

TORNILLOS BARRERA ESPECIALES AUMENTAN LA HOMOGENEIDAD DEL FUNDIDO

Por: J. Wortberg, M. Mahlke y N. Effen
 BAYER Leverkusen Anwendungstechnische Information

Cuando se busca optimizar el desempeño de la unidad de plastificación en una inyectora, se intenta lograr por lo general un mayor rendimiento de paso y una mejor calidad del fundido. Ante estos dos propósitos tan difíciles de conciliar, todo mejoramiento que se obtenga en uno de ellos sin afectar al otro, representa un progreso tecnológico. Tal progreso se ha podido alcanzar con un tornillo recién desarrollado, que posee un elemento helicoidal de cizallado y un elemento rómbico de mezcla.

La unidad de plastificación es de vital importancia en el proceso de inyección; ya que de ella depende la homogeneidad del plástico fundido, y con ello la calidad, es decir las propiedades mecánicas y ópticas, de las piezas moldeadas. En la perspectiva de la ingeniería del proceso, la unidad de plastificación debe

- permitir un alto rendimiento de paso, sin afectar la homogeneidad
- mostrar un comportamiento

favorable al tiempo de permanencia junto con un alto grado de reproducibilidad,

- mantener el fundido a una temperatura óptima dentro de estrechos límites,
- consumir poca energía
- y presentar buena resistencia al desgaste.

No es posible cumplir con todas estas exigencias, usando para todos los

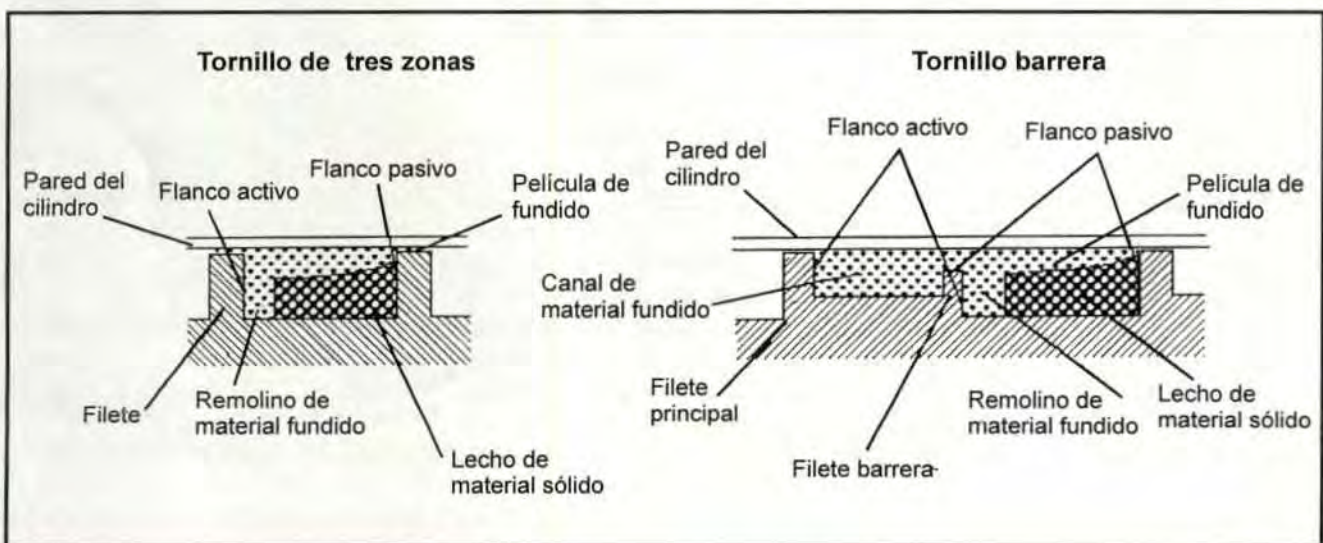


Figura 1. Sección de la zona de fusión de un tornillo de tres zonas y de un tornillo barrera.

