

MÁQUINA TRITURADORA DE CAUCHO PARA LA OBTENCIÓN DE GRANULOMETRÍA FINA

Mueses Flores Stalin Fabricio (sfmuesesf@utn.edu.ec).

Director: Ing. Víctor Erazo. MSc. (vaerazo@utn.edu.ec).

Resumen—Este proyecto se realizó con el objetivo de contribuir a la disminución de la contaminación ambiental, causada por los neumáticos desechados, pretende causar interés en esta materia prima, mediante la trituración la cual en sinergia con otras máquinas se pueden obtener varios productos que serán de utilidad para la sociedad, contribuyendo así con la matriz productiva de la ciudad. Se determinó los requisitos para el diseño de la máquina según datos que se encuentran en el medio y con normas empleadas en otros proyectos de la misma índole. Se realizó una selección de alternativas, donde se obtuvo la mejor opción para el diseño de la máquina, luego se realizó cálculos con teorías mecánicas, y se determinó el material a utilizar con sus respectivas dimensiones, también se obtuvo simulaciones en software el cual sirvió para verificar lo antes expuesto, continuando con este proceso se elaboró planos, dando paso a la construcción de la máquina. Se implementó una inversión de giro al motor el cual evita atascamiento de la máquina, y permite continuar con la trituración, al terminar la construcción se realizó pruebas, las cuales determinaron que el proyecto al estar sin carga no presenta inconveniente según los parámetros de evaluación, cuando en la misma se coloca la materia prima la máquina obtiene una granulometría fina de 60%, mientras el 40% restante del polvo triturado será empleado en áreas deportivas, recreacionales entre otras.

Índice de Términos—Composición de neumático, Granulometría, Inversión giro de motor, Suavizado de caucho.

I. INTRODUCCIÓN

Los centros de acopio y servicio son los encargados del reciclaje de llantas, sin embargo no hay un procedimiento adecuado para la reutilización de las mismas, por ejemplo; para el procesamiento en hornos cementeros se debe pagar una cantidad económica por cada llanta incinerada, pero esto provoca contaminación ambiental al igual que el abandono e incineración en lugares no aprobados por las normas que se establecen en la Constitución de la República, “las cuales se encuentran en el artículo 154 y en concordancia con el artículo 17 del Estatuto del Régimen Jurídico Administrativo de la Función Ejecutiva” [1]. En la ciudad de Ibarra se ha reciclado en el basurero municipal 10 000 neumáticos en cinco años, los cuales han terminado su vida útil, generando acumulación de estos residuos y con ello la contaminación ambiental lo cual es perjudicial para la salud humana, la adquisición de equipos para el tratamiento de la reutilización de caucho es sinónimo de costos elevados ya que se fabrica en otros países, generando desinterés en la compra de maquinaria [2].

Se diseñará y construirá una máquina trituradora de llantas utilizando materiales que sean de fácil acceso en el mercado

nacional consiguiendo una trituración hasta llegar al punto de ser utilizado en procesos posteriores de conformado logrando obtener granulometría fina de 1 a 3mm en un ciclo de trituración, además, su construcción será referente a la capacidad de reciclaje en centros de acopio que existan en la ciudad, contribuyendo de esta manera con el medio ambiente y la economía de personas involucradas en el proyecto.

II. METODOLOGÍA

Para la construcción de la máquina trituradora de caucho, se toma como base la norma ASTM D 4-22. La cual manifiesta que se debe emplear tamices de numeración 4 a 16 para la obtención de granulometría, que comprende diámetros desde 1,18mm hasta 4,75 mm [3]. Además, parámetros de diseño tales como: fuerza necesaria para el desgarramiento del caucho, dimensiones del pedazo que se ingresa, velocidad según recomendaciones de otros fabricantes, número y diseño de cuchillas [4].

Mediante análisis funcional y el método de criterios ponderados, se realiza una selección de alternativas. La cual determinó la solución óptima para el diseño de las máquinas de triturado y conformado.

