



Prototipo de máquina trituradora y lavadora de polietileno de alta densidad (PEAD) una alternativa para el aprovechamiento de los residuos sólidos en San Juan de Pasto

Gómez Jasón, Meza Jesús

Corporación Universitaria Autónoma de Nariño, San Juan de Pasto – Colombia

jasonbmx20@gmail.com

mellojesusmeza@gmail.com

Resumen - El siguiente artículo presenta un modelo conceptual - analítico referente al proyecto de diseño y construcción de un prototipo de máquina trituradora y lavadora de polietileno de alta densidad, el cual busca mejorar el proceso actual de transformación de residuos sólidos aprovechables realizado en la organización de recicladores "Futuro mejor" en San Juan de Pasto. Este prototipo de máquina ayudará a transformar el material reciclado brindando un avance tecnológico para el cuidado del medio ambiente en la ciudad, ya que carece de este tipo de iniciativas, ofreciendo a su vez una ayuda económica a personas de bajos recursos que buscan en este tipo de trabajo un sustento para sus hogares.

Abstract- The following article presents a conceptual - analytical model referring to the design and construction project of a high density polyethylene crusher and washing machine prototype, which seeks to improve the current process of transformation of usable solid waste made in the organization of recyclers "Future better" in San Juan de Pasto. This prototype machine will help to transform the recycled material providing a technological advance for the care of the environment in the city, since it lacks this type of initiatives, offering at the same time an economic aid to people of low resources that look for in this type of work a sustenance for their homes.

I. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto tiene como objetivo brindar una solución al inminente problema que se representa en la ciudad de Pasto, donde los residuos sólidos plásticos desaprovechados alcanzan un 8.57% en el relleno sanitario Antanas según las estimaciones del PGIRS¹, lo que representa para el 2018 un total de 7664 toneladas de las cuales en la actualidad, Coemprender solo puede transformar 88,9 toneladas

debido a que no cuentan con maquinaria y equipo suficiente para tratar todo el material existente.

En el desarrollo del proyecto se evidencian las diferentes causas la problemática y el porqué de la aplicación del diseño conceptual para encontrar el mejor resultado en el proceso con el fin de obtener una óptima calidad en el producto obtenido.

Buscando reducir el volumen del material es necesario incorporar un proceso de triturado, una vez obtenido el material con las dimensiones adecuadas, se procede a separar el material de importancia de las impurezas y otras resinas mediante un proceso de separación por densidad al mezclarse en un depósito de agua, de esta manera se asegura que el producto resultante obtenga las condiciones que le permitan ser materia prima en próximos procesos de transformación del plástico.

El desarrollo del proyecto genera un gran impacto tanto ambiental como social ya que mejora la calidad de vida de la comunidad recicladora, puesto que el material anteriormente rechazado por su contaminación ahora puede comercializarse mejorando los ingresos de los recolectores.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

En el diseño y construcción del prototipo de máquina se aplicó el método de diseño deductivo ya que este método nos permite analizar teoremas, leyes y principios que han sido comprobados para poder ser aplicados a las soluciones seleccionadas.

Mediante encuestas y entrevistas con personas del medio local dedicadas al reciclaje, se determinan y seleccionan los diseños más acordes a sus necesidades, permitiendo desarrollar un equipo en el que

¹ PGIRS Pasto. Plan de gestión integral de residuos sólidos 2007-2022. San Juan de Pasto, versión revisada EMAS de Pasto S.A 2007. p. 53

pueda aplicarse todo el conocimiento obtenido en la academia y a su vez pueda brindar una solución al problema identificado.

TABLA 1
INSTRUMENTOS EMPLEADOS PARA CUMPLIR CON EL OBJETIVO DEL PROYECTO

Procedimiento	Instrumento
Identificación de las necesidades	Encuesta y entrevista
Especificaciones de diseño	Análisis de funciones
Alternativas de diseño	Matriz morfológica
Construcción	Taller de maquinaria
Evaluación y análisis de resultados	Metrología y Ensayos de laboratorio

III. ANALISIS DE VARIABLES

Cesar Bernal² afirma que cuando se plantea una relación entre efectos y causas, se identifican tres tipos de variables: independientes, dependientes e intervinientes.

