

DISEÑO DE EQUIPO PARA MOLIENDA Y LAVADO DE PET (POLIETILENO TEREFALATO)

Oscar Chapa Cordova¹, Ernesto Martinez²

¹Egresado De La Facultad De Ingeniería En Mecánica.

²Director De Tesis De Grado, Ingeniero Mecánico Y Catedrático De La Escuela Superior Politécnica del Litoral desde 1983.

RESUMEN

El presente trabajo se basa en el diseño de un equipo de molienda y lavado de plástico reciclado, particularmente para PET, que es un tipo de plástico de gran uso en los últimos años. Usado casi por todas las embotelladoras de nuestro país; convirtiéndose de esta manera en una amenaza, debido a su gran aglomeración si no es retirado o reciclado de nuestros desechos sólidos (conocidos mas comúnmente como residuos sólidos urbanos), para que sea debidamente reutilizado; aprovechando así no solo la característica de renovable que es un beneficio que nos ofrece los plásticos, sino que además ahorrando una parte de dinero para las empresas que usan el mismo.

El trabajo se divide en dos partes principales; el sistema de molienda y el sistema de lavado. El diseño de cada uno de los componentes de estos sistemas se realizan en este trabajo, así como el análisis económico que implica la construcción de este equipo dentro del mercado nacional.

Además de los análisis económicos y teóricos de los últimos capítulos en los primeros por otra parte se desarrollara un estudio de la contaminación que producen los residuos sólidos urbanos; los plásticos sus principales características y usos y el problema que causan cuando no son degradados naturalmente.

SUMMARY

The present work is based on the design of a mill team and laundry of recycled plastic, particularly for PET, that is a type of plastic of great use in the last years. Used almost for all the bottling of our country; becoming this way a threat, due to their great mass if it is not retired or recycled of our solid waste (well-known but commonly as urban solid residuals), so that it is properly used again; taking advantage this way not alone the characteristic of renewable that is a benefit that offers us the plastics, but rather also saving a part of money for the companies that use the same one.

The work is divided in two main parts; the mill system and the laundry system. The design of each one of the components of these systems is carried out in this work, as well as the economic analysis that implies the construction of this team inside the national market.

Besides the economic and theoretical analyses of the last chapters in the first ones a study of the contamination was developed on the other hand that

produce the urban solid residuals; the plastics their main ones characteristic and uses and the problem that cause when they are not degraded naturally.

INTRODUCCIÓN

Estudios del ciclo de vida media de diferentes materiales, indican que si se recicla 1 TM de aluminio se evita la extracción de 5 TM de bauxita y se ahorra 95% de energía; si fuera papel, por 1 TM reciclada, 15 árboles se salvarían de ser talados y se economizaría 74% de energía; y por cada tonelada de plástico reciclado, se ahorraría 80% de energía en comparación con la energía utilizada en la fabricación de un nuevo plástico.

El desarrollo de este trabajo se refiere a la factibilidad de diseñar un equipo que realice la molienda y lavado del Pet en un solo proceso o conjunto, con lo cual no esta de mas recalcar que este trabajo beneficiara no solo a la empresa que lo desarrolle o utilice, sino también, a la comunidad en general donde sea puesto en funcionamiento

En la actualidad solo ciertas empresas en el país se preocupan por la reutilización de sus envases plásticos, la mayoría deja este trabajo a manos de ciertas compañías que se dedican específicamente a este trabajo de reciclado. Normalmente en nuestro país al momento de reciclar el plástico los procesos de triturado y lavado se hacen por separado; y aquí es donde hace hincapié este proyecto diseñando un equipo para realizar este trabajo en conjunto.

CONTENIDO

Descripción del Proceso de Reciclaje del PET

Los plásticos se pueden vender a mucho mejor precio si ya han pasados por un procesamiento secundario. Después de la clasificación y limpieza de estos materiales, se pueden moler y peletizar (grancear).

Los plásticos escogidos y gruesamente limpiados (etiquetas, papeles, residuos de material biodegradable) pasan por un molino o una trituradora. Este proceso se puede realizar en diferentes ordenes de sucesión, dependiendo del grado de contaminación de los plásticos y de la calidad del producto reciclado. La siguiente figura muestra dos alternativas de procesar mecánicamente el plástico.

La preparación final del producto empieza con el lavado y la separación de sustancias contaminantes, proceso que se puede repetir si es necesario. Después el material pasa por una centrifuga y secadora y se almacena en un silo intermedio. En el caso ideal, este silo sirve también para homogeneizar más el material, al fin de obtener una calidad constante.