Se utiliza una balanza para determinar el porcentaje del neumático que es aprovechado, un cronómetro para establecer si la máquina cumple con el tiempo necesario para alcanzar la relación de recolección mensual, un tamiz para la clasificación del polvo triturado de caucho (PTC), el cual determinó la cantidad válida para la máquina de conformado.

III. DESARROLLO

Se analizó que los neumáticos usados son considerados desechos especiales y que de acuerdo a la normativa técnica ecuatoriana INEN No. 2096 en el siguiente orden de prioridad: a) Reencauche, b) Reciclaje, y, c) Coprocesamiento [1]. Los neumáticos de camión contienen una mayor proporción de caucho natural en relación al caucho sintético de los neumáticos de automóvil. La composición de caucho podría obedecer al hecho de que los neumáticos para automóviles de pasajeros tienen que satisfacer normas de calidad más elevadas a fin de competir con éxito en el mercado [4], [5].

El neumático está constituido de una combinación de materias primas, en el cual su porcentaje se los puede apreciar en la tabla 1.

Tabla 1. Composición de neumáticos de automóviles y camiones (En % de peso).

Material	Automóviles (%)	Camiones (%)
Caucho/ elastómeros	48	45
Negro de humo y sílice	22	22
Metal	15	25
Material textil	5	
Óxido de zinc	1	2
Azufre	1	1
Aditivos	8	

Fuente: [6].

Tabla 2, muestra nombres asignados a los diferentes tamaños de caucho.

Tabla 2. Tamaño de granulometría.

Producto	Tamaño	Fuente	Tecnología
Trozos (X)	> 300mm	Todas	Mecánica (M)
Tiras (shred)(S)	50-300mm	Todas	Mecánica (M)/ reducción a temperatura ambiente (A)
Astillas (chips)(C)	10-50mm	Todas	Mecánica (M)/ reducción a temperatura ambiente (A)
Granulado (G)	1-10mm	Todas	Reducción a temperatura ambiente (A)/ criogénico (C)
Polvo (P)	<1mm	Todas	Reducción a temperatura ambiente (A)/ criogénico (C)
Polvo fino (F)	<500µm	Todas	Reducción a temperatura ambiente (A)/ criogénico (C)/ recuperación (R)
Buffins (B)	0-40mm	Neumáticos pisados	Buffing (B)
Recuperado (Recaliming)(R)	Normalmente se suministra en bloques	Todas y granulado	Recuperación (R)
Desvulcanizado (D)	Depende del tamaño del polvo	Polvo de todas las fuentes	Reducción a temperatura ambiente (A)/ criogénico (C)/ desvulcanización
Pirólítico (Y)	<10mm	Todas	Pirólisis (P)/buffing (B)/ reducción criogénica (C)

Fuente: [7].

Se diseñó y construyó una máquina trituradora de caucho para obtener granulometría fina, considerando varios parámetros de diseño tales como: fuerza necesaria para el desgarramiento del caucho, dimensiones del pedazo que se ingresará en la máquina, velocidad según recomendaciones de otros fabricantes, número y ancho de cuchillas. Además se realizó una selección de alternativas la cual determinó que al utilizar 4 ejes con cuchillas rotativas y con la ayuda de una criba se obtendría beneficios en la granulometría y tiempo, también se consideró métodos de suavizado para la materia prima que se introducirá en la máquina. En la figura 1, se expondrá el modelo de la máquina.

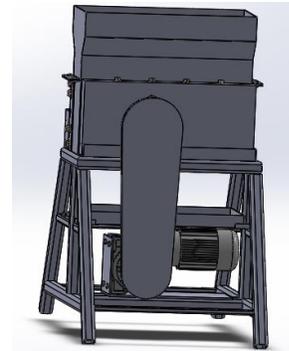


Figura 1. Diseño de Máquina Trituradora.

Diseño de Elementos Mecánicos.

