

# **Evaluación de Propiedades Reológicas y Mecánicas de Polietilenos Reciclados en la Ciudad de Guayaquil.**

Juan Fernando Bravo Collahuazo  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción.  
Escuela Superior Politécnica del Litoral  
Campus "Gustavo Galindo V." Km. 30.5 Vía perimetral, Guayaquil, Ecuador  
fbravo@espol.edu.ec

## **Resumen.**

El plástico es difícilmente biodegradable y por esta razón se convierte en un producto altamente contaminante. El reciclaje de plásticos es una práctica muy útil para reducir los desperdicios sólidos, tanto para la protección del medio ambiente como para la conservación de los recursos naturales. Es por ello que la investigación para lograr la reutilización eficiente de plásticos debe ser una prioridad en nuestro medio, por el aspecto económico y las mejoras ambientales que representa.

En este artículo se expone los resultados del análisis de ensayos tales como MFI, mención mecánica e impacto charpy de polietileno de alta densidad (PEAD) reciclado post-consumo, el cuál se dividió en dos grupos, el primer grupo se mezcló con aditivo-antioxidante MB AOX CYANOX 2777 y el segundo grupo quedó sin este aditivo, después de este proceso el material fue sometido a cinco ciclos de extrusión continuos. Posteriormente se compara la evolución de los resultados de las pruebas para evaluar la acción del antioxidante con respecto a la degradación termo-mecánica que afecta a este material durante el reproceso.

Palabras Claves: Plástico, reciclaje, polietileno, antioxidante, MFI, tensión mecánica, impacto charpy.

## **Abstract**

The plastic is not readily biodegradable and therefore becomes a highly polluting product. The recycling of plastics is a very useful practice for reducing solid waste, for environmental protection and the conservation of natural resources. That is why the research to achieve the efficient recycling of plastics must be a priority in our environment, for the economic and environmental improvements it represents.

This article presents the results of trials such as MFI, Charpy impact and mechanical stress of high density polyethylene (HDPE) post-consumer recycling, which was divided into two groups, the first group were mixed with anti-additive AOX CYANOX MB 2777 and the second group was left without this additive, after this process the material was subjected to five cycles of continuous extrusion. Subsequently we compare the performance of tests to evaluate the antioxidant action with respect to the thermo-mechanical degradation affecting this material during reprocessing.

## 1. Introducción.

Las propiedades de las resinas de polietileno se deben principalmente, a tres propiedades moleculares básicas: densidad, peso molecular promedio y distribución del peso molecular. Estas propiedades básicas a su vez dependen del tamaño, estructura y uniformidad de la molécula de polietileno, algunas de las propiedades que hacen del polietileno una materia prima tan conveniente para miles de artículos manufacturados son, entre otras: poco peso, flexibilidad, tenacidad, alta resistencia química y propiedades eléctricas sobresalientes.

El propósito de este artículo es evaluar el deterioro de las propiedades reológicas y mecánicas a lo largo de varios ciclos de extrusión de PEAD reciclado post consumo para así poder comparar los diferentes resultados de los ensayos realizados utilizando el antioxidante MB AOX 2777.

## 2. Metodología de desarrollo.

Para el presente proyecto se realizarán cinco ciclos de extrusión con aditivo y ciclo sin aditivo. En cada ciclo se toma una muestra las cuales serán llevadas a los ensayos y a su posterior análisis.

Para determinar la variación de las propiedades mecánicas y reológicas en los distintos ciclos de extrusión se realizó dos tipos de mezclas.

- 10 Kg. de PEAD reciclado post-consumo.
- 10 Kg. de PEAD reciclado post-consumo + 1.5% de antioxidante MB AOX CYANOX 2777.

Luego de adquirir el material PEAD reciclado, se realizó la limpieza-separación de las impurezas (plásticos más densos que el agua, polvo, basura), colocándolo en tinas con agua para la respectiva selección.



Figura 1. Muestra del antioxidante MB AOX.



Figura 2. Salida de material de la extrusora.

Al momento de salir el material procesado (fig 2) se debe pesar 39 - 41 gramos e introducir el producto en la cavidad de la prensa, se procede a elevar la sección hembra de la prensa, hasta cuando la gata hidráulica indique una presión de 200 Psi.



Figura 3. Muestra de PEAD en la prensa.



Figura 4. Probetas para ensayo.

Para realizar todos los ensayos propuestos se elaboraron 3 placas de cada mezcla, 30 placas en total para los ensayos y pruebas a realizar.

## 3. Análisis de índice de Fluidéz.

El aumento del índice de fluidez conforme se realiza los ciclos de extrusión del PEAD reciclado se origina debido a que se cortan las cadenas poliméricas

aumentando la degradación termo-mecánica por lo que aumenta su fluidez.

