15	1170.4
507	15 1/8	1177.5
510	15 1/8	1184.6
513	15 1/4	1191.7
516	15 1/4	1198.8
519	15 3/8	1205.9
522	15 3/8	1213.0
525	15 3/4	1220.1
528	15 3/4	1227.2
531	15 7/8	1234.3
534	15 7/8	1241.4
537	16	1248.5
540	16	1255.6
543	16 1/8	1262.7
546	16 1/8	1269.8
549	16 1/4	1276.9
552	16 1/4	1284.0
555	16 3/8	1291.1
558	16 3/8	1298.2
561	16 3/4	1305.3
564	16 3/4	1312.4
567	16 7/8	1319.5
570	16 7/8	1326.6
573	17	1333.7
576	17	1340.8
579	17 1/8	1347.9
582	17 1/8	1355.0
585	17 1/4	1362.1
588	17 1/4	1369.2
591	17 3/8	1376.3
594	17 3/8	1383.4
597	17 3/4	1390.5
600	17 3/4	1397.6
603	17 7/8	1404.7
606	17 7/8	1411.8
609	18	1418.9
612	18	1426.0
615	18 1/8	1433.1
618	18 1/8	1440.2
621	18 1/4	1447.3
624	18 1/4	1454.4
627	18 3/8	1461.5
630	18 3/8	1468.6
633	18 3/4	1475.7
636	18 3/4	1482.8
639	18 7/8	1489.9
642	18 7/8	1497.0
645	19	1504.1
648	19	1511.2
651	19 1/8	1518.3
654	19 1/8	1525.4
657	19 1/4	1532.5
660	19 1/4	1539.6
663	19 3/8	1546.7
666	19 3/8	1553.8
669	19 3/4	1560.9
672	19 3/4	1568.0
675	19 7/8	1575.1
678	19 7/8	1582.2
681	20	1589.3
684	20	1596.4
687	20 1/8	1603.5
690	20 1/8	1610.6
693	20 1/4	1617.7
696	20 1/4	1624.8
699	20 3/8	1631.9
702	20 3/8	1639.0
705	20 3/4	1646.1
708	20 3/4	1653.2
711	20 7/8	1660.3
714	20 7/8	1667.4
717	21	1674.5
720	21	1681.6
723	21 1/8	1688.7
726	21 1/8	1695.8
729	21 1/4	1702.9
732	21 1/4	1710.0
735	21 3/8	1717.1
738	21 3/8	1724.2
741	21 3/4	1731.3
744	21 3/4	1738.4
747	21 7/8	1745.5
750	21 7/8	1752.6
753	22	1759.7
756	22	1766.8
759	22 1/8	1773.9
762	22 1/8	1781.0
765	22 1/4	1788.1
768	22 1/4	1795.2
771	22 3/8	1802.3
774	22 3/8	1809.4
777	22 3/4	1816.5
780	22 3/4	1823.6
783	22 7/8	1830.7
786	22 7/8	1837.8
789	23	1844.9
792	23	1852.0
795	23 1/8	1859.1
798	23 1/8	1866.2
801	23 1/4	1873.3
804	23 1/4	1880.4
807	23 3/8	1887.5
810	23 3/8	1894.6
813	23 3/4	1901.7
816	23 3/4	1908.8
819	23 7/8	1915.9
822	23 7/8	1923.0
825	24	1930.1
828	24	1937.2
831	24 1/8	1944.3
834	24 1/8	1951.4
837	24 1/4	1958.5
840	24 1/4	1965.6
843	24 3/8	1972.7
846	24 3/8	1979.8
849	24 3/4	1986.9
852	24 3/4	1994.0
855	24 7/8	2001.1
858	24 7/8	2008.2
861	25	2015.3
864	25	2022.4
867	25 1/8	2029.5
870	25 1/8	2036.6
873	25 1/4	2043.7
876	25 1/4	2050.8
879	25 3/8	2057.9
882	25 3/8	2065.0
885	25 3/4	2072.1
888	25 3/4	2079.2
891	25 7/8	2086.3
894	25 7/8	2093.4
897	26	2100.5
900	26	2107.6
903	26 1/8	2114.7
906	26 1/8	2121.8
909	26 1/4	2128.9
912	26 1/4	2136.0
915	26 3/8	2143.1
918	26 3/8	2150.2
921	26 3/4	2157.3
924	26 3/4	2164.4
927	26 7/8	2171.5
930	26 7/8	2178.6
933	27	2185.7
936	27	2192.8
939	27 1/8	2200.0
942	27 1/8	2207.1
945	27 1/4	2214.2
948	27 1/4	2221.3
951	27 3/8	2228.4
954	27 3/8	2235.5
957	27 3/4	2242.6
960	27 3/4	2249.7
963	27 7/	