El producto triturado, limpio, seco y homogéneo se alimenta a una extrusora, y, tras el proceso de granceado, se obtiene la granza lista para ser procesada por diferentes técnicas.

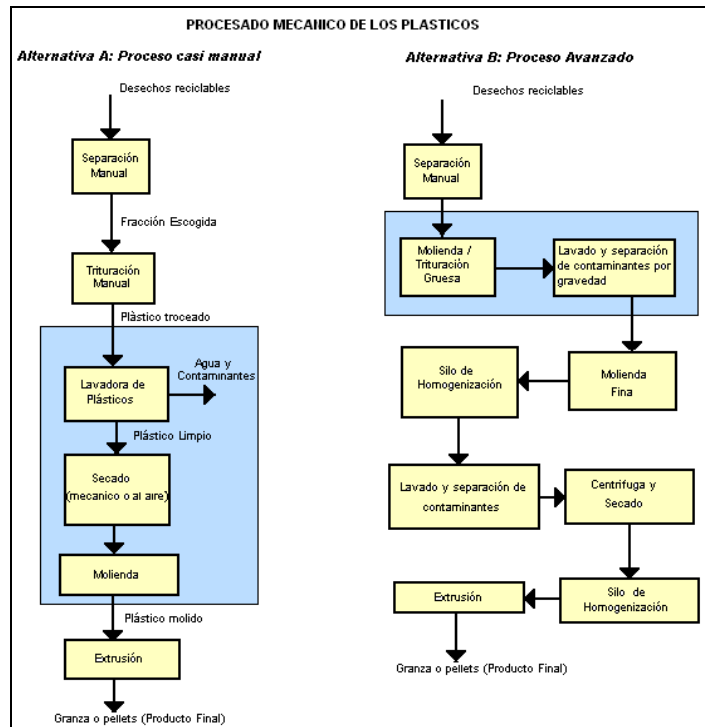


Figura 1 Proceso mecánico de los plásticos

En la figura anterior podemos observar que tanto para la alternativa A como para la alternativa B, el proceso de lavado y molienda (encerrados en el cuadro) se hacen por separado; pero como se dijo anteriormente el objetivo de este proyecto es hacer de estos dos pasos uno solo, quedando el proceso como se puede observar en la siguiente figura.

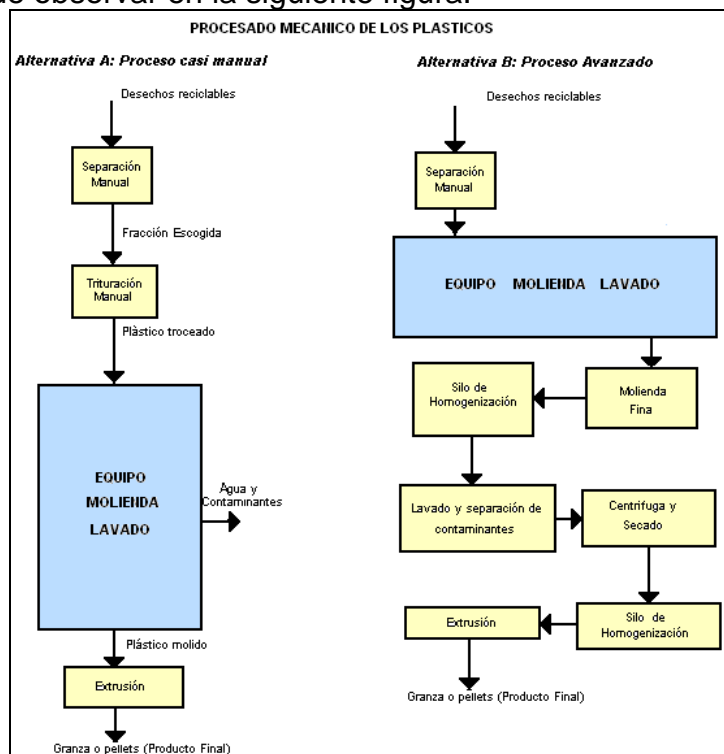


Figura 2 Proceso mecánico de los plásticos modificado

Sistema De Molienda

Cuando se diseña un molino, es mejor sobredimensionarlo, tanto en tamaño como en potencia. La tolva de alimentación debe tener las dimensiones suficientemente grandes como para recibir la parte mas grande a ser procesada sin tener que cortarla de antemano.

