Modelo lineal para estimar el índice de degradación a la procesabilidad del polipropileno reciclado debida a la adición de estabilizante

Linear model to estimate the degradation index on the processing of recycled polypropylene due to the addition of stabilizer

J. Vélez[1] E. De La Hoz[2]

Recibido 15 de julio de 2014, aceptado 26 de marzo de 2015
Received: July 15, 2014 Accepted: March 26, 2015

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, se presenta un modelo lineal para estimar el Índice de Degradación a la Procesabilidad (PDI, por sus siglas en inglés) del polipropileno a partir del reciclado de residuos industriales y residuos sólidos urbanos. Para lo anterior se hizo un diseño experimental con los dos tipos de residuo variando el aditivo estabilizante de 0,1% a 0,6% obteniendo en cada caso un Índice de Degradación a la Procesabilidad con lo cual se pudo construir el modelo lineal. Finalmente, se pudo establecer que la relación observada de las múltiples extrusiones y el Índice de Degradación a la Procesabilidad muestra que para el caso de los desechos industriales es menor comparado con los desechos de los rellenos sanitarios utilizando los mismos niveles de aditivos estabilizantes, e igualmente se observa que los niveles de aditivos requerido para optimizar el bloqueo de la degradación van desde 0,05% a 0,60%, siendo este último la concentración de aditivo óptima para minimizar el Índice de Degradación a la Procesabilidad.

Palabras clave: Polipropileno, residuos sólidos urbanos (RSU), desechos industriales, índice de degradación a la procesabilidad (PDI), aditivo estabilizante.

ABSTRACT

In the present research work, a lineal model to estimate the Processing Degradation Index (PDI) of polypropylene from recycled industrial waste and municipal solid waste is presented. According to the previous thing an experimental design was done with two types of residue changing the additive stabilizer from 0.1 % to 0.6 % and obtaining in every case a Processing Degradation Index with which it was possible to construct the linear model. Finally, it was established that the observed relationship of multiple extrusions and the processing degradation index shows that in the case of industrial waste is less compared to wastes from landfills using the same levels of stabilizing additives, and is also observed ranging from 0.05% to 0.60% levels of additives required to optimize the blocking of degradation with the latter being the optimal concentration of additive to minimize the Processing Degradation Index

Keywords: Polypropylene, municipal solid waste (MSW), industrial waste, processing degradation index (PDI), stabilizing additive.

[1] Universidad Tecnológica de Bolívar. Parque Industrial y Tecnológico Carlos Vélez Pombo, Km 1 Vía Turbaco. Cartagena de Indias, Colombia. E-mail: jorvel@jorgevelez.co
[2] Facultad de Ciencias Económicas. Programa Administración Industrial. Universidad de Cartagena. Piedra de Bolívar. Av. del Consulado Calle 30 Nº 48-152. Cartagena, Bolívar, Colombia. E-mail: edelahozg@unicartagena.edu.co

INTRODUCCIÓN

El reciclaje en el sector industrial del plástico de polipropileno cada vez gana mayor importancia en todos los procesos de transformación al que es sometido al final de su ciclo de vida, esto debido al gran crecimiento en la generación del material producto de su demanda y a la participación constante de los entes gubernamentales a nivel mundial ejerciendo control más estrictos en la regulación de los desechos sólidos urbanos que son potencialmente perjudiciales para el medio ambiente, lo que ha llevado a numerosas empresas a tratar de resolver los problemas que se generan en el reprocesamiento del plástico [1].

En el proceso transformación del polipropileno, la extrusión es un paso fundamental en casi todas las tecnologías de conversión, en este proceso el polímero se funde en las máquinas extrusoras mediante el sometimiento a esfuerzos y altas temperaturas lográndose una mezcla mecánica con la formación geometría deseada. Las altas temperaturas a la que es sometido el polipropileno en el proceso de extrusión es muy por encima de su punto de fusión, lo cual es requerido para poder lograr una buena fundición de la masa y así lograr una mezcla eficiente y de buena procesabilidad.

La alta temperatura, el gran esfuerzo mecánico y la presencia de trazas de oxígeno al que se somete el material en su extrusión, ocasionan un cambio brusco en su estructura molecular llevándolo a una relativa degradación por el rompimiento de las cadenas de manera que se ve afectado sus propiedades físicas y ópticas, obteniéndose una disminución de la calidad en el producto final [2-3].

