

DISEÑO DE UN SISTEMA PARA CAMBIO DE FILTROS EN EXTRUSIÓN DE TERMOPLÁSTICOS RECICLADOS

Jorge Alberto Medina Perilla*

Miguel Angel Molano Niampira**

RESUMEN

En las principales ciudades de Colombia, así como en muchas ciudades de la región, los desechos plásticos dispuestos en “rellenos sanitarios” representan, después de la materia orgánica, el residuo sólido más representativo en este tipo de disposición. Los plásticos no cuentan con cadenas de reciclaje desarrolladas como si las tienen los desechos del papel, el cartón, los vidrios y la chatarra metálica. Las tecnologías de reciclaje para abordar esta problemática son generalmente sobredimensionadas y de elevados costos cuando se trata de importarlas. El trabajo aquí presentado es una clara demostración de las oportunidades que la nación puede abordar cuando se trata de apropiar y adaptar tecnología para el reciclaje mecánico de plásticos. Se presenta en resumen algunas de las consideraciones de diseño más relevantes para un sistema de cambios de filtros para líneas de extrusión, accesorio sensiblemente importante para el procesamiento de materiales posconsumo, contrastado con un análisis de las posibilidades económicas de su producción en el país.

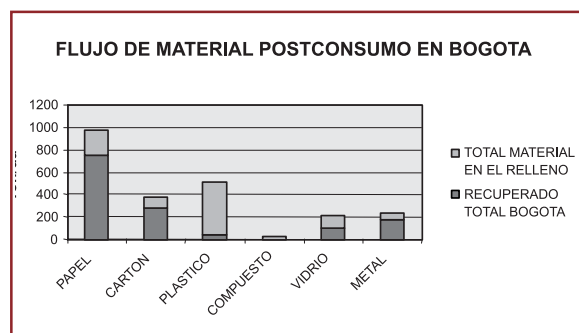
1. ANTECEDENTES

De las 5190 Ton/día de residuos que se disponen en el relleno sanitario de Doña Juana en Bogotá, cerca de un 11% corresponden a plásticos y un 10% a elementos higiénicos que mayoritariamente se clasifican también como polímeros. Los plásticos se convierten así en el segundo residuo sólido más preponderante después de la materia orgánica en las principales ciudades de Colombia y la región.

Como puede apreciarse de la Figura 1 para el caso de Bogotá, los plásticos no cuentan con cadenas de reciclaje desarrolladas como si las tienen los desechos del papel, el cartón, los vidrios y la chatarra metálica.

En el mundo del manejo de este tipo de residuos se compite entre el aprovechamiento energético, el reciclaje químico y el reciclaje mecá-

Figura 1. Comparación entre los principales materiales dispuestos en el relleno sanitario de Doña Juana y los reciclados en Bogotá, D.C., 2000 [1]



* Profesor Asociado, Director del Centro de Investigación en Procesamiento de Polímeros, CIPP, Universidad de los Andes, Bogotá D.C., cipp@uniandes.edu.co

** Ingeniero Investigador del Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de los Andes, Bogotá, D.C., jmedina@uniandes.edu.co

nico. Por su naturaleza se ha demostrado que este último es el que menor complejidad implica para su adopción [2].

Las tecnologías de reciclaje mecánico para abordar esta problemática son generalmente sobredimensionadas y de elevados costos cuando se trata de importarlas.

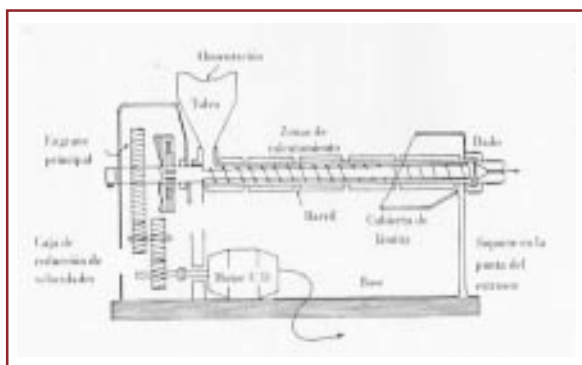
El trabajo aquí documentado es una demostración de cómo una oportunidad de desarrollo y apropiación tecnológica es factible en nuestro país para una problemática ambiental que exige solución y que perfectamente puede ser liderada por nuevos profesionales.

