

Desarrollo electromecánico de una máquina trituradora de tapas plásticas para la fabricación de albergues animales

Electromechanical development of a plastic cap shredding machine for manufacture of animal shelters

DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/cesta.04.01.2023.03>

Artículo de investigación científica. Fecha de recepción: 18/06/2022. Fecha de aceptación: 02/03/2023.

Andrés Álvarez Peinado 

Universidad Autónoma del Caribe. Barranquilla (Colombia)
andres.alvarez2@uac.edu.co

Bryner Ramírez Rodríguez 

Universidad Autónoma del Caribe. Barranquilla (Colombia)
bryner.ramirez@uac.edu.co

Saling Pallares Escorcía 

Universidad Autónoma del Caribe. Barranquilla (Colombia)
saling.pallares@uac.edu.co

Meglys Pérez Bernal 

Universidad Autónoma del Caribe. Barranquilla (Colombia)
meglys.perez@uac.edu.co

Jorge Acevedo Garrido 

Zühlke Engineering GmbH. Eschborn (Alemania)
jorgeernesto.acevedogarrido@zuehlke.com

Para citar:

A. Álvarez, B. Ramírez, S. Pallares, M. Pérez & J. Acevedo, “Desarrollo electromecánico de una máquina trituradora de tapas plásticas para la fabricación de albergues animales”, *J. Comput. Electron. Sci.: Theory Appl.*, vol. 4, no. 1, pp. 19–34, 2023. <https://doi.org/10.17981/cesta.04.01.2023.03>

Resumen

Introducción— A diario se observa cómo los animales en condición de calle sufren todo tipo de necesidades por no tener un lugar refugiarse, comer o tener momentos de tranquilidad. De forma paralela, también se evidencia la alta contaminación causada por la gran cantidad de desechos de plástico.

Objetivo— Buscando dar solución conjunta a estas dos problemáticas, se propone realizar el diseño y la implementación de una máquina trituradora de tapas plásticas tipo PET para la Fundación Paz, Amor y Vida (FundamPamVi).

Metodología— Para el desarrollo de la máquina trituradora, se diseñará el sistema mecánico de la máquina de trituración, el cual tendrá un sistema de control para el proceso de producción y validación del funcionamiento de la máquina recicladora con la construcción de bloques.

Resultados— Como resultado, se llevó a cabo un diseño electromecánico de la máquina trituradora que incorpora un sistema de protección y automatización mediante ciclos, permitiendo optimizar, verificar y poner en marcha su correcto funcionamiento.

Conclusiones— Se logra una notable reducción en los tiempos de trituración de las tapas plásticas comparados con métodos manuales de trituración, pudiendo entonces acelerar la construcción de los albergues animales.

Palabras clave— Máquina trituradora; tapas plásticas; PET; albergues animales; motor monofásico capacitivo; guarda motor; App Inventor

Abstract

Introduction— Every day we observe how animals in street conditions suffer all kinds of needs because they do not have a place to shelter, eat or have moments of tranquility. At the same time, the high contamination caused by the large amount of plastic waste is also evident.

Objective— Seeking to provide a joint solution to these two problems, we propose the design and implementation of a PET-type plastic cap shredding machine for the Peace, Love and Life Foundation (FundamPamVi).

Methodology— For the development of the shredding machine, we will design the mechanical system of the shredding machine, which will have a control system for the production process and validation of the operation of the recycling machine with the construction of blocks.

Results— As a result, an electromechanical design of the shredding machine was carried out, which incorporates a protection and automation system by means of cycles, allowing to optimize, verify and start up its correct operation.

Conclusions— A significant reduction in the shredding time of plastic lids is achieved compared to manual shredding methods, thus speeding up the construction of animal shelters.

Keywords— Shredding machine; plastic cap; PET; animal shelter; capacitive single-phase motor; motor guard; App Inventor



I. INTRODUCCIÓN

Muchos animales callejeros en zonas urbanas son expuestos a maltratos, rechazo de la sociedad. Existen personas que al adquirir una mascota no la cuidan y no le dan el amor que esta merece, por lo que expulsados de sus residencias y expuestos a los peligros de la calle. En la ciudad de Barranquilla existen múltiples casos de abandono, desaparición y maltrato animal [1]. Es por esto que, fundaciones rescatistas de estas especies se unen para disminuir el índice de población, realizar campañas con el objetivo de concientizar a la ciudadanía de adoptar y no generar comercio con los animales. Por otra parte, el cambio climático en gran medida es generado por los desechos producidos por el ser humano. Existen en el mundo grandes cantidades de plástico que tardan en degradarse aproximadamente 500 años. Estos afectan la vida de los animales como la de los seres humanos, dañando los recursos naturales y ecosistemas donde se forman partículas tóxicas creando condiciones dañinas para todos estos seres. El principal problema de la contaminación se origina en las calles y basureros, puesto que cada vez más se encuentran llenos de residuos que causan mal aspecto visual, contaminación y taponamiento en el sistema de drenaje en las calles de la ciudad de Barranquilla.

Articulando las dos problemáticas planteadas se analiza y propone una posible solución que beneficie tanto a los animales callejeros como al medio ambiente. El objetivo de este trabajo es diseñar y construir una máquina trituradora de tapas plásticas tipo PET (polyethylene terephthalate), la cual permita obtener la materia prima triturada para la fabricación de bloques para la construcción de casas para animales en la Fundación FundaPamVi. Esta fundación está dedicada al cuidado de animales en condiciones de abandono, que requieren de recurrentes donaciones y diversos tipos de eventos los cuales le permitan obtener los recursos necesarios para brindarle condiciones de calidad a los animales callejeros.

Para el desarrollo de la máquina trituradora, se diseñará el sistema mecánico de la máquina de trituración, el cual tendrá un sistema de control para el proceso de producción y validación del funcionamiento de la máquina recicladora con la construcción de bloques. El diseño y la construcción de la máquina trituradora para la creación de bloques espera contribuir con la fabricación de éstos a gran escala, y de esta manera, facilitar el suministro de materia prima para la fabricación de estas piezas para el bienestar de los animales.

II. TRABAJOS RELACIONADOS

Para el establecimiento de los antecedentes de este trabajo, se tuvieron en cuenta proyectos que aprovechan el tratamiento de materiales relacionados con polietileno. También cuyos procesos guardaran relación, aportaran al desarrollo y diseño de nuestra máquina trituradora de polietileno. En la UCV de Perú se realizó en 2018 el diseño de un prototipo de máquina trituradora de PET [2], con el objetivo de mitigar el problema de contaminación ambiental en la ciudad de Libertad. Para el desarrollo de este proyecto se establecieron etapas de producción las cuales fueron el diseño del elemento cortador o triturador y el interruptor magneto térmico. La diferencia en este caso es que se optimiza el interruptor magneto térmico y se coloca uno que controle el giro de las cuchillas, cabe resaltar que las propuestas fueron adoptadas en una ciudad específica. Como resultados, se hicieron pruebas piloto del arranque del motor y cambios de giro, en los que se lograron las metas establecidas. También se puso a prueba el elemento cortador con tapas de gaseosas, botellas plásticas y otros elementos plásticos, los cuales fueron reducidos al nivel deseado para pasar el filtro de desechos.

En esta misma línea, en la UPS (Sede Quito, Ecuador) se desarrolló en 2015 una máquina de bajo costo para triturar y extraer hilo plástico empleado en impresoras 3D [3]. Para lograr los objetivos, se inició con el estudio y selección del material a procesar, estudio de las mejores características del polímero para obtener el hilo y posteriormente el diseño de la máquina extractora. Teniendo en cuenta el empleo de materiales no convencionales para la construcción de la máquina, los costos de producción se redujeron en 30% respecto a modelos del mercado. También se destaca que el redimensionamiento de las cuchillas permitía obtener partículas no mayores a 125 mm^3 , lo cual permitió desarrollar sin dificultades el proceso de extrusión.

