

# IMPACTO DE LA REUTILIZACIÓN DE HIPS RECUPERADO EN LAS PROPIEDADES DE MEZCLAS CON HIPS VIRGEN

M. C. Lorenzo<sup>(1,2)</sup>, P. Reale<sup>(1)</sup>, P. Eisenberg<sup>(2)</sup>

[clorenzo@inti.gob.ar](mailto:clorenzo@inti.gob.ar)

<sup>(1)</sup> Dto. Procesamiento y Transformación de Materiales-DT Materiales Avanzados-SOlyS-GODTel-INTI

<sup>(2)</sup> Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental-3IA Universidad Nacional de San Martín

Palabras Clave: HIPS, Reciclado, Scrap, Posconsumo, Valorización de plásticos

## INTRODUCCIÓN

La necesidad de direccionar los esfuerzos a reducir el impacto ambiental representa un desafío que puede afrontarse a través de distintas estrategias. El nuevo paradigma de la economía circular plantea el abordaje a través del análisis del ciclo de vida y propone como estrategia la creación de una efectiva economía posconsumo [1]. El reciclado mecánico es una de las técnicas más utilizadas para transformar residuos plásticos en nuevos productos, sin embargo, la secuencia de procesos mecánicos, térmicos y de estrés químico a los que son sometidos los materiales podría promover su degradación y el deterioro de sus propiedades. El poliestireno de alto impacto (HIPS) es un material complejo desde su estructura y morfología debido a la presencia de dos fases, una fase de poliestireno (PS) continua y de alta rigidez y una fase elastomérica, y sus propiedades resultan de la combinación de las propiedades de cada fase [2]. La industria de envases de alimentos de corta vida útil representa casi un 40% del consumo total de plásticos, entre los cuales el proceso de termoformado de HIPS para la obtención de potes, tapas, etc., representa un mercado maduro, de alta productividad y bajo costo. Sin embargo, suele tener asociado un alto porcentaje de material sobrante o descarte que puede alcanzar hasta un 30% en procesos no optimizados.

## OBJETIVO

Este trabajo propone estudiar, en primer lugar, la influencia del reprocesamiento de HIPS en sus propiedades mecánicas y térmicas. Posteriormente, y con el objetivo de estudiar el impacto de la reutilización de material reciclado en nuevas formulaciones, se propone estudiar el efecto de la incorporación de contenidos crecientes de material reciclado (*scrap* y posconsumo) en las propiedades de mezclas con material virgen.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluó el efecto de tres ciclos sucesivos de extrusión en las propiedades de HIPS INNOVA 4400, simulando la posible degradación sufrida por la reutilización del material en fábrica (*scrap*, S). Los materiales obtenidos se identifican como S1 y S3-HIPS según los ciclos de reprocesamiento. El perfil de temperatura utilizado fue 195 210 215 215 220 220 (tolva-cabezal) y se trabajó a una velocidad de tornillo de 90 rpm. El HIPS posconsumo (PC) se obtuvo a partir de envases de alimentos, siguiendo

un procedimiento de reciclado mecánico convencional. Mezclas con contenidos crecientes de material reciclado (S-HIPS y PC-HIPS) y material virgen (V-HIPS) fueron obtenidas por extrusión doble tornillo ajustando las condiciones de procesamiento según el caso. Se obtuvieron películas y probetas por termocompresión utilizando una prensa hidráulica a 220°C y presión variable. Las propiedades mecánicas en tracción se determinaron utilizando una máquina universal de ensayos INSTRON 5569A, según norma ASTM D882. La resistencia al impacto se determinó a partir de un ensayo tipo Izod siguiendo los lineamientos de la norma ASTM D256. La determinación del índice de fluencia (IF) de los materiales se realizó siguiendo los lineamientos de la norma ISO 1133, a 200°C y con una carga nominal de 5 kg.

## RESULTADOS

**Efecto del reprocesamiento en las propiedades mecánicas.** Los resultados obtenidos muestran que las propiedades evaluadas en tracción e impacto no presentaron diferencias significativas cuando el material fue sometido a 1 proceso de extrusión respecto al material virgen (Tabla 1). Los resultados obtenidos del reprocesamiento luego de 3 ciclos de extrusión muestran que, si bien no se observaron diferencias significativas en tensión (TS) y deformación a rotura (DR) respecto al control, se observó la rigidización del material reflejada en un aumento del 11% en el módulo de Young (MY). En concordancia con estos resultados, se observó una disminución de la resistencia al impacto del 8,3% respecto al V-HIPS, posiblemente debido a cambios estructurales asociados al proceso termo-oxidativo.