APÉNDICE D

RODAMIENTOS DE RODILLOS MARCA NTN

● Rodamientos de Rodillos Cilíndricos

NTN



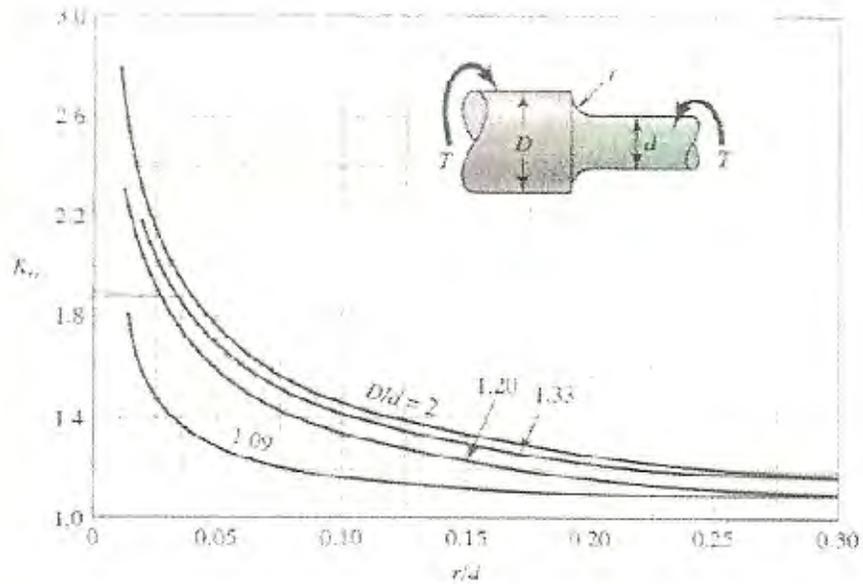
● 95~120mm

d	Dimensiones principales			Capacidad básica de carga				Velocidades límites ¹⁾		Número de rodamientos ²⁾				
	D	B	r _{max} ³⁾	r _{max} ³⁾	C _r	C _{0r}	C _{0r}	grasa	aceite	tipo NU	tipo NJ	tipo NUP	tipo N	
	mm	mm	mm	mm	kN	kN	kgf	r.p.m.	r.p.m.					
95	170	43	2.1	2.1	230	298	25 500	90 500	3 600	4 300	NU2219	NJ	NUP	N
	170	43	2.1	2.1	286	370	29 200	92 000	3 800	3 800	NU2219E	NJ	NUP	—
	250	45	3	3	259	285	20 400	20 500	3 400	4 000	NU319	NJ	NUP	N
	250	45	3	3	285	385	24 000	29 300	3 100	3 000	NU319E	NJ	NUP	—
	200	67	3	3	370	466	36 000	47 000	3 000	3 500	NU2319	NJ	NUP	N
	200	67	3	3	460	585	47 000	59 500	2 700	3 200	NU2319E	NJ	NUP	—
100	150	24	1.5	1.1	93.0	126	8 500	15 800	4 600	5 400	NU1020	NJ	NUP	N
	180	34	2.1	2.1	183	217	18 000	20 200	3 800	4 500	NU220	NJ	NUP	N
	180	34	2.1	2.1	249	305	25 400	27 000	3 500	4 100	NU220E	NJ	NUP	—
	180	46	2.1	2.1	258	340	20 500	24 500	3 500	4 100	NU2220	NJ	NUP	N
	180	46	2.1	2.1	335	445	24 300	45 500	3 100	3 000	NU2220E	NJ	NUP	—
	215	47	3	3	299	335	30 500	34 000	3 300	3 800	NU320	NJ	NUP	N
	215	47	3	3	380	425	34 500	43 500	2 900	3 500	NU320E	NJ	NUP	—
105	215	73	3	3	410	505	40 000	51 000	2 900	3 400	NU2320	NJ	NUP	N
	215	73	3	3	570	715	50 000	75 000	2 600	3 100	NU2320E	NJ	NUP	—
105	100	26	2	1.1	105	142	9 000	14 500	4 300	5 100	NU1021	NJ	NUP	N
	190	36	2.1	2.1	201	241	19 500	24 000	3 600	4 300	NU221	NJ	NUP	N
	225	42	3	3	320	360	32 000	38 500	3 100	3 700	NU321	NJ	NUP	N
110	170	28	2	1.1	131	174	13 400	17 700	4 100	4 800	NU1022	NJ	NUP	N
	200	38	2.1	2.1	240	290	24 500	29 500	3 400	4 000	NU222	NJ	NUP	N
	200	38	2.1	2.1	323	365	29 300	37 000	3 100	3 700	NU222E	NJ	NUP	—
	200	53	2.1	2.1	320	415	22 500	40 000	3 100	3 700	NU2222	NJ	NUP	N
	200	53	2.1	2.1	385	515	24 000	40 500	2 800	3 300	NU2222E	NJ	NUP	—
	240	50	3	3	360	460	30 500	41 000	3 000	3 500	NU322	NJ	NUP	N
	240	50	3	3	450	525	34 000	43 500	2 700	3 100	NU322E	NJ	NUP	—
120	240	80	3	3	695	790	61 500	100 500	2 600	3 100	NU2322	NJ	NUP	N
	240	80	3	3	675	880	69 000	105 500	2 400	2 900	NU2322E	NJ	NUP	—
	180	28	2	1.1	139	191	14 100	19 500	3 800	4 400	NU1024	NJ	NUP	N
	215	40	2.1	2.1	260	320	26 500	32 500	3 200	3 700	NU224	NJ	NUP	N
	215	40	2.1	2.1	335	420	31 000	41 000	2 900	3 400	NU224E	NJ	NUP	—
120	215	58	2.1	2.1	350	460	35 500	47 000	2 900	3 400	NU2224	NJ	NUP	N
	215	58	2.1	2.1	450	620	46 000	63 000	2 600	3 000	NU2224E	NJ	NUP	—
	250	55	3	3	450	510	36 000	53 000	2 700	3 200	NU324	NJ	NUP	N

Este valor se logra con las condiciones de uso (carga, velocidad, etc.) de 20% del límite aceptable.
 La lubricación es de aceite a 100°C y de grasa a 150°C. Para aplicaciones de alta velocidad, consulte el manual de especificaciones.
 Dimensiones mínimas permitidas para el anillo interno.

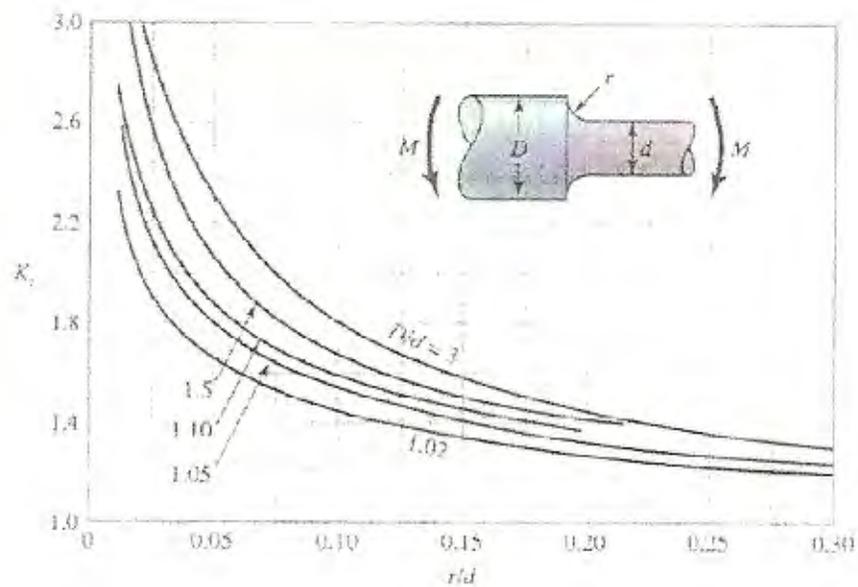
APÉNDICE E

FACTOR DE CONCENTRACIÓN DE ESFUERZO, EJE REDONDO CON FILITE EN EL HOMBRE EN TENSION



APÉNDICE F

FACTOR DE CONCENTRACIÓN DE ESFUERZO, EJE REDONDO CON FILITE EN EL HOMBRE EN TORSION



APÉNDICE G

COEFICIENTES DE FRICCIÓN f DE PARES ROSCADOS

Material del tornillo	Material de la tuerca			
	Acero	Bronce	Latón	Hierro fundido
Acero, seco	0.15-0.25	0.15-0.23	0.15-0.19	0.15-0.25
Acero, aceite para máquina	0.11-0.17	0.10-0.16	0.10-0.15	0.11-0.17
Bronce	0.08-0.12	0.04-0.06	—	0.06-0.09