Por otra parte, en 2016 la UNC en Argentina desarrolló un sistema de recolección y la instalación de una planta de reciclado de botellas de tereftalato de polietileno [4]. El desarrollo del proyecto se llevó a cabo mediante el packing sustentable: reducción del consumo de insumos, reciclado, renovación hacia materiales 100% vegetales y recuperación de envases. Otros ejes fundamentales para la ejecución de proyecto están orientados a mejorar el bienestar de los consumidores, de los entornos laborales, de las comunidades en que se está presente y reponer los recursos a dichas comunidades. Dentro de los resultados obtenidos se destacan la viabilidad del proyecto en cuanto a volumen y capacidad, con varios turnos de trabajo, hasta operar 24 horas continuas. Además de tener éxito en otros países, fomenta la incorporación del hábito de reciclado y concientización social en las comunidades involucradas. Por lo que este proyecto demostró viabilidad económica (apoyada en empresas como EDESA) y social por fomentar hábitos de vida sostenible respecto a recursos naturales y materiales reciclables.

De forma similar, en 2020, la USS en Perú elaboró una máquina trituradora de botellas de plásticos con capacidad de producción de 25 kg/h para la empresa “BRAVO”. [5]. Para el diseño se realizó una entrevista con la empresa, se establecieron parámetros de acuerdo con sus necesidades, se hicieron cinco conceptos tentativos de máquinas en los que prevaleció el de triturado por cuchillas. Mediante el análisis económico se constató que la fabricación de la máquina trituradora genera beneficios económicos a la empresa por valor de S/.2 700 mensuales. Además que, el periodo de retorno de la inversión (PIR) es menor a 2 años (1 año y 11 meses).

A partir de los trabajos previos citados anteriormente, en este trabajo se protegen los elementos eléctricos para poder trabajar en cualquier ambiente aumentando su durabilidad y poco mantenimiento de la máquina trituradora, además del impacto social que tendrá en la construcción de albergues de animales desprotegidos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la elaboración de la máquina trituradora se utilizaron los siguientes materiales:

- Varilla hexagonal de 1' 1/16" pulgadas de acero 1 035 para el eje.
- Lamina templada cuadrada de acero $\times 1 \text{ m}^2$, espesor 5 mm.
- Rejilla circular de acero, pedazo cuadrado de 40 cm.
- Varilla lisa redonda de 2 pulgadas de hierro acoplada al motor.
- Motor monofásico, 2HP 1.5 Kw, 1730 rpm, 110/220 V 60 Hz.
- 4 llantas de giro 360° con frenos antideslizantes de silicona.
- Tubo cuadrado de hierro, 1 pulgada $\times 6 \text{ m}$.
- Ángulos de hierro, 1 pulgada $\times 2 \text{ m}$.
- Soldadura 7018 de electrodos 1 kg.
- Rodamientos de eje fijos, de 1' 1/16" pulgada.
- Horno ITC de 750 KVA, 1500 v, 3 ph, 1000 hz
- Máquina de mecanizado vertical Mori Seiki MH-40, 7000 rpm.
- Máquina de torno de 900 rpm, 220 v, 60 Hz, LeBlond.
- Guardamotor CHINT NS2-25 20-25A 110/220.

A. Diseño de la máquina trituradora

Se lleva a cabo el diseño manufacturado de la máquina y la geometría de esta, para poder así enjuiciar los valores adecuados para un óptimo funcionamiento.

B. Sistema de trituración

El eje diseñado es producto de múltiples consejos y aportes de otros diseños, debido a que se pensó en el mejor y más económico, no obstante, se calculó la fuerza necesaria que debe de ejercer para que las cuchillas realicen el corte a la perfección.



Fig. 1. Tapas Plásticas de 9 mm.
Fuente: phtorxp, 2020 (pixabay, uso gratuito).

Como se puede apreciar en la Fig. 1, el diámetro de las tapas es de 28 mm, por ende se define el tamaño de la caja lo cual ayuda a determinar una medida estándar para hacer las cuchillas, estas cuchillas ejercen una fuerza de corte la cuál es necesaria para poder romper o fracturar el PET; estas cuchillas están dispuestas de manera que sus planos inclinados generen los filos de corte, teniendo en cuenta que el ángulo de corte β : 70° a 80° y el ángulo de ataque α : 4° a 6°, los dos filos cortantes generan un ángulo de apertura γ : 8° a 10° (Fig. 2).

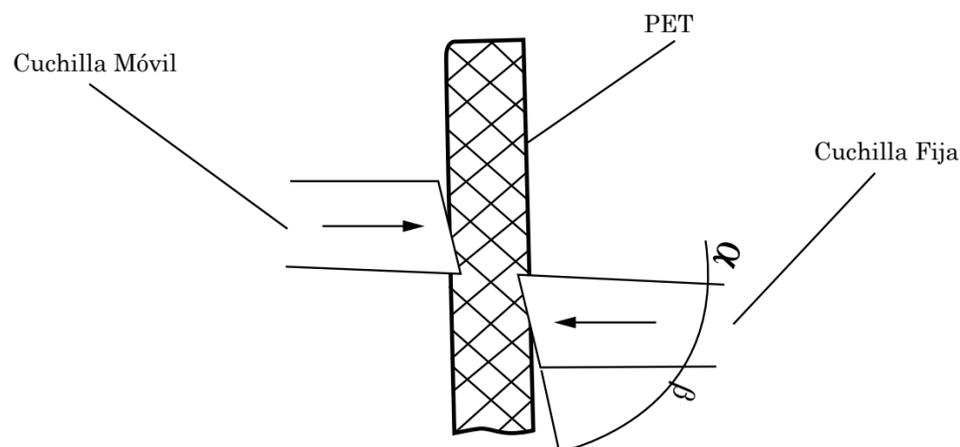


Fig. 2. Ángulos de apertura entre cuchilla móvil y fija.
Fuente: [6].

Obteniendo este ángulo se determina que el PET tiene el punto de ruptura de 88.25 MPA (Fig. 3).

