

Diseño de una Máquina Destalonadora de Neumáticos

Juan José Gallardo Bastidas ⁽¹⁾, Manuel Helguero González, Ing. ⁽²⁾
Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción ^{(1), (2)}
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
Ingeniero mecánico ⁽²⁾
Universidad ESPOL, Profesor de ESPOL ⁽²⁾
jjgallar@espol.edu.ec ⁽¹⁾, mhelguer@espol.edu.ec ⁽²⁾

Resumen

El presente artículo desarrollara el diseño de una Máquina Destalonadora de neumáticos con una capacidad mínima de 30 neumáticos/hora, empleada para la remoción del alambre metálico del interior de estos. Este estudio tiene como objetivo obtener un modelo matemático el cual represente el funcionamiento de la máquina, por medio del cual se analizara y diseñara las partes mecánicas más relevantes, empleando un criterio de falla. En la teoría se revisaran algunas propiedades mecánicas del caucho, se expondrán las normativas a nivel nacional respecto al reciclado de neumáticos, se conocerán los distintos procesos de reciclaje y maquinaria empleada para este fin. En el proceso de diseño se obtiene el modelo matemático que es representado por dos procesos, uno de laminación y uno de fricción, mediante los cuales se obtiene una potencia de diseño de 15 [Kw] para la máquina; se determinan los diámetros para los rodillos desbastadores y ejes principales; para la caja de transmisión, se obtienen las propiedades y geometría de los engranes. En cuanto a los elementos normalizados se seleccionan bandas tipo V, reductor de velocidad y el motor eléctrico. Finalmente se determina el presupuesto para la construcción de la máquina.

Palabras Claves: *Máquina Destalonadora, modelo matemático, criterio de falla.*

Abstract

This article developed the design of a tire bead remover machine with a minimum capacity of 30 tires / hour, used for the removal of the metal wire inside these. This study aims to obtain a mathematical model which correctly represents the actual operation of the machine by which they analyze and design the most relevant mechanical parts using a failure criterion. In theory will review some mechanical properties of rubber, explains the national regulations regarding recycling of tires and the machinery used for this purpose. In the process of design are obtain the mathematical model which is represented by two processes, one of rolling and the other of friction, whereby we obtain a design power of 15 [kW] for the machine; diameters are determined for the roughing rollers and principal shaft. For the transmission, we obtain the properties and geometry of the gears. As for the standard elements are selected V-belts, speed reducer and the electric motor. Finally determine the budget for the construction of the machine.

Keywords: *Bead Remover Machine, mathematical model, failure criteria.*

1. Introducción

Actualmente en Guayaquil, existen reglamentaciones municipales que prohíben a las empresas encargadas del aseo, la recolección de neumáticos enteros, a menos que estos hayan sido previamente triturados en trozos de 5 x 5 cm. 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.

En la primera parte se analiza la teoría relacionada con los neumáticos, abarcando sus características principales, proceso de construcción y propiedades del caucho. Se revisaran ciertos aspectos del reciclaje de neumáticos a nivel nacional como: las normativas, problemática en el Ecuador y los procesos de reutilización de los neumáticos usados. Se expondrán los distintos tipos de máquinas empleadas para este fin y se analizará la máquina seleccionada para el diseño.

Como segunda parte, se realizará un diseño de forma de la máquina; se obtendrá el modelo matemático que represente el funcionamiento de esta; se hará un análisis de fuerzas de los elementos principales y se diseñarán los elementos empleando el criterio de falla de Goodman; se realizará 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 máquina.

1. Generalidades sobre los neumáticos

1.1 Características de los neumáticos

Los neumáticos son productos de ingeniería compleja, los cuales se componen principalmente de caucho natural, caucho sintético, negro de carbón, material de relleno, fibras, alambre de acero y productos químicos y minerales añadidos para permitir o acelerar la vulcanización.