Por otra parte, la recuperación de los desechos industriales o *scras* en la transformación del polipropileno y el reciclaje de los mismos desde los rellenos sanitarios al final de su ciclo, requiere del proceso de extrusión para lograr por un lado la homogeneidad del producto y por otro una eficiente incorporación del aditivo estabilizante requerido para reducir la degradación, causada por efecto de los esfuerzos al que es sometido en el caso de los desechos industriales; y la exposición de los rayos UV (Ultra Violeta) que ocasionan oxidación térmica, foto-degradación y la acción de microorganismos en el caso de los rellenos sanitarios [4].

En este sentido, uno de los métodos de mayor eficacia para la actualización o bloqueo de la degradación del polipropileno en el proceso de reciclaje, se puede lograr mediante la adición de aditivo estabilizador o antioxidante en concentraciones que dependen del grado de degradación del material antes de ser procesado, por ello se requiere conocer el nivel de degradación antes y después de ser extruido el material a través de técnicas de ensayo en laboratorio como lo son Elongación al Rotura, Tiempo de Inducción de la Oxidación (OIT, por sus siglas en inglés), cambio en el Índice de Amarillamiento y cambio en el Índice de Fluidez, siendo esta última la técnica de ensayo, la que mejor muestra el grado de reciclabilidad del polipropileno dependiendo de la concentración agregada de aditivo [4].

En la presente investigación, se utilizó el análisis de Índice de Fluidez para poder cuantificar el Índice de Degradación a la Procesabilidad (PDI por sus siglas en inglés) del material debido a múltiples re extrusiones [3], procesando a nivel piloto en laboratorio, y utilizando polipropileno reciclado de los desechos industriales y de los rellenos sanitarios, adicionando diferentes niveles de aditivos estabilizantes, en una mezcla de Pentaerythritol tetrakis (3-(3',5'-di-tert-butyl-4'-hydroxyphenyl) propi); Tris (2,4-di-tert-butylphenyl) phosphite) y Phosphorous trichloride, reaction products with 1,1'-biphenyl y 2,4-bis (1,1-dimethylethyl) phenol) en relación de 1 : 1 : 1 en una base de 0,04% CaSt y 0,04% Aluminate (Al (OH) 63-), (OC-6-11)-magnesium carbonate hydroxide (2:6:1:4)).

INDUSTRIA DEL PLÁSTICO

Uno de los mayores avances obtenidos por el hombre en la industrial es la creación de nuevos materiales como los plásticos, el cual fue impulsado su desarrollo por el resultado de la escases de materiales como el hule, que provenía de Asia y la seda que provenía de Japón, cuando estalló la segunda guerra mundial en 1939 [6].

El polipropileno es un material termoplástico que nació en 1954 y 10 años después se convirtió en uno de los principales plásticos mundiales por sus excelentes propiedades como la alta rigidez, su baja densidad, su alta transparencia, su alta resistencia al impacto, su gran capacidad de ser reciclado y su relativo bajo costo frente a otros plásticos, haciéndolo muy atractivo en el sector industrial [7].

Adicionalmente según IHS Chemical North American Propilene Study, se estima que la demanda del polipropileno que actualmente se ubica en 90 millones de toneladas anuales, crecerá a 130 millones, incursionando en amplios sectores industriales como la industria alimenticia, la industria de envases rígidos, la industria automotriz, de construcción, medica e higiene personal, agrícola y para el hogar entre otras, y en diseños de uso en su ciclo de vida de corto y largo periodo, convirtiéndolo a su vez en una fuente considerable de generación de desecho al final de su vida útil [7].

ADITIVACIÓN COMO MEJORA DE LA DEGRADACIÓN

El plástico de polipropileno reciclado no está exento de problemas irreversibles como los cambios estructurales y morfológicos que son inducidos mecano o químicamente durante el procesamiento, o el envejecimiento producido por calor o mediante la radiación UV durante su uso o en su estancia en los residuos sólidos urbanos [8]. Por otro lado, el nivel de la degradación del material plástico de polipropileno reciclado es influenciado por su historia de origen y también por el sistema base de estabilización particular utilizado. Se ha demostrado que en ocasiones la base del sistema de estabilización no es suficiente para impedir la degradación durante el reciclaje [9].

METODOLOGÍA

La presente investigación se enmarca en un análisis cuantitativo, descriptivo y propositivo sustentado en un diseño experimental.