APÉNDICE H

COEFICIENTES DE FRICCIÓN DE COLLARIN DE EMPUJE

Combinación	En operación	Arranque
Acero suave sobre hierro fundido	0.12	0.17
Acero duro sobre hierro fundido	0.09	0.15
Acero suave sobre bronce	0.08	0.10
Acero duro sobre bronce	0.06	0.08

APÉNDICE I

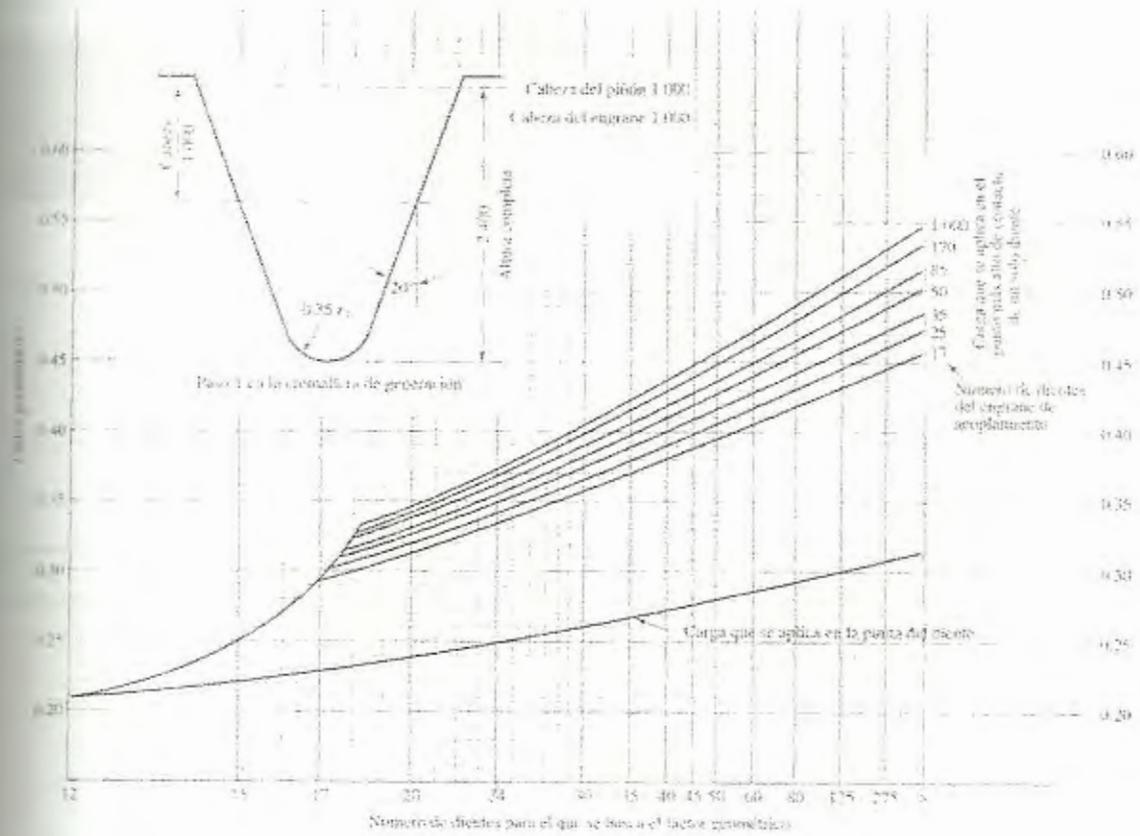
CONSTANTES EMPIRICAS A, B Y C PARA CALCULOS DE ENGRANES

Condición	A	B	C
Engranajes abiertos	0.247	0.0167	$-0.765(10^{-4})$
Unidades planetarias cerradas	0.127	0.0158	$+0.930(10^{-4})$
Unidades de precisión cerradas	0.0675	0.0128	$+0.926(10^{-4})$
Unidades de precisión extrema cerradas	0.00360	0.0102	$+0.922(10^{-4})$

Ver la norma ANSI/AGMA 2101-004, pp. 20-22, para formular en unidades SI.

APÉNDICE J

FACTORES GEOMETRICOS J DE ENGRANES RECTOS



APÉNDICE K

COEFICIENTE ELASTICO C_p , PARA ENGRANES

Coefficient C_p , (\sqrt{Z}) , $(\sqrt{\text{psi}})$ [AGMA 218]

Módulo de elasticidad del piñón E_p , psi (MPa)*	Material y módulo de elasticidad de la corona E_g , lb/pulg ² (MPa)*					
	Acero 30×10^6 (2×10^5)	Hierro maleable 25×10^6 (1.7×10^5)	Hierro nodular 24×10^6 (1.7×10^5)	Hierro fundido 22×10^6 (1.5×10^5)	Bronce al aluminio 17.5×10^6 (1.2×10^5)	Bronce al estaño 16×10^6 (1.1×10^5)
30×10^6 (2×10^5)	2.300 (1.91)	2.150 (1.81)	2.160 (1.79)	2.100 (1.74)	1.950 (1.62)	1.900 (1.58)
25×10^6 (1.7×10^5)	2.180 (1.81)	2.040 (1.74)	2.050 (1.72)	2.000 (1.68)	1.900 (1.58)	1.850 (1.54)
24×10^6 (1.7×10^5)	2.160 (1.79)	2.070 (1.72)	2.050 (1.70)	2.000 (1.66)	1.880 (1.56)	1.830 (1.52)
22×10^6 (1.5×10^5)	2.100 (1.74)	2.020 (1.68)	2.000 (1.66)	1.960 (1.63)	1.850 (1.54)	1.800 (1.49)
17.5×10^6 (1.2×10^5)	1.950 (1.62)	1.900 (1.58)	1.880 (1.56)	1.850 (1.54)	1.850 (1.54)	1.800 (1.47)
16×10^6 (1.1×10^5)	1.900 (1.58)	1.850 (1.54)	1.830 (1.52)	1.800 (1.49)	1.700 (1.41)	1.650 (1.37)

* Tabla K-10

* El módulo de elasticidad más exactos medidos pruebas de contacto con rodillo, se deben utilizar.