2. PORTAFOLIOS EN SISTEMAS DE EXTRUSIÓN

El proceso de extrusión es uno de los más importantes en la industria de transformación de plásticos. Entre los productos que se pueden manufacturar se encuentran: tubería, manguera, fibras, película y un número ilimitado de perfiles.

La parte principal de una extrusora es un husillo o tornillo que gira dentro de un barril o cilindro, y es capaz de bombear un material polimérico a través del dado con el perfil deseado, Figura 2.

En general los sistemas de extrusión cuentan con un portafiltros, también conocido como “breaker plate”, entre el final del husillo y el dado. Este usualmente es un disco con perforaciones, que cumple las siguientes funciones (ver Figura 3):



- Sirve de soporte para las mallas filtrantes y la detención de impurezas o de material no plastificado, Figura 4.
- Transforma el fluido rotacional del plástico fundido, proveniente de la zona del husillo, en flujo lineal, paralelo al eje del mismo.
- Regula las caídas de presión dentro de los límites permisibles para asegurar la homogeneidad del flujo reológico.

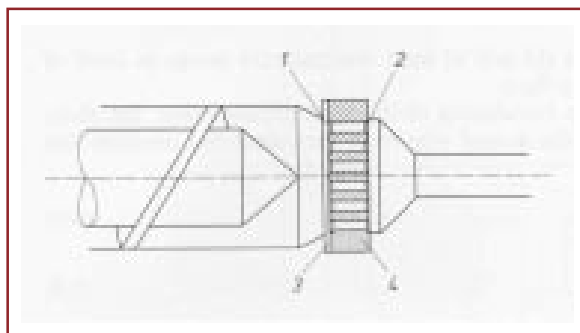


Figura 3. Conjunto portafiltros: 1. Entrada, 2. Salida, 3. Mallas filtrantes, 4. Placa homogenizadora [4].

La operación de equipos convencionales de extrusión obliga a una parada de limpieza y cambio de mallas para un número de horas de operación. Sin embargo, en el caso de materiales reciclados este dispositivo se hace sensiblemente importante dada la mayor presencia de contaminantes no extraídos en la etapa de limpieza de los materiales. Se requiere un proceso automatizado para evitar las continuas paradas de la línea de proceso.

Existen muchos tipos de cambiadores de mallas, pero todos se pueden clasificar dentro de dos categorías principales: discontinuos y continuos.

Los cambiadores de filtros discontinuos tienen dos conjuntos de mallas idénticas, uno de ellos actuando directamente sobre el flujo polimérico y otro en reserva para reemplazo del que está operando. Cuando el primer conjunto de

Figura 2. Esquema de una extrusora convencional [3]

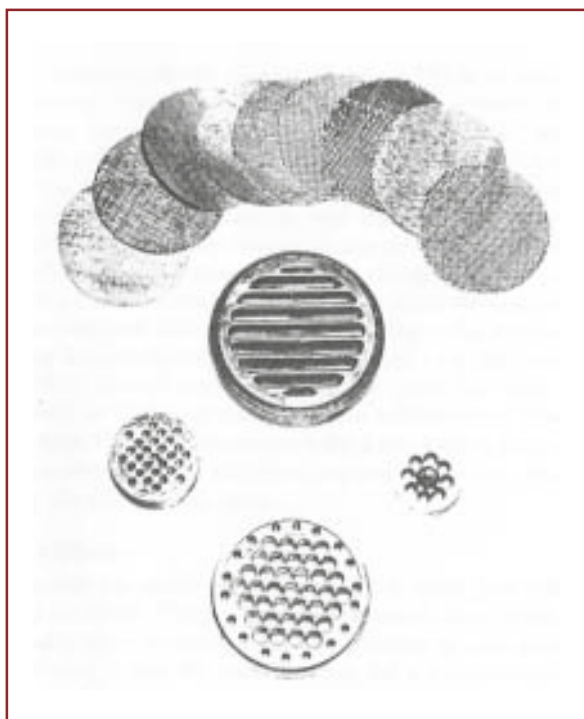


Figura 4. Mallas y diferentes tipos de placas homogenizadoras [4]

mallas se comienza a tapar por la acción de los contaminantes es introducido el segundo en el canal del flujo. Al mismo tiempo el conjunto de mallas usado es retirado y remplazado por uno nuevo o en su defecto es limpiado.