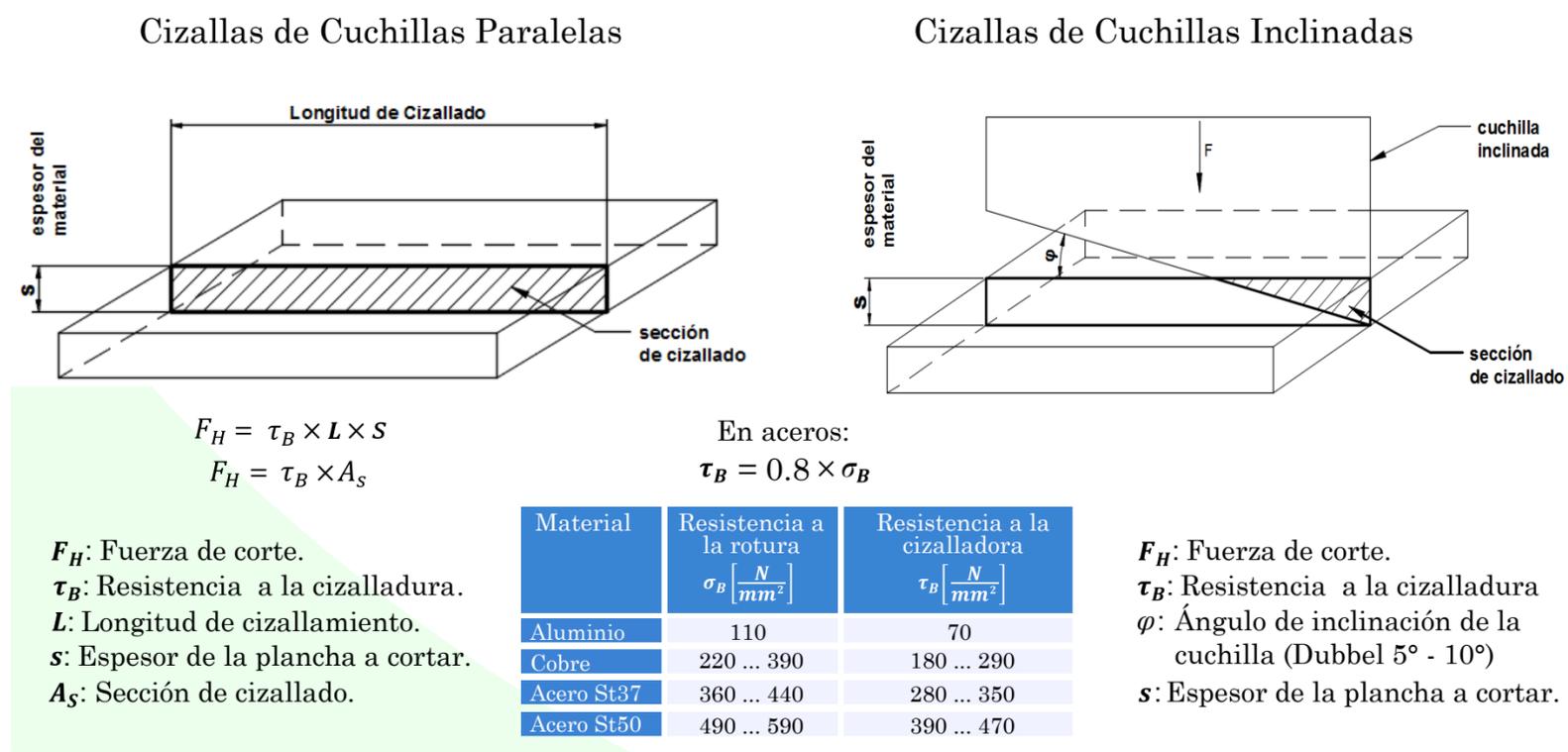


Fig. 3. Cizallas para diferentes ángulos.
Fuente: [6].

Para hallar la fuerza de corte para una única rosca se utiliza (1):

$$F_c = r \frac{s^2}{2 \tan \varphi} \quad (1)$$

$$F_c = \frac{88.25 \text{ Mpa}}{2} \cdot \frac{(0.0018 \text{ m})^2}{\tan 10^\circ} \approx 800 \text{ N (Newton)} \quad (2)$$

La fuerza necesaria para la ruptura de un segmento de una rosca de PET es de 800 N. Sin embargo, se debe considerar que la máquina puede estar cortando toda una línea entera de segmentos si está muy llena, por lo cual es deseable una fuerza de corte que equivalga a que las 3 cuchillas estén cortando juntas tres fragmentos gruesos, lo cual implica que: $F_c \times 3 = 2400$ N.

C. Diseño de Cuchillas Trituradoras

Se realiza la elección de tres cuchillas principales, las cuales harán el efecto espiral (desfasadas) para un máximo corte del PET, están marcadas para saber cuál es la posición para colocar en la máquina (en caso de un mantenimiento). Como se observa en la Fig. 4, el ángulo de la fuerza de corte del PET se completa con las cuchillas fijas (Fig. 5), para su máxima trituración, las rejillas cumplen un papel fundamental porque son ellas las encargadas de no dejar pasar las tapas no trituradas, y aun así, el plástico que no tenga un corte específico de 5 mm como mínimo, manteniendo un margen de error del 15%, debido a que se puede obtener unas cuantas con otros mm en promedio.

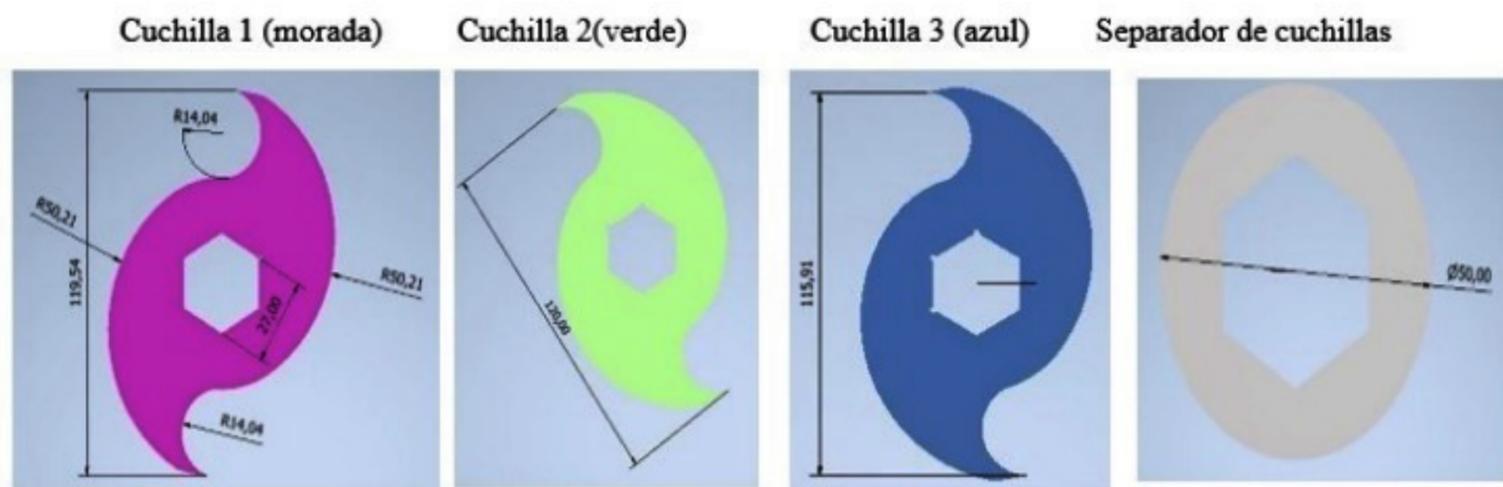


Fig. 4. Cuchillas Móviles de 5 mm de espesor.
 Fuente: Elaboración propia [7].

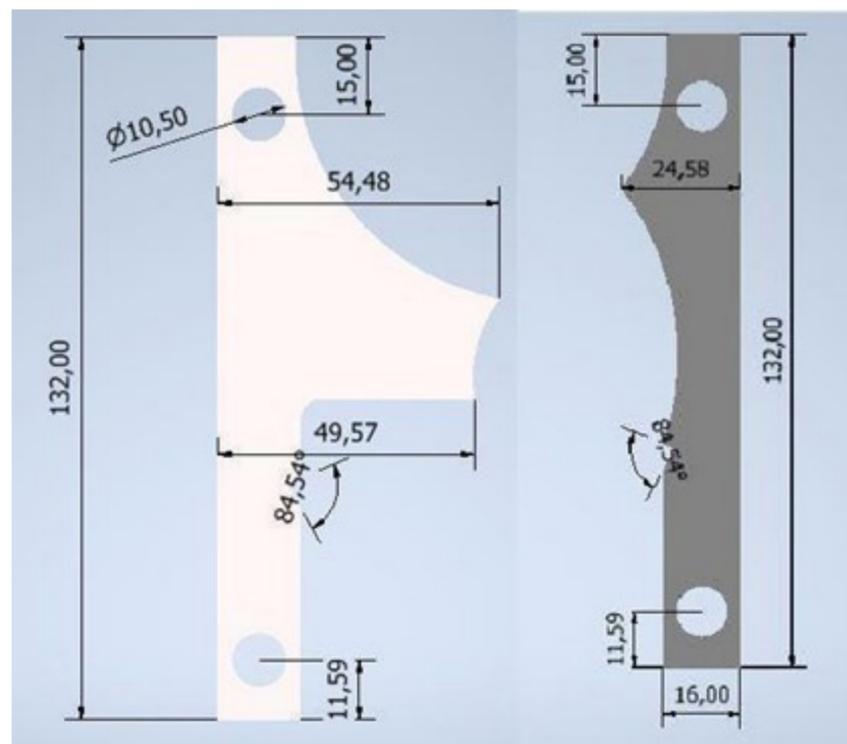


Fig. 5. Cuchillas fijas diseñadas.
 Fuente: Elaboración propia [7].