En el funcionamiento del prototipo de máquina Trituradora y Lavadora de Polietileno de Alta Densidad es posible encontrar diferentes tipos de variables en los procesos que realiza, un ejemplo de la relación causa - efecto se presenta a continuación.

Para determinar los efectos que tiene la modificación de una variable en el proceso de lavado del plástico, resulta conveniente identificar una variable independiente, modificarla y ver el comportamiento de las variables dependientes, este proceso fue realizado de manera práctica mediante experimentación donde se obtuvieron los siguientes resultados.

TABLA 2
ANÁLISIS DE VARIABLES EMPLEADAS EN PRUEBA

VARIABLE	PARÁMETRO
Independiente	Cantidad de jabón (gr)
Dependiente	Limpieza de PEAD (%)
Interviniente	Mecanismo de prueba (licuadora)

Para observar los efectos de la variable dependiente en este caso se dispuso de un mecanismo que permita generar una turbulencia en el agua, para el caso del experimento se dispuso de una licuadora con modificación en sus cuchillas, transformándolas en paletas generadoras de turbulencia.

En 1 kilogramo de agua se vertieron 5 gr de Detergente y 50 gr de PEAD proveniente de un envase de lubricante.

Posteriormente se mezcló los tres componentes dentro de la licuadora y luego de 30 segundos se detuvo el proceso para observar el resultado, en donde el nivel elevado de espuma dificultaba la visibilidad del material y por ende determinamos reducir la cantidad de detergente.



Fig. 1. Material sometido a primera prueba con disminución de sustancias viscosas e impurezas

Después de someter el material al proceso fue evidente la disminución de impurezas sólidas, polvo y piedras pequeñas, así como también se vio reducida la superficie viscosa del material.

El inconveniente presentado en este primer ensayo se debe a la abundante cantidad de agua que se requiere en el enjuague para retirar la espuma. Posteriormente se realizó una segunda prueba con una cantidad de 1 gr de detergente, 1 kilogramo de agua y 50 gr de PEAD.

En la segunda prueba fue evidente que al reducir la cantidad de detergente, en una misma cantidad de material y de agua, la formación de espuma y el desperdicio de agua en el enjuague se ven claramente reducidos, obteniendo un producto final con características similares al material sometido en la primera prueba.



Fig 2. Material licuado sin evidente espuma en parte superior

² BERNAL, Cesar A. Metodología de la investigación. Bogotá D.C: Pearson, 2010. p. 139



- Requerimiento de proceso
- Requerimiento de estética
- Requerimientos económicos



Fig 3. Material antes de lavado



Fig 4. Material después de lavado

Finalizadas las pruebas se llega a la conclusión que el porcentaje de limpieza del PEAD (variable dependiente) se ve directamente afectado con la cantidad de detergente (variable independiente) que se utilice para el proceso de lavado, al igual que se puede corroborar que la información de Milton Yepes³ no está fuera de la realidad y que el porcentaje ideal es de aproximadamente 0,5 gr de agente de limpieza por cada kilogramo de agua, para que el proceso no repercuta en desperdicio del recurso, de otra forma se estaría haciendo todo lo contrario del objetivo fundamental del reciclaje.

IV. CRITERIO DE EVALUACIÓN

El prototipo debe cumplir con los requerimientos de diseño para que pueda ser evaluada en forma positiva, ya que debe producir una cantidad de material que justifique la relación costo beneficio que satisfaga al usuario y/o propietario.

A continuación se exponen los requerimientos con los que debe cumplir el prototipo:

- Requerimiento de sistema
- Requerimiento de funcionalidad
- Requerimiento de seguridad

Una vez determinadas las características con las que debe contar el prototipo se puede optar por una primera alternativa, aquella que cumpla con los requerimientos de diseño además de ofrecer un costo accesible tanto para las personas que financian la construcción del mismo, como para aquellos posibles compradores.

TABLA 3
PARÁMETROS SELECCIONADOS A TRAVÉS DE MATRIZ MORFOLÓGICA.