El rotor del equipo constituye una de las partes mas importantes dentro del sistema de molienda, ya que es el encargado de realizar el corte mediante las cuchillas móviles forman parte de el por medio de la energía que le es entregada por el motor eléctrico. Se encuentra formado por las siguientes partes:

- Árbol de transmisión
- Soportes de cuchillas
- Cuchillas

Cada vez que una cuchilla móvil se encuentre con una cuchilla fija se genera una carga por impacto, se la llama de impacto porque es súbita y en un intervalo muy pequeño de tiempo. El análisis de la pared de pet que esta sometida en un instante a la carga de impacto es el siguiente:

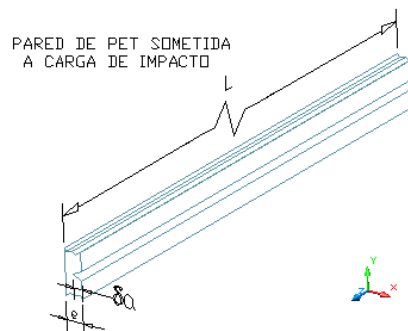


Figura 3 Pared de Pet

En esta figura se puede observar la pared de pet sometida a impacto. L es la longitud máxima que se tiene por cada impacto, la cual será la longitud de la cuchilla, e es el espesor de la pared de pet y δa es el avance del corte a lo largo de todo el espesor durante el instante del impacto. Un balance de energía que satisface la fractura por impacto o fractura rápida de un material es la siguiente:

$$\delta W \geq \delta U^{el} + G_c t \delta a$$

La cual nos indica que el trabajo necesario para realizar la ruptura del material debe ser mayor que el cambio de energía elástica mas la energía absorbida por el material en ruptura. Para el tipo de geometría del Pet se puede reducir esta formula a $\delta W = G_c t \delta a$ (porque el cambio de energía elástica es nula o insignificante comparado con el trabajo hecho por la cuchilla al realizar el corte). Donde G_c es la energía absorbida por unidad de área apéndice E, t la longitud de material que es cortada por la cuchilla (L) y δa es el avance de la fractura durante el instante de impacto. Para el Pet se tiene $G_c = 7 \text{ kJ/m}^2$, con

lo cual: $F = 37.33N$. Esta es la fuerza aproximada que es necesaria para romper una pared de PET por medio de cizalla en impacto.

Las fuerzas que se presentan sobre el árbol de transmisión en el instante del impacto de la cuchilla sobre el PET son las siguientes:

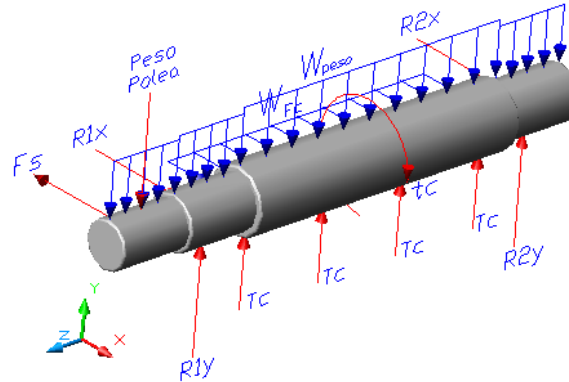


Figura 4 Fuerzas sobre el árbol de transmisión

Como se puede ver en la figura las fuerzas que actúan sobre el eje son las siguientes:

w_{peso} : Carga distribuida debido al peso de todo el árbol de transmisión incluido el peso aproximado de los soportes de cuchilla y cuchillas

$$w_{peso} = 1994.3 N/m$$

w_{Fc} : Carga distribuida debido a la acción de corte de la cuchilla en el momento del impacto

$$w_{Fc} = \frac{F}{l} = 93.33 N/m$$

F_s : Fuerza que flexiona la flecha debido a la potencia que entrega el motor.

$$F_s = 2100N$$

W_p : Es la fuerza debido al peso de la polea. Utilizando la ecuación 4.2 se obtiene la masa de la polea que es de 43.15kg, luego:

$$W_p = 43.15kg * 9.8m/s^2 = 423N$$

τ_c : Torque de corte debido al impacto de la cuchilla

T_c : Fuerza cortante que se transmite debido al corte por impacto de una cuchilla por cada uno de los soportes, son cuatro ya que el molino contará con cuatro soportes para cuchillas móviles.

En este caso T_c será igual a la fuerza de corte ya calculada entonces:
 $T_c = F = 37.33N$

R_{1y} y R_{2y} : Reacciones de las chumaceras en el eje y debido al peso del árbol de transmisión.

R_{1x} y R_{2x} : Reacciones de las chumaceras en el eje y debido al peso del árbol de transmisión.