D. Diseño del eje

La forma del eje se nota en medio de las primeras cuchillas móviles, se escogió hexagonal (Fig. 6), este tipo de eje axial es lo mejor debido a que cada pared hace una fuerza uniforme sobre las cuchillas, dándoles mayor rigidez, más seguridad de completar su trabajo, se sostienen de la mejor forma para que se aplique una verdadera fuerza de corte. El eje se encuentra mecanizado a partir de una varilla hexagonal de 1 1/16" in (≈ 27 mm), su material es el acero 1035 el cual es "un carbono resistente al agua cuya resistencia al desgaste y endurecimiento se incrementan mediante la adición de una pequeña cantidad de cromo" (Fig. 7).

Su composición química es de:

- Carbono \rightarrow 0.32 - 0.38.
- Manganeso \rightarrow 0.6 - 0.9.
- Fósforo máximo \rightarrow 0.04.
- Azufre máximo \rightarrow 0.05.
- Propiedades mecánicas: Ksi (kilo libras de fuerza por pulgadas) MPa (Mega pascal).
- 40 ksi, 276 MPa (laminado en caliente). /75 ksi, 517 MPa (trabajo en frío).
- 65 ksi, 448 MPa (alivio de estrés). /33 ksi, 228 MPa (recocido).
- 40 ksi, 276 MPa (normalizado).
- Densidad = 7.8 g/cm³.

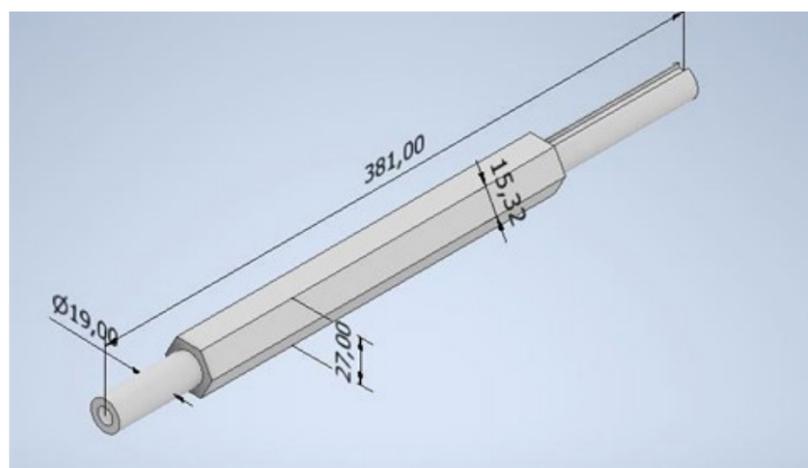


Fig. 6. Simulación de varilla hexagonal.

Fuente: Elaboración propia [7].

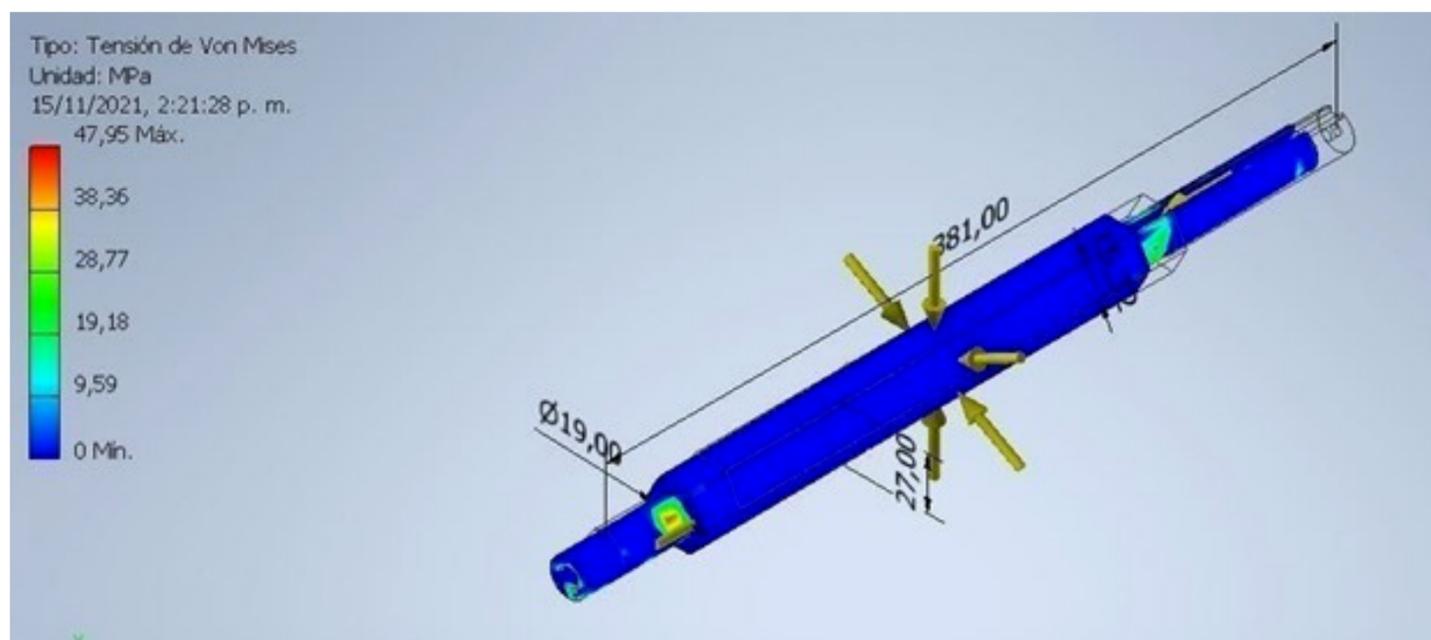


Fig. 7. Simulación punto de fuerza soportado por el eje.

Fuente: Elaboración propia [7].

El Eje respondió de la mejor forma y está demasiado calificado para cumplir con el trabajo impuesto, hubo varios ensayos de prueba y error, en un diseño se alargó mucho y se vio afectado en una de las puntas que se partió al trabajar (Fig. 8).



Fig. 8. Ensayo prueba y error para comprobar el eje mecanizado.
Fuente: Elaboración propia.

El acoplador que existe entre el eje de trituración y el eje del motor se diseña a partir de las dos medidas finales de estos mismos en la aplicación Inventor [7], se toma el mismo material “acero 1035”, haciendo un corte del lado donde se acopla el eje del motor, debido a que este eje es cilíndrico y no tiene una forma hexagonal, dicho corte en forma de cuña es sugerido por un soldador profesional y adoptado a la máquina (Fig. 9).

