

DESARROLLO DE MINI TRITURADORA PARA BOTELLAS PET DE 20 KILOGRAMOS

DEVELOPMENT OF MINI CRUSHER FOR 20 KILOGRAMS PET BOTTLES

Víctor Daniel García Hernández

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
14030366@itcelaya.edu.mx

Álvaro Sánchez Rodríguez

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
alvaro.sanchez@itcelaya.edu.mx

Salvador Martín Aceves Saborio

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
salvador.aceves@itcelaya.edu.mx

Arnoldo Maeda Sánchez

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
arnoldo.maeda@itcelaya.edu.mx

Gilberto Ruiz Mondragón

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
gilberto.ruiz@itcelaya.edu.mx

Recepción: 8/agosto/2024

Aceptación: 29/noviembre/2024

Resumen

Este trabajo presenta el desarrollo de una mini trituradora portátil de PET diseñada para pesar 20 kg, además de que debe triturar botellas de hasta 3 litros. Las botellas PET actualmente son utilizadas para embazar una gran diversidad de productos especialmente líquidos, incrementando la fabricación de recipientes que generan una cantidad considerable de basura; teniendo un adecuado proceso de reciclaje se pueden reutilizar los envases en diversos productos mitigando en cierta medida la contaminación ambiental.

Para la construcción y el dimensionamiento de la mini trituradora, se tomó en cuenta la fuerza necesaria para cortar el material PET y los esfuerzos a los que son sometidos los diferentes componentes. Con ayuda de un software de diseño se analizó el eje y las cuchillas, para garantizar su funcionamiento óptimo sin que ceda

el material por las fuerzas ejercidas en este.. Tanto el eje como las cuchillas fueron sido sometidos a análisis estáticos y simulaciones cumpliendo con los factores de seguridad necesarios, además; se observaron deformaciones mínimas en el eje. Obteniendo resultados alentadores en la simulación se fabricó un prototipo, para luego proceder a realizar las pruebas de la mini trituradora PET dando un peso aproximado de la máquina de triturado es de 29 kg, obteniendo trozos triturados aproximadamente de 16 x 28 mm.

Palabras Clave: Botellas, diseño mecánico, PET, trituradora.

Abstract

This work presents the development of a mini portable PET crusher designed to weigh 20 kg, in addition to crushing bottles of up to 3 liters. PET bottles are currently used to package a wide variety of products, especially liquids, increasing the manufacturing of containers that generate a considerable amount of garbage; Having an adequate recycling process, the packaging can be reused in various products, mitigating environmental pollution to a certain extent.

For the construction and sizing of the mini crusher, the force necessary to cut the PET material and the stresses to which the different components are subjected were taken into account. With the help of design software software, the shaft and blades were analyzed to ensure optimal functionality without material failure due to the forces exerted. Both the shaft and the blades were subjected to static analysis and simulations, complying with the necessary safety factors, in addition; minimal deformations were observed in the shaft. Obtaining encouraging results in the simulation, a prototype was manufactured, and then proceeded to carry out the tests of the mini-PET shredder giving an approximate weight of the shredding machine is 29 kg, obtaining crushed pieces of approximately 16 x 28 mm.

Keywords: Bottles, mechanical design, PET, crushers.

1. Introducción

Un problema global presente es la acumulación de plásticos usados en los productos que las personas consumen regularmente en todo el mundo. Esto ha

generado la existencia de grandes cantidades de plástico que tardan cientos o miles de años en degradarse. Un ejemplo de estos plásticos es el PET (tereftalato de polietileno), utilizado en una gran cantidad de aplicaciones como empaquetados, telas, productos electrónicos, piezas moldeadas para automóviles, entre otros. Sin embargo, uno de los usos más comunes del PET son las botellas de agua o refrescos.

