

Diseño de un sistema de extrusión-peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la Empresa Municipal de Aseo de Cuenca (EMAC)

Jorge I. Fajardo S.¹⁸ y Christian M. Cobos M.¹⁹

Introducción

El aumento mundial en la generación de residuos plásticos aproximadamente se estima en un 4% anual (Arandes *et al.*, 2004), producido conjuntamente con el desarrollo tecnológico que han experimentado estos materiales, usados en la fabricación de artículos en la industria automotriz, línea blanca y otras. No obstante, el gran desarrollo tecnológico no ha ido a la par con la previsión de reciclado de productos, lo que ocasiona un acelerado crecimiento de deshechos plásticos, así, el consumo mundial de materiales plásticos ha pasado de los 10 M de Tm en 1978 hasta los 60 M de Tm en el año 2000, de los cuales el 50% corresponde a EUA y el resto se reparte por igual entre Europa y Japón (Arandes *et al.*, 2004).

Cuenca, como todas las ciudades del Ecuador, consume una gran variedad de productos plásticos y con ello genera material no aprovechable, causando una preocupación a la EMAC (Empresa Municipal de Aseo de Cuenca), institución pública encargada de su procesamiento. Esto implica el planteamiento de un proceso de revalorización del plástico desechado como materia prima a ser usada en la generación de nuevos productos, los cuales en su composición pueden contener una mezcla de material virgen y reciclado pudiendo remplazar a los materiales tradicionales, aprovechando las ventajas mecánicas y físicas que estos presentan.

Los procesos de reciclaje son procesos fisicoquímicos o mecánicos que consisten en someter a una materia o producto usado a un tratamiento para obtener materia prima o un nuevo producto. El reciclado mecánico consiste en la molienda, separación y lavado de envases. Las escamas resultantes de este proceso se pueden destinar en forma directa, sin necesidad de volver a hacer *pellets*, en la fabricación de productos por inyección o extrusión, presenta ventajas en cuanto a la inversión inicial, no conlleva impacto ambiental, genera fuentes de trabajo, etc.

18 Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca-Ecuador.

19 Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca, Área de Ingeniería Mecánica.

Materiales y métodos

Diagnóstico actual de los materiales plásticos desechados por la ciudadanía

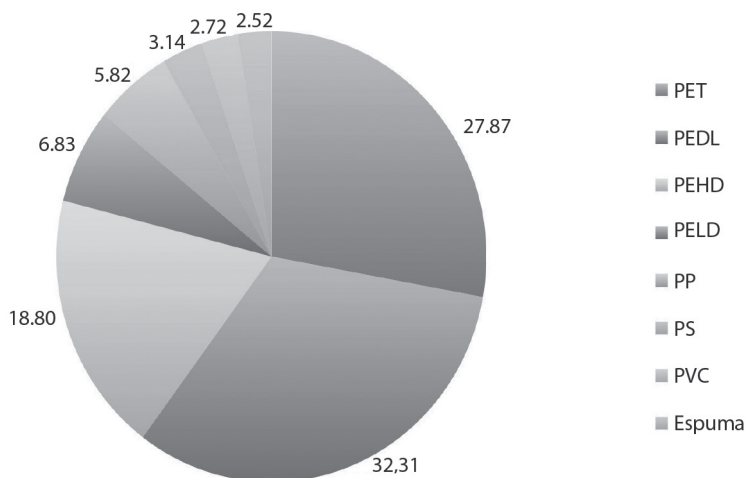
Para desarrollar la propuesta de un sistema de reciclaje, se desarrolla el diagnóstico de la cantidad y el tipo de plásticos ingresante en el relleno sanitario de Pichacay, partiendo del volumen total de plásticos que es recolectado. Posteriormente se realiza un análisis estadístico basado método proporcional (Douglas A. Lind), a fin de determinar la cantidad de muestras, obteniendo 69. La elección de cada muestra fue aleatoria, recopilando fundas en los diferentes días en el que la recolección de plástico se realiza. Una vez seleccionadas las fundas se procedió a separar en función al tipo de plástico que contenían, para luego pesar y por medio de estos datos se estableció un promedio porcentual del volumen (tabla 1).

Ya determinados los porcentajes y el volumen de los diferentes plásticos que llegan al relleno de Pichacay, se procede a realizar el estudio de las diferentes alternativas de reciclado, sus ventajas y desventajas para luego por medio de una ponderación determinar el sistema masa adecuado para la recuperación del PET.