APÉNDICE L

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MOTOR SIEMENS

3000 rpm, 4 polos, 60 Hz

Tipo	Frame IEC	Potencia		F.S.	In		Eficiencia η	Factor de potencia $\cos \phi$	Velocidad nominal rpm	Torque nominal Nm	Torque de arranque T_{arr} / T_n	Cte. de arranque I_{arr} / I_n	Momento de inercia $kg \cdot m^2$	Peso kg
		HP	kW		220V A	440V A								
		Tamaño												
100 070-4YA60	71M	0,3	0,20	1,05	1,60	0,80	66	0,77	1640	1,74	1,8	2,8	0,0006	4,7
100 070-4YA60	71M	0,5	0,37	1,15	1,90	0,95	66	0,81	1500	2,24	1,3	2,7	0,0006	5,5
100 071-4YA60	71M	0,6	0,45	1,05	2,20	1,10	69	0,76	1680	2,54	1,6	3,4	0,0008	6
100 073-4YA60	71M	0,75	0,56	1,15	2,90	1,45	65	0,79	1650	3,24	1,9	3,7	0,0008	6
100 081-4YA60	80M	1	0,75	1,15	3,50	1,75	68,7	0,87	1660	4,29	1,9	3,7	0,0010	8,7
100 081-4YA60	80M	1,2	0,90	1,05	4,00	2,00	70	0,85	1645	5,10	2,2	3,7	0,0018	9,3
100 083-4YA60	80M	1,5	1,12	1,15	5,00	2,50	71	0,89	1650	6,48	1,8	3	0,0016	9,3
100 090-4YA60	90SA	2	1,49	1,15	7,00	3,50	77	0,80	1700	8,38	2,2	4,4	0,0028	12,1
100 094-4YA60	90SA	2,4	1,79	1,05	7,50	3,75	77	0,86	1690	10,17	2	4,5	0,0035	14,9
100 096-4YA60	90SA	3	2,24	1,15	9,60	4,80	79	0,83	1708	12,51	1,8	3,6	0,0035	14,9
100 111-4YA60	112M	4	2,98	1,15	15,00	7,50	76,3	0,79	1750	16,38	2,7	5,6	0,0048	21,1
100 112-4YA60	112M	5	3,73	1,15	19,80	9,90	80,5	0,78	1740	20,42	2,3	4,8	0,0058	28,4
100 113-4YA60	112M	6,6	4,92	1,05	19,50	9,75	78	0,87	1740	22,85	2	4	0,011	31
100 114-4YA60	112M	7,5	5,60	1,15	23,20	11,60	80	0,79	1740	30,71	2,2	4,6	0,013	32,7
100 131-4YA70	132SM	10	7,46	1,05	28,80	14,40	81	0,84	1700	40,41	2,0	4	0,018	46,5
100 133-4YA70	132SM	12	8,95	1,05	34	17,00	81,2	0,83	1750	48,85	2,5	5,0	0,024	49
100 134-4YA70	132SM	15	11,19	1,15	43	21,50	82,5	0,84	1790	61,06	1,8	3,5	0,024	49
100 164-4YA70	160 MD	20	14,72	1,15	56,8	28,40	85	0,85	1760	80,95	1,8	3,6	0,04	77,5
100 167-4YA70	160 MD	25	18,64	1,15	66	33,00	89	0,87	1740	101,48	1,8	3,6	0,052	85,5
100 183-4YA80	180M	30	22,38	1,05	78	39,00	90,7	0,83	1855	121,77	2	4,0	0,18	170
100 186-4YA80	180M	36	26,56	1,05	93	46,50	91,3	0,85	1860	145,71	2,8	6,0	0,25	190
100 187-4YA80	180M	40	29,84	1,05	104	52,00	91,3	0,83	1750	162,87	2	4,0	0,25	190
100 207-4YA80	200L	50	37,30	1,15	126	63,00	92,4	0,84	1750	202,00	2,5	5,0	0,29	240
100 220-4YA80	225S	60	44,76	1,15	146	73,00	95,0	0,84	1776	241,00	2,7	5,5	0,34	314
100 233-4AA60	235M	75	55,05	1,15	200	100,00	91,7	0,80	1770	301,00	2	4,0	0,52	371
100 253-4AA60	250M	100	75,00	1,00		120,00	93,3	0,85	1780	355	2,5	5,0	0,69	390
100 280-4AA60	280S	125	93,00	1,00		145,00	94,2	0,85	1785	482	2,5	5,0	1,03	500
100 283-4AA60	280M	150	111,90	1,00		177,50	94,6	0,86	1785	579	2,5	5,0	1,47	565
100 310-4AA60	315S	200	150	1,00		240,00	94,5	0,84	1793	707	2,6	5,0	2	700
100 313-4AA60	315M	225	168	1,00		265,20	94,8	0,85	1783	848	2,8	6,0	2,46	775
100 316-4AA60-Z	315L	275	205	1,10		323,10	95,4	0,86	1783	1038	2,8	6,0	3,01	955
100 317-4AA60-Z	315L	350	261	1,10		409,50	95,7	0,88	1785	1285	2,8	6,0	3,91	1050

Para más detalles de servicio a 220V, favor consultar el manual de entrega.