**Influencia de la incorporación de S-HIPS a V-HIPS.** Para estudiar la influencia de la reutilización de HIPS reprocesado (*scrap*) en formulaciones conteniendo V-HIPS, se utilizó S3-HIPS como materia prima reciclada (en adelante, se considerará S3-HIPS=100% S-HIPS). El aumento en el contenido de S-HIPS en las mezclas no evidenció una variación significativa de la TS y DR de los materiales obtenidos. Sin embargo, la evolución del MY con contenidos crecientes de S-HIPS mostró un comportamiento levemente distinto. En concordancia con los resultados presentados anteriormente, para contenidos de S-HIPS hasta 15% se observa una leve tendencia al aumento del MY en función del contenido. Sin embargo, para contenidos entre 30 y 50% se observa una disminución, del 11 y 20% respecto al S-HIPS, respectivamente. Para un

contenido de 30% se mantienen los valores obtenidos para el material virgen, mientras que para 50% de S-HIPS se observó una reducción del 11% respecto a V-HIPS.

Muestra	Tensión a rotura (MPa)	Deformación a rotura (%)	Módulo de Young (MPa)	Resistencia al Impacto (J/m)
V-HIPS	17,5 (0,5) <sup>a</sup>	61 (6) <sup>a</sup>	1078 (48) <sup>a,b,c</sup>	105 (7) <sup>a</sup>
S1-HIPS	17,1 (0,7) <sup>a,b,c</sup>	64 (11) <sup>a</sup>	1112 (38) <sup>b,c,d</sup>	105 (3) <sup>a</sup>
S3-HIPS	17,3 (0,6) <sup>a,b</sup>	53 (10) <sup>a,b</sup>	1197 (42) <sup>e</sup>	96 (2) <sup>b</sup>
5% S-HIPS	16,5 (0,4) <sup>b,c,d</sup>	58 (6) <sup>a</sup>	1111 (42) <sup>b,c,d</sup>	95 (4) <sup>b</sup>
10% S-HIPS	16,3 (0,4) <sup>c,d</sup>	57 (7) <sup>a</sup>	1127 (40) <sup>c,d</sup>	104 (7) <sup>a,c</sup>
15% S-HIPS	17,3 (0,2) <sup>a</sup>	66 (3) <sup>a</sup>	1148 (41) <sup>d,e</sup>	97 (2) <sup>b,c</sup>
30% S-HIPS	16,9 (0,6) <sup>a,b,c</sup>	62 (10) <sup>a</sup>	1063 (44) <sup>a,b</sup>	96 (1) <sup>b</sup>
50% S-HIPS	17 (0,9) <sup>a,b,c</sup>	61 (14) <sup>a</sup>	958 (50) <sup>f</sup>	94 (4) <sup>b</sup>
100% S-HIPS	17,3 (0,6) <sup>a,b</sup>	53 (10) <sup>a,b</sup>	1197 (42) <sup>e</sup>	96 (2) <sup>b</sup>
30% PC-HIPS	16,0 (1,0) <sup>d</sup>	44 (15) <sup>b,c</sup>	1115 (68) <sup>b,c,d</sup>	88 (2) <sup>d</sup>
50% PC-HIPS	16,3 (0,9) <sup>c,d</sup>	38 (12) <sup>c</sup>	1074 (42) <sup>a,b,c</sup>	84 (4) <sup>e</sup>
100% PC-HIPS	16,8 (1,0) <sup>a,b,c,d</sup>	23 (11) <sup>d</sup>	1025 (44) <sup>a</sup>	73 (2) <sup>f</sup>

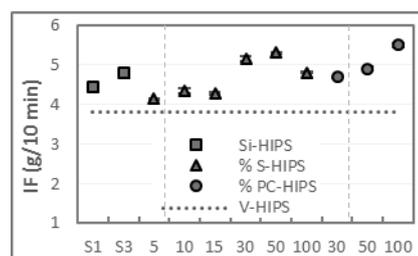
**Tabla 1. Propiedades mecánicas de los sistemas estudiados. Se informa valor promedio (desvío estándar). En columnas, valores con superíndices iguales corresponden a medias iguales ( $p > 0.05$ ).**

Estos cambios podrían estar asociados a la reestructuración del material en función del agregado de reciclado que podría modificar los mecanismos de deformación plástica en el ensayo de tracción. Los resultados de la resistencia al impacto muestran que, si bien la utilización de material *scrap* 100% reciclado presenta una disminución del 8,3% respecto al V-HIPS, estos valores se mantienen sin presentar cambios para los distintos contenidos del S-HIPS en las mezclas.