En esta categoría hay dos grupos principales: el operado manualmente, el cual requiere que la línea de trabajo sea apagada para llevar a cabo el cambio de mallas y el de tipo hidráulico, en donde el cambio se puede realizar mientras la línea sigue operando pero con una interrupción momentánea del flujo (ver Figura 5). El problema de esta pequeña perturbación es la variación por instantes de las condiciones de operación del proceso.

Los cambiadores de filtros continuos se mueven de manera gradual a través del flujo de plástico fundido, evitando los cambios mencionados anteriormente. Al igual que en la categoría anterior hay dos tipos de diseños principalmente: el primero, introducido en los sesentas por la empresa High-Tecnology Corp., el cual cons-

ta de una larga malla que se mueve de manera gradual sobre la cara de una placa homogenizadora estática. El segundo diseño es un cambiador de filtros rotatorio, que cuenta con un conjunto de mallas alrededor de un plato, el cual rota colocando el nuevo conjunto de filtros en el canal del flujo cuando es necesario.

3. METODOLOGÍA

El diseño de un cambiador de filtros cualquiera que sea su tipo requiere el análisis desde diferentes aspectos. En este trabajo se presentan tres de estos:

- Funcional.
- Reológico.
- Mecánico.

Desde el punto de vista funcional se estudian las diferentes posiciones que se asumen durante el cambio de filtros y su influencia en la interrupción de la operación de extrusión.

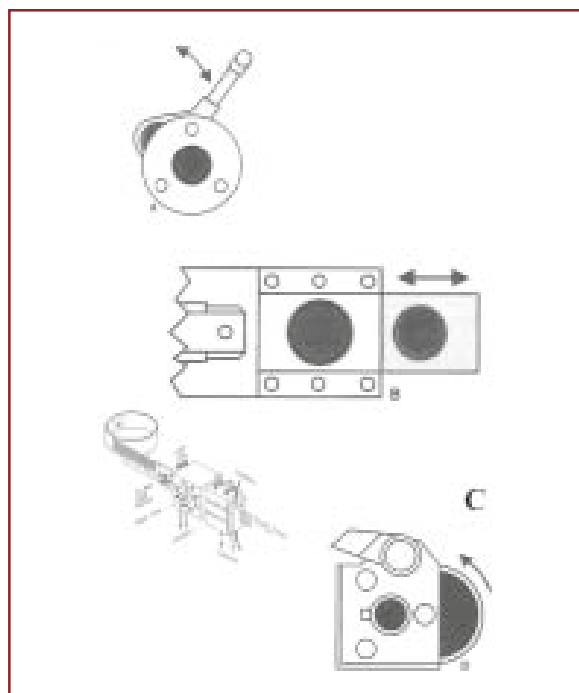


Figura 5. Diferentes tipos de cambiadores de filtros: A) Manual, B) Hidráulico, C) Malla continua y D) Rotatorio [5]

El análisis reológico esta relacionado con el comportamiento del material que se está procesando en el sistema de extrusión. Para ello se realizan validaciones experimentales utilizando equipos y materiales disponibles en el CIPP (Centro de Investigación en Procesamiento de Polímeros de la Universidad de los Andes):

- Extrusora MPM Model No. SeV-150-24
- Poliestireno Styron 421 (Dow Chemical)

Conocer los diferentes esfuerzos a los que va estar sometido el cambiador de filtros es el objetivo del análisis mecánico. La forma más eficiente de obtener el valor aproximado de dichos esfuerzos es por medio de un análisis elástico utilizando software especializado. En este caso se empleó el paquete **Algor 13** cuyo funcionamiento se basa en la teoría matemática de elementos finitos.

4. ANÁLISIS FUNCIONAL

Como se había dicho anteriormente el cambiador de filtros hidráulico tiene la desventaja de interrumpir momentáneamente el flujo de plástico. Sin embargo, al añadir nuevas posiciones al ciclo que permite el cambio de filtros esta desventaja se puede contrarrestar y se aprovecha la sencillez de su funcionamiento comparado con los otros tipos de cambiadores continuos.