Realizando el respectivo análisis de las fuerzas sobre el árbol y con la correspondiente ecuación de singularidad se obtienen el momento total que actúa sobre el árbol, se puede ver en la siguiente figura:

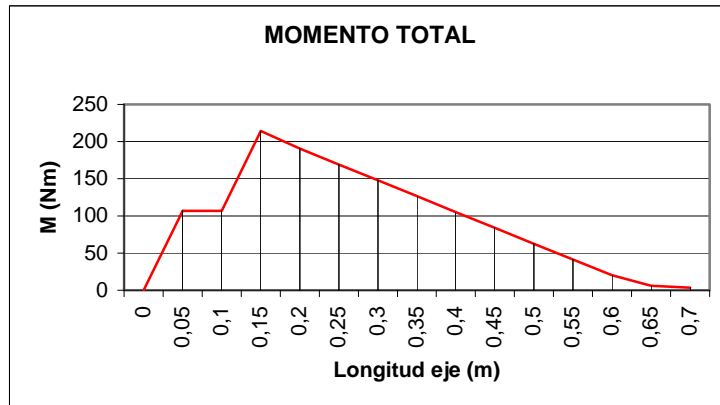


Figura 5 Momento total

El momento máximo flexionante permite un árbol de transmisión con un eje de 90mm de diámetro mínimo.

Diseño de soportes de las cuchillas: Los cuerpos voluminosos pero de pared delgada (botellas de Pet por ejemplo) necesitan rotores de tipo abierto. Los soportes de cuchillas son los que definen esta característica en los rotores.

Otro punto muy importante dentro del diseño de forma de los soportes de las cuchillas es, que las cuchillas deben quedar colocadas en forma sesgada porque así proporcionarían una forma de corte semejante al de las tijeras con lo que podemos obtener una mayor capacidad de producción con menos consumo de potencia, menor generación de ruidos, y reduce la producción de finos y polvo. El corte tipo tijera se logra desviando en un ángulo pequeño (para el diseño de este molino el ángulo será de 3°) al rotor o a la cama de cuchillas. Este tipo de diseño produce una acción de corte en tajadas o por cizalla, en un área de impacto más reducida que la que se encuentra en las cuchillas colocadas en posición derecha, que corta a lo largo de la cuchilla en un solo golpe. La unión entre los soportes y el árbol de transmisión será por medio de soldadura como se ve en el siguiente gráfico:

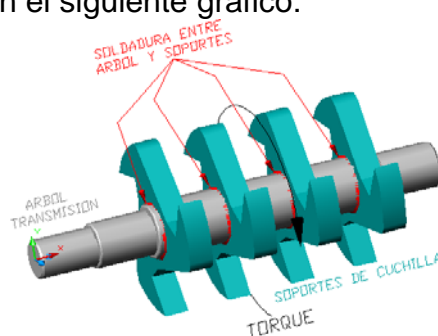


Figura 6 Soldadura entre soportes y árbol de transmisión

Diseño de cuchillas.- En la actualidad colocar las cuchillas en forma sesgada para que actúen en forma de tijera al momento de cortar es muy utilizado en el diseño de molinos, ya que se evita el corte de un solo golpe, además se reduce el ruido, y la formación de finos y polvos

El ángulo que las cuchillas son sesgadas debe ser pequeño, para este equipo será de 3°. Por otro lado se recomienda utilizar un ángulo de filo de cuchilla grande para materiales como el PET.

Los aceros para las cuchillas, generalmente, están diseñados para proveer tenacidad o resistencia al desgaste. Para los materiales no abrasivos y suaves, las cuchillas están hechas de aceros de Cromo-Vanadio (CVS), los cuales son tenaces y resistentes al astillamiento pero se desgastan más rápidamente que otros aceros para herramientas.

Sistema De Lavado

El reciclado mecánico del Pet, se puede decir, consta de los siguientes pasos principales: separación manual de impurezas; molienda; lavado; secado y extrusión. Estos son los pasos principales de los cuales se parte y se hace mas o menos complejos los procesos de reciclado dependiendo que calidad de producto se requiere obtener.

Para la construcción de este sistema de lavado se necesita el diseño de las siguientes partes:

- Aspersores de agua
- Bomba de agua
- Conductos de agua
- Filtros de agua
- Sistema de escurrido
- Reservorios de agua.