Para encontrar el torque requerido se tomó el dato de la fuerza según el ensayo desgarramiento tipo pantalón realizado en el Laboratorio LEMAT (ESPOL) $F_{cizalla} = 558.91 \text{ N}$ [4]. Además, se considerará densidad, masa y volumen del pedazo de neumático a introducir, también se incluirá el área de las cuchillas, para esto se aplicará la ecuación (1) [8].

$$T = F \cdot d \quad (1)$$

Se obtuvo un torque de 218.15 N-m., este dato será tomado para encontrar la potencia requerida del motor, además se tomará como referencia la velocidad a la que debe trabajar la máquina según los fabricantes, la velocidad puede ser desde 15 hasta 32 rpm [4], [9]. Para lo cual esta máquina trabajará a una velocidad de 26 rpm, a continuación se utilizará la fórmula (2) [8].

$$P = T \cdot W \quad (2)$$

Se obtuvo como resultado una potencia de motor de 0.797 hp = 593.96 Watt, además se considerará la eficiencia del motor y el factor de servicio. Se aplicará la ecuación (3) y (4) [10].

$$P_{\text{máx}} = F_s \cdot e \cdot f_d \cdot P \quad (3)$$

$$T_{\text{total}} = F_s \cdot T \quad (4)$$

La fórmula (3) indica $P = 1.039 \text{ kW}$, y (4) indica $T_{\text{total}} = 262.688 \text{ N-m}$. Al tener torque y potencia se procede a la selección del motorreductor el cual al revisar un catálogo se determinó un motorreductor con una potencia de 1,1 kW o 1,5

hp, torque 274.3 N*m y velocidad 28 rpm. Luego se realizó la selección de la cadena la cual se hizo de acuerdo a la potencia con la cual trabajará la máquina y las rpm que la misma manejará, para esto se determinará en la figura 2.

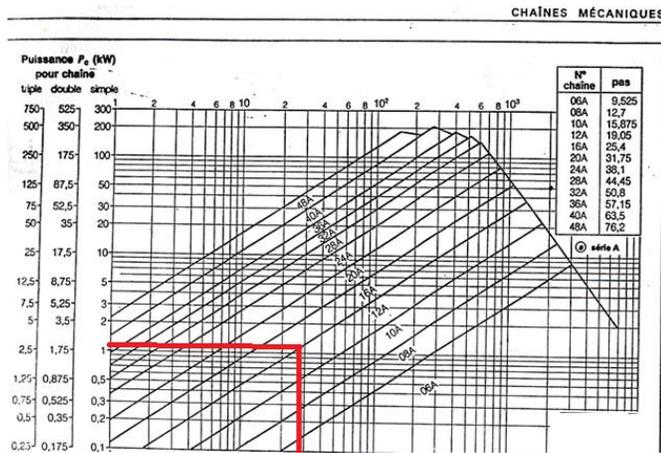


Figura 2. Diagrama de selección de cadenas de transmisión de potencia serie americana [11].

Figura 2, indica que cadena a utilizar es 12A la cual tiene paso (Pas) de 19.05mm, en ANSI sería cadena número 60 [12].

Se procedió a calcular los engranajes en los cuales se consideró módulo con el cual se realizará la construcción de estos, además diámetro primitivo, obteniendo engranajes de 32 dientes. Se calculó la resistencia del diente la cual determinó el material a emplear, obteniendo como resultado 1.52, lo cual indica que el material plástico no sería útil ya que excede el coeficiente de trabajo, el ideal sería aluminio pero debido a sus costos, se optó por elegir la fundición 18 a 19 kgs [13].

Al realizar las ecuaciones de equilibrio se procedió a encontrar las diferentes reacciones que actuarán en el eje motriz, por tanto se realizó los diagramas cargas con los cuales se pudo determinar el diámetro en el cual estarán alojadas las cuchillas rotativas para esto se aplicó la ecuación (5) [8].

$$D = \sqrt[3]{\left(\frac{32 * N}{\pi}\right) \sqrt{\left(\frac{Kt * M}{Sn''}\right)^2 + \left(\frac{3}{4}\right)\left(\frac{T}{Sy}\right)^2}} \quad (5)$$

Ecuación (5) indica el diámetro para eje de transmisión donde serán ubicadas las cuchillas $D = 54$ mm, la misma fórmula indica diámetro para lugar donde se alojarán piñones $D1 = 30$ mm, por último el diámetro donde se encontrarán los rodamientos será $D2 = 35$ mm.