El proceso experimental se desarrolló en el laboratorio de una empresa dedicada a la fabricación de resina de polipropileno ubicada en la ciudad de Cartagena, empresa productora con más de 24 años de experiencia. Se utilizaron dos tipos de muestras de polipropileno reciclado. La primera muestra proveniente de rellenos sanitarios previamente separada, lavada y molida a tamaño de 1 a 2 mm, identificándose como muestra A y la segunda proveniente de los desechos industriales de una empresa transformadora, previamente molida a tamaño de 1 a 2 mm e identificándose como muestra B.

En cada uno de los tipos de muestras A y B se realizaron siete (7) tratamientos (% Nivel de mezcla estabilizante), identificándose con el subíndice de 1 a 7 cada uno con 6 corridas. A cada uno de los tratamientos de A y B se le adicionó un nivel de la mezcla de aditivos antioxidante en concentraciones de 0 a 0,6 % con incrementos de 0,1% y a las cuales se les realizó seis (6) re-extrusiones, considerándose la primera re-extrusión como la extrusión cero (0), que para el caso del reciclado es indispensable realizar. Posterior a cada re-extrusión de cada una de las corridas se midió el índice de fluidez o MFI (Melt Flow Index) por sus siglas en inglés, de acuerdo a la norma ASTM D 1238 (2010) (método B) [5] tabulándose los resultados en las Tablas 1 y 2.

Posteriormente con los datos reportados para cada una de las corridas de A y B se calculó el Índice de Degradación a la Procesabilidad tabulándose en la Tabla 3.

Tabla 1. Muestra A. Resultados de Índice de Fluidez.

Tratamiento	**Nivel de mezcla Estabilizante %**	**MFI (dg/min.) después de cada extrusión a 260°C/600 rpm – husillo de 50 mm**					
		Ext. 0	Ext. 1	Ext. 2	Ext. 3	Ext. 4	Ext. 5
A1	0,0	8,03	15,20	24,05	34,15	44,83	55,23
A2	0,1	6,51	11,34	17,10	24,85	31,25	38,64
A3	0,2	5,66	7,77	12,06	15,89	21,06	25,31
A4	0,3	4,70	6,50	8,75	11,20	14,08	17,41
A5	0,4	4,30	4,95	7,20	8,34	11,15	13,45
A6	0,5	4,10	4,77	5,02	5,50	6,04	6,82
A7	0,6	3,95	4,50	5,03	5,02	5,22	5,70

Fuente: Resultado de la investigación.

Tabla 2. Muestra B. Resultados de Índice de Fluidez.

Tratamiento	Nivel de mezcla Estabilizante %	MFI (dg/min.) después de cada extrusión a 260°C/600 rpm – husillo de 50 mm					
		Ext. 0	Ext. 1	Ext. 2	Ext. 3	Ext. 4	Ext. 5
B1	0,0	12,10	21,10	28,20	37,45	44,20	53,70
B2	0,1	11,12	16,45	22,40	28,53	34,55	40,56
B3	0,2	9,53	13,40	17,66	22,50	26,12	31,22
B4	0,3	8,41	10,71	14,54	16,70	19,20	22,63
B5	0,4	7,73	9,85	11,00	12,87	14,23	16,60
B6	0,5	6,63	7,88	8,01	8,43	9,70	10,75
B7	0,6	5,88	5,96	6,13	7,53	8,11	8,45

Fuente: Resultado de la investigación.

Tabla 3. Nivel de mezcla estabilizante vs. PDI.

Nivel de Mezcla Estabilizante (%)	PDI Muestra A	PDI Muestra B
0,0	2,767	1,710
0,1	2,320	1,302
0,2	1,584	1,106
0,3	1,221	0,827
0,4	0,914	0,558
0,5	0,311	0,292
0,6	0,241	0,192

Fuente: Resultado de la investigación

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Con los resultados del proceso experimental, se realizó un análisis de regresión simple a fin de obtener un modelo lineal que describa la relación entre el PDI de cada una de las muestras A y B con la concentración de aditivo estabilizante.

Para efecto de establecer si existe una relación entre las variables del nivel de mezcla de aditivo estabilizante y el PDI de las muestras A y B, o en su defecto se consideran variables independientes, a continuación se describen las dos posibles hipótesis:

- Hipótesis Nula (Ho):
  Ho: El nivel de aditivo estabilizante no tiene un efecto significativo sobre el PDI de las muestras A y B.
- Hipótesis Alternativa (Ha):
  Ha: El nivel de aditivo estabilizante tiene un efecto significativo sobre el PDI de las muestras A y B.