Parámetro	Elemento
Encendido de sistema	Relé térmico
Gestor de movimiento	Motor trifásico
Transmisión de movimiento	Banda, cadena
Alimentación de material	Manual
Mecanismo de triturado	Cuchillas fijas y móviles
Flujo de agua	Paletas
Uniones	Mixtas
Agente de limpieza	Soda caustica y detergente
Accionamiento	Pulsador
Almacenamiento	Contenedor

V. CALCULOS Y DISEÑO CONCEPTUAL

Para la elaboración de planos y cálculos partimos del realizar un análisis de los elementos previamente seleccionados y poder identificar que elementos se encuentran normalizados y que elementos deberán ser construidos con un fin único.

Elementos normalizados:

- Perfil angular
- Soldadura
- Lámina
- Motor
- Rodamiento
- Poleas
- Bandas
- Piñones
- Cadena
- Interruptor termoelectrico
- Contactor
- Relé térmico
- Pulsador
- Chumaceras

Elementos de fabricación:

- Rotor porta cuchillas
- Cuchillas
- Tolva
- Criba
- Tanque

³ YEPES, Milton. Diseño de una máquina lavadora de plástico reciclado. Proyecto de investigación. Escuela superior politécnica del Chimborazo, Ecuador, p. 8

- Paletas
- Eje de paletas

Una vez identificados estos parámetros es posible proceder a calcular y diseñar los distintos elementos que conforman nuestro prototipo de máquina.

Basados en teorías de diseño mecánico podemos identificar distintos parámetros básicos para evitar fallas en el funcionamiento y corregirlas en el diseño. Una vez realizados estos cálculos obtenemos el siguiente resumen de diseño:

- Motor eléctrico: 6.6 hp – 1750 rpm
- Factor de servicio: 1,1
- Potencia de diseño: 7,26 hp
- Banda sección transversal tipo 3V longitud 60in , 2 bandas
- Polea impulsora 3,6” doble ranura 3V
- Polea impulsada 6,45” doble ranura 3V
- Velocidad real de salida : 974 rpm
- Distancia entre centros 22,06 in

Una vez se obtiene estos valores previamente calculados, se procede a realizar diseño en software CAD donde es posible simular el comportamiento de los distintos materiales y su adecuada instalación a lo largo del prototipo.

En el caso de elementos que tuvieron que ser calculados y diseñados para este fin único se realizó un cálculo que satisfaga las especificaciones de trabajo sin sufrir ningún tipo de falla prematura, como las cuchillas, piezas fundamentales para el mecanismo de triturado.

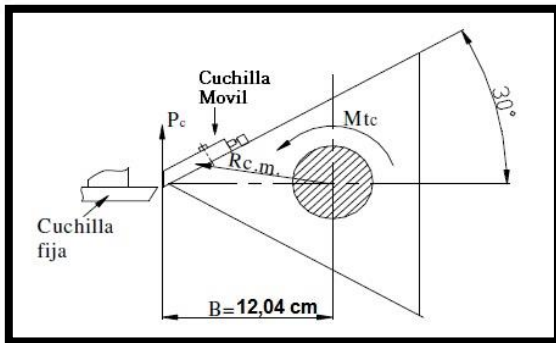


Fig. 5. Esquema de cuchilla

Para el caso de las cuchillas su punto crítico de falla se presenta en la punta de la cuchilla por lo que fue necesario estimar la carga dinámica que se genera para molinos trituradores de plástico la cual es de 744.18 N.

Después de varios diseños realizados en donde se evidenciaron diferentes falencias que podrían generar sobrecosto del proyecto, alto consumo energético, se rediseña el prototipo llegando a un diseño final que cumple con las necesidades expuestas.

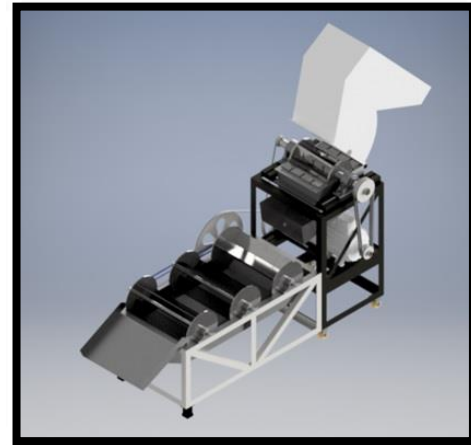


Fig. 6. Diseño en Software CAD del prototipo de máquina trituradora y lavadora de (PEAD).

En el diseño final se han reemplazado todos aquellos elementos que necesitaban de una fuente de energía adicional al motor principal, de esta manera se obtiene un proceso eficiente, con menor consumo energético y reducido costo de fabricación.