Módulo de Control

Se realizó una selección de alternativas obteniendo como solución ganadora un sensor de corriente el cual irá acompañado de un atmega, además de vigilancia de un operario. El sensor de corriente permitirá que la máquina tenga un sistema de inversión de giro por unos segundos el cual permitirá que la máquina pueda continuar con su

funcionamiento normal, además este sistema cuenta con una LCD en la cual se visualizará que está sucediendo con la máquina, si está triturando o destrabando. También cuenta con un guarda motor el cual protegerá al motor y posee un paro de emergencia por sí ocurriera un imprevisto.

IV. ESPECIFICACIONES

Las especificaciones de la máquina se encuentran en las tablas 3 y 4 las cuales muestran las características de la máquina y equipos de medida utilizados respectivamente.

Tabla 3. Características de máquina trituradora de caucho.

Datos	Información
Materiales instalados: Acero: AISI 4340, AISI 1045, K100, ASTM A36, relés 5v y 220v, transistores 2N3904, guarda motor, luz piloto, sensor final de carrera, Lcd, fundición de 18 a 19 kg para engranajes, piñones para cadena #60, cable #14, platinas 2 y 4 mm. Pernos M (3, 4, 6, 8, 10, 14,16).	

Tabla 4. Equipos de medida utilizados en la instalación.

Equipos	Observaciones
Amperímetro	La máquina sin carga se establece en 1.5 A, mientras con carga tiene una variación entre 5 A-7.5 A, además cuando existe una traba de la máquina esta excede los 7.5 A. Estas mediciones se obtuvieron al utilizar 220V.
Multímetro	Ninguna.
Cronómetro	Ninguna.
Balanza	Ninguna.

V. RESULTADOS

Para evaluar el funcionamiento se considerará 3 fases las cuales son: máquina sin carga, con carga y cuando exista atascamiento. Cada fase tendrá sus parámetros de evaluación los cuales serán expuestos en la tabla 5:

Tabla 5. Fases de evaluación y sus respectivos parámetros.

Fase	Parámetros de Evaluación
Máquina sin Carga	-Visualizar si existe algún rozamiento entre los elementos de cuchillas y separadores ^a . -Observar la velocidad con la que giran las cuchillas y estimar si es la correcta para el desgarrar del caucho ^b .
Máquina con Carga	-Prestar atención si el tiempo no excede lo expuesto en el alcance del proyecto ^c . -Mirar si se obtuvo la granulometría adecuada ^d .
Máquina con Atascamiento	-Observar si la máquina pudo continuar triturando luego de la traba ^e . -Mirar si se obtuvo la granulometría adecuada ^f .

Nota. Según los parámetros de evaluación se tomarán los siguientes nombres: ^a sin rozamiento, ^b velocidad, ^c tiempo normal, ^{d, f} granulometría adecuada, ^e triturado normal.

El método para evaluar el funcionamiento de la máquina consiste en realizar una tabla en la cual se marcará errores y aciertos de cada parámetro, para esto se contará con 5 intentos, luego se realizará un promedio de estos valores. Se efectuará las tablas 6, 7 y 8 para cada fase y sus parámetros se expondrán de manera individual.

Tabla 6. Fase de máquina sin carga.

Parámetro de Evaluación	Número de Intentos					Total
	1	2	3	4	5	
Sin rozamiento	1	1	1	1	1	5
Velocidad	1	1	1	1	1	5
	Total Aciertos					10
	Total Porcentual					100%

Nota. Donde 1 indica acierto y 0 error.

Tabla 7. Fase de máquina con carga.

Parámetro de Evaluación	Número de Intentos					Total
	1	2	3	4	5	
Tiempo normal	1	1	1	1	1	5
Granulometría adecuada	1	0	1	1	1	4
	Total Aciertos					9
	Total Porcentual					90%

Nota. Donde 1 indica acierto y 0 error.