A fin de determinar el estadístico para la hipótesis anterior, se realiza el análisis de regresión simple utilizando el software estadístico Statgraphics Centurion XV Versión 15.2.06, obteniéndose los siguientes de resultados para la muestra A con un nivel de significancia α de 0,05:

Resumen Regresión Simple – PDI Muestra A vs. Aditivo Estabilizante
Variable dependiente: PDI_A (Muestra A)
Variable independiente: Aditivo_Estab (%)
Lineal: Y = a + b*X
Coeficiente de Correlación = -0,9868
R-cuadrada = 97,37 %
Error estándar del est. = 0,1703
Error absoluto medio = 0,1304
Estadístico Durbin-Watson = 1,891 (P=0,2232)
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0,156

Previo al análisis de varianza se verificaron: el supuesto de independencia mediante el tadístico de Durbin-Watson que al tener un valor cercano a 2, se concluye que no existe autocorrelación, para el supuesto de normalidad se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk obteniéndose un p-valor = 0,356 con lo cual se concluye que hay evidencia estadística que indica que los errores siguen una distribución normal, el supuesto de igualdad de varianza se verificó mediante la prueba de Levene la cual verifica que los errores o residuales tienen varianzas homogéneas con un p-valor 0,254 y un nivel de significancia de 0,05 [10].

En el análisis de varianza del modelo se tiene un p-valor de 0,0000 el cual es menor que 0,05 con lo que se rechaza la hipótesis nula, demostrándose así

la veracidad de la hipótesis alternativa, es decir, la variable nivel de mezcla de aditivo estabilizante tiene un efecto significativo sobre el PDI de la Muestra, con un nivel de confianza del 95%. Ver Tabla 4

La ecuación (1) del modelo lineal ajustado que describe la relación entre PDI de la Muestra A (PDI_A) y la concentración de Aditivo Estabilizante (Adt) es:

$$PDI_A = 2{,}651 - 4{,}381 * Adt \qquad (1)$$

La ecuación (1) permite establecer la cantidad de aditivo estabilizante necesario para al alcanzar un nivel de PDI deseado en material reciclado proveniente de rellenos sanitarios.

En la Tabla 5 se muestra que los parámetros de la ecuación lineal son significativos.

El estadístico R-Cuadrado obtenido en el análisis nos indica la proporción de variación para la variable PDI_A con un valor de 97,37% y el coeficiente de correlación es igual a -0,9868, indicando una relación fuerte entre las variables, es decir, que la relación que hay entre la variable nivel de mezcla de aditivos estabilizante y el PDI de la muestra A es muy estrecha de manera lineal.

La Tabla 6 muestra las mejores predicciones para los valores de PDI_A usando el modelo ajustado, así como también muestra los intervalos de previsión del 95% para las nuevas observaciones y los intervalos de confianza del 95% para la media de varias observaciones.

Por otro lado, el análisis de regresión simple para la muestra B presentó los siguientes resultados:

Resumen Regresión Simple – PDI Muestra B vs. Aditivo Estabilizante
Variable dependiente: PDI_B (Muestra B)
Variable independiente: Adt (%)
Lineal: Y = a + b*X
Coeficiente de Correlación = -0,99
R-cuadrada = 98,49 %
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 98,18 %
Error estándar del est. = 0,075

Tabla 4. Análisis de Varianza PDI Mtra. A.

Fuente	**Suma de Cuadrados**	**Gl**	**Cuadrado Medio**	**Razón-F**	**Valor-P**
Modelo	5,373	1	5,373	185,17	0,0000
Residuo	0,1451	5	0,02902		
Total (Corr.)	5,518	6			

Fuente: Resultado de la investigación.

Tabla 5. Coeficientes PDI Mtra. A.

	Mínimos Cuadrados	**Estándar**	**Estadístico**	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	2,651	0,1161	22,84	0,0000
Pendiente	-4,381	0,3219	-13,61	0,0000

Fuente: Resultado de la investigación.

Tabla 6. Valores Predichos PDI Mtra. A.