Aunque actualmente existen normas para el manejo de estos elementos [NMX-E-232-CNCP-2011 y NMX-E-285-NYCE-2021], diariamente siguen llegando a los basureros y calles de todo el mundo. En México, por ejemplo, aproximadamente un tercio de la basura doméstica está compuesta por botellas de PET, ya que se producen alrededor de nueve mil millones de botellas al año, y un gran porcentaje de ellas nunca son recicladas, lo que termina contaminando el medio ambiente.

Una forma de abordar este problema es a través del reciclaje de productos plásticos PET. Por lo tanto, se busca proponer una alternativa de reutilización mediante la trituración de las botellas y su transformación en nuevos materiales, utilizando los mismos métodos de fabricación convencionales de productos PET, sin necesidad de equipos adicionales.

Dentro del proceso de reciclaje de PET, es necesario triturar el material en partículas llamadas hojuelas o escamas, para posteriormente fabricar nuevos artículos a partir de ellas. Por lo tanto, el objetivo de este proyecto es diseñar y fabricar una mini máquina trituradora de botellas de PET de bajo costo, fácil de transportar y de fácil operación. El reciclaje de las botellas de plástico PET, es un proceso de recuperación de materia prima para la fabricación de nuevos productos, con la finalidad promover la reutilización de este material y disminuir la contaminación del medio ambiente. Existen dos tipos principales de reciclado de PET:

- **Reciclado Mecánico:** se basa en el tratamiento de los residuos plásticos mediante métodos físicos y la reducción de tamaño, lo que permiten obtener escamas de PET, que son utilizadas directamente o mezcladas con polímero virgen en el proceso posterior de transformación para la obtención de distintos productos finales, este proceso es el que normalmente se usa en las plantas de reciclaje [Rodríguez & Córdova, 2022].

En el reciclado mecánico existe una serie de procesos a los que el PET va a estar sometido. Las botellas plásticas son clasificadas de acuerdo a su tipo de resina y se eliminan impurezas como etiquetas, tapas y anillos; luego son trituradas en la máquina para obtener pequeños trozos de botellas plásticas, facilitando su almacén y transporte a las plantas donde posteriormente se funde y se divide en pequeñas esferas para luego ser utilizadas en la fabricación de nuevos productos [Cushicondor & Monta, 2021].

- *El reciclado químico*: consiste en un proceso de despolimerización del PET utilizando agentes químicos. Hay diversos procesos de reciclado químico siendo la calidad del material a tratar y la demanda de productos intermedios los que determinan el proceso a utilizar [Caviedes Aguirre, J., D., 2020].

Máquina trituradora

Según [Pilatasig & Pozo, 2014] dicen que una máquina trituradora sirve para cortar, desgarrar, destrozar, romper un material obteniendo como resultado el material en trozos más pequeños que el tamaño original. Además, lo que se espera, es preparar el material para su reutilización como materia prima [Bonilla & Pilatasig, 2018].

Hoy en día en el mercado existe varios tipos de trituradoras que dependen del material que procesan y del resultado del triturado deseado, algunos son:

- **Molino de martillos**: la trituradora de molino de martillos es una máquina destinada para procesos como trituración y molienda, es un tipo de molino de impacto o percusión, Figura 1.



Fuente: [Rodríguez & Córdova, 2022].

Figura 1 Molino de martillos.

- **Molino de cuchillas:** son máquinas rotativas con 2 o más hileras de cuchillas montadas sobre una flecha, denominada rotor y cuando menos una sola hilera de cuchillas montadas sobre un soporte fijo con respecto al rotor, denominado soporte cuchilla de caja, los cuales se encuentran aislados del medio en una carcasa denominada cámara de molienda. Las cuchillas de rotor y caja pasan apenas con unos decimos de milímetro de separación y cuando pasa el material entre estos, por acción de la gravedad o con el auxilio de un husillo (alimentación forzada), es cortado el material en cuestión; este ciclo se repite varias veces hasta que el material que se desea moler tiene el tamaño adecuado para pasar a través una criba que cubre toda la parte baja o de descarga de un molino, Figura 2.
- **Molino de disco:** Cuando operamos estos tipos de molinos primero debemos verter el envase a triturar en una tolva donde por efecto de gravedad este cae entre unos discos en el cual uno de ellos es el móvil que opera a altas revoluciones mientras que el otro disco es el fijo, dando como resultado una fricción del material con ambos discos y la presión ejercida del mismo hace que lo triture al envase, Figura 3 [Rodríguez, & Córdova, 2022].