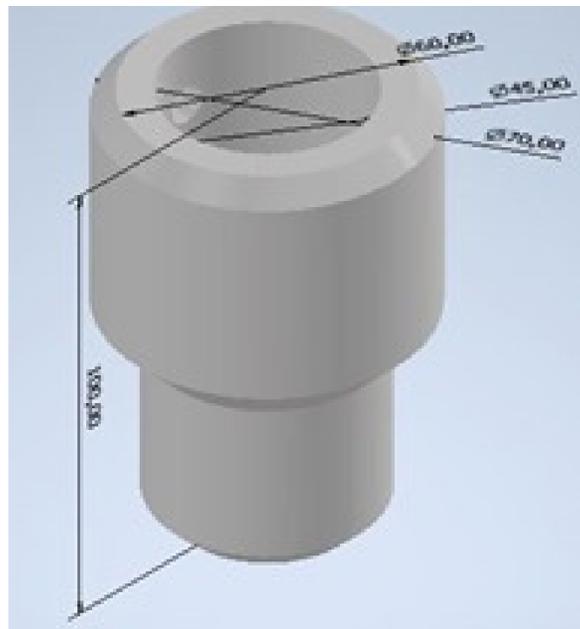


Fig. 9. Acople entre los dos ejes.
Fuente: Elaboración propia [7].

E. Cálculos para el proceso de trituración

Se calcula a partir de (3) el número de cortes necesarios para triturar cada tapa:

$$No. \text{ cortes} = \frac{\text{diámetro de la tapa (estándar)}}{\text{ancho de corte deseado}} = \frac{28\text{mm}}{5\text{mm}} \approx 6 \text{ cortes (3)}$$

La medida de nuestro eje es de 381 mm, la velocidad del eje recomendada para esta medida es de 500 rpm, segura y conservadora, teniendo en cuenta que hay 21 cuchillas sestionadas en 7 partes, cada 3 cortes desfasados creando el mejor ángulo de corte, se puede concluir que cada sesión corta tres tapas a la vez, y por cada revolución corta 2 veces. Es decir, $500 \text{ rpm} = 8.3 \text{ rps}$ se tiene: $8.3 \text{ rps} \times 2 \text{ cortes/rps} \approx 17 \text{ cortes}$.

F. Cálculos para Seleccionar el motor

Para la selección del motor, se debe tener en cuenta dos parámetros fundamentales, que son el torque de corte promedio (T_m) y la velocidad de giro (ω), los cuales definen la potencia necesaria para cumplir el trabajo. Teniendo en cuenta (4):

$$T_c = F_c \cdot r_{rodillo} \quad (4)$$

Siendo $r_{rodillo}$ longitud y F_c la fuerza de corte.

$$T_c = 2400N \times 0381/2m = 457.2Nm \quad (5)$$

$$L \text{ corte vertical} = L_c = 0.118m \text{ (promedio de longitud de las cuchillas)} \times \sin(10^\circ) \text{ (ángulo de corte)} = 0.0204m \quad (6)$$

En ese orden si el corte completo se realiza 2 veces en una sola vuelta se puede obtener el segmento de vuelta que el torque es ejercido por las cuchillas.

$$\text{Radiantes de corte} = R_c = \frac{L_c \times 2}{r_{rodillo}} = \frac{0.0204m \times 2}{\frac{0.381m}{2}} = 0.214 \text{ rad} \quad (7)$$

$$T_{promedio} = T_m = \frac{\int_0^{2\pi} T(\theta) d\theta}{2\pi \text{ rad}} = \frac{457.2Nm \cdot 0.214 \text{ rad}}{2\pi \text{ rad}} = 15.57Nm \quad (8)$$

$$P_{motor} = P = \omega \times T_m = 8.3rps \times 2\pi \times 15.57Nm = 812W \quad (9)$$

La potencial de motor obtenida de 812 W es equivalente a 1.09 HP. De esta forma, se tiene en cuenta que la eficiencia juega un papel fundamental para definir el motor. Teniendo en cuenta que el motor debe ser de 1.09 HP, se decide colocar uno de 2 HP que consume 1.624 KWh para compensar la fuerza necesaria que se necesita para triturar el material tipo PET.

La empresa que suministra el fluido eléctrico en la ciudad de Barranquilla maneja el cobro de KWh aproximadamente a COP 700 pesos. Bajo este concepto triturar durante 6 horas continuas representa un costo de COP\$6 820.8 pesos.

Son 21 cuchillas, 21 tapas a la vez, con una velocidad del motor a “500 rpm”, y si se aumenta el número de vueltas por minuto a 1 700 rpm, para una mayor rapidez de producción y así aprovechar los 2 HP del motor escogido.

G. Diseño de protección

Se implementa un diseño de protección que proviene de escoger los tipos de materiales de la máquina para una mejor eficiencia, calidad y acabado, como por ejemplo el acero St1035, las láminas templadas de acero inoxidable y la precaución de estar lubricando con WD-40 las cuchillas y el eje de la máquina para así evitar su deterioro, darle mayor vida útil a los componentes cuando esta se coloca en funcionamiento en espacios con un alto grado de humedad.

El diseño de protección eléctrico implementado tiene como propósito garantizar el correcto funcionamiento del motor escogido según las características presentadas, el motor monofásico está conectado a un voltaje de 110 V y 220 V, la línea va conectada a un guardamotor. Con el fin de proteger el motor contra sobrecalentamiento y subidas de corriente, se enciende y se apaga con un interruptor ON/OFF; una vez puesto en marcha el botón ON y el interruptor en la posición 0 se puede desplazar a la posición 1, accionando el sistema de trituración completo en sentido horario; sí se desplaza el interruptor a la posición 2, la dirección del motor cambiará al sentido antihorario manteniendo una limpieza de residuos dentro de las cuchillas; si se presenta una falla por sobrecalentamiento los fusibles y el guardamotor protegerán todo el sistema eléctrico abriendo el circuito de la línea y aislando el motor (Fig. 10).