En la Figura 6 se observan las diferentes posiciones que permiten que no exista la interrupción del flujo. Cada posición es analizada detalladamente en la Tabla 1.

5. ANÁLISIS REOLÓGICO

Con el fin de indicar cual es el comportamiento típico del plástico que se esta procesando cuando se realizan los diferentes movimientos para el cambio de filtros se construyeron dos prototipos que simulan las posiciones 2 ó 6 y 4 ú 8 del ciclo completo que se muestra en la Figura 6. Estos se pueden ver en la Figura 7 y representan casos críticos del flujo reológico.

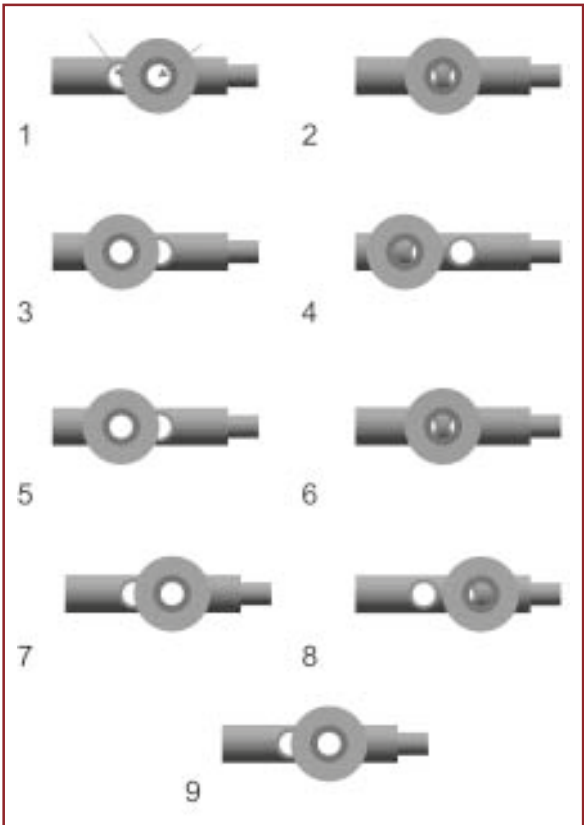


Figura 6. *Diversas posiciones durante el cambio de filtros*

Tabla 1. *Descripción de cada posición durante el cambio de filtros*

Posición referente a la Figura 6	Explicación
Posición 1	El filtro A esta trabajando normalmente, hasta que la presión se sube por la acumulación de impurezas, entonces es necesario comenzar el cambio de filtros.
Posición 2	Con el fin de no alterar las condiciones de proceso, se permite que el flujo de plástico entre a la cavidad donde esta alojado el filtro B. El tiempo que dura en esta posición se encuentra directamente relacionado con el flujo másico que es proporcional a la velocidad con que gira el tornillo de la extrusora.

Posición 3	El filtro B comienza a desempeñar su trabajo de filtrado.
Posición 4	Como es necesario hacer una limpieza o reemplazo del filtro A, el soporte se desplaza hasta esta posición por el tiempo que lleve la realización de esta tarea.
Posición 5	Regresa a la posición donde el filtro B trabaja normalmente hasta que la presión aumente.
Posición 6	Al llegar a la posición 5 comienza la fase final del ciclo que es similar a la descrita hasta ahora, y donde la única diferencia es el filtro que se debe reemplazar.
Posición 7	
Posición 8	
Posición 9	

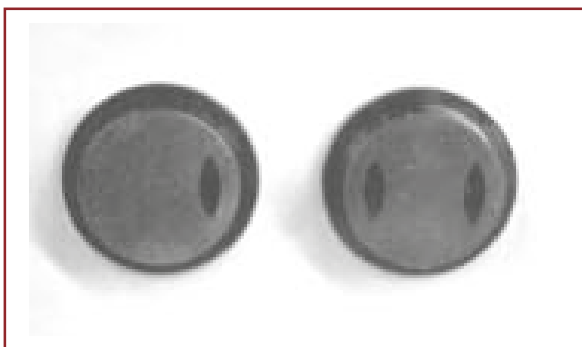


Figura 7. Prototipos para simular el cambio de filtros

La geometría exterior de los prototipos tiene el objetivo de poderlos montar en la extrusora MPM en lugar de la placa homogenizadora y así observar cuales son los cambios de presión que se generan por forzar el material a fluir a través de los espacios que se forman en las posiciones especificadas.