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

- Cauchos naturales (NR)
- Caucho Estireno – Butadieno (SBR)

La estructura de los neumáticos puede ser de dos tipos: radial o diagonal, dependiendo de la posición de las capas que forman el cuerpo del neumático. A continuación se presenta una imagen [1] donde se enumeran las partes principales de un neumático y se detallarán las de interés:

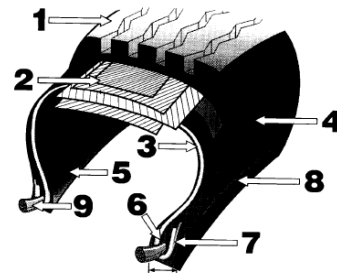


Fig. 1. Sección transversal de un neumático radial

- 1.- Banda de rodamiento
- 2.- Cinturón (Estabilizador)
- 3.- Capa radial
- 4.- Costado (Pared)
- 5.- Sellante
- 6.- Relleno
- 7.- Refuerzo de la ceja (talón)
- 8.- Ribete
- 9.- Talón

El relleno es un elemento de caucho, empleado para llenar el área de la ceja (talón) y la parte inferior del costado.

El refuerzo de la ceja es una capa de caucho 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.

El ribete es una tira de caucho usada como referencia para el asentamiento adecuado del área de la ceja sobre el rin.

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

Como se puede observar en la figura 1, los alambres metálicos o talón, están envueltos por sucesivas capas de caucho como el costado, relleno, refuerzo de ceja y ribete, los cuales abran que remover, para liberar el talón.

1.2 Construcción de un neumático

Para la construcción de un neumático se siguen tres etapas principales: confección, conformación y cocción.

Las partes principales de los neumáticos mencionadas anteriormente, se construyen en la etapa de confección; todos estos elementos se unen en la etapa de conformación y finalmente se realiza la vulcanización en el proceso de cocción en donde se obtiene una estructura monolítica [2].

1.3 Propiedades del caucho

Los elastómeros son materiales poliméricos cuyas dimensiones pueden cambiar grandemente cuando se les aplica tensión y estos vuelven a sus dimensiones originales cuando esta es retirada.

A diferencia de los aceros, los elastómeros no poseen una deformación permanente para la cual se obtenga el esfuerzo de fluencia que será requerido en los cálculos del proceso de laminación. Para obtener este esfuerzo se empleara la deformación producida en este proceso y a continuación se obtendrá el correspondiente esfuerzo.

2. Reciclaje de neumáticos

2.1 Marco legal

En la ciudad de Guayaquil, La Muy Ilustre Municipalidad, mediante el artículo 13 de la Gaceta Oficial No. 3, prohibió 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, lo que ha obligado a importadores, productores y distribuidores buscar formas de reciclado de neumáticos.

2.2 Los neumáticos como residuos

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 [3]. 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, los cuales limitan la rehabilitación del vertedero por ser difícilmente compactables además de causar problemas sanitarios.

2.3 Procesos de reutilización de los neumáticos usados

Existen varios tipos de tecnologías empleadas para la recuperación o reciclaje de los NFU, entre estos tenemos:

- **Tecnologías de Regeneración;** Desvulcanización, recuperación del caucho.
- **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.

El proceso de destalonamiento, entraría dentro de los tratamientos mecánicos. Estos pueden realizarse solos o como complemento a las tecnologías de reducción de tamaño.

3. Maquinaria

Existen dos tipos de Máquinas Destalonadoras de Neumáticos. Estas son la Destalonadora hidráulica y mecánica. Para este diseño se ha seleccionado la Destalonadora Mecánica.

Esta máquina está constituida por las siguientes partes principales:

- Bastidor
- Rodillos Desbastadores
- Sistema de separación de rodillos
- Sistema de soporte y alimentación
- Motor
- Reductor de velocidad
- Sistema de transmisión de potencia
- Panel de control

El bastidor es el “Cuerpo de la maquina”, el cual soporta todos los componentes de esta y absorbe la fuerzas internas generadas durante su operación.

Los rodillos desbastadores son cilindros con una superficie cortante, los cuales giran en sentidos opuestos a distintas velocidades de rotación, produciendo de esta manera el desbaste del neumático.

Debido a las distintas geometrías de los neumáticos, es necesaria la regulación de la separación de los rodillos desbastadores. Para este fin se emplean tornillos de potencia, en donde la condición de antiretorno, será imprescindible.

Este tipo de maquina es de uso manual, por lo que un operador deberá alimentar a esta con neumáticos. Para este fin, se emplea un sistema de engranes de tipo piñón – cremallera.

Estas maquinas, por lo general emplean motores eléctricos trifásicos, debido a que poseen un alto consumo eléctrico.