Fuente: [Rodríguez & Córdova, 2022].
Figura 2 Molino de cuchillas.



Fuente: [Rodríguez & Córdova, 2022].
Figura 3 Molino de disco.

- **Sistema de cuchillas.** Las cuchillas son una parte importante de la trituradora de PET ya que están diseñadas para cortar y triturar las botellas en partículas más pequeñas. El sistema de cuchillas generalmente consta de cuchillas fijas y cuchillas móviles que se encargan de la acción de corte. Estas cuchillas deben ser duraderas y estar correctamente alineadas.

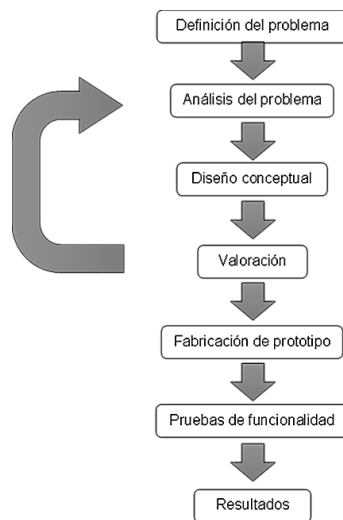
- **Motor y sistema de transmisión.** El motor es el componente que proporciona la potencia necesaria para hacer funcionar las cuchillas junto con el sistema de transmisión, que puede consistir en poleas, reductores de velocidad, correas o engranajes.
- **Cámara de trituración.** Es el espacio en donde se lleva a cabo la acción de triturado. Las botellas de PET son introducidas en la cámara de trituración por medio de la tolva, donde las cuchillas realizan el corte y la reducción del material en partículas más pequeñas. La forma y diseño de la cámara de trituración pueden variar según el tipo de trituradora y las necesidades específicas del proceso de triturado.
- **Sistema de recolección y salida.** Después de que las botellas de PET se han triturado, los fragmentos resultantes deben ser recolectados y canalizados hacia una salida o contenedor adecuado. (Puede haber un sistema de recolección y transporte, como una banda transportadora o un tornillo sinfín, para dirigir los fragmentos triturados hacia el lugar deseado).
- **Estructura.** La trituradora de PET debe contar con una estructura robusta y resistente para soportar la carga de trabajo y el impacto durante el proceso de triturado. La estructura debe ser estable y segura, proporcionando una base sólida para todas las partes y componentes.

2. Métodos

La Figura 4 muestra la metodología que se usó para desarrollar este proyecto:

- **Definición del problema:** este paso incluye todas las especificaciones y requerimientos para el objeto que se está diseñado. Además, se deben tener en cuenta las limitaciones y el alcance del diseño.
- **Análisis del problema:** en este paso se proponen, investigan y cuantifican diferentes escenarios y alternativas.
- **Diseño conceptual:** se revisan, mejoran o descartan las alternativas y se selecciona la que tiene mayor potencial.
- **Valoración:** se evalúa si el diseño realmente satisface la necesidad planteada o se analiza de nuevo..

- Fabricación del prototipo: si el diseño conceptual es aprobado, se inicia la fabricación del prototipo.
- Pruebas de funcionalidad: una vez fabricado el prototipo se realizan pruebas para verificar que cumple con todos los requerimientos establecidos en las etapas anteriores.
- Resultados: resultados obtenidos durante la realización de este proyecto.

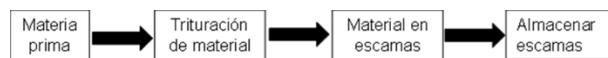


Fuente: elaboración propia.

Figura 4 Diagrama de flujo de la metodología.