El montaje experimental en la extrusora se ilustra en la Figura 8. Se observa el transductor de presión con el que se miden las presiones antes del paso de material por las placas prototipo.



Figura 8. Prototipo montado en la extrusora MPM

Al graficar los datos de presión como una función de las posiciones que representan los prototipos en el ciclo del cambio de filtros se puede observar como las presiones que se generan por el movimiento del soporte son menores a los valores alcanzados cuando se está utilizando la placa homogenizadora. Es decir, se logran presiones más altas por efectos de filtración en estado estable que por el mismo movimiento que se realiza para hacer el cambio.

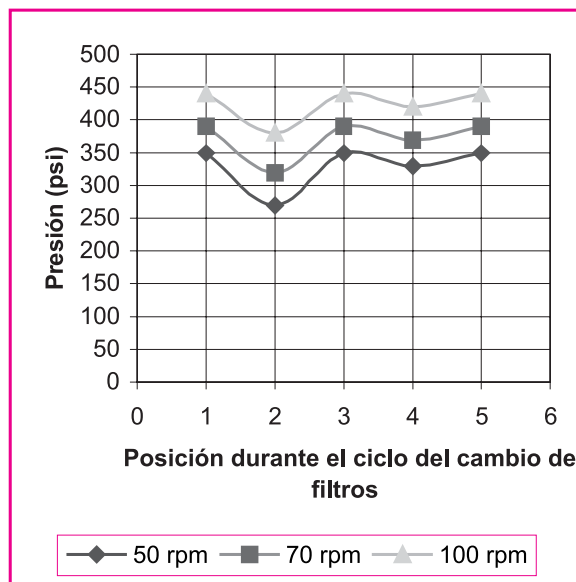


Figura 9. Curva de presión para la primera parte del ciclo de cambio de filtros

Analizando la Figura 9 es claro que cuando se aumenta la velocidad del husillo las presiones también suben, este comportamiento se debe simplemente a que en una misma unidad de tiempo y espacio se esta tratando de hacer fluir más material.

La explicación de porque la presión es menor en las posiciones críticas que cuando se alcanzan las posiciones de estado estable, esta sustentada en el comportamiento pseudoplástico del material. Aunque hay más área* para que fluya el plástico respecto al área disponible en las posiciones 2 ó 6 y 4 ú 8 del ciclo de cambio, la velocidad de deformación del polímero es mayor cuando se filtra en las posiciones críticas.

El comportamiento pseudoplástico que presentan materiales como el poliestireno, muestran como a una mayor velocidad de deformación la viscosidad disminuye, lo que permite que el plástico pueda fluir más fácilmente.

6. ANÁLISIS MECÁNICO

El análisis de los esfuerzos mecánicos depende de la geometría del cambiador de filtros y su tamaño. El cambiador analizado posee un área de filtración generada por una cavidad diametral de 2 pulgadas, está compuesto de las partes que se pueden observar en la Figura 10 y sus planos se encuentran en [7].

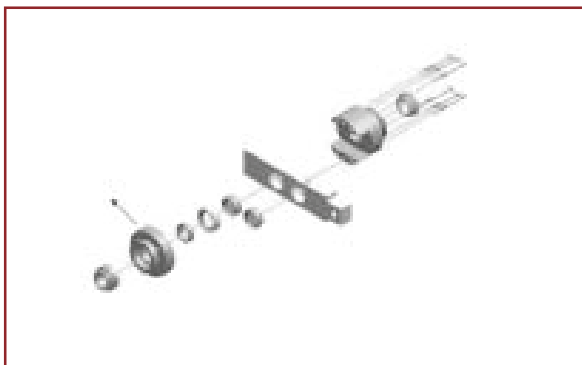


Figura 10. Diferentes partes del cambiador de filtros propuesto

El material utilizado en la simulación fue AISI 420 modificado y la condición de carga una presión uniforme de 6000psi (presión máxima que se puede alcanzar en la extrusora MPM disponible en el CIPP). Los resultados se pueden observar en la Figura 10.