La velocidad de rotación de los rodillos desbastadores, está en un rango de 14 - 30 rpm. Se emplearan reductores de velocidad de engranes, para poder aproximar la velocidad de rotación del motor a estos rangos.

Debido a las características de los rodillos desbastadores como: distintas velocidades de rotación, giro en sentidos opuestos y distancia de separación regulable, para estas maquinas se emplea un sistema de engranes, que permite transmitir la potencia del motor hacia los rodillos, posibilitando las características antes mencionadas.

4. Proceso de Diseño

Para realizar el diseño de esta máquina, el cual es un proceso iterativo, se ha seguido la siguiente metodología:



Fig. 2 Fases del proceso de diseño

Se definirá el problema de diseño, de acuerdo a las necesidades observadas en el Ecuador. Se establecen las siguientes especificaciones que este deberá cumplir:

- Procesar neumáticos de rin 12” a 22.5”
- Capacidad mínima de 30 neumáticos/hora
- Peso menor a 1500 Kg

4.1 Diseño de forma

El diseño de forma o síntesis, se realiza en base a las especificaciones antes mencionadas, con el que se tendrá una idea clara de cómo está constituida la máquina, además de conocer la relación que existe entre sus componentes.

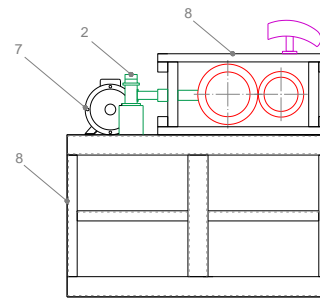


Fig. 3 Diseño de forma de la Destalonadora, vista frontal

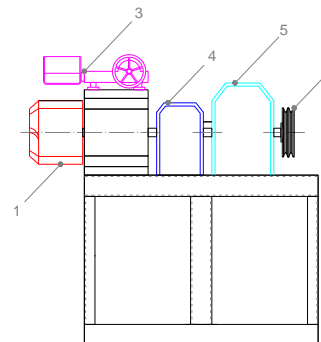


Fig. 4 Diseño de forma de la Destalonadora, vista lateral

Elementos de la maquina Destalonadora:

- 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

4.2 Análisis de fuerzas

4.2.1 Modelo Matemático.

Después de haber analizado el principio de funcionamiento de la maquina, se ha modelado este como la unión de un proceso de laminación y uno de desbaste.

En el proceso de laminación, se busca obtener la fuerza para mantener juntos los rodillos y la potencia requerida. Empleando las ecuaciones tradicionales para este proceso [4], se obtiene:

Tabla 1. Resultados del proceso de laminado

Parámetros	Valor	Unidades
F	32701	N
P'	2,76	Kw

F': Fuerza entre los rodillos desbastadores
P': Potencia requerida en el proceso de laminación

Conocida 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 sobre el caucho, durante el proceso de desbaste.

Tabla 2. Resultados del proceso de desbaste

Parámetros	Valor	Unidades
fr	26160	N
P	5,45	Kw

fr: Fuerza de fricción entre el rodillo y el caucho
P: Potencia requerida en proceso de fricción

Para obtener la potencia teórica del proceso de destalonamiento, se sumaran las potencias del proceso de laminación y desbaste, obteniendo un valor de 8.21 Kw.

Utilizando las eficiencias de las conexiones mecánicas y del motor eléctrico, se calcula la potencia de diseño con la siguiente ecuación:

$$P_{requerida} = \frac{P_{total}}{\eta_0 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3} = 11.74 [Kw]$$

Donde:

η_0 : Motor eléctrico
 η_1 : Transmisión por bandas
 η_2 : Transmisión en el reductor de velocidad
 η_3 : Caja de transmisión

4.2.2 Rodillos de desbaste.

Para analizar estos elementos, se emplearan las ecuaciones para esfuerzos de contacto en cilindros [5]. Calculado los esfuerzos principales, se realiza una reducción de esfuerzos según el criterio de Von Mises.

Como criterio de falla se empleara Goodman y la falla por fluencia en el primer ciclo, obteniéndose factores de seguridad dentro de los rangos ingenieriles.