Proceso de la trituradora

El proceso de la mini triturada debe seguir la siguiente secuencia mostrada en la Figura 5. La mini trituradora propuesta es alimentada por un operador y recibe el material por medio de una tolva, después tritura el material y salen las escamas por la parte de abajo y posteriormente ser almacenadas.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5 Proceso de la mini triturada.

Requerimientos y especificaciones

Para cumplir con los requisitos establecidos, se busca desarrollar un prototipo de trituradora de PET con las siguientes especificaciones:

- **Peso:** El prototipo debe tener un peso cercano a los 20 kg, lo que garantizará su portabilidad y facilidad de manejo.
- **Capacidad de triturado de botellas:** La trituradora debe ser capaz de triturar botellas de PET de hasta 3 litros. Esto permitirá el reciclaje efectivo de botellas de diferentes capacidades.
- **Tamaño compacto:** Se requiere que la trituradora sea lo más pequeña posible. Un diseño compacto permitirá su fácil almacenamiento y transporte.
- **Facilidad de uso:** La trituradora debe ser fácil de usar, con controles intuitivos e instrucciones claras. Debe requerir un mínimo de experiencia para operarla.
- **Presupuesto:** El costo total de la trituradora, incluyendo fabricación, materiales y cualquier componente adicional, no debe exceder los \$40,000.
- **Portabilidad:** La trituradora debe ser diseñada pensando en la portabilidad, incluyendo asas o ruedas para facilitar su transporte. Debe ser lo suficientemente compacta para caber en un vehículo de tamaño estándar y permitir su fácil traslado entre ubicaciones.

Al cumplir con estas especificaciones, se espera desarrollar un prototipo de trituradora de PET que cumpla con los requerimientos.

Dimensión máxima de botellas PET

Para conocer los grosores del material PET que tienen las botellas comerciales en nuestra localidad, se tomó una muestra de botella PET y se procedió a medir los grosores de su pared en tres partes: boca, base y pared de la botella de 3 litros.

Análisis de alternativas

Se presenta de manera resumida la descripción de las alternativas seleccionadas en algunos componentes de la trituradora como: transmisión, cuchillas y eje.

Para el caso de las alternativas de transmisión se evaluaron la transmisión de motor reductor, de banda poleas y motor, de cadenas motor, de engranes, motor paso a paso acoplado directamente. Los criterios de evaluación considerados son:

- **Costo:** Valor monetario no elevado.

- Mantenimiento: Que el mantenimiento sea mínimo.
- Espacio: Que ocupe el menor espacio posible.
- Peso: Que no sea tan pesado el material utilizado.
- Trasmisión de potencia: Que tenga buena transmisión de potencia.
- Fácil instalación: Que no sea complicada y tardado instalarlo.

El valor de la ponderación irá de 1 a 6, siendo 1 el menos importante y 6 indispensable como se muestra en la Tabla 1, donde “p” son los puntos y “Tp” total de puntos de cada criterio. La alternativa de solución seleccionada es la 1, ya que obtuvo el puntaje mayor de la evaluación, lo que quiere decir que es la que mejor cumple los requerimientos del proyecto, como se muestra en la Figura 6.

Tabla 1 Evaluación de alternativas de transmisión.

Criterios	Ponderación	Alternativas									
		1		2		3		4		5	
		p	Tp	p	Tp	p	Tp	p	Tp	p	Tp
Costo	4	3	12	5	20	5	20	3	12	3	12
Mantenimiento	1	3	3	2	2	1	1	2	2	4	4
Espacio	2	5	10	1	2	1	2	3	6	4	8
Peso	6	2	12	5	30	4	24	3	18	3	18
Trasmisión de potencia	5	5	25	1	5	3	15	5	20	3	15
Fácil instalación	3	5	15	3	9	3	9	2	6	4	12
Total de puntos		77		68		71		64		69	

Fuente: elaboración propia.



Fuente: Roydisa (2019).

Figura 6 Transmisión de motor reductor.