Figura 10. Esfuerzos de Von Mises (en psi), para la geometría del cambiador de filtros

El esfuerzo más alto (25800psi) se presenta sobre la cara interna de los acoples (piezas que permiten el montaje del cambiador con la extrusora y el dado). Este resultado es lógico porque estas son las partes de menor tamaño y se encuentran en contacto directo con el flujo de plástico.

En este tipo de análisis es muy importante seleccionar una finura del mallado tal que se logre un equilibrio entre los tiempos de simulación y la confiabilidad de los resultados.

Para evaluar la confiabilidad se pueden realizar comparaciones para ciertas geometrías en-

* El área total de filtración es la suma del área transversal de cada uno de los agujeros del sistema.

tre los resultados que se obtienen por medio de correlaciones teóricas con los conseguidos a través de la simulación.

En el caso de los acoples la evaluación se realizó utilizando la teoría de esfuerzos para cilindros obteniéndose una diferencia conservadora del 12%.

7. EVALUACIÓN ECONÓMICA

El costo total de un sistema de filtración como el analizado es el resultado de la suma de los valores de:

- el cambiador de filtros
- el sistema hidráulico y su respectivo sistema de control.

El cambiador tiene un precio que varía según el material que se seleccione para su construcción y un costo asociado al diseño. Analizando los esfuerzos mecánicos y la versatilidad que se requiere del equipo en el manejo de diferentes plásticos incluyendo el PVC, el material que mejor se adapta dadas las disposiciones comerciales es un AISI 420 modificado (ASSAB STAVAX, BOEHLER M-310). Los materiales y sus respectivos maquinados cuestan \$6'500.000.

La Tabla 2 muestra un cuadro comparativo entre el costo de un sistema de filtración que puede ser desarrollado en el país contra uno equivalente, disponible comercialmente y que cumple las mismas funciones.

Tabla 2. Análisis económico Costo sistema de filtración propuesto

	Costo sistema de filtración propuesto		Costo sistema de filtración Dynisco*	
Cambiador de filtros	Diseñado en el proyecto	\$10'000,000	Modelo EC25	\$40'540,000
Sistema Hidráulico	HP 1.5	\$7'500,000	Unidad de Poder CHU-25	\$5'520,000
Sistema de control		\$2'500,000		\$2'500,000
Total		\$20'000,000		\$48'560,000

*No considera gastos de importación

Esta comparación hace evidentes las ventajas económicas que se logran en el desarrollo de este tipo de maquinaria por parte del sector productivo nacional, incluso cuando su manufactura se realice en pequeña escala.

8. CONCLUSIONES

Los sistemas para el manejo y procesamiento de materiales poliméricos posconsumo requieren de su competitividad para facilitar su introducción en el entramado industrial del país y sus vecinos. En Colombia existe la suficiencia tecnológica para abordar una empresa de estas características, con el margen económico para competir con las soluciones venidas del exterior, no necesariamente apropiadas alas necesidades locales y sobredimensionadas en la mayoría de las veces. Estas características y el advenimiento de medidas que estimulen el reciclaje de estos materiales se convierten en oportunidades para jóvenes profesionales en ingeniería.

9. REFERENCIAS

[1]. UNIANDES-DAMA-PNUD. Estudio de alternativas para dar un manejo adecuado a la utilización de empaques y envases y para estimular el aprovechamiento de sus residuos en Bogotá, D.C., contrato 0990795 del 2000.

[2]. TCHOBANOGLOUS,G., THEISEN, H. y VIGIL, S. Integrated Solid Waste Management. McGraw –Hill, 1993.

[3]. FISHER, E.G. and WHITFIELD, E.C. Extrusion of plastics, Newnes Butterworths, 1976.

[4]. MICHAELI, W. Extrusion dies for plastics and rubber, 2ª ed. Hanser Pubs, 1992.

[5]. GRIFF,A.L. Plastics extrusion technology, 2ª Ed. Van Nostran Reinhold, 1968.

[6]. PAVIA, Michael. Screen changers adapt to a more demanding era. Modern Plastics, New York, Aug 1992. Vol 69, Iss 8; pg 56, 3 pgs.

[7]. MOLANO, Miguel. Diseño de un cambiador de filtros para sistemas de extrusión. Bogotá D.C., 2002. Proyecto para optar al título de Ingeniero Mecánico e Ingeniero Químico. Universidad de los Andes.