El proceso de reciclaje del plástico a pequeña escala no justifica un gasto energético considerable, debido a que el ideal principal del proceso es contribuir con el cuidado del medio ambiente, por ello la cantidad de agua que se protege evitando la fabricación de nuevos productos plásticos, siempre debe ser mayor a la cantidad de agua utilizada en el proceso de reciclaje.

VI. CONSTRUCCIÓN

Una vez determinadas las dimensiones del molino triturador fue posible iniciar la etapa de construcción en las instalaciones del SENA regional Nariño, con una variedad de materiales comprados en Bogotá donde los costos se redujeron a pesar del costo adicional en el transporte.

La construcción del prototipo inició con la cámara de trituración, debido a que según sus dimensiones, se debían acoplar el bastidor y los demás elementos que lo componen.



Fig. 7. Construcción de cámara de triturado

Para un óptimo funcionamiento del prototipo es necesario realizar una serie de ajustes en los elementos que lo componen, utilizando las herramientas adecuadas y las recomendaciones de los fabricantes. A continuación se presentan una serie de ajustes que Herbold⁴ recomienda en el ensamble de un molino triturador.

- Torque requerido en los tornillos que sujetan las cuchillas fijas: 60 N-m
- Torque requerido en los tornillos que sujetan las cuchillas móviles: 70 N-m
- Torque en las chumaceras: 30 N-m
- Distancia entre cuchillas fijas y móviles: 2 mm
- Diámetro de los orificios de la criba: 10 mm – 12 mm



Fig. 8. Lubricación de bisagras que sujetan la tolva a la cámara de triturado

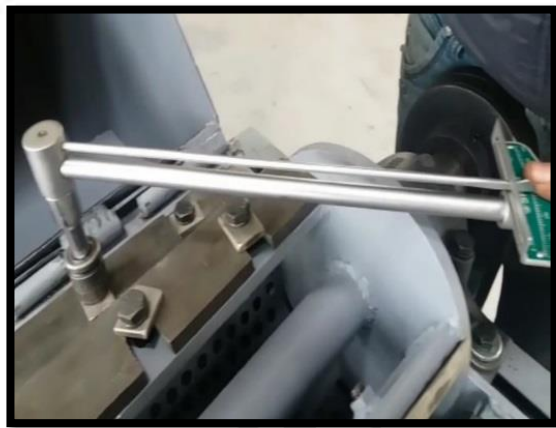


Fig. 9. Torque aplicado sobre tornillos de sujeción



Fig. 10. Molino construido



Fig. 11. Molino con separador de sólido ensamblado y primera prueba de funcionamiento.

VII. RESULTADOS

Una vez colocado en funcionamiento el molino triturador de plástico se realizó las pruebas correspondientes con el material a procesar (polietileno de alta densidad *PEAD*), este material tiene diferentes formas de fabricación entre las que destacan el moldeo por inyección y la fabricación de elementos por soplado, así que fue necesario realizar las pruebas con material proveniente de los dos procesos de fabricación y comparar los resultados.

A. Prueba con *PEAD* fabricado por moldeo

Para realizar las pruebas con *PEAD* proveniente del proceso de inyección por moldeo se recolectaron tapas de envases de 5 galones como los utilizados en el almacenamiento de pintura, debido a que es un material accesible en la bodega de la señora Luz Marina Chacua y posee las dimensiones necesarias para poder ingresar por la tolva de alimentación.

⁴ HERBOLD. Molinos trituradores. Sólida y universal - serie SMS. Estados Unidos. 2013, 6 P.

depósito de agua donde se pudo observar el comportamiento del PEAD.



Fig. 12. Material después del proceso

En las figuras se puede observar cual es el aspecto después del proceso de triturado en el molino, obteniendo las dimensiones requeridas en el comercio.

Hay que tener especial cuidado con las tapas, ya que la industria utiliza diferentes tipos de plástico para su fabricación y generalmente el polipropileno encabeza el listado de materiales destinados a la fabricación de este tipo de elementos.