Diseño y fabricación de cuchillas

Para el caso del diseño de cuchillas se consideraron 2 alternativas, una de 2 filos y otra de 4 filos. Los criterios de evaluación fueron los siguientes:

- Trituración: La rapidez con la que tritura.

- Peso: El peso de cada cuchilla.
- Agarre: Agarre del material por las cuchillas.
- El valor de la ponderación irá de 1 a 3, siendo 1 el menos importante y 3 indispensable, Tabla 2. La alternativa de solución seleccionada es la 2, pues cumplió mejor con los requerimientos, Figura 7.

Tabla 2 Evaluación de alternativas de cuchillas.

Criterios	Ponderación	Alternativas			
		1		2	
		p	Tp	p	Tp
Trituración	3	3	9	5	15
Peso	1	5	5	4	4
Agarre	2	4	8	5	10
Total de puntos		22		29	

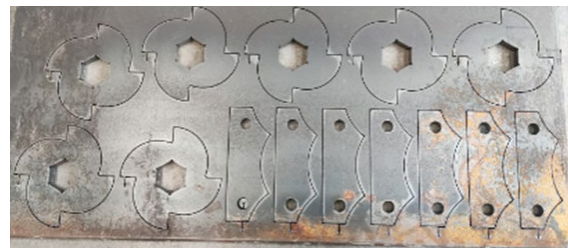
Fuente: elaboración propia.

La cuchilla de material 1045 con espesor de 7.94 mm y un diámetro de 89.9 mm de punta a punta se fabricaron por corte de rayo láser por su rapidez de fabricación como muestra en la Figura 8, además se elijo este material porque tiene una buena combinación de propiedades como fuerza, resistencia al desgaste, maquinabilidad y tiene una amplia disponibilidad.



Fuente: elaboración propia.

Figura 7 Cuchilla con 4 navajas.



Fuente: elaboración propia.

Figura 8 Corte por láser de material.

Diseño y fabricación de eje de transmisión

En el caso del **eje de transmisión** se consideraron 3 alternativas, eje con sección transversal circular, cuadrada y hexagonal.

Los criterios por evaluar fueron los siguientes:

- Costo: Valor monetario no elevado.
- Maquinado: Que no se necesite maquinar.

- El valor de la ponderación ira de 1 a 2, siendo 1 el menos importante y 2 indispensable, Tabla3.

Tabla 3 Evaluación de alternativas de eje.

Criterios	Ponderación	Alternativas					
		1		2		3	
		p	Tp	p	Tp	p	Tp
Costo	1	5	5	2	2	3	3
Maquinado	2	2	4	4	8	5	10
Total			9		10		13

Fuente: elaboración propia.

La alternativa de solución seleccionada es la 3, ya que obtuvo el puntaje mayor de la evaluación.

Se realizaron cálculos para el diseño del eje considerando el tamaño más grande de una botella PET 3 Litros que tiene un diámetro de 120 por lo que la sección hexagonal debe ser mayor a esta, en la parte circular derecha se tomó en cuenta la distancia que entra el eje al reductor de velocidad, el tamaño de la chumacera y el grosor de la placa separación. Para poder maquinar el eje se utilizó un torno para rebajar las dos secciones circulares y solo dejar el centro donde van las cuchillas y separadores en forma hexagonal, Figura 9.



Fuente: elaboración propia.

Figura 9 Eje maquinado.

Diseño y fabricación de otros componentes

- *El separador de cuchillas* permite la separación para que al momento de triturar evite un choque entre ellas y causen una rotura, este separador tiene un diámetro externo de 50 mm, el interno tiene la forma hexagonal y un espesor de 12 mm.
- *La base estructural* es la parte que ayudará a soportar el peso de la trituradora, motor y otros componentes como la tolva. El material empleado

para la fabricación es un PTR cuadrado estructural de 25.4 mm con un espesor de 2 mm, la Figura 10 muestra el diseño.