Tabla 1
Flujo semanal de plástico reciclado en toneladas

| Material Reciclado | Caudal Semanal (t) | Tasa % |
|--------------------|--------------------|--------|
| PET | 8,58 | 32,31 |
| PELDL (Fundas) | 7,40 | 27,87 |
| PEHD | 4,99 | 18,80 |
| PELD | 0,72 | 2,72 |
| PP | 1,82 | 6,84 |
| PS | 0,83 | 3,14 |
| PVC | 1,55 | 5,82 |
| Espuma | 0,62 | 2,33 |
| Total | 26,50 | 99,83 |

Figura 1
Flujo semanal de plástico reciclado en toneladas



Los valores de la ponderación son los siguientes:

1. Alto/complejo
2. Medio
3. Bajo/fácil

Los criterios de ponderación son:

1. Contaminación ambiental: hace referencia qué tan contaminantes son al medio ambiente los diferentes procesos.
2. Número de plazas de empleo: este razonamiento de ponderación, se refiere a qué proceso de reciclado provee más fuentes de trabajo.
3. Posproducción (aplicación): este criterio hace referencia a la aplicación de cada uno de los productos que se obtiene después del reciclado y cuál es el de mayor utilidad para la industria.
4. Costo de inversiones de operación y mantenimiento: estos discernimientos hacen referencia al costo que involucraría realizar cada uno de esos procesos.

Una vez valorizado se observa que el valor más alto para la ponderación hace referencia al reciclado mecánico, lo cual indica que es el más conveniente para aplicar en una planta de reciclaje.

Tabla 2
Ponderación de sistemas de reciclado

| Criterios de Ponderación | Vp. | R. Químico | Vp. | R. Energético | Vp. | R. Mecánico | Vp. |
|-------------------------------|-----|------------|-----|---------------|-----|-------------|-----|
| Contaminación Ambiental. | 30 | 30 | 1 | 60 | 2 | 90 | 3 |
| Número de Plazas de Empleo | 25 | 25 | 1 | 25 | 1 | 75 | 3 |
| Volumen de Producción | 20 | 20 | 1 | 40 | 2 | 60 | 3 |
| Post. Reciclado. (Aplicación) | 15 | 30 | 2 | 30 | 2 | 45 | 3 |
| Costo de Inversiones de | | | | | | | |
| Operación y Mantenimiento | 10 | 20 | 2 | 10 | 1 | 30 | 3 |
| Total | 100 | 125 | | 165 | | 300 | |

Vp: valor de ponderación, R: reciclado

Diseño de una extrusora-peletizadora de reciclados

De acuerdo con el análisis realizado en la sección anterior se constata que la implementación de un sistema de reciclado mecánico es el adecuado para la recuperación de PET. Por esta razón se procede a diseñar y dimensionar un sistema de extrusión-peletizado. Para el diseño y dimensionamiento del sistema de extrusión-peletizado se toma en cuenta los datos de volumen de material a producir semanalmente, correspondiente 8.58 toneladas semanales, al cual se aumenta 25% para tener un margen de seguridad para que el equipo no funcione al límite de su capacidad, el 25% de seguridad corresponde a 10.72 toneladas semanales que es igual a 243.23 kg/h. Tomando en cuenta estas consideraciones especificadas anteriormente, se realizan los cálculos del principal elemento del sistema de extrusión que es el tornillo, debido a que este varía dependiendo del material plástico a procesar, obteniendo las siguientes características técnicas del equipo:

Tabla 3
Resumen de diseño de extrusora-peletizadora

| Parámetro | Extrusión peletizado |
|----------------------------------|----------------------|
| Relación L/D | 30/1 |
| Diámetro [mm] | 126 |
| Paso [mm] | 126 |
| Anchura de cresta [mm] | 10.08 |
| La zona de alimentación [mm] | 756 |
| La zona de compresión [mm] | 1764 |
| La zona de dosificación [mm] | 1260 |
| h1 zona de alimentación [mm] | 12.6 |
| h3 zona de dosificación [mm] | 3.6 |
| Caudal de producción [kg/h] | 220.781 |
| Potencia del motor [hp] | 38.74 |
| Presión máxima del proceso [MPa] | 0.998 |

Para verificar la eficiencia de la extrusora diseñada, se procede a realizar el cálculo del caudal de producción. Determinación de flujo de producción:

$$Q = \frac{Actg\varphi \left(\frac{L_1}{h_1^2} + \frac{L_2}{h_1 h_3} + \frac{L_3}{h_3^2} \right)}{\frac{\varphi}{K} + \cos ec^2 \varphi \left[\frac{L_1}{h_1^3} + \frac{L_2 (h_1 + h_3)}{2 h_1^2 h_3^2} + \frac{L_3}{h_3^3} \right]}$$