	Predicciones	**95.00%**		**95.00%**	**Confianza**
		Límite	**Predicción**	**Límite**	
X	Y	Inferior	Superior	Inferior	Superior
0.0	2,651071	2,121188	3,180955	2,352698	2,949445
0.6	0,02264286	-0,5072406	0,5525263	-0,2757305	0,3210163

Fuente: Resultado de la investigación.

Error absoluto medio = 0,055
Estadístico Durbin-Watson = 1,861 (P=0,2096)
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0,260

Nuevamente, el Estadístico Durbin-Watson (1,861), un p-valor= 0,324 de la prueba de Shapiro-Wilk y un p-valor= 0,233 en la prueba de Levene verifican los supuestos independencia, normalidad y homoscedasticidad del modelo.

El análisis de varianza de la Tabla 7 muestra un valor P de 0,0000 en el modelo el cual es menor que el nivel de significancia usado (α= 0,05) con lo que se rechaza la hipótesis nula, demostrándose así la veracidad de la hipótesis alternativa, es decir, las variables Nivel de mezcla de aditivo estabilizante tiene un efecto significativo sobre el PDI de la Muestra B, con un nivel de confianza del 95%.

La ecuación (2) del modelo lineal ajustado para describir la relación entre PDI Muestra B (PDI_B) y la concentración de Aditivo Estabilizante es:

$$PDI_B = 1{,}618 - 2{,}544 * Adt \quad (2)$$

La ecuación (2) permite establecer la cantidad de aditivo estabilizante necesario para al alcanzar un nivel de PDI deseado en material reciclado proveniente de desechos industriales.

En la Tabla 8 se muestra que los parámetros de la ecuación lineal son significativos.

El estadístico R-Cuadrada obtenido en el análisis nos indica la proporción de variación para la variable PDI_B con un valor de 98,49% y el coeficiente de correlación es igual a -0,99, indicando una relación fuerte entre las variables, es decir, que la relación que hay entre la variable nivel de mezcla de aditivos estabilizante y el PDI de la muestra B es muy estrecha de manera lineal.

La Tabla 9 muestra las mejores predicciones para los valores de PDI_B usando el modelo ajustado, así como también muestra los intervalos de previsión del 95% para las nuevas observaciones y los intervalos de confianza del 95% para la media de varias observaciones.

Los intervalos de predicción y de confianza corresponden a las cotas internas y externas en la gráfica del modelo ajustado.

Tabla 7. Análisis de Varianza PDI Mtra. B

Fuente	**Suma de Cuadrados**	**Gl**	**Cuadrado Medio**	**Razón-F**	**Valor-P**
Modelo	1,811532	1	1,811532	325,42	0,0000
Residuo	0,02783386	5	0,005566771		
Total (Corr.)	1,839365	6			

Fuente: Resultado de la investigación.

Tabla 8. Coeficientes PDI Mtra. B

	Mínimos Cuadrados	**Estándar**	**Estadístico**	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	1,618357	0,05083869	31,83318	0,0000
Pendiente	-2,543571	0,1410012	-18,03937	0,0000

Fuente: Resultado de la investigación.

Tabla 9. Valores Predichos PDI Mtra. B

	Predicciones	**95,00%**		**95,00%**	**Confianza**
		Límite	**Predicción**	**Límite**	
X	Y	Inferior	Superior	Inferior	Superior
0.0	1,618357	1,386272	1,850442	1,487672	1,749043
0.6	0,09221429	-0,1398708	0,3242994	-0,03847109	0,2228997

Fuente: Resultado de la investigación.

Con el anterior análisis se puede concluir que el material de polipropileno reciclado proveniente de los rellenos sanitarios urbanos (RSU) Muestra A y el material de polipropileno reciclado provenientes de los desechos industriales provenientes de una empresa transformadora, Muestra B, tienen una relación lineal en el comportamiento del Índice de Degradación a la Procesabilidad (PDI) calculado a las 6 re-extrusiones y el nivel de aditivo estabilizante, con la diferencia que la pendiente obtenida del modelo lineal ajustado es mayor para la muestra provenientes de los rellenos sanitarios (RSU), comparado con la pendientes del modelo lineal ajustado para la muestra provenientes de los residuos industriales de una empresa transformadora, como se muestra en la Figura 1. Lo anterior muestra que el estabilizante tiene un mayor efecto sobre el PDI en el caso de que la muestra provenga de fuentes no industriales.