B. Prueba con PEAD fabricado por soplado

Las pruebas con PEAD soplado se realizaron con un envase de 20 litros, conocido en la región como “poma”, debido a que al igual que las tapas de la prueba anterior, ingresa sin problema por la tolva de alimentación, sin embargo los envases de dimensiones considerables como este deben ingresar uno a la vez, de otra manera podría ocasionar una saturación en la cámara y generar una carga excesiva en el motor.



Fig. 13. Resultado del proceso

C. Separación del material por densidad

Para determinar que la separación del material por densidad y decantación funciona, fue necesario realizar una pequeña prueba con material sin clasificación previa, contaminado con impurezas y residuos de la sustancia que contenía, además de esto el elemento procesado poseía partes de polímeros de diferente tipo, el cual fue sometido al proceso de trituración y posteriormente fue vertido en un



Fig. 14. Resultados de prueba

Después de realizar la prueba fue posible observar como materiales de diferente tipo como el poliuretano que hacia parte del recipiente, al igual que residuos de pintura y demás impurezas quedan depositadas en el fondo del recipiente debido a que superan la densidad del agua (1 g/cm^3), mientras que el PEAD se mantiene en la superficie de esta y puede ser retirado mediante un sistema de aletas de transporte



Fig. 15. Maquina completa en funcionamiento



Fig. 16. Material obtenido al final del proceso

VIII. CONCLUSIONES

- La transformación de residuos sólidos inorgánicos es un proceso complejo que requiere de una serie de elementos



automatizados para obtener el material con las características que exige el mercado (tipo de resina, color, nivel de humedad, dimensión, etc.). Por ello es importante conocer cómo se debe realizar adecuadamente el proceso, así se reduce al máximo las pérdidas al momento de comercializar el producto.

- En la ciudad de Pasto la producción de residuos plásticos no abastece las necesidades que tiene una planta de reciclaje completa, sin embargo, es necesario solucionar la problemática de su acumulación con los primeros procesos de transformación de esta forma su transporte se facilitaría e incrementaría el valor del producto en el mercado.
- El campo del reciclaje es un mercado nuevo en la ciudad que necesita desarrollarse, para ello es necesaria la integración de personal calificado en las diferentes áreas del proceso, por ejemplo la participación de ingenieros ambientales que permitan llevar a cabo la cultura de la separación en la fuente sería una solución que permitiría aprovechar al máximo estos residuos y no permitir que se acumulen en los rellenos sanitario y en las calles de la ciudad.

REFERENCIAS

- [1] ALVAREZ, Martha. Propuesta estratégica para la cadena de valor en el proceso de reciclaje en la cooperativa empresarial de recicladores-Coemprender. Proyecto de investigación – Especialista en Alta gerencia. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias económicas y administrativas FACEA, 2005, 195 P.
- [2] BERNAL, Cesar A. Metodología de la investigación. Bogotá D.C: Pearson, 2010. 322 P.
- [3] CARDENAS, SHOMAR & SOLORIO. Análisis de cuchillas de molino para termoplásticos Mod. 2650 y diseño para una mayor duración. Proyecto de investigación – Ingeniero mecánico. México D.F: Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, 2012, 138 P.
- [4] FALCONI, Mauricio y TIAGUARO, Robinson. Molino triturador de botellas desechables. Proyecto de investigación – Ingeniero mecánico. Quito - Ecuador: Universidad Tecnológica América, 2009, 210 P.
- [5] HERBOLD. Molinos trituradores. Sólida y universal - serie SMS. Estados Unidos. 2013, 6 P.
- [6] MORILLO, Guillermo. Impactos socioeconómicos y ambientales del reciclaje mediante el método de separación en la fuente. Trabajo de investigación. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño, 2010, 20 P.
- [7] MOTT, Robert. Diseño de elementos de máquinas. 2 ed. México: Prentice Hall, 1995. 787 P.
- [8] PGIRS Medellín. Plan de gestión integral de residuos sólidos, Actualización 2015. Medellín. 1024 P.

[9] PGIRS Pasto. Plan de gestión integral de residuos sólidos, 2007-2022. San Juan de Pasto, versión revisada EMAS de Pasto S.A, 2007, 412. P.

[10] RIVERA, Raúl. Propuesta de reciclaje mecánico de plásticos en la ciudad de Piura. Proyecto de grado – Ingeniero Industrial y de sistemas. Piura – Perú: Universidad de Piura, 2004, 107 P.

PRESTADA SU COPIA