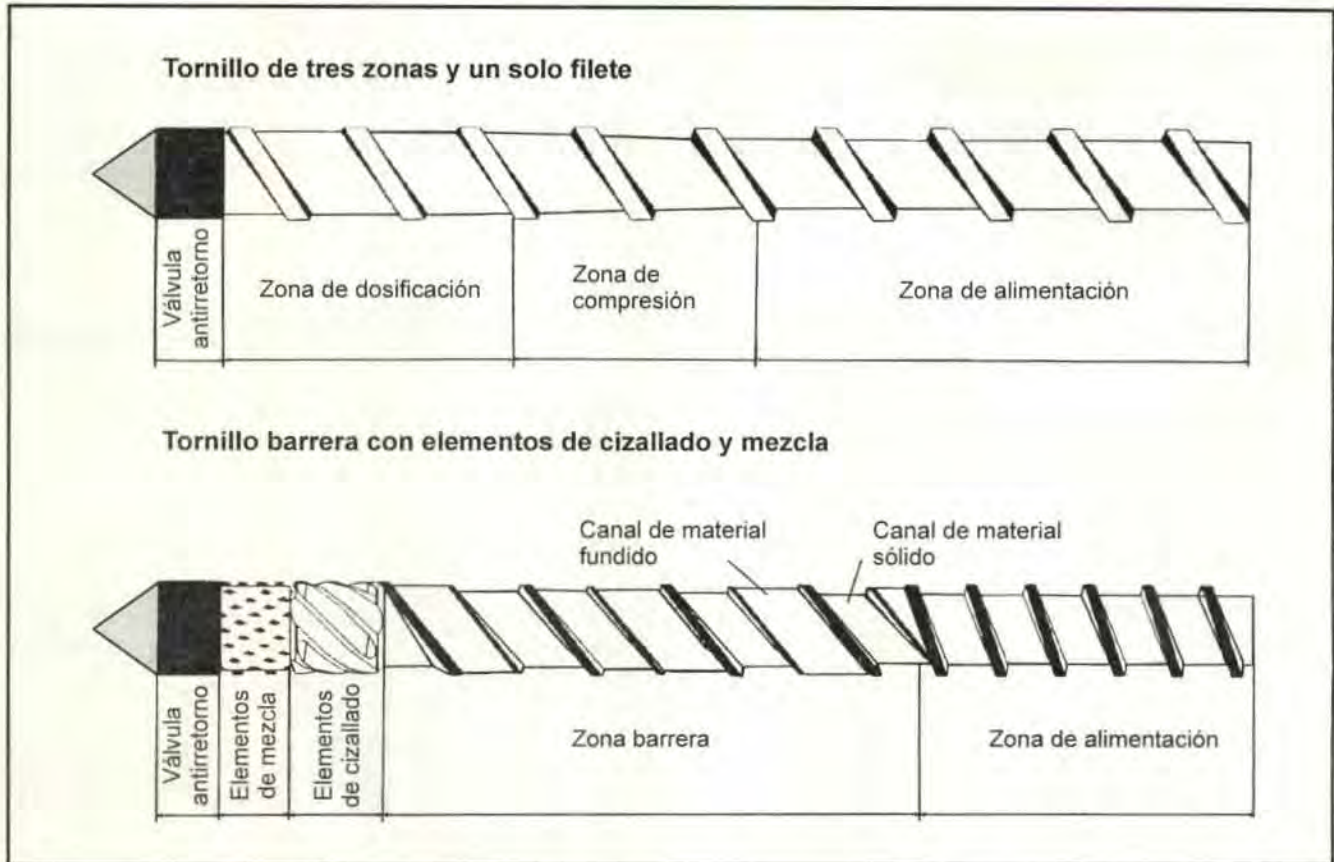


Figura 2. Representación esquemática de los tornillos en estudio (RSP: válvula anti-retorno).

materiales, un mismo tornillo universal con su geometría única. Las diferentes metas cuantitativas y cualitativas pueden ser contradictorias, al tiempo que factores financieros o tecnológicos como por ejemplo el tamaño de la máquina o su potencia pueden dificultar adicionalmente la optimización del proceso. Soluciones demasiado sofisticadas y por ende muy costosas muchas veces deben ser descartadas, aún cuando presenten ventajas tecnológicas.