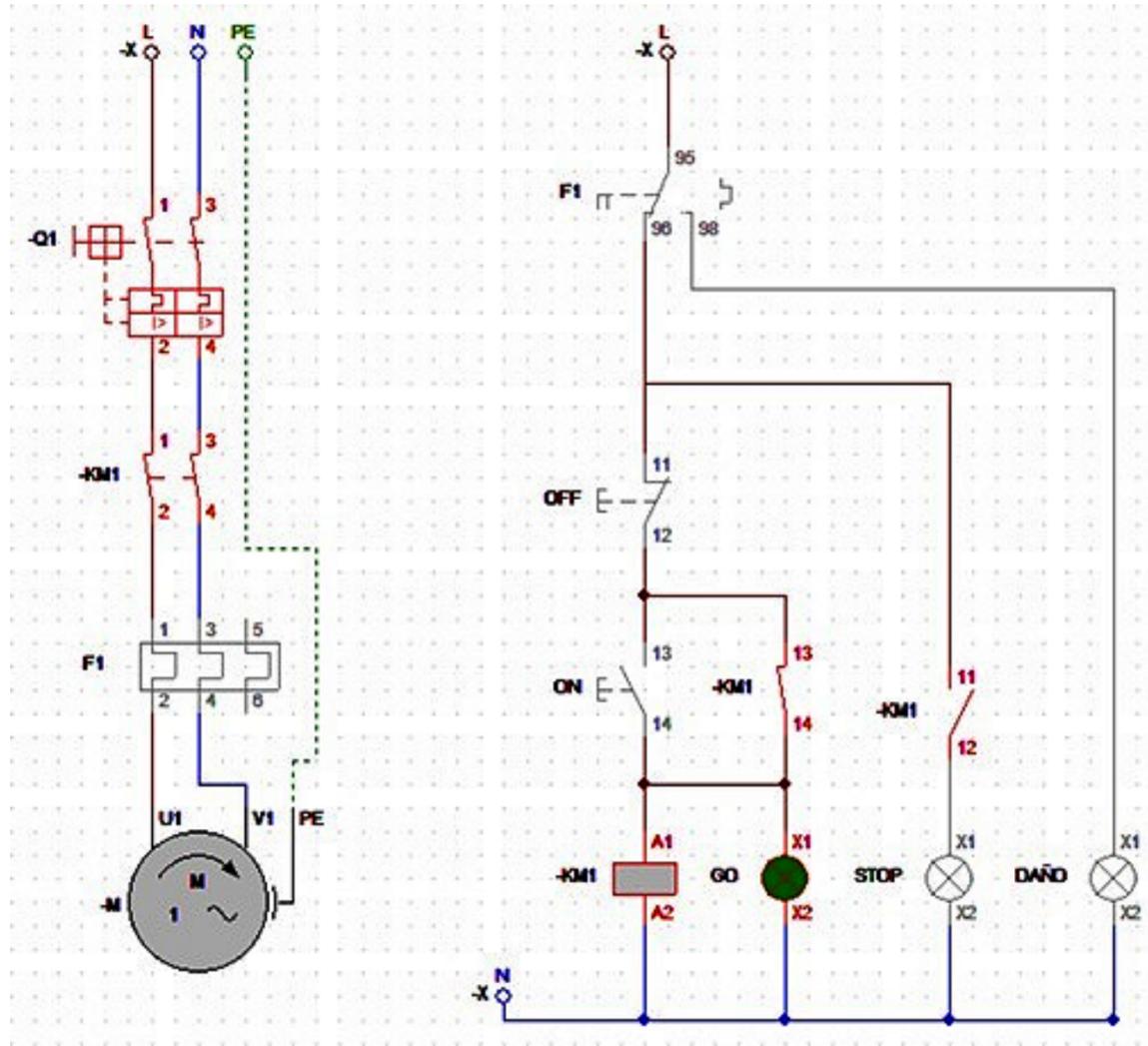


Fig. 10. Sistema de control y protección de la máquina trituradora.
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se ha diseñado e implementado la máquina trituradora de plástico tipo PET (Fig. 11) beneficiando a muchos animales y al medio ambiente.

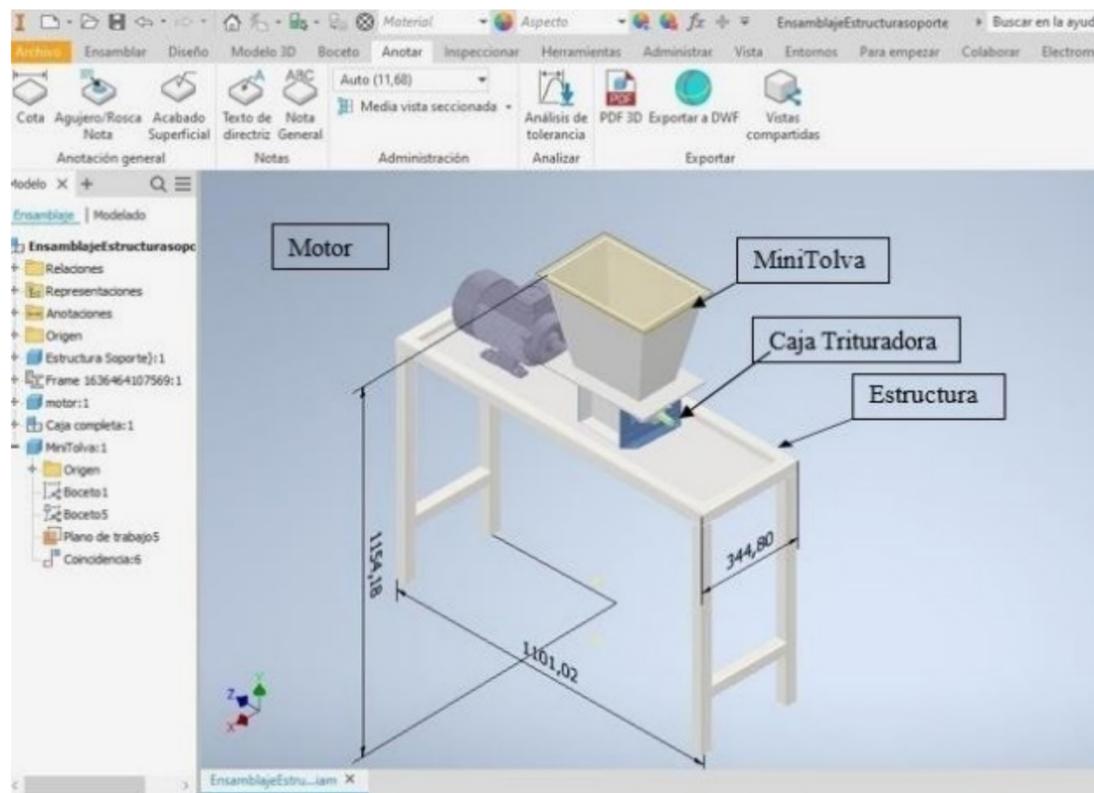


Fig. 11. Sistema de control y protección de la máquina trituradora.
Fuente: Elaboración propia.

IV. CONTRIBUCIONES Y RESULTADOS

La metodología planteada en este proyecto se basa en la secuencia descrita en la Fig. 20, para alcanzar el objetivo final el cual consiste en el diseño e implementación de una máquina trituradora de tapas plásticas.

El proyecto inicia con la fase de reciclaje, este paso se cumple a través de la Fundación FundaPamVi creada por los encargados de la recolección de botellas plásticas. A través de diferentes campañas la fundación recolecta botellas plásticas como materia prima e inicia del proceso de ayuda para los animales callejeros (Fig. 12).



Fig. 12. Recolección de botellas plásticas.
Fuente: Elaboración propia.

A. Resultados del diseño mecánico

Como resultado de este sistema se puede determinar la eficiencia, acabado de cada una de las partes diseñadas en la aplicación Inventor [7], cortadas por la máquina láser de mecanizado vertical de Mori Seiki, debido a que se ensambló tal cual fue presentada la caja de trituración y esta se valida por la entrega de los milímetros esperados por el proceso de trituración. A continuación, se muestran las piezas que fueron hechas a partir del acero 1035 y de acero templado, como se puede observar en la Fig. 13, Fig. 14, Fig. 15, Fig. 16 y Fig. 17, respectivamente.



Fig. 13. Eje de trituración final.
Fuente: Elaboración propia.

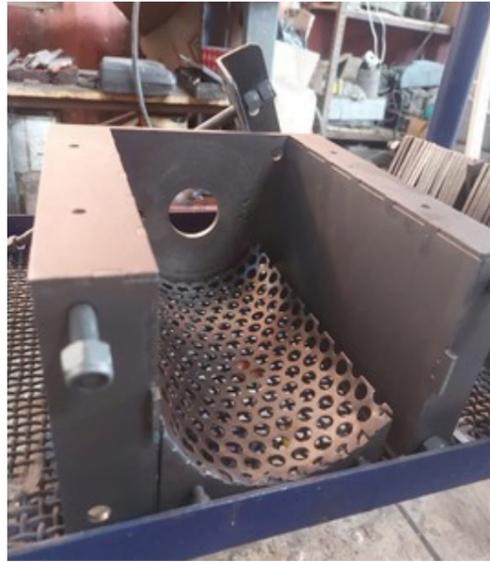


Fig. 14. Ensamblado de la caja de trituración.
Fuente: Elaboración propia.



Fig. 15. Rodamiento de eje fijo de 1' 1/16'' pulgadas.
Fuente: Elaboración propia.



Fig. 16. Acoplador de ejes.
Fuente: Elaboración propia.



Fig. 17. Cuchillas fijas.
Fuente: Elaboración propia.

La primera etapa de la máquina trituradora está conformada por diferentes cuchillas y una tolva que protege a la persona que va a manipular la máquina (Fig. 18).