Lo anterior explica que el material proveniente de los RSU inicia el proceso de reciclaje con una mayor degradación causado por la oxidación térmica, la foto-degradación causada por la exposición a los rayos ultravioleta generados por el sol y a la acción de microbios propio de los rellenos sanitarios [3].

Obteniendo las ecuaciones de las muestras A y B del modelo ajustado se plantea de manera general la ecuación (3) con la que se puede determinar el PDI conociendo la concentración de aditivo estabilizante adicionado y la procedencia del polipropileno reciclado.

$$PDI = PDI_0 + 3{,}5 * Adt \qquad (3)$$

Donde:
PDI: Índice de Degradación a la procesabilidad
PDI_0: Índice de Degradación a la Procesabilidad al inicio del proceso de reciclaje
Adt.: Concentración de aditivo estabilizante.

Analizando los datos de la Figura 1 obtenidos en el PDI con los diferentes niveles de aditivos estabilizante se puede observar claramente que dependiendo de las condiciones iniciales del material se requerirá una concentración diferente de aditivo estabilizante para obtener el PDI indicado. Sin embargo, hay otras consideraciones a tener en cuenta al momento de extruir el polipropileno y son las características de la máquina extrusora y las condiciones de operación. Es importante señalar que Tochácek Jiri, Jancar Josef, Kalfus Jan and Hermanová Sona [2], en estudios similares demostraron que un equipo con doble husillo ejerce más trabajo mecánico que uno de un solo husillo, incrementándose la degradación para el primer caso comparado con el segundo, así como también demostraron que la temperatura de y velocidad de trabajo del proceso al aumentarse, generan una mayor degradación por efecto operacional, lo cual hay que tener presente en las características del producto final obtenido.

En la investigación se utilizó una extrusora mono-husillo de 50 mm de diámetro y las condiciones de operación para ambas muestras fue temperatura en

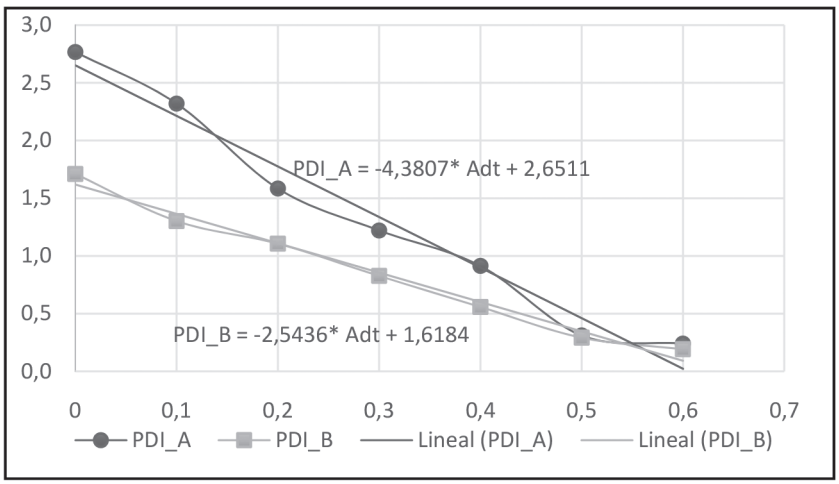

Figura 1. Gráfico del modelo ajustado Muestra. A y B.

el cabezal de 240 °C y velocidad de giro del husillo de 700 rpm.

Para las muestras provenientes de los rellenos sanitarios y de los residuos industriales, los datos estadísticos obtenidos en la Tabla 4 y Tabla 7 muestran que hay una relación lineal directa entre la concentración de aditivo estabilizante y el Índice de Degradación a la Procesabilidad, permitiéndose claramente la obtención de la ecuación de la línea de tendencia de la curva.

CONCLUSIONES

En este trabajo se utilizó dos tipos de polipropileno para reciclar, uno proveniente de los rellenos sanitarios o residuos sólidos urbanos (RSU) y otro proveniente de los desechos, se compararon desde el punto de vista de estabilidad de procesamiento con diferentes niveles de concentración de aditivo estabilizante.

La determinación del índice de degradación al procesamiento (PDI) se propone como una herramienta para cuantificar la calidad del polipropileno reciclado con la adición del aditivo estabilizante. A mayor cantidad de aditivo estabilizante, menor será el PDI del PP traduciéndose esto en una mayor calidad del producto reciclado, sin embargo el estudio mostró que solo hasta 0,05% de aditivo agregado es suficiente para obtener un PDI aceptable

Así mismo se observó que los niveles de aditivo requeridos para optimizar el bloqueo de la degradación van desde 0,050% a 0,60%, siendo este último la concentración de aditivo óptima para minimizar el Índice de Degradación a la Procesabilidad.