**Tabla 1.** Resultados promedios de índice de fluidez realizada a PEAD reciclado con aditivo.

Ciclo	Densidad (g/cc)	MFI (g/10min)	VISCOSIDAD (Pa-sec)	CIZALLADURA (/sec)	índice de MFI
1	0,7705	0,3535	23046,03	0,85	100
2	0,7694	0,366473	19641,08	0,998	103,67
3	0,7585	0,373119	19347,38	1,013	105,55
4	0,7532	0,38651	19336,5	1,015	1069,33
5	0,7524	0,3956	17934	1,093	111,9

**Tabla 2.** Resultados promedios de índice de fluidez realizado a PEAD reciclado sin aditivo.

Ciclo	Densidad (g/cc)	MFI (g/10min)	VISCOSIDAD (Pa-sec)	CIZALLADURA (/sec)	índice de MFI
1	0,7794	0,518	15956,5	1,23	100
2	0,7719	0,5731	15155,73	1,29	110,637
3	0,7685	0,5874	15070,6	1,3	113,398
4	0,7614	0,5981	14509	1,35	115,463
5	0,7572	0,6121	14427,13	1,38	118,166

En las tablas de resultados se observa que mientras aumenta el MFI disminuye la viscosidad, al igual que la densidad, por lo que se puede afirmar que el aumento del índice de fluidez en el reciclado en cascada es un índice de la degradación del material.

#### 4. Análisis de resistencia al impacto.

La resistencia al impacto mide la capacidad del material para soportar choque. En la tabla 3 se observa los valores de la energía necesaria para lograr la rotura de la muestra, se destaca la disminución de dicha energía conforme avanzan los ciclos de extrusión.

**Tabla 3.** Resultados promedios de ensayo de impacto realizado al PEAD reciclado con aditivo.

CICLO	Energía de corte (J)	Fuerza de impacto (J/m)	índice de energía de corte	Tipo de Corte
1	0,3	85,35	100	B
2	0,2845	80,1	94,89	B
3	0,281	77,92	93,72	B
4	0,277	74,38	92,38	B
5	0,2674	72,18	89,18	B

**Tabla 4.** Resultados promedios de ensayo de impacto realizado a PEAD reciclado sin aditivo.

CICLO	Energía de corte (J)	Fuerza de impacto (j/m)	índice de energía de corte	Tipo de Corte
1	0,268	78,37	100	B
2	0,238	73,09	88,57	B
3	0,226	71,53	84,07	B
4	0,217	69,88	80,87	B
5	0,194	65,09	72,3	B

Se observa que se mantiene la tendencia a disminuir de la energía de corte a pesar del antioxidante. La relación entre el MFI y la energía de corte se manifiesta en proporción inversa, mientras el MFI aumenta la energía de corte disminuye.

Claramente la disminución de la energía de corte del material con aditivo es en menor proporción respecto a las muestras de material sin aditivo.

#### 5. Análisis de tensión y módulo de elasticidad.

De los resultados obtenidos del ensayo, se deduce que el comportamiento de los materiales es cercano a dúctil, ya que se puede distinguir una zona de comportamiento elástico, una vez que se pasa el límite elástico continúa una deformación plástica que finaliza con la rotura del material, como se refleja en las tablas siguientes.

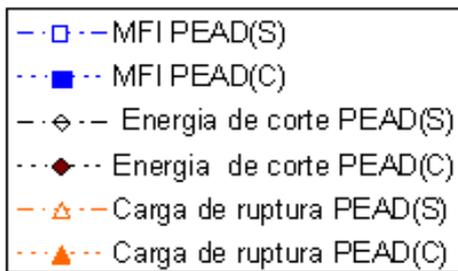
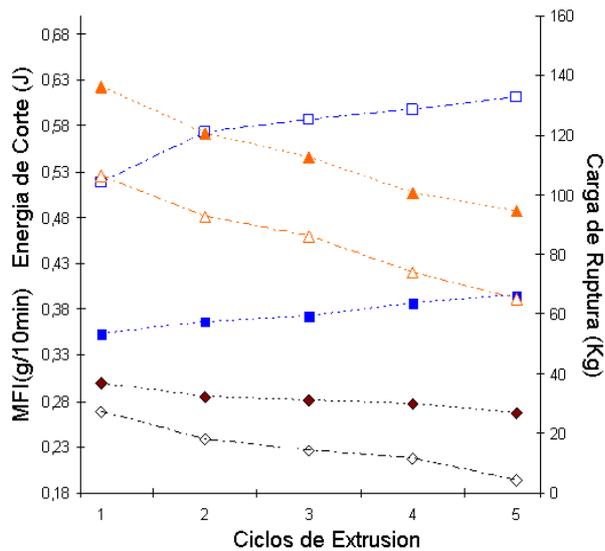
**Tabla 5.** Resultados promedios de ensayos de tensión realizadas a muestras de PEAD reciclado sin aditivo.