Fig. 18. Sistema de cuchillas de máquina trituradora.
Fuente: Elaboración propia.

Esta máquina fue ensamblada, rectificada y ensayada antes de ser puesta en marcha con la recolección/reciclaje de plástico elaborado por la Fundación FundaPamVi, esto con el fin de corroborar el correcto funcionamiento de la máquina sin desaprovechar la materia prima recolectada por la fundación.



Fig. 19. Máquina trituradora ensamblada.
Fuente: Elaboración propia.

Como resultado final, al pasar el plástico a través de la máquina trituradora se obtienen pequeños trozos de plástico (Fig. 19). Estos trozos son recolectados y se transforman en bloques con la colaboración de la máquina extrusora de la Fundación FundaPamVi, estos bloques servirán para crear casas las cuales permitan albergar animales callejeros.

B. Resultados del diseño protección

Para complementar el sistema mecánico de la máquina trituradora se implementa un sistema de control que consta de un guarda motor, para proteger el motor contra cortocircuitos, unos contactos para automatizar la puesta en marcha del sistema y un relé térmico para proteger el motor de sobrecalentamiento, esto con el fin proteger el motor y así asegurar un óptimo funcionamiento de la máquina trituradora. No obstante, con el tipo de material escogido de una excelente calidad y la constante lubricación del aceite WD-40, las piezas no se oxidan y tampoco sufren de desgaste por rozamiento. Se valida por prueba de tiempo y ninguna queja por parte de la fundación después de la entrega de la máquina.

C. Resultados de la producción

Esta etapa corresponde al producto final de las tapas, entregadas con los milímetros deseado a las personas que trabajan para la fundación quienes son las encargadas de abastecer el material a la máquina y recolectarlo, demostrando que el plástico reciclado es beneficiario para crear casas; los animales con estos bloques armados pueden residir cómodamente dentro de ellos; el grosor creado por la fundación es óptimo para que un animal se sienta plácido en un hogar.

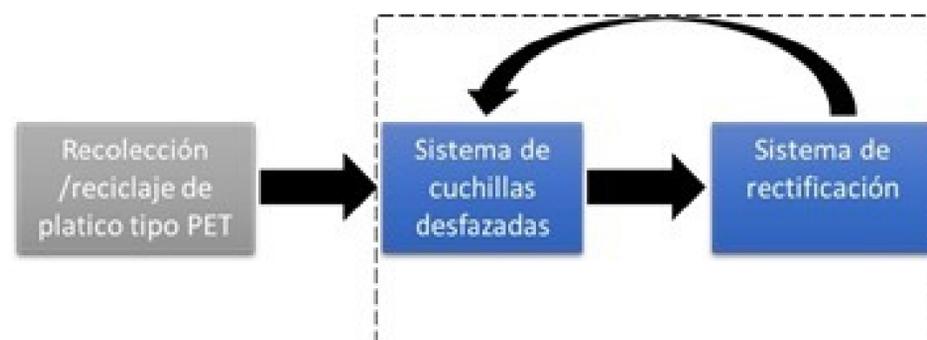


Fig. 20. Diagrama de proceso del sistema.
Fuente: Elaboración propia.

1) *Recolección / Reciclaje de plástico tipo PET*

Esta etapa determina el material recolectado por parte de la fundación debido a que es la encargada de obtener la materia prima con campañas las cuales buscan incentivar al reciclaje y la reutilización del plástico tipo PET.

2) *Sistema de cuchillas desfazadas*

El sistema se apoya en el modelo matemático de regla de 3 el cual permite determinar la producción por minuto de cuanto plástico tipo PET se tritura (10):

$$\begin{array}{l} 21 \text{ tapas trituradas} \rightarrow 8.3 \text{ segundos} \\ x \text{ tapas trituradas} \rightarrow 60 \text{ segundos} \end{array} \quad (10)$$

$$x = \frac{21 \times 60}{8.3}$$

El modelo explica que 21 tapas son trituradas por las 7 secciones que contiene el sistema mecánico, así se determina que 151.8 tapas son trituradas por minuto.

Relacionando las tapas por su masa la cual es de 2.6 gramos se obtiene 394.68 gramos de material tipo PET triturados por minuto, por consiguiente, se tiene que (11):

$$\begin{array}{l} 394.68 \text{ gramos de material PET triturado} \rightarrow 60 \text{ segundos} \\ 1 \text{ tonelada de material PET triturado} \rightarrow x \text{ segundos} \end{array} \quad (11)$$

$$x = \frac{1\,000\,000 \times 60}{394.68} = 151.255 \text{ segundos}$$

Convirtiendo los segundos a horas se puede calcular que en 42 horas aproximadas la maquina es capaz de triturar aproximadamente 1 tonelada de material tipo PET.

D. *Sistema de rectificación*

Luego de que el material tipo PET es triturado, es verificado por la rejilla que se encuentra en la caja de trituración al ser esta la que valida los milímetros adecuados para la producción de los bloques; no menos importante una vez terminado el proceso, el sistema de trituración es lubricado y se recomienda utilizar la maquina durante periodos de seis (6) horas de trabajo continuo con descansos de dos (2) horas, tiempo necesario para proteger y que el sistema de protección eléctrico de la máquina sea eficiente, protegiéndola de esta forma de un posible sobrecalentamiento (Fig. 21).

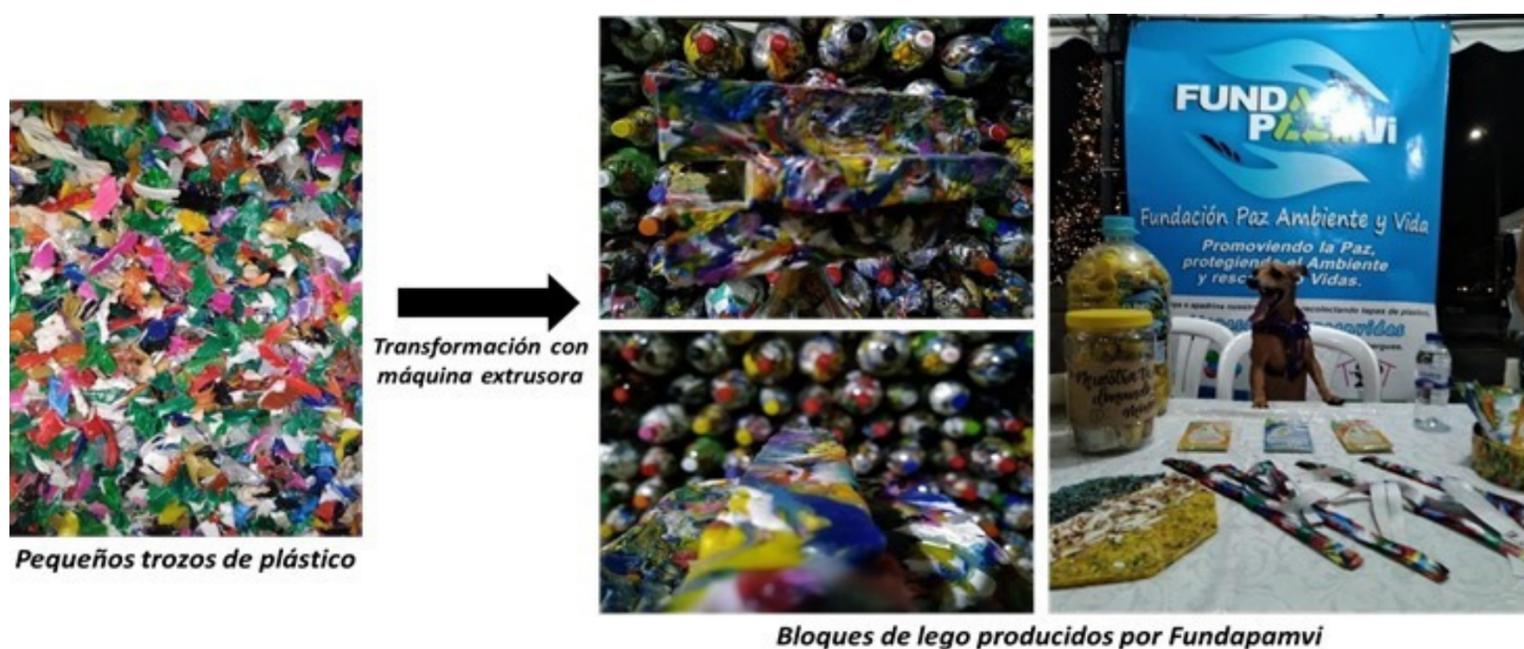


Fig. 21. Resultado esperado.
Fuente: Elaboración propia.