Tabla 3. Factores de seguridad, rodillos desbastadores

Parámetros	Valor	Unidades
η_y	4,2	Mpa
η_f	1,6	Mpa

Donde:

η_y : Factor de seguridad contra la fluencia
 η_f : Factor de seguridad contra la fatiga

Los diámetros de los rodillos fijo y móvil se han seleccionado en 200 y 250 mm respectivamente. El tipo de material, será un acero de maquinaria para cementación AISI 3115 o equivalente, con el cual se podrá obtener una dureza superficial de 62 HRC.

4.2.3 Ejes o flechas.

Estos elementos transmiten la potencia hacia los rodillos desbastadores y se alojan dentro de estos.

Conocidas todas las fuerzas que actúan en el eje, se determina que el diámetro mínimo requerido para cumplir con el criterio de falla de Goodman es de 103 mm. También se aplica el criterio de falla por fluencia en el primer ciclo y se obtiene un factor de seguridad confiable de 3.87.

Empleando el Software Inventor, se realiza el diseño del eje, se lo somete a condiciones de carga similares y obtenemos que el diámetro mínimo calculado por el software es de 110 mm, lo que da una diferencia porcentual del 6% en comparación a los cálculos manuales.

4.2.4 Sistema de separación de rodillos.

Para la separación de los rodillos devastadores, se ha diseñado un tornillo de potencia, el cual tendrá la característica de ser autobloqueante y será de accionamiento manual.

Utilizando las ecuaciones para el cálculo de tornillos de potencia [5], se diseña el tornillo con las siguientes características:

- Rosca de tipo cuadrada
- Diámetro: 2"
- Paso: 1/4"

Finalmente se obtiene como resultado un factor de seguridad para el tornillo de 3.15 y un torque positivo para bajar la carga, lo que garantiza la condición de autobloqueante.

4.2.5 Sistema de soporte y alimentación.

Debido al labrado exterior que se le ha realizado a los rodillos, en forma helicoidal, estos tenderán a empujar el neumático entre los rodillos, por lo que la fuerza requerida por el mecanismo de alimentación para introducir el neumático en los rodillos será mínima. Para este mecanismo se ha seleccionado un sistema de engranes piñón-cremallera.

4.2.6 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 y cuatro eslabones, tal como se muestra en la siguiente figura:

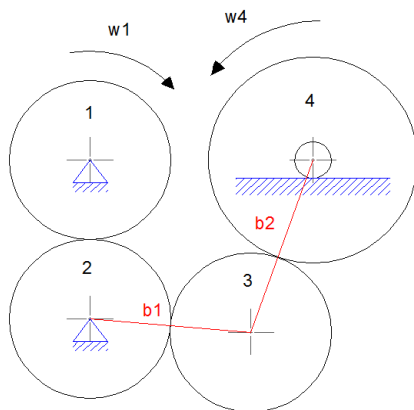


Fig. 5 Esquema de la caja de transmisión

Basándome en los cálculos para engranes según la norma AGMA [6], 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.

El diseño final de los engranes tendrá las siguientes características:

- Engranaje de dientes rectos
- Angulo de presión = 20°
- Modulo = 8
- Numero de dientes piñón = 24
- Numero de dientes corona = 31
- Ancho = 75 [mm]

4.3 Selección de elementos normalizados

4.3.1 Motor.

Se ha seleccionado un motor eléctrico trifásico, con una potencia de 15 Kw.

4.3.2 Poleas y bandas de transmisión.

Para transmitir la potencia del motor eléctrico al reductor de velocidad, se ha seleccionado un sistema de transmisión por bandas, el cual servirá también como elemento fusible.

Empleando las ecuaciones para el cálculo de bandas [7], se seleccionan 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.

Se ha seleccionado un reductor de ratio 40:1 para transmitir potencias de hasta 20 Hp.

Para el análisis de costos, se ha elegido un reductor de velocidad de procedencia China [8], el cual beneficiara en el aspecto económico a este diseño.

4.4 Diseño y validación de los elementos utilizando el Software Inventor

Una vez que se ha realizado el análisis de cada uno de los componentes y se han establecido sus dimensiones, se emplea el Software Inventor para realizar un prototipo digital de este.