APÉNDICE M

DESIGNACIÓN Y LARGOS PRIMITIVOS DE BANDAS

Las bandas V 3 T Gouda van son fabricadas en cuatro secciones y en esta gran variedad de longitudes están en la siguiente tabla:

SECCIÓN A		SECCIÓN B		SECCIÓN C		SECCIÓN D	
Dimensiones Nominales: Ancho Superior: 122 - 12 mm Espesor: 5/16" - 8 mm Ángulo: 40° ± 1°		Dimensiones Nominales: Ancho Superior: 2132" - 17 mm Espesor: 13/32" - 11 mm Ángulo: 40° ± 1°		Dimensiones Nominales: Ancho Superior: 228 - 22 mm Espesor: 7/32" - 14 mm Ángulo: 40° ± 1°		Dimensiones Nominales: Ancho Superior: 114 - 32 mm Espesor: 3/4" - 19 mm Ángulo: 40° ± 1°	
Longitud Externa (pul)	Longitud Interna (pul)	Longitud Externa (pul)	Longitud Interna (pul)	Longitud Externa (pul)	Longitud Interna (pul)	Longitud Externa (pul)	Longitud Interna (pul)
58.0	61	63.0	66	69.0	72	75.0	78
60.0	62	64.0	67	70.0	73	76.0	79
62.0	63	65.0	68	71.0	74	77.0	80
64.0	64	66.0	69	72.0	75	78.0	81
66.0	65	67.0	70	73.0	76	79.0	82
68.0	66	68.0	71	74.0	77	80.0	83
70.0	67	69.0	72	75.0	78	81.0	84
72.0	68	70.0	73	76.0	79	82.0	85
74.0	69	71.0	74	77.0	80	83.0	86
76.0	70	72.0	75	78.0	81	84.0	87
78.0	71	73.0	76	79.0	82	85.0	88
80.0	72	74.0	77	80.0	83	86.0	89
82.0	73	75.0	78	81.0	84	87.0	90
84.0	74	76.0	79	82.0	85	88.0	91
86.0	75	77.0	80	83.0	86	89.0	92
88.0	76	78.0	81	84.0	87	90.0	93
90.0	77	79.0	82	85.0	88	91.0	94
92.0	78	80.0	83	86.0	89	92.0	95
94.0	79	81.0	84	87.0	90	93.0	96
96.0	80	82.0	85	88.0	91	94.0	97
98.0	81	83.0	86	89.0	92	95.0	98
100.0	82	84.0	87	90.0	93	96.0	99
102.0	83	85.0	88	91.0	94	97.0	100
104.0	84	86.0	89	92.0	95	98.0	101
106.0	85	87.0	90	93.0	96	99.0	102
108.0	86	88.0	91	94.0	97	100.0	103
110.0	87	89.0	92	95.0	98	101.0	104
112.0	88	90.0	93	96.0	99	102.0	105
114.0	89	91.0	94	97.0	100	103.0	106
116.0	90	92.0	95	98.0	101	104.0	107
118.0	91	93.0	96	99.0	102	105.0	108
120.0	92	94.0	97	100.0	103	106.0	109
122.0	93	95.0	98	101.0	104	107.0	110
124.0	94	96.0	99	102.0	105	108.0	111
126.0	95	97.0	100	103.0	106	109.0	112
128.0	96	98.0	101	104.0	107	110.0	113
130.0	97	99.0	102	105.0	108	111.0	114
132.0	98	100.0	103	106.0	109	112.0	115
134.0	99	101.0	104	107.0	110	113.0	116
136.0	100	102.0	105	108.0	111	114.0	117
138.0	101	103.0	106	109.0	112	115.0	118
140.0	102	104.0	107	110.0	113	116.0	119
142.0	103	105.0	108	111.0	114	117.0	120
144.0	104	106.0	109	112.0	115	118.0	121
146.0	105	107.0	110	113.0	116	119.0	122
148.0	106	108.0	111	114.0	117	120.0	123
150.0	107	109.0	112	115.0	118	121.0	124
152.0	108	110.0	113	116.0	119	122.0	125
154.0	109	111.0	114	117.0	120	123.0	126
156.0	110	112.0	115	118.0	121	124.0	127
158.0	111	113.0	116	119.0	122	125.0	128
160.0	112	114.0	117	120.0	123	126.0	129
162.0	113	115.0	118	121.0	124	127.0	130
164.0	114	116.0	119	122.0	125	128.0	131
166.0	115	117.0	120	123.0	126	129.0	132
168.0	116	118.0	121	124.0	127	130.0	133
170.0	117	119.0	122	125.0	128	131.0	134
172.0	118	120.0	123	126.0	129	132.0	135
174.0	119	121.0	124	127.0	130	133.0	136
176.0	120	122.0	125	128.0	131	134.0	137
178.0	121	123.0	126	129.0	132	135.0	138
180.0	122	124.0	127	130.0	133	136.0	139
182.0	123	125.0	128	131.0	134	137.0	140
184.0	124	126.0	129	132.0	135	138.0	141
186.0	125	127.0	130	133.0	136	139.0	142
188.0	126	128.0	131	134.0	137	140.0	143
190.0	127	129.0	132	135.0	138	141.0	144
192.0	128	130.0	133	136.0	139	142.0	145
194.0	129	131.0	134	137.0	140	143.0	146
196.0	130	132.0	135	138.0	141	144.0	147
198.0	131	133.0	136	139.0	142	145.0	148
200.0	132	134.0	137	140.0	143	146.0	149
202.0	133	135.0	138	141.0	144	147.0	150
204.0	134	136.0	139	142.0	145	148.0	151
206.0	135	137.0	140	143.0	146	149.0	152
208.0	136	138.0	141	144.0	147	150.0	153
210.0	137	139.0	142	145.0	148	151.0	154
212.0	138	140.0	143	146.0	149	152.0	155
214.0	139	141.0	144	147.0	150	153.0	156
216.0	140	142.0	145	148.0	151	154.0	157
218.0	141	143.0	146	149.0	152	155.0	158
220.0	142	144.0	147	150.0	153	156.0	159
222.0	143	145.0	148	151.0	154	157.0	160
224.0	144	146.0	149	152.0	155	158.0	161
226.0	145	147.0	150	153.0	156	159.0	162
228.0	146	148.0	151	154.0	157	160.0	163
230.0	147	149.0	152	155.0	158	161.0	164
232.0	148	150.0	153	156.0	159	162.0	165
234.0	149	151.0	154	157.0	160	163.0	166
236.0	150	152.0	155	158.0	161	164.0	167
238.0	151	153.0	156	159.0	162	165.0	168
240.0	152	154.0	157	160.0	163	166.0	169
242.0	153	155.0	158	161.0	164	167.0	170
244.0	154	156.0	159	162.0	165	168.0	171
246.0	155	157.0	160	163.0	166	169.0	172
248.0	156	158.0	161	164.0	167	170.0	173
250.0	157	159.0	162	165.0	168	171.0	174
252.0	158	160.0	163	166.0	169	172.0	175
254.0	159	161.0	164	167.0	170	173.0	176
256.0	160	162.0	165	168.0	171	174.0	177
258.0	161	163.0	166	169.0	172	175.0	178
260.0	162	164.0	167	170.0	173	176.0	179
262.0	163	165.0	168	171.0	174	177.0	180
264.0	164	166.0	169	172.0	175	178.0	181
266.0	165	167.0	170	173.0	176	179.0	182
268.0	166	168.0	171	174.0	177	180.0	183
270.0	167	169.0	172	175.0	178	181.0	184
272.0	168	170.0	173	176.0	179	182.0	185
274.0	169	171.0	174	177.0	180	183.0	186
276.0	170	172.0	175	178.0	181	184.0	187
278.0	171	173.0	176	179.0	182	185.0	188
280.0	172	174.0	177	180.0	183	186.0	189
282.0	173	175.0	178	181.0	184	187.0	190
284.0	174	176.0	179	182.0	185	188.0	191
286.0	175	177.0	180	183.0	186	189.0	192
288.0	176	178.0	181	184.0	187	190.0	193
290.0	177	179.0	182	185.0	188	191.0	194
292.0	178	180.0	183	186.0	189	192.0	195
294.0	179	181.0	184	187.0	190	193.0	196
296.0	180	182.0	185	188.0	191	194.0	197
298.0	181	183.0	186	189.0	192	195.0	198
300.0	182	184.0	187	190.0	193	196.0	199
302.0	183	185.0	188	191.0	194	197.0	200
304.0	184	186.0	189	192.0	195	198.0	201
306.0	185	187.0	190	193.0	196	199.0	202
308.0	186	188.0	191	194.0	197	200.0	203
310.0	187	189.0	192	195.0	198	201.0	204
312.0	188	190.0	193	196.0	199	202.0	205
314.0	189	191.0	194	197.0	200	203.0	206
316.0	190	192.0	195	198.0	201	204.0	207
318.0	191	193.0	196	199.0	202	205.0	208
320.0	192	194.0	197	200.0	203	206.0	209
322.0	193	195.0	198	201.0	204	207.0	210
324.0	194	196.0	199	202.0	205	208.0	211
326.0	195	197.0	200	203.0	206	209.0	212
328.0	196	198.0	201	204.0	207	210.0	213
330.0	197	199.0	202	205.0	208	211.0	214
332.0	198	200.0	203	206.0	209	212.0	215
334.0	199	201.0	204	207.0	210	213.0	216
336.0	200	202.0	205	208.0	211	214.0	217
338.0	201	203.0	206	209.0	212	215.0	218
340.0	202	204.0	207	210.0	213	216.0	219
342.0	203	205.0	208	211.0	214	217.0	220
344.0	204	206.0	209	212.0	215	218.0	221
346.0	205	207.0	210	213.0	216	219.0	222
348.0	206	208.0	211	214.0	217	220.0	223
350.0	207	209.0	212	215.0	218	221.0	224
352.0	208	210.0	213	216.0	219	222.0	225
354.0	209	211.0	214	217.0	220	223.0	226
356.0	210	212.0	215	218.0	221	224.0	227
358.0	211	213.0	216	219.0	222	225.0	228
360.0	212	214.0	217	220.0	223	226.0	229
362.0	213	215.0	218	221.0	224	227.0	230
364.0	214	216.0	219	222.0	225	228.0	231
366.0	215	217.0	220	223.0	226	229.0	232
368.0	216	218.0	221				