Tabla 8. Fase de máquina con atascamiento.

Parámetro de Evaluación	Número de Intentos					Total
	1	2	3	4	5	
Triturado normal	1	1	1	1	1	5
Granulometría adecuada	1	0	1	0	1	3
	Total Aciertos					7
	Total Porcentual					80%

Nota. Donde 1 indica acierto y 0 error.

El promedio de las tablas 6, 7 y 8 muestran, que la máquina tiene un funcionamiento de 90% , lo cual indica que la máquina es apta para realizar su función, la cual es triturar y obtener granulometría útil, para ser empleada en productos derivados del caucho.

Conclusiones

- Se logró determinar que al utilizar 4 ejes con cuchillas rotativas y una criba, contribuye con la obtención de granulometría fina.
- Se determinó que los materiales utilizados son ideales para la trituración, considerando que se encuentran en mercado nacional y son de un costo accesible en comparación a otros materiales utilizados en máquinas de este tipo.
- El sistema de inversión de giro contribuyó a que la máquina no tenga inconvenientes respecto a atascamientos.
- Al realizar un promedio del protocolo de pruebas esta cumple con un 90%, lo cual

significa que es apta para su funcionamiento triturando la materia prima según el tamaño requerido para granulometría fina, el cual se basa en la norma ASTM D-422.

VI. REFERENCIAS

- [1] A. M. 2. Registro Oficial 937, *Instructivo Para la Gestión Integral Neumáticos Usados*, Quito: Acuerdo Ministerial de la República de Ecuador, 2013.
- [2] F. Salazar, *Centros de Acopio de Neumáticos*, Ibarra: Municipio de Ibarra, 2016.
- [3] COGUANOR , «Método de Ensayo. Análisis granulométrico por tamices de los agregados fino y grueso.» Guatemala, 1962.
- [4] A. Veintimilla, Implementación de un Diseño Mecánico Para Triturar Neumáticos Reciclables, Guayaquil: (Trabajo de Pregrado) Universidad Politécnica del Litoral, 2015.
- [5] Méndez, C. y Solano, F., Diseño de Triturador de Neumáticos Usados, Capacidad 1TON/h, Para la Empresa Municipal de Aseo de Cuenca(EMAC), Cuenca: (Trabajo de Pregrado) Universidad Politécnica Salesiana, 2010.
- [6] k. Kylans y V. Shulman, *Civil Engineering Applications of Tyres*, Crowthorne: TRL Limited, 2003.
- [7] Serrano, A., *Tamaño de la Granulometría*, 2012.
- [8] R. Mott, *Diseño de Elementos de Máquinas.*, México: Prentice Hall, 2006.
- [9] F. Palacios, *Diseño de un reductor de velocidad para una trituradora de neumáticos de 15CV*, Jaén: (Trabajo de Pregrado) Universidad de Jaén, 2014.
- [10] REDUCTOR SIN FIN CORONA SERIE BOX, *Motive*, Campobasso: 25014 Castenedello, 2012.
- [11] Ingemecánica, «Ingemecánica.com,» [En línea]. Available: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn127.html>. [Último acceso: 2016 06 28].
- [12] SKF, «Cadenas de Transmisión SKF,» S.f.. [En línea]. Available: <http://www.skf.com/binary/87-133515/46.Chain>. [Último acceso: 12 11 2016].
- [13] A. Casillas, *Cálculos de Taller*, Madrid: Palacios, 1997.

Autor- Mueses Stalin. Nací el 1 de Marzo de 1993 en la provincia de Imbabura cantón Ibarra, mis estudios primarios los realice en la escuela Fiscal-mixta “ 28 de Abril”, luego realice mis estudios secundarios en el colegio Fisco-misional San Francisco, en el cuál obtuve mi título de bachiller en la especialización de Físico Matemático, luego ingrese en la Universidad Técnica del Norte a especializarme en una carrera de ámbito superior Mecatrónica la cual con este trabajo obtendré mi título en Ingeniero en Mecatrónica.