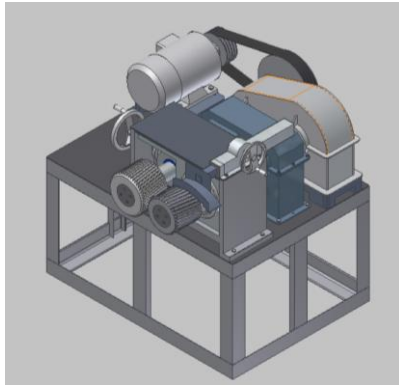


Fig. 6 Vista frontal en 3D de la Maquina Destalonadora

Se procederá a realizar un análisis de elementos finitos de la “cajera”. Este elemento por no tener una dimensión comercial estándar, se deberá fabricar.

Debido a la complejidad de la geometría y las condiciones de carga de este elemento, se ha realizado el análisis FEA.

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.

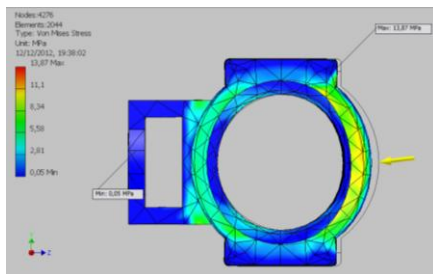


Fig. 7 Representación grafica de la distribución de esfuerzos

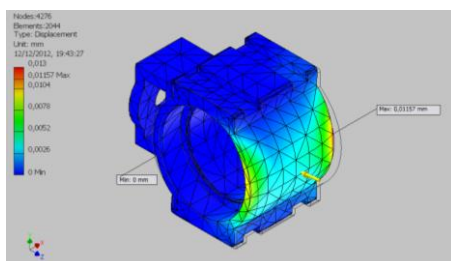


Fig. 8 Representación grafica de los desplazamientos

Como resultado del análisis FEA, se obtiene un valor máximo del esfuerzo de Von Mises de 13.87 Mpa, valor que está 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 garantizara el correcto funcionamiento de los rodamientos dentro de la cajera.

5. Análisis de costos

Para poder realizar un presupuesto del costo de fabricación de la maquina, me basare en la complejidad de las pieza a fabricar. En base al tiempo estimado para su construcción e incrementando un porcentaje de utilidad además de un porcentaje para cubrir imprevistos durante la fabricación, se obtendrá el costo final de la maquina.

Ítem	Descripción	Costo [USD]	Peso [Kg]
1	Elementos normalizados	3.355,00	438,25
2	Elementos fabricados	4.750,56	723
3	Componentes eléctricos	1.694,00	80,3
4	Ensamblaje	114,97	-
Costo total de la maquina		9.914,53	-
Imprevistos		991,45	-
TOTAL		10.905,98	1.241,55

Tabla 5. Costo total de la Máquina Destalonadora

6. Conclusiones

Al realizar el modelo matemático, se obtuvo que la potencia se incrementa proporcionalmente a la cantidad de neumático que entra en contacto con los rodillos, por lo que se preferirá utilizar maquinas desarmadoras en un proceso previo, reduciendo el tamaño del neumático, 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 disipa como calor, lo que se reflejara como una reducción en la eficiencia de la máquina. Sera importante analizar otros métodos para retirar el talón de los neumáticos, evitando estas pérdidas de energía.

Las herramientas de diseño como los programas CAD/CAE, actualmente son indispensables para la realización digital de prototipos y validación de componentes. Los resultados obtenidos por estos programas son casi exactos a los obtenidos por los métodos manuales tradicionales, por lo que son confiables.

La realización de este proyecto es económicamente factible y ayudaría a productores, importadores, distribuidores y otros interesados en el reciclaje de neumáticos en el país.

El diseño de esta máquina facilitara 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, que establecen que los neumáticos deberán ser triturados.

7. Referencias

- [1] The Maintenance Council; Guía de Análisis de condiciones para llanta radial; U.S.A. 1955
- [2] Guillermo Castro; Materiales y compuestos para la industria del neumático; 2008.
- [3] Diario el tiempo, Plan para reciclar llantas usadas [www.eltiempo.com.ec]
- [4] Mikell P. Groover; Fundamentos de manufactura moderna; tercera edición; Mc Graw Hill; 2007
- [5] Richard G. Budynas y J, Keith Nisbett; Diseño en ingeniería mecánica de shigle; octava edición; Mc Graw Hill; 2008
- [6] Normas AGMA, American Gear Manufacturers Association
- [7] GoodYear; Cálculos y recomendaciones para correas multi-V-3
- [8] JiangSu Tai Xing Long Reducer Co, [www.txljsj.com]