APÉNDICE N

FACTORES DE CORRECCION DE POTENCIA EN BANDAS

F_{Ac}, Factor de corrección del arco de contacto

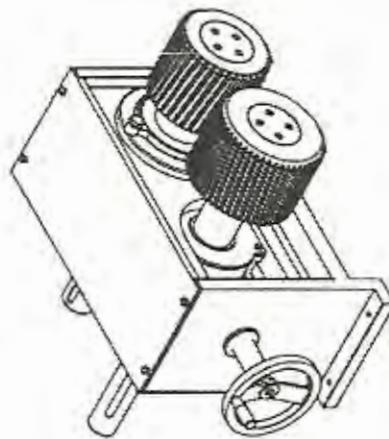
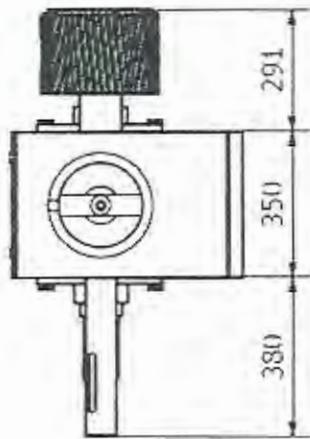
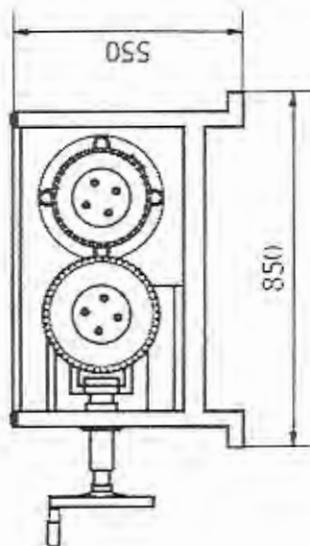
V _{dp} C	Arco de Contacto en Grados Ac	Factor de corrección F _{Ac}	
		VV	V-Plana
000	180	1.00	0.75
010	174	0.99	0.76
020	169	0.97	0.78
030	163	0.96	0.79
040	157	0.94	0.80
050	151	0.93	0.81
060	145	0.91	0.83
070	139	0.89	0.84
080	133	0.87	0.85
090	127	0.85	0.86
100	120	0.82	0.82
110	113	0.80	0.80
120	106	0.77	0.77
130	99	0.73	0.73
140	91	0.70	0.70
150	83	0.65	0.65