- *La placa soporte inferior* permite acoplar el eje móvil, las cuchillas estáticas y las chumaceras, además ayuda a insertar los demás elementos de la caja trituradora.
- *La placa soporte superior* permite unir los diferentes componentes que conforman la caja de trituración, que son la tolva, la placa soporte inferior y la estructura con sus respectivos tornillos.
- *La tolva* con el propósito de optimizar material y espacio se consideró justo para alimentar una botella a la vez de manera recta para ello se utilizó ángulo y solera de 25.4 mm de ancho.
- *Cuchilla fija* ayuda a la cuchilla que gira a triturar el material para facilitar el corte del material PET.
- *El Separador fijo* hace que la cuchilla móvil realice contacto con la cuchilla que gira y evitar entorpecer el proceso de corte en la mini trituradora.
- Algunos de los componentes se muestran en la Figura 10 junto con aditamentos de unión, otros serán mostrados en el conjunto ensamble de la trituradora.



Fuente: elaboración propia.

Figura 10 piezas de la caja de trituración.

Selección de componentes

Selección del motor reductor: Se realizaron cálculos para la selección del motor y reductor de velocidad para ello se consideraron los valores de la Tabla 4.

La velocidad de salida de salida se tomó de 50 rpm para estar dentro del rango de trituración óptima.

Tabla 4 Valores para seleccionar el motor reductor.

Potencia	0.75 hp (0.559 kW)
Velocidad de salida	50 rpm
Torque	76.12 N.m

Fuente: elaboración propia.

Selección de chumaceras

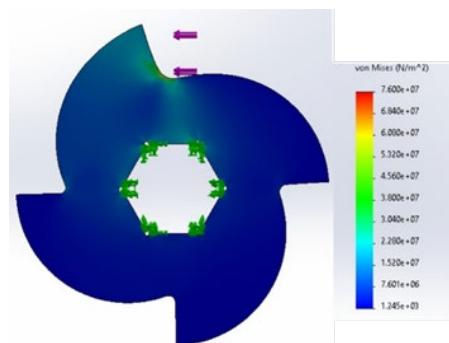
Según cálculos y algunas consideraciones como el diámetro del eje, la carga estática y facilidad de adquisición se seleccionó la chumacera UCF204-12 que cumple con los requisitos de montaje en la mini trituradora: diámetro de 19.05 mm, carga dinámica 12.7 kN, carga estática 6.7 kN y velocidad límite de 6500 rpm.

3. Resultados

Para minimizar las deflexiones se seleccionó el acero ejes y las cuchillas, debido a su alto módulo de elasticidad. Entre todos los elementos que integran el modelo, se consideró un tamaño de malla de 6 mm en el eje y en la cuchilla de corte.

Modelación y Simulación de las cuchillas

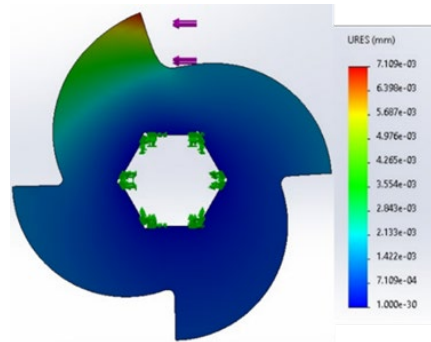
Se aplicó la fuerza de corte en los cálculos que se realizaron para validar con los resultados de simulación por el método de elemento finito para comprobar que soportará la carga, en la Figura 11 se muestran los esfuerzos de Von Mises con valores máximos de 76 MPa, valor mucho menor al límite de la fluencia, esto indica que el material puede soportar la carga y no sufrirá alguna rotura, está en la zona segura de esfuerzos.



Fuente: elaboración propia.

Figura 11 Esfuerzos Von Mises en la cuchilla.

En cuanto a deformación los resultados de simulación muestran valores muy pequeños que aseguran evitar perder el filo y realizar adecuadamente la trituración del material, en la Figura 12 se muestra la deformación máxima de 0.0071 mm que es una deformación despreciable para el proceso de trituración.