$$Q = 220,781 \frac{kg}{h}$$

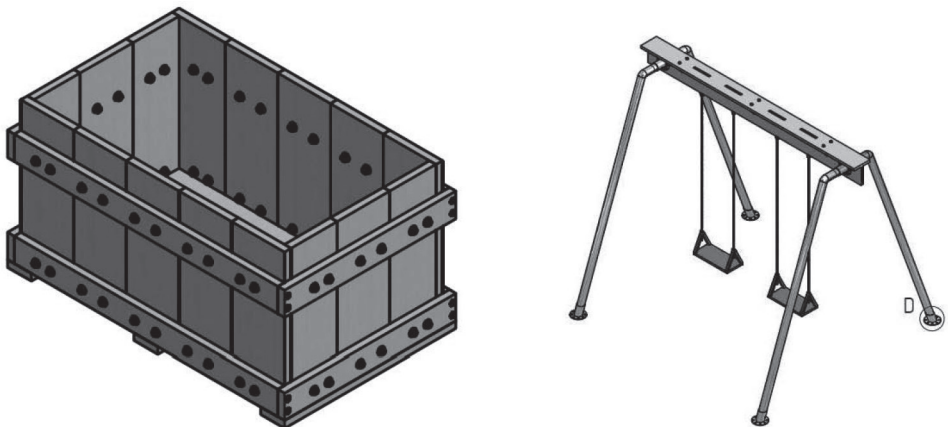
Con este cálculo se determina que el dimensionamiento del sistema de extrusión si satisface la demanda de producción que se necesita reciclar.

Estudio de alternativas de generación de productos a partir del plástico reciclado

Siguiendo el proceso del manejo del material plástico reciclado, se realizó una propuesta para la aplicación de dicho material. A continuación se presenta unas alternativas en las cuales se podría aplicar.

Madera plásticas. La madera plástica es un material ecológico, sustentable y reciclable con magnificas propiedades físicas y mecánicas producida mediante compresión o extrusión.

Figura 2
Aplicaciones de la madera plástica



Como se puede observar una vez obtenido la madera plástica se pudiera fabricar todo tipo de contenedores industrial, agrícola, ganadero, etc. El columpio es uno de los juegos más populares de los parques lineales, el cual la EMAC podría producir partiendo del

concepto de la madera plástica, introduciendo el plástico reciclado a productos que no son de primera necesidad, evitando que sean fabricados de madera y de alguna manera impidiendo la tala de árboles. El estudio mecánico de esfuerzos a analizar para el columpio, en su funcionamiento, con el cual se analizó el dimensionamiento de la madera plástica que se podría producir para funcionamiento eficaz.

Para los cálculos del producto especificado anteriormente (columpio), se consideró un peso de 200 libras, en cada asiento, por lo que en cada cadena se estimó una carga de 100 libras.

Figura 3
Columpio



Después de analizar los esfuerzos se determina que la sección adecuada es de 200 x 25mm, con lo cual realizando un diseño de la viga superior del columpio en forma de T.

Figura 4
Análisis de esfuerzos

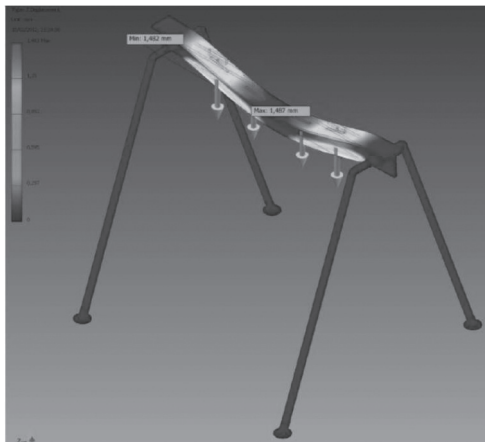


Tabla 4
Resumen de resultados

| Name (Nombre) | Minimum | Maximum |
|---|--------------------------|--------------|
| Volume (Volumen) | 32178300 mm ³ | |
| Mass (Masa) | 71,618 kg | |
| Von Mises Stress (esfuerzo combinado) | 0 MPa | 519,412 MPa |
| 1st Principal Stress (Esfuerzo principal) | -155,429 MPa | 385,051 MPa |
| 3rd Principal Stress | -447,285 MPa | 119,067 MPa |
| Displacement (Desplazamiento) | 0 mm | 7,82229 mm |
| Safety Factor (Factor de servicio) | 0,398528 ul | 15 ul |
| Stress XX (esfuerzo XX) | -173,117 MPa | 132,156 MPa |
| Stress XY (esfuerzo XY) | -169,458 MPa | 135,363 MPa |
| Stress XZ (esfuerzo XZ) | -150,678 MPa | 168,387 MPa |
| Stress YY (esfuerzo YY) | -371,002 MPa | 373,986 MPa |
| Stress YZ (esfuerzo YZ) | -169,996 MPa | 192,401 MPa |
| Stress ZZ (esfuerzo ZZ) | -333,428 MPa | 178,035 MPa |
| X Displacement (Desplazamiento X) | -0,0758961 mm | 0,0730835 mm |
| Y Displacement (Desplazamiento Y) | -7,82216 mm | 0,225358 mm |
| Z Displacement (Desplazamiento z) | -1,48731 mm | 1,48185 mm |

En la tabla 4 podemos observar que de deflexión en Z = 1.48, considerando que la luz existente en los dos soportes de la viga es de 2.3m, siendo baja.