El volumen de agua que se necesita que este circulando por minuto en el equipo es el siguiente:

$$\left(\frac{200\text{kg}}{\text{hora}}\right)\left(\frac{1\text{hora}}{60\text{min}}\right) = \frac{3.333\text{kg}}{\text{min}} \left(\frac{7\text{lt}}{1.5\text{kg}}\right) = 15.54\text{lt}/\text{min}$$

Selección de Bomba

Perdidas por fricción en la succión y la descarga:

Longitud equivalente de perdidas por descarga			
	Coeficiente	Cantidad	Total
<i>Longitud</i>	----	5.6ft	5.6ft
<i>Codos 90°</i>	4.4	9	39.6ft
<i>Codos 45°</i>	0.92	2	1.84ft
<i>T</i>	5.3	1	5.3ft
<i>Ld_{equivalente}</i>			52.34ft

Perdidas por fricción descarga

Longitud equivalente de pérdidas por succión			
	Coefficiente	Cantidad	Total
<i>Longitud</i>	----	3.7ft	3.7ft
<i>Codos 90°</i>	4.4	2	8.8ft
<i>Válvula cheque</i>	8.8	1	8.8ft
<i>L_s equivalente</i>			21.3ft

Perdidas por fricción descarga

El cabezal necesario para la bomba considerando estas pérdidas será:

$$TDH = 78.ft$$

Utilizando el catalogo EBARA se selecciona la bomba CMA 0.75M, que consta con un motor de $\frac{3}{4}$ HP o 0.55kW.

Selección de aspersores

Los aspersores de agua que se utilizaran para el equipo son de la marca Rain Bird de cono lleno, los tipo de aspersores de cono lleno presentan la siguiente forma de chorro:



Figura 7 Chorro agua tobera cono lleno

Los aspersores seleccionados son los tipo 15F

Sistema de escurrido

El producto que se obtiene del equipo luego de realizar un ciclo de trabajo son las escamas de plástico mas el agua del lavado por lo que se hace necesario el diseño de un sistema de escurrido para el plástico antes de ser recolectado.

El sistema de escurrido se encargará de la separación de el flujo del agua de lavado de las escamas de pet, luego el agua pasa por un filtro antes de retornar al reservorio #1; este sistema estará formado de las siguientes partes:

- Malla transportadora
- Sistema motriz de la malla transportadora
- Depósito de recolección de agua
- Filtro de agua

Sistema motriz de la malla transportadora.- Este sistema estará conformado de las siguientes partes:

- Motorreductor
- Cadena y piñones
- Cople de mordaza
- Chumaceras
- Tensores

A continuación se presenta un resumen con todos los accesorios necesarios para diseñar el sistema motriz de la malla:

- Motorreductor de ¼hp con 10rpm a la salida
- 6 piñones Tipo “B” N°40. Paso=12.700mm. Numero dientes=19
- 1 Cople de mordaza ML095
- Cadena de rodillos N°40, paso 12.700mm. Longitud total = 10m
- 2 Chumaceras Tipo Tensor (ASPT205-10). Juego tensor=100mm
- 4 Chumaceras Tipo Brida Cuadrada (UCF202-010)

CONCLUSIONES

El crecimiento progresivo que ha tenido el PET, como envase en los últimos años es realmente considerable, muchas empresas, como por ejemplo las de bebidas gaseosas, embotelladoras de agua, industria alimenticia, etc usan desde hace algunos años solo botellas de PET, por sus grandes beneficios en comparación a las botellas de vidrio. Incluso en el 2003 la gran novedad fue que la industria cervecera se une a esta línea de envases. Razón por la cual se justifica sobre manera la implementación de equipos que ayuden a la recuperación del PET, ya que siempre se podrá tener a la mano material para ser reciclado; mas aun que este material nos brinda propiedades que ayudan a su reciclado.

En la siguiente tabla se muestran las especificaciones técnicas del equipo de trituración y lavado de PET:

Dimensiones	Largo	2600mm
	Ancho	1350mm
	Altura	1660mm
Capacidad	200kg/hora	
Potencia	7 1/2 HP	
RPM cámara corte	435rpm	
Caudal	16lt/min	
Velocidad de escurrido	1,3m/min	
Peso aproximado	350kg	
Costo total	6345dólares	

Especificaciones técnicas del equipo

BIBLIOGRAFIA

1. SHIGLEY JOSEPH E., Diseño en Ingeniería Mecánica, Editorial Mc Graw Hill, México Septiembre de 1990
2. MOTT ROBERT L., Diseño de Elementos de Máquinas, Editorial Prentice Hall, segunda edición, México 1995
3. KENNETH BUDINSIKI & MICHAEL BUDINSIKI. Engineering Materials. Prentice Hall, New Jersey 1994.