F_{lp}, Factor de corrección del largo de banda

Designación del tamaño	Perfil Factor de corrección F _{lp}				
	A	B	C	D	E
26	0.78				
31	0.82				
35	0.85	0.80			
38	0.87	0.82			
42	0.89	0.84			
46	0.91	0.86			
51	0.93	0.88	0.80		
55	0.95	0.89			
60	0.97	0.91	0.83		
68	1.00	0.94	0.85		
75	1.02	0.96	0.87		
80	1.04				
81		0.98	0.89		
85	1.05	0.99	0.90		
90	1.07	1.00	0.91		
96	1.08		0.92		
97		1.02			
105	1.10	1.03	0.94		
112	1.12	1.05	0.95		
120	1.13	1.06	0.96	0.86	
128	1.15	1.08	0.98	0.89	
144		1.10	1.00	0.91	
158		1.12	1.02	0.93	
173		1.14	1.04	0.94	
180		1.15	1.05	0.95	0.92
195		1.17	1.06	0.96	0.93
210		1.18	1.07	0.98	0.95
240		1.22	1.10	1.00	0.97
270		1.24	1.13	1.02	0.99
300		1.27	1.15	1.04	1.01
330			1.17	1.06	1.03
360			1.18	1.07	1.04
390			1.20	1.09	1.06
420			1.21	1.10	1.07
480				1.13	1.09
540				1.15	1.11
600				1.17	1.13
660				1.18	1.15

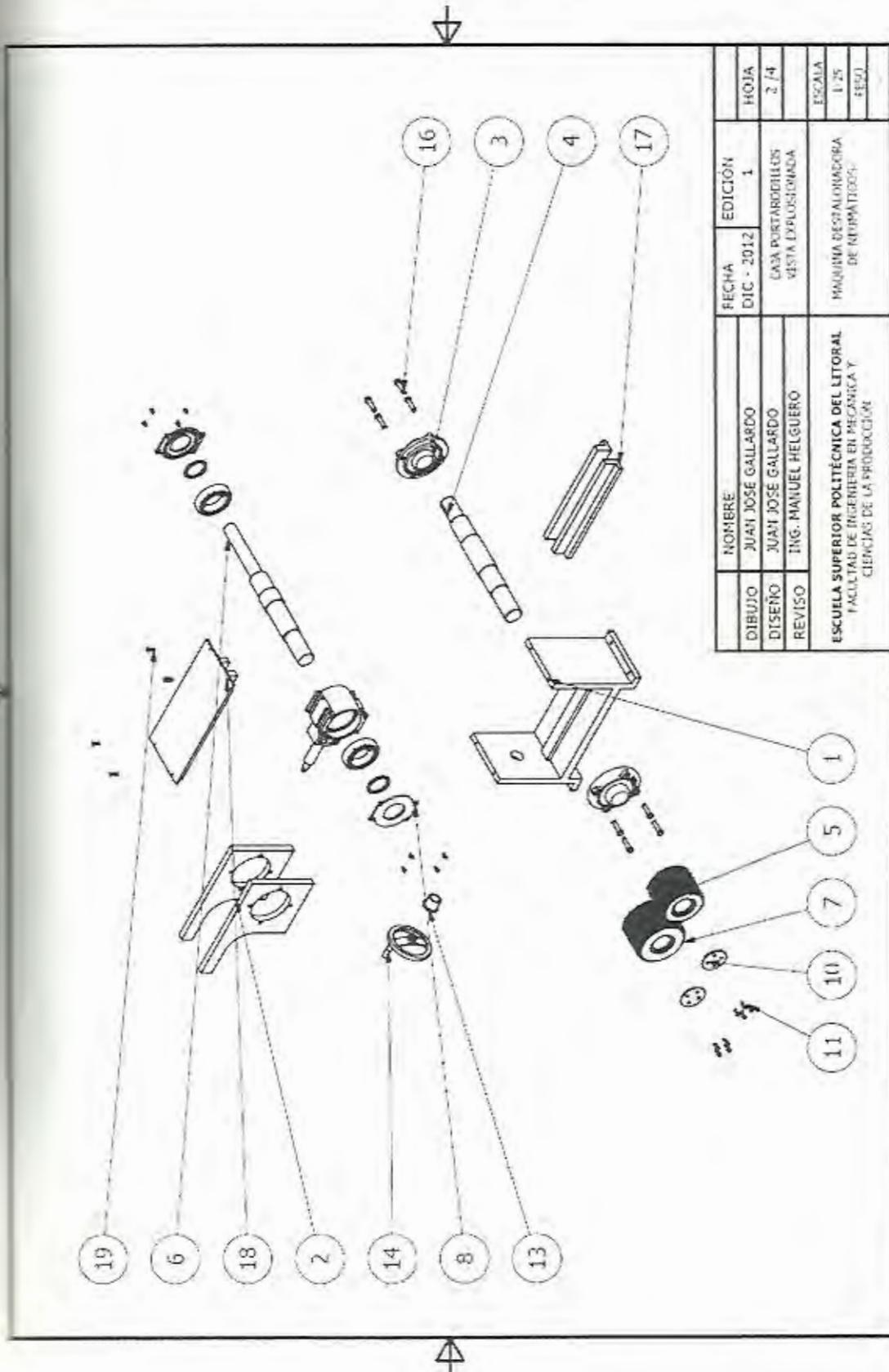
APÉNDICE P
 PLANO 1 – CAJA PORTA RODILLOS DIMENSIONES GENERALES

CAJA PORTA RODILLOS



NOMBRE		FECHA	EDICIÓN	HOJA
DIBUJO	JUAN JOSÉ GALLARDO	DIC - 2012	1	1 / 4
DISEÑO	JUAN JOSÉ GALLARDO	CAJA PORTARODILLOS	COMENSIONES GENERALES	
REVISO	ING. MANUEL HELGUERO			
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		MAQUINA DESTALOMADORA		
FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA Y		DE HUMATEOS		
		ESCALA		
		1:14		
		F500		
		650 Pg.		