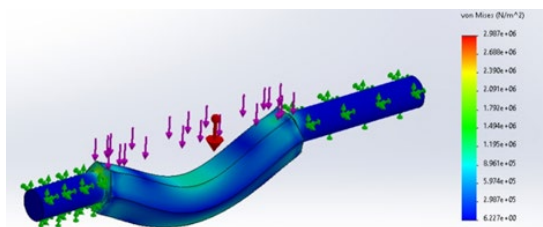


Fuente: elaboración propia.

Figura 12 Deformación de la cuchilla.

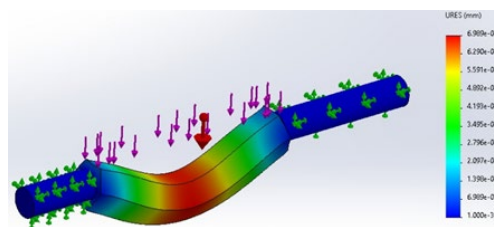
Modelación y Simulación del eje de transmisión

En la Figura 13 se observa que el esfuerzo de Von Mises tiene un valor de 2.987 MPa que es el que puede llegar a soportar el eje. La fuerza a la que está sometida el eje se aplicó según cálculos. Se puede observar en la Figura 14 que existe una deformación de 0.0006989 mm en la parte más crítica, el valor a simple vista no se puede apreciar, ya que es muy bajo el desplazamiento existente, esta simulación también se realizó por el método de elemento finito.



Fuente: elaboración propia.

Figura 13 Esfuerzo Von Mises del eje.



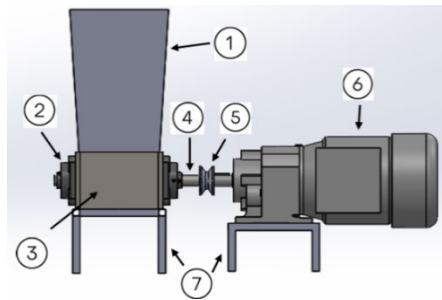
Fuente: elaboración propia.

Figura 14 Deformación del eje.

4. Discusión

Finalmente se presenta ensamble total de mini trituradora en el software con una breve descripción de las partes que la componen (Figura 15):

1. La tolva es donde se colocan las botellas PET antes de ser trituradas.
2. Las chumaceras brindan apoyo y permiten girar al eje donde están las cuchillas.
3. La caja de trituración donde se alojan las cuchillas y separadores para triturar el PET.
4. Es el eje donde van montadas las cuchillas y los separadores.
5. El embrague que permite unir el eje del motor y el eje de la trituradora.
6. Es el motor que transmite la potencia para el triturado de la trituradora.
7. Las bases donde van montados la trituradora y motor.



Fuente: elaboración propia.

Figura 15 Ensamble final de la trituradora.

Pruebas de trituración

Las pruebas iniciales se realizaron con un taladro Dewalt (Figura 16), dando como resultado una escama de tamaño 16 x 28 mm, Figura 17. El tamaño de la escama obtenida cumple con el rango deseado en el proceso de triturado. Debido a la falta de potencia del taladro, se sometió a trituración varias veces la botella para lograr el tamaño de escama, como consecuencia el material se atascó varias veces.



Fuente: elaboración propia.

Figura 16 Pruebas de trituración con el taladro.



Fuente: elaboración propia.

Figura 17 Escamas obtenidas.

Costos de fabricación

Después de realizar un análisis de costos de cada componente, se obtuvo el costo total de la mini trituradora, incluyendo todos los materiales asciende a \$15,300.3 pesos mexicanos. Este monto incluye el precio del motor reductor seleccionado, que es de \$9,500 pesos mexicanos, este costo es significativamente menor que el presupuesto máximo establecido en las especificaciones que es de \$40,000 pesos mexicanos, lo que demuestra que el proyecto se ha desarrollado de manera eficiente y económica.