V. CONCLUSIONES

La propuesta de construir una máquina trituradora de tapas plásticas tipo PET es un proyecto de ingeniería el cual permite reutilizar el plástico reciclado para convertirlo en materia base para crear bloques que formen casas para animales de la fundación FundaPamVi. De esta forma, la fabricación de estos bloques se hace a partir del material procesado en la máquina trituradora y transformadas con la máquina extrusora suministrada por la fundación.

En el desarrollo de la máquina trituradora se implementó un diseño mecánico que incorpora un sistema de protección y automatización mediante ciclos que permite optimizar, verificar y poner en marcha el correcto funcionamiento del proceso conformado por el reciclaje y transformación del plástico para ser utilizado por el objetivo propuesto por la fundación.

A lo largo de este trabajo se tuvo en cuenta diferentes técnicas para el reciclaje y reutilización del plástico PET y teniendo presente que la fundación ya contaba con la máquina extrusora, se determinó que lo adecuado para optimizar el proceso era el desarrollo de una máquina trituradora con tres cuchillas principales desfasadas que permiten un máximo corte del plástico para transformarlo en pequeños trozos de plástico y así obtener mejor rendimiento y optimización en el proceso de producción.

Finalmente, luego de reciclar y transformar el plástico tipo PET con la máquina trituradora y la máquina extrusora, se corrobora que con la materia prima obtenida de este proceso se logra la construcción de bloques para la creación de casas que permiten albergar animales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a la Fundación Paz, Amor y Vida (FundaPamVi) y a la empresa Consorcio Industrial Aleados del Cobre S.A. (CIALC), ubicadas en la ciudad de Barranquilla (Colombia), por el apoyo brindado a lo largo del desarrollo de este trabajo.

FINANCIAMIENTO

Esta investigación ha sido desarrollada con recursos propios, como trabajo de grado presentado en la Universidad Autónoma del Caribe.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Los autores confirman su contribución al artículo de la siguiente forma:

Andrés Álvarez: Metodología, validación, análisis formal, investigación, recursos, redacción del borrador original y adquisición de fondos.

Bryner Ramírez: Metodología, validación, análisis formal, investigación, recursos, redacción del borrador original y adquisición de fondos.

Saling Pallares: Conceptualización, metodología, validación y supervisión.

Meglys Pérez: Redacción, revisión y edición del documento, visualización y administración del proyecto.

Jorge Acevedo: Revisión y edición.

Todos los autores revisaron los resultados y aprobaron la versión final del manuscrito.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses para reportar respecto al presente estudio.

REFERENCIAS

- [1] L. Herrera, "100 mil mascotas abandonadas deambulan por las calles de Barranquilla", *El Tiempo*, Abr. 22, 2020. [Online]. Disponible en <https://www.eltiempo.com/colombia/barranquilla/perros-y-gatos-abandonados-en-barranquilla-487232#:~:text=100%20mil%20mascotas%20abandonadas%20deambulan%20por%20las%20calles%20de%20Barranquilla,-FOTO%3A&text=As%C3%AD%20indica%20un%20Informe%20de,animales%20desamparados%20por%20la%20pandemia>
- [2] S. Angaspilco, M. Jauregui, H. Rodríguez, M. Sosa, V. Yopez y R. Prado, "Construcción de una máquina trituradora de plástico," *Tecnol. Desarr.*, vol. 16, no. 1, pp. 86–93, Dic. 2018. <https://doi.org/10.18050/td.v16i1.1963>
- [3] F. Gualoto, "Diseño y construcción de una trituradora y extrusora para la producción de hilo plástico empleado en impresoras 3D," *Tesis Grado*, Ing. Mec., UPSQ, QUI, EC, 2015. Disponible en <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/9089>
- [4] M. Paz, "Reciclado de PET a partir de botellas post consumo," *Proyecto Integrador*, Fac Cienc Exact, Fis Nat, UNC, CRDB, AR, 2016. Disponible en <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/5567>

- [5] H. Cajusol, “Diseño de una máquina trituradora de botellas de plástico de 25 kg/h para la empresa recicladora “Bravo”-Tucume, Lambayeque,” *Trabajo de Grado*, Fac Arq Ing Urb, Esc Prof Ing Mec Elec, USS, PIM, PE. 2020. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12692/38572>
- [6] G. Rivera y E. Ormanza, “Diseño y construcción de un módulo académico de interacción hombre – máquina para la rehabilitación de la Cizalla Edwards Truecut 3.25 mm modelo 600,” *Tesis de Grado*, Depto Cienc Ener Mec, ESPE, SGQ, EC, 2015. Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/10817/T-ESPE-049338.pdf>
- [7] *App Inventor*. (2). CSAIL. Available: <http://appinventor.mit.edu/>

Andrés Felipe Álvarez Peinado es Ingeniero Electrónico y en Telecomunicaciones de la Universidad Autónoma del Caribe (Colombia). Su experiencia laboral y área de interés están relacionadas con sistema de audio, video, iluminación, automatización y sistemas de videoconferencia a nivel corporativo y residencial. <https://orcid.org/0000-0003-4800-6877>

Bryner Jose Ramírez Rodríguez es Ingeniero Electrónico y en Telecomunicaciones de la Universidad Autónoma del Caribe (Colombia). Su experiencia laboral y área de interés están relacionadas con la automatización industrial, específicamente el manejo de máquinas industriales a gran escala. <https://orcid.org/0000-0001-9957-9689>

Saling Pallares Escorcía es Ingeniero Electrónico y en Telecomunicaciones. Magíster en Ingeniería Mecánica con énfasis en Gestión Energética Renovable de la Universidad Autónoma del Caribe (Colombia), con estudios Técnicos en Electricidad Industrial y estudios Postgraduales en Alta gerencia. Actualmente es profesor tiempo completo del Departamento de Ingeniería Mecánica – Electrónica de la Universidad Autónoma del Caribe (Colombia). Su área de experticia está relacionada con el desarrollo de mecanismos automatizados y sistemas de generación energética renovable. <https://orcid.org/0000-0003-0574-3666>

Meglys Pérez Bernal es Ingeniera Electrónica y en Telecomunicaciones de la Universidad Autónoma del Caribe (Colombia). Magíster en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Electrónica de la Universidad de Valle (Colombia). Actualmente es profesora tiempo completo del Departamento de Ingeniería Mecánica – Electrónica de la Universidad Autónoma del Caribe (Colombia) y líder del grupo de investigación en Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones (IET). Su área de interés está relacionada con el desarrollo de sistemas tecnológicos innovadores aplicados en el sector externo. <https://orcid.org/0000-0002-5882-9001>

Jorge Acevedo Garrido es Ingeniero Electrónico de la Universidad del Norte (Colombia). Desarrollador de sistemas en Zühlke Engineering AG. <https://orcid.org/0009-0001-5770-9294>