Es importante señalar que los resultados de esta investigación proporcionan una metodología y una herramienta cuantitativa en la toma de decisiones respecto a los niveles de aditivo necesarios para devolver al polipropileno reciclado un Índice de Degradación a la Procesabilidad, lo cual es un aporte importante para el sector del plástico específicamente para la industria del reciclado, los cuales pueden utilizar los resultados para mejorar la calidad del material reciclado a la vez que se minimizan los costos del proceso.

Como impacto adicional de la investigación se aporta conocimiento científico en el proceso recuperación del plástico, el cual es un material que no es biodegradable, a la vez que se contribuye con la protección del medio ambiente.

REFERENCIAS

[1] R. Gent, M. Menendez, J. Toraño and S. Torno. “Optimization of the recovery of plastics for recycling by density media separation cyclones” Resources, Conservation & Recycling. Vol. 55, pp. 473. 2010. ISSN: 472 – 482. Fecha de consulta: 10 de abril de 2014. URL: http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.elsevier-3a36f13d-4442-3482-96ff-7fff04296e0d

[2] J. Tochácek, J. Jancar, J. Kalfus and S. Hermanová. “Processing stability of polypropylene impact-copolymer during multiple extrusion e Effect of polymerization technology”. Polymer Degradation and Stability. Vol. 96, pp. 492. 2011. ISSN: 491-498. Fecha de consulta: 13 de marzo de 2014. URL: http://www.researchgate.net/publication/229184555_Processing_stability_of_polypropylene_impact-copolymer_during_multiple_extrusion__Effect_of_polymerization_technology

[3] J. Tochácek and J. Jancar. “Processing degradation index (PDI) – A quantitative measure of processing stability of polypropylene”. Polymer Testing. Vol. 31, pp. 1116-1117. 2012. ISSN: 1115-1120. Fecha de consulta: 2 de marzo de 2014. URL: http://www.sciencedirect.com/ science/article/pii/S0142941812001535

[4] A. Grisa y M. Zeni. “Análisis Multivariado de Parámetros Fisicoquímicos del Relleno Sanitario de São Giacomo de Caxias do Sul, RS en la de Degradação de Polipropileno”. Polímeros: Ciência e Tecnologia. Vol. 20 Nº 2, pp. 160. 2010. ISSN: 0104-1428. Fecha de consulta: 20 de febrero de 2014. URL: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47013641008

[5] ASTM International. “Standard Test Method for Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer”. Designation D1238-10. Fecha de consulta: 9 de agosto de 2013. URL: http://www.astm.org/Standards/D1238.htm

[6] M. Kachur. "Los Plásticos, un material milagroso". Benchmark Education, pp. 9. Guangzhou, China. ISBN: 978-1-4509-0883-2. 2011.

[7] H. Sato and H. Ogawa "Review on Development of Polypropylene Manufacturing Process". Sumitomo Chemical Co., Ltda. Process & Production Technology Center. Fecha de consulta: 12 de noviembre de 2013. URL: http://www.sumitomo-chem.co.jp/english/rd/report/theses/docs/20090201_6jw.pdf

[8] A. Grisa, M. Zeni y A. Muñoz. "Análisis Multivariado de Parámetros Fisicoquímicos del Relleno Sanitario de São Giacomo de Caxias do Sul, RS en la de Degradación de Polipropilene". Polímeros Ciencia y Tecnología. Vol. 20 Nº 2, pp. 154-164. 2010. ISSN: 0104-1428. Fecha de consulta: 15 de marzo de 2014. URL: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47013641008

[9] M. Hamskog, M. Klügel, D. Forsström D, B. Terselius and P. Gijsman. "The effect of base stabilization on the recyclability of polypropylene as studied by multi-cell imaging chemiluminescence y microcalorimetry". Polymer degration and stability. Vol. 86 Nº 3, pp. 557-566. 2004. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2004.07.004. Fecha de consulta: 12 de noviembre 12 de 2013. URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391004002368

[10] J. De la Garza, B. Morales y B. González. "Análisis estadístico multivariante". McGraw-Hill, pp. 332. México. ISBN: 978-6-0715-0817-1. 2013.