Hoy en día, se usan en la inyección casi exclusivamente tornillos estándar de tres zonas, los así llamados "tornillos universales". Estos tornillos no siempre pueden cumplir con las exigencias de rendimientos más altos, mayores carreras de dosificación y la capacidad de transformar materiales nuevos. Esta es la razón porqué se

busca modificar la geometría de los tornillos, y equiparlos con elementos de cizallado y mezcla.

Concepto de tornillo barrera

Lo característico de un tornillo barrera es un segundo filete en el canal del tornillo que en la zona de fusión separa el fundido del lecho de material sólido (figura 1). La holgura entre el filete de barrera y el cilindro, permite el paso al fundido, pero no a las partículas sólidas. Cuando el canal del sólido es utilizado de forma óptima, puede presentarse material sólido hasta el final de la zona barrera. Siguiendo esta idea básica de Maillefer [1], se ha desarrollado un gran número de geometrías adicionales, que Rauwendaal nos presenta en un cuadro sinóptico. [2]

En la última década, se ha observado un creciente interés por el uso de tornillos barrera en procesos de inyección [6, 7], sin duda debido a los buenos resultados que han dado en la extrusión [3 - 5]. Sin embargo, esta aplicación aun no está muy difundida en Europa.

Con su perfil de presión neutro a lo largo del tornillo, los tornillos barrera alcanzan en la extrusión altos niveles de fusión y rendimiento, junto con un excelente control de la temperatura del fundido. El favorable perfil de presión reduce el desgaste y la pérdida de energía y provee un espectro más amplio de procesamiento. [3]

El proceso de mezclado y dispersión, tan importante para la obtención de una masa fundida homogénea, sólo puede hacerse plenamente eficaz a