Ciclo	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Esfuerzo máx. (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo de ruptura (Kg/cm <sup>2</sup> )	Límite elástico (Kg./Sq.cm)
SA1	13,15	3,08	292,62	263,12	292,62
SA2	13,51	3,18	200,90	215,77	200,90
SA3	13,26	3,15	224,86	213,33	224,86
SA4	13,35	3,09	228,30	199,06	228,30
SA5	13,34	3,15	197,10	171,94	197,10

**Tabla 6.** Resultados de promedios de ensayo de tensión realizadas a PEAD reciclado con aditivo.

Ciclo	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Esfuerzo max. (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo de ruptura (Kg/cm <sup>2</sup> )	Límite elástico (Kg/Sq. cm)
SA1	13,225	3,795	293,91846	271,10538	293,91846
SA2	12,215	3,205	290,716292	261,42236	290,716292
SA3	11,05	3,11	320,381106	282,29995	320,381106
SA4	11,46	3,1	307,752661	230,39985	307,752661
SA5	11,48	3,565	264,393559	188,77536	264,381731

A continuación se muestra todas las propiedades principales para tener una idea más clara de la evolución de los resultados conforme se desarrolla los ciclos de extrusión. Se mantiene la tendencia proporcional inversa del MFI respecto a la carga de ruptura y energía de corte, manteniéndose en un plano superior los resultados de las muestras con aditivo.



**Figura 5.** Comparación general de propiedades de tensión, impacto y MFI de PEAD reciclado con y sin aditivo.

## 6. Conclusiones.

Los principales problemas en el reciclaje de plásticos, se deben a la degradación sufrida por los materiales durante la vida útil y las deficientes operaciones de reciclaje, causando la incompatibilidad entre sus componentes al momento del reproceso del material, sumado a todo esto, la acción contaminante de oxígeno y a los rayos UV, lo que desencadena la degradación de polietileno.

La historia térmica de un plástico es una herramienta fundamental para asegurar la recuperación adecuada de los plásticos reciclados y los datos sobre la transformación química de los estabilizadores que utiliza. En el análisis de la degradación de PEAD reciclado, el MFI es un indicador para el control de calidad del material, el cual permite tener una medida cualitativa de la degradación termo-mecánica que sufren las muestras a medida que son re-procesadas.

En general en los cinco ciclos de extrusión se presenta para la energía de corte, carga de ruptura, mayores índices para las muestras con antioxidante respecto a las muestras sin antioxidante MB AOX por lo que en base a los resultados obtenidos se estima en general una mejora de 15% de las propiedades mecánicas de las muestras de PEAD con aditivo.

## 7. Referencia.

[1] “Termoplásticos” Consulta realizada en Octubre del 2008  
<http://www.textoscientificos.com/polimeros/polietileno>.

[2]. “Estructura de polietileno” consulta realizada en Octubre del 2008  
<http://www.textoscientificos.com/polimeros/peestructura>.

[3]. “Polietileno” consulta realizada en Octubre del 2008  
<http://en.wikipedia.org/wiki/polyetilene>.

[4]. “Polietileno” consulta realizada en Octubre del 2008 <http://Ppslc.ws/spanish/pe.htm>.

[5]. Propiedades Químicas consulta realizada en junio del 2008  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Cat%C3%A1lisis\\_bif%C3%A1sica](http://es.wikipedia.org/wiki/Cat%C3%A1lisis_bif%C3%A1sica)

[6]. “Propiedades de los polietilenos” consulta realizada en junio del 2008  
<http://www.textoscientificos.com/polimeros/propiedades>.

[7] “Relación de estructura” consulta realizada en junio del 2008  
<http://www.textoscientificos.com/polimeros/relacion>.

[8]. “Reciclaje de plásticos” consulta realizada en Agosto del 2008  
Revista de la asociación ecuatoriana de plásticos INTEGRA.

[9]. RIGAIL, A. “Aplicaciones del Melt flow Index (MFI) en a industria de procesamiento de plásticos (Octubre del 2006).

[10]. Manas Chanda Salil K. Roy, PLASTICS TECHNOLOGY HANDBOOK, Editorial Hard cover Pág. 84,85,86,87.

[11]. Handbook of plastics testing technology second edition (1998) vishu shah, a wiley interscience publication John wiley Pag. 50,51, 52,53,54.