5. Conclusiones

La mini trituradora de botellas PET, diseñada y fabricada tras cálculos, análisis de esfuerzos y simulaciones dio los siguientes parámetros: una potencia de 0.75 HP, una velocidad de 50 rpm y un torque de 76.12 Nm, la máquina cumple con los requisitos de diseño esperados.

Las simulaciones previas a la fabricación mostraron resultados alentadores, validando los esfuerzos de torsión como de flexión dentro de los límites de resistencia del material.

Mientras se adquiere el motor reductor se realizaron pruebas utilizando un taladro Dewalt. Estas pruebas determinaron que el tamaño de las escamas obtenidas después del triturado está dentro del rango deseado (pero se debió pasar varias veces el PET para obtenerlo) y a pesar de no haber usado una criba en la mini trituradora.

Por último, no se obtuvo el peso deseado de la mini trituradora por lo que se tuvo que partir en dos el diseño y poder moverlo sin ningún problema.

Los resultados positivos indican que la mini trituradora es una solución viable para el reciclaje de botellas PET, pero abre la posibilidad de futuras mejoras como la adquisición del motor reductor y la incorporación de una criba para optimizar aún más el tamaño de las partículas resultantes, además de aumentar 5 mm el tamaño en cada punta de las cuchillas para una mejor trituración. Esto podría mejorar aún más la eficiencia y la aplicabilidad de la mini trituradora.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Abu Rahim, N. H., Muhammad Khatib, A. N. H. (2021). Development of pet bottle shredder reverse vending machine, International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration. Vol. 8, pp. 28-33.
- [2] Angaspilco, S., Jauregui, M., Rodríguez, H., Sosa, M., Yopez,, V., & Prado, R. (2018). Construcción de una máquina trituradora de plástico. Tecnología y Desarrollo. Vol. 16. pp. 86-93.
- [3] Bonilla Acurio, W. S., & Pilatasig Capilla, I. S. (2018). Implementación de una máquina trituradora para el reciclado del material de tereftalato de polietileno. Proyecto de investigación carrera ingeniería electromecánica, Universidad Técnica de Cotopaxi. Latacunga, Ecuador.
- [4] Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (9. ed.). México, D.F.: McGraw Hill.
- [5] Caviedes Aguirre, J., D., (2020) Diseño de una máquina trituradora para plástico pet, Tesis para obtención de título en Ingeniería Mecánica, Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia.
- [6] Cushicondor Quinga, L., A., Monta Guaña, V., S., (2021) Diseño y construcción de un prototipo de máquina trituradora para botellas plásticas pet reciclables con capacidad de 5 kg/h, Tesis para obtención de título en Ingeniería Mecánica, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador.
- [7] Freire C., L. M. y González M., C. J., Diseño y construcción de un equipo triturador de botellas plásticas tipo PET, Tesis de grado para la obtención de título de Ingeniero, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2013.
- [8] Luque Mendoza, E., Y., (2019). Diseño de un prototipo de máquina trituradora de botellas pet, Tesis para obtención de título en Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Perú. Lima, Perú.
- [9] Macaplast. (2023). Conoce la utilidad de las chumaceras en la industria.
- [10] Mott, R. L. (2009). "Resistencia de Materiales" Pearson/Prentice Hall. Edición: 5ta. Edición 2009 México.

- [11] Rodríguez Alvarado, B. G., & Córdova Cabada, C. J. (2022). Diseño de un prototipo de una máquina trituradora de plástico. Previo a la obtención de título en Ingeniería Industrial, Universidad Politécnica Salesiana. Guayaquil, Ecuador.
- [12] Roydisa. (2019). Elementos principales a la hora de elegir Reductores Mecánicos.
- [13] Vela Rojas, C. C., Rey Romero, e. j., & Jaimes Rada, A. N. (2018). Diseño y construcción de prototipo de trituración para pet. Tesis para obtención de título en Ingeniería Civil, Universidad Cooperativa de Colombia. Villavicencio, Colombia.