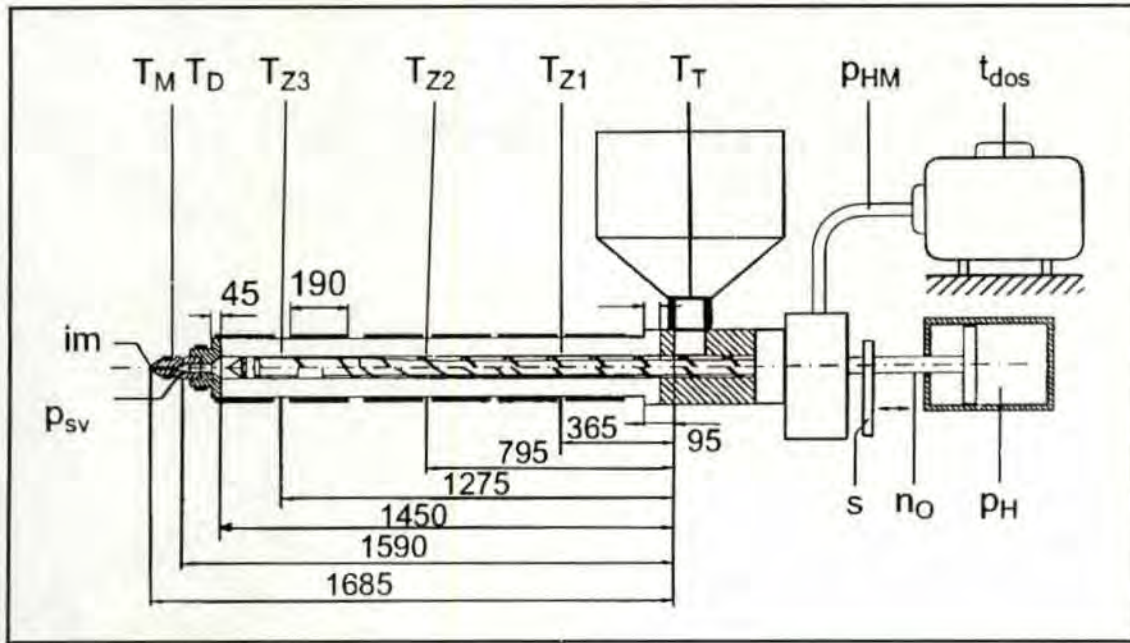


Figura 3. Unidad de plastificación con sensores para la medición de temperaturas (T) y presiones (p).

partir del final de la zona barrera. Es por eso que los tornillos barrera necesitan elementos adicionales, especialmente cuando el flujo del fundido es alto. Los elementos de cizallado y mezcla deberían ser dimensionados en lo posible neutrales a la presión, para sostener el rendimiento de paso, minimizar el desgaste y mantener estable la temperatura del fundido. [8]

El tornillo barrera en el moldeo por inyección

Cuando se usan tornillos barrera en procesos de inyección, deben conservar las ventajas que conocemos de la extrusión en condiciones básicas distintas (operación discontinua, longitud de tornillo reducida en función de la carrera de dosificación, fase de tornillo inactivo, etc.). Por eso se realizó un estudio comparativo de un tornillo estándar (de tres zonas sin elementos de cizallado o mezcla) y un tornillo barrera (tornillo de Day-Lawrence modificado [9]) con una sección de cizallado espiral y una

sección de pines romboidales (Rauten) para mezcla (figura 2).

En un tornillo con longitud total preestablecida, los elementos de cizallado y mezcla reducen el tramo disponible para la fusión del material plástico. Los dos tornillos estaban provistos de la misma válvula anti-retorno y la misma punta, para evitar efectos generados por estos dispositivos. Los parámetros de mayor interés para la comparación de los tornillos fueron el rendimiento y la homogeneidad de las piezas moldeadas

La inyectora que se usó para los ensayos posee un cilindro plastificador con un diámetro de 70 mm. La longitud efectiva del tornillo (a partir del borde anterior de la tolva) es de $19,4 \times D$. En la figura 3 se pueden observar los equipos de medición en la unidad plastificadora y los parámetros establecidos para la evaluación del proceso de plastificación. [10]. A fin de determinar la presión delante del tornillo, se coloca un sensor en la boquilla frente a la punta, donde puede

medirse también la temperatura del fundido.

Como materiales se utilizaron en el estudio un policarbonato amorfo (PC), altamente viscoso del tipo Makrolon 2805 y un polibutilentereftalato semicristalino (PBT) de baja viscosidad del tipo Pocan B 1505. Estos materiales fueron seleccionados con el fin de cubrir el más amplio rango de propiedades posible en materias primas poliméricas.

Antes de su procesamiento, los dos materiales fueron pre-secados en un secador con circulación de aire, según las prescripciones del fabricante. Para estudiar el comportamiento mezclador del tornillo, se agregó a los materiales 0,5% de un concentrado de colorante (PC + 0,5% por peso de negro de carbono). Las curvas de viscosidad para los dos materiales y el concentrado de colorante pueden apreciarse en la figura 4. El PC utilizado en el concentrado de colorante es altamente viscoso, para hacer el proceso de mezclado más difícil.