Resultados y discusión

Para verificar la rentabilidad se calcularon los ingresos y costos generados para la implementación de dos alternativas una para la producción de plástico reciclado (*pellets*) y otra para madera plástica.

Figura 5
Planta de reciclado de plástico

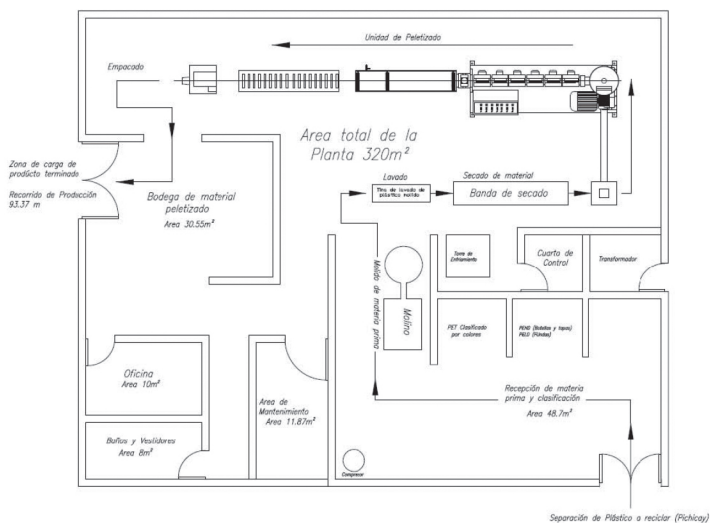


Tabla 5
Resultados del análisis financiero (costo unitario por kilo)

| Empresa | Costo unitario por kilo De material reciclado | Utilidad | Estado del material comercializado |
|-----------------|--|----------|---------------------------------------|
| Peletizado | \$0.48 | 50% | Peletizado |
| Madera Plástica | \$0.49 | 50% | Tablones |
| ARUC | \$0.60 | 50% | Separado y compactado |

Si el material reciclado se comercializara a 0.60 USD el kilo, al mismo valor que comercializa el material reciclado y molido sin peletizar obtenemos:

Tabla 6
Análisis financiero (utilidad neta anual)

| Empresa | Costo unitario neto | Ganancia / Kg | Cantidad a producir Kg / año | Utilidad anual neta |
|-----------------|---------------------|---------------|---------------------------------|---------------------|
| Peletizado | \$0.60 | 0.28 | 372000 | 104160 |
| Madera Plástica | \$0.60 | 0.27 | 372000 | 100440 |
| ARUC | \$0.60 | 0.30 | 260000 | 78000 |

Conclusiones

Con el trabajo realizado podemos concluir que es posible eliminar o mitigar la contaminación producida por desperdicios sólidos como el PET, aplicando la ciencia y tecnología para poder procesar dicho material, lo cual favorece a diferentes sectores industriales del país desde un punto de vista ambiental como de la construcción de nuevos productos obtenidos del reciclado que presentan mejores propiedades que los tradicionales como la madera.

El proyecto de la implementación de una planta para el reciclado de plástico en la ciudad de Cuenca, es viable, ya que en base a los cálculos realizados se puede observar que la misma tendería a tener un ingreso satisfactorio con la venta del plástico reciclado o de madera plástica, además es factible técnicamente.

Referencias

- Arandez, J., Bilbao, J. y López, D.
2000 "Reciclado de residuos plásticos". *Revista Iberoamericana de Polímeros*. Vol. 5, marzo de 2000.
- Beer, F. Pet al.
2007 *Mecánica de materiales*. México: McGraw-Hill.
- Beltrán, M. y Marcilla, A.
s.f. "Tecnología de los polímeros".
- Berho, M. y Pisoni, M.
2007 "Recomendaciones para reciclar. Metodología-diseño industrial". FADU-UBA, noviembre.

EMAC

2003 “Ordenanza que regula la gestión integral de los desechos y residuos sólidos en el cantón Cuenca”.

Fernández Alcalá, J.E.

s.f. “Diseño. Mejora ambiental de producto”. IHOBE: Sociedad Pública de Gestión Ambiental.

García, M. y Salgado, F.

s.f. *Alternativas de comercialización*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires-Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo.

Techobanoglous-Hilary, G.

1998 *Gestión integral de residuos sólidos*. Vol. 2. México: McGraw-Hill.