**Influencia de la incorporación de PC-HIPS a V-HIPS.** La recuperación y reutilización de PC-HIPS en los distintos contenidos estudiados, no presentó variaciones significativas en TS y MY respecto a los materiales conteniendo S-HIPS y al V-HIPS. Sin embargo, presentaron en todos los casos, valores de MY inferiores al material 100% S-HIPS. La comparación con el V-HIPS podría no ser adecuada dado que se desconoce el material de origen de los productos recolectados. Aun así y con el objetivo de evaluar su reciclabilidad y reutilización, la comparación se considera válida. A diferencia de los materiales conteniendo S-HIPS, se observó una disminución significativa de la DR para los distintos contenidos de PC-HIPS que alcanzó un 62% para 100% PC-HIPS respecto al control. Los resultados correspondientes a la resistencia al impacto mostraron que, para todos los contenidos de PC-HIPS, se obtuvieron valores de resistencia inferiores tanto al V-HIPS como al material 100% S-HIPS. Esta reducción alcanza un 30% y 23% para 100% PC-HIPS en relación a V-HIPS y 100% S-HIPS, respectivamente.

**Índice de fluencia.** Tanto el efecto del reprocesamiento como de la incorporación de contenidos crecientes de S-HIPS y PC-HIPS a mezclas presentaron un aumento significativo del IF respecto al V-HIPS (Fig. 1). Se observó un aumento del 17 y 27% para S1-HIPS y S3-HIPS, respectivamente. La incorporación de S-HIPS reflejó un aumento lineal del IF, alcanzando un máximo de, aproximadamente, 40% para un contenido de 50% S-HIPS, frente al control. Esta diferencia observada respecto al material 100% S-HIPS pone de manifiesto la complejidad del sistema en relación a

la competencia de degradación de ambas fases y el efecto de distintos contenidos de V-HIPS.



**Figura 1. Evolución del IF de los distintos sistemas estudiados.**

Para el sistema PC-HIPS, se observó un aumento significativo en el IF en función del contenido, presentando un máximo de 45% para 100% PC-HIPS, respecto al control. Estos resultados son consistentes con la disminución observada en la ductilidad y resistencia al impacto, que fueron asociados a un mayor grado de degradación del material dado por su historia térmico-mecánica y a los procesos asociados a su recuperación y reprocesamiento.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos pueden ser interpretados como la consecuencia de la compleja combinación de dos factores principales, la degradación de la estructura de la fase elastomérica y la disminución del peso molecular y/o variación del índice de polidispersidad de la matriz posiblemente causadas por el esfuerzo mecánico y las altas temperaturas alcanzadas durante el reprocesamiento. Para todos los sistemas estudiados se observó un aumento significativo en el IF respecto a material virgen. Sin embargo, y tal como describieron Vilaplana *et al.*, este aumento posiblemente asociado a la degradación de las cadenas de la fase PS no es suficiente para afectar significativamente las propiedades mecánicas del sistema S-HIPS. El comportamiento observado para el sistema PC-HIPS muestra que el cambio significativo en el IF está en concordancia con la pérdida de las propiedades mecánicas y tiene relación con el grado de degradación posiblemente alcanzado y con la complejidad de la competencia de los efectos de degradación de cada fase. Sin embargo, estos resultados indican que, si bien los procesos térmico-mecánicos asociados a la recuperación y reutilización podrían inducir cambios en la morfología de las fases, los materiales estudiados retienen en gran medida las propiedades y podrían ser incorporados en distintos contenidos en mezclas con material virgen para el diseño de nuevas piezas. En caso de ser requerido por la aplicación, la recuperación de las propiedades originales podría alcanzarse mediante la incorporación de aditivos estabilizantes o fases elastoméricas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Spierling, S., et al. *J. Cleaner Prod.* 185, 2018, 476–491.
- [2] Parres, F., et al. *J. Appl. Pol. Sci.* 106, 2017, 1903–1908.
- [3] Plastics Europe, 2018. *Plastics – the Facts 2018.*
- [4] Vilaplana, F., et al. *Pol. Degradab. Stab.* 91, 2006, 2163.