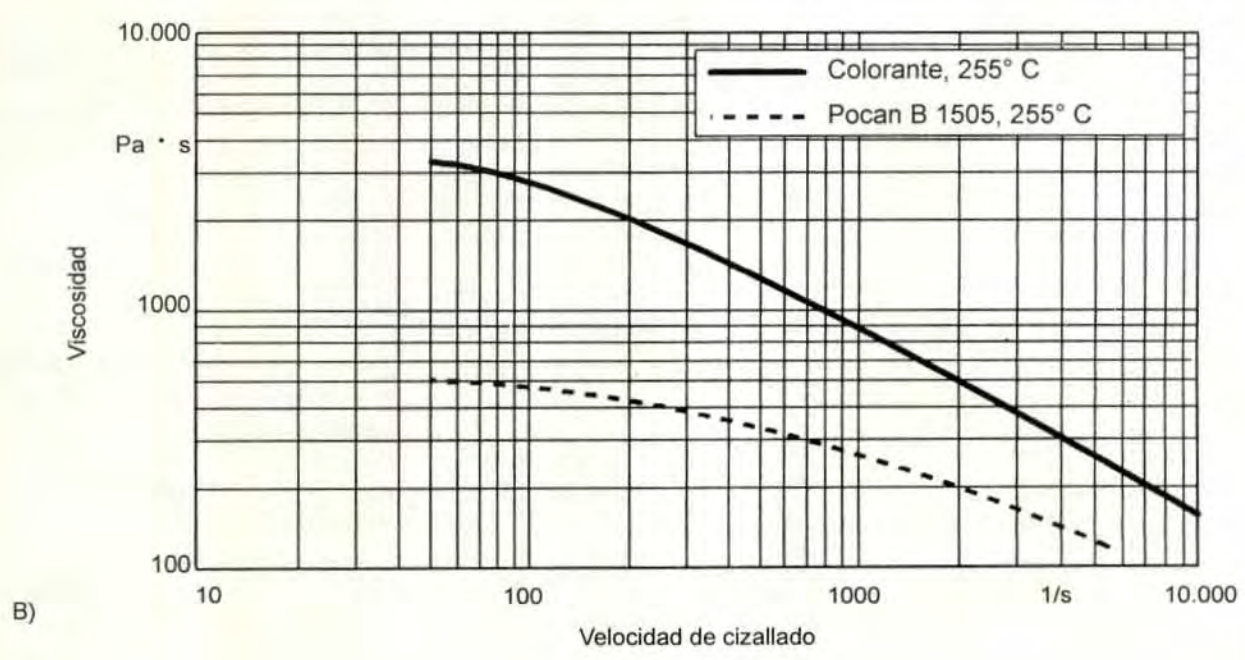
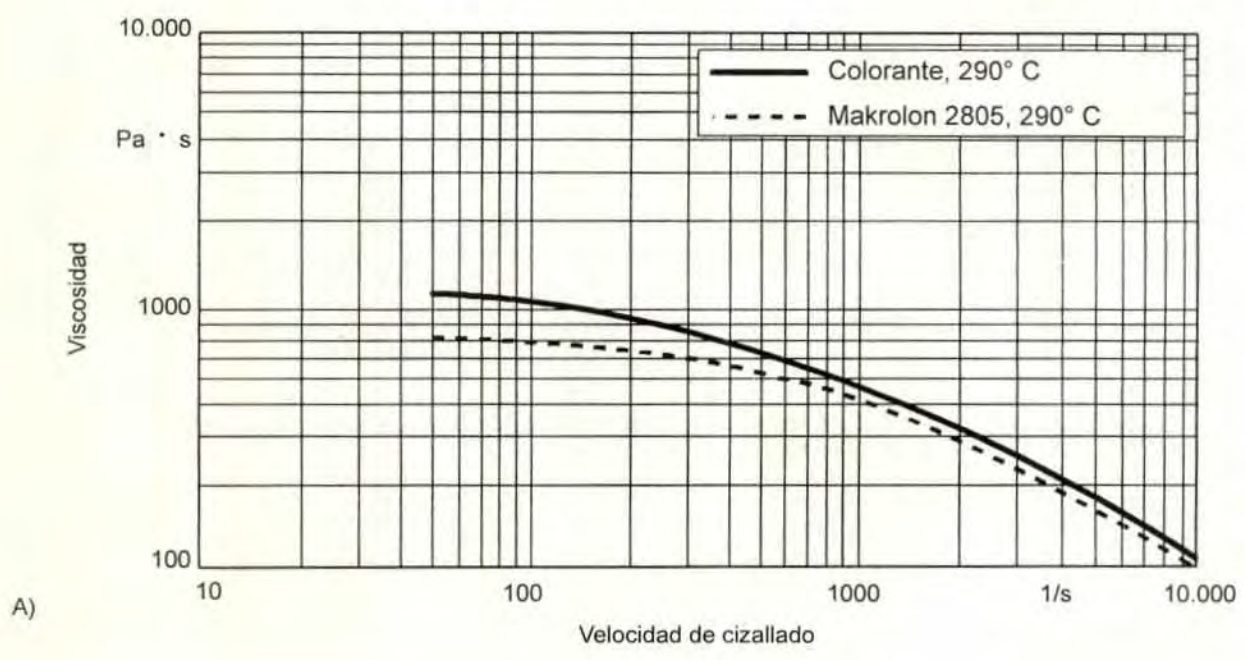