APÉNDICE Q
PLANO 2 – CAJA PORTA RODILLOS VISTA EXPLOSIONADA



NOMBRE		FECHA	EDICIÓN	HOJA
JUAN JOSÉ GALLARDO		DIC - 2012	1	2 / 4
DISEÑO		CAJA PORTA RODILLOS VISTA EXPLOSIONADA		
REVISO		ING. MANUEL HELGUERO		
ESCUOLA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN				ESCALA
				1:25
				450

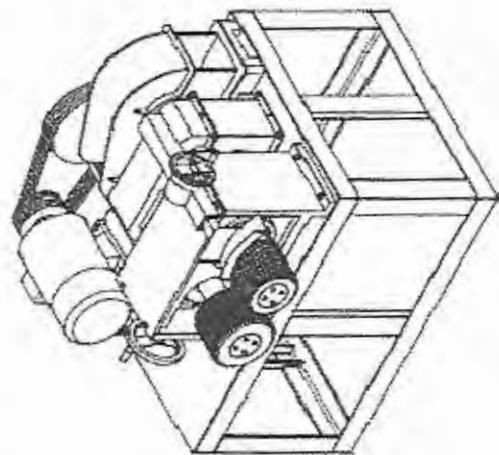
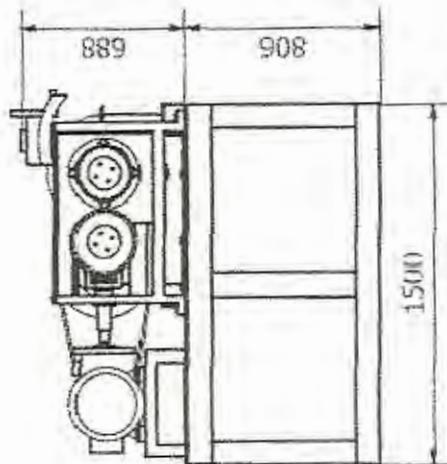
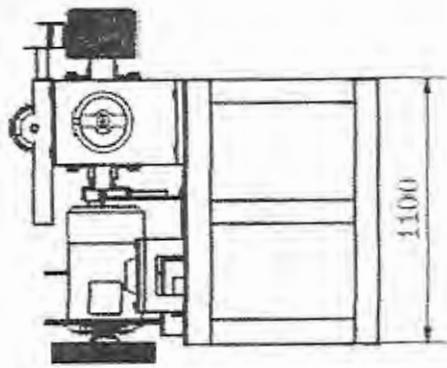
APÉNDICE R
 PLANO 3 - CAJA PORTA RODILLOS VISTA EXPLOSIONADA

LISTA DE PARTES			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	CajasPortaRodillos - Base	-
2	2	CajaPortaRodillos-SoporteChumacera	-
3	2	Chumacera De Pared	Diametro interno Ø100mm
4	1	Eje Fijo	-
5	1	Rodillo Fijo	-
6	1	Eje Movil	-
7	1	Rodillo Movil	-
8	1	Ensambleje - Cajera	-
10	2	Tapa Rodillos	-
11	8	Perno Allen	M12x1,75 x 30
13	1	Tuerca - Tornillo Potencia	-
14	1	HandWheel	-
16	8	Perno Hexagonal	3/4-10 UNC - 3
17	2	CajaPortaRodillos - CorrederaInferior	-
18	1	CajaPortaRodillos -TapaCorrederaSuperior	-
19	4	Perno Hexagonal	M10 x 1 x 30

	NOMBRE	FECHA	EDICIÓN	
DIBUJO	JUAN JOSE GALLARDO	DIC - 2012	1	HOJA
DISEÑO	JUAN JOSÉ GALLARDO	LISTA DE PARTES		3 / 4
REVISO	ING. MANUEL HELGUERO			ESCALA
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		MAQUINA DESTALNADORA DE NEUMÁTICOS		Peso

APÉNDICE S
 PLANO 4 – MÁQUINA DESTALONADORA ENSAMBLAJE

DESTALONADORA DE NEUMÁTICOS



NOMBRE		FECHA	EDICIÓN	HOJA
JUAN JOSE GALLARDO		DIC - 2012	1	4 / 4
DISEÑO		DESTALONADORA DE NEUMÁTICOS ENSAMBLAJE		
REVISO		ING. MANUEL HELGUERO		
ESQUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		MÁQUINA DESTALONADORA DE NEUMÁTICOS		
FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		ESCALA		
		1:25		
		PESO		
		1299 Kg.		

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Smith William; Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales; tercera edición; Mc Graw Hill; 1998
- 2.- Martínez Casanovas Armando; Manual de información técnica de neumáticos; Dirección de transporte CONAE.
- 3.- The Maintenance Council; Guía de Análisis de condiciones para llanta radial; U.S.A. 1955.
- 4.- Guillermo Castro; Materiales y compuestos para la industria del neumático; 2008.
- 5.- Yang, S., Lohnes, R. A., and Kjartanson, B. H., "Mechanical Properties of Shredded Tires," Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 25, No. 1, March 2002, pp. 44-52.
- 6.- Samaraez Chemical Consulting, S.L.; Reciclaje de Neumáticos Fuera de uso (NFUs) Trituración Mecánica.
- 7.- Encarnación Cano Serrano, Lidia Cerezo García, Marina Urbina Fraile; Valorización material y energética de neumáticos fuera de uso; Elecé Industria Gráfica; 2007
- 8.- Richard G. Budynas y J, Keith Nisbett; Diseño en ingeniería mecánica de shigle; octava edición; Mc Graw Hill; 2008
- 9.- Robert L. Norton; Diseño de maquinaria; tercera edición; Mc Graw Hill; 2005
- 10.- Mikell P. Groover; Fundamentos de manufactura moderna; tercera edición; Mc Graw Hill; 2007
- 11.- Serrano Omar; Guía de estudio del curso de materiales de ingeniería; ESPOL, 2008.
- 12.- IVAN BOHMAN CA; Catálogo de aceros; Ecuador
- 13.- Morse; Catalogo de productos para transmisión de potencia PT88; USA

14.- NTN; Catalogo de rodamientos de bolas y rodillos 2202-VII/S

15.- Siemens; Catalogo de motores trifásicos

PAGINAS WEB

16.- http://www.biotyre.com/es/industries_rubber-tyre.php

17.- http://www.diariomotor.com/2009/11/23/visita-a-la-fabrica-de-michelin-en-vitoria-%C2%BFcomo-se-fabrica-un-neumatico/#disqus_thread

18.- http://www.mipro.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=1235:avanzan-dialogos-para-ejecucion-de-proyecto-reusa-llanta&catid=119:detalles&Itemid=18

19.- <http://www.eltiempo.com.ec/noticias-cuenca/85226-plan-para-reciclar-llantas-usadas/>

20.- <http://www.consortio-ilm.com/obras.html>

21.- <http://www.txljsj.com/en/Index.asp>

22.- Tesis de grado; <http://hdl.handle.net/123456789/1732>

23.- Tesis de grado; <http://hdl.handle.net/123456789/1181>