Figura 4. Viscosidad del material y del colorante a la temperatura del proceso. A: Policarbonato - B: PBT.

Con el fin de obtener una evaluación significativa del tornillo barrera, los puntos de operación fueron escogidos de tal manera que permitieran una comparación directa con el tornillo de tres zonas con que venía equipada esta inyectora. Los parámetros a variar fueron los siguientes: la velocidad del tornillo, la carrera de dosificación y la contrapresión. Se midió además la presión delante del tornillo resultado de la contrapresión establecida en la unidad hidráulica.

Los perfiles de temperatura seleccionadas para PC y PBT en la zona de calefacción, pueden observarse en la tabla 1. En cada ensayo se esperó hasta que la máquina alcanzará un estado operacional estable; sólo entonces se realizaron las mediciones.

Para poder variar la carrera de dosificación, se trabajó con diferentes moldes. Con la carrera corta se moldeó una taza (1,31 x D; diámetro del tazón: 280 mm; espesor de pared: 3 mm). Los ensayos restantes se hicieron con un molde para la inyección de placas rectangulares (250 mm x 400 mm), que permitía variar el espesor de las placas entre 1,5 mm y 10 mm.

Resultados de los ensayos de procesamiento

Uno de los parámetros clave para el dimensionamiento y selección de la unidad de plastificación es el rendimiento de producción, que influye

en la rentabilidad del proceso, especialmente donde el tiempo de dosificación determina el tiempo del ciclo, como es el caso del moldeo de piezas de gran volumen y pared delgada. Pero además hay que producir un fundido homogéneo, aún en condiciones de alto rendimiento y trabajando con materiales sensibles al cizallado y al tiempo de residencia.

Rendimiento de paso

La figura 5 muestra los niveles de rendimiento, medidos en 20 ciclos por cada punto de operación, en función de la velocidad de giro (del tornillo). Se puede observar perfectamente, que para PC el tornillo barrera produce un mayor rendimiento, con carreras dosificadoras de 1,31 x D y 2,86 x D. En cambio para PBT, el tornillo de tres zonas logra mayores rendimientos, en particular cuando la carrera de dosificación es de 2,86 x D.

La figura 6 muestra el rendimiento en función de la carrera de dosificación. Con el tornillo barrera, el rendimiento disminuye significativamente para ambos materiales, en la medida que aumenta la carrera de dosificación. Hay que tener en cuenta sin embargo, que para un tornillo con longitud efectiva de 19,4 x D, una carrera de dosificación de 3 x D constituye el límite máximo, sobre todo para piezas exigentes y materiales sensibles [11, 12].

Es posible que una carrera larga de dosificación genere una zona de

alimentación demasiado corta, impidiendo que la laguna del fundido se produzca antes de la zona barrera (como sería ideal) y causando el estrangulamiento del tornillo. Tal idea está apoyada también por la mayor entalpía de fusión del PBT, porque para PC el tornillo barrera produce mayores rendimientos que el tornillo de tres zonas, incluso con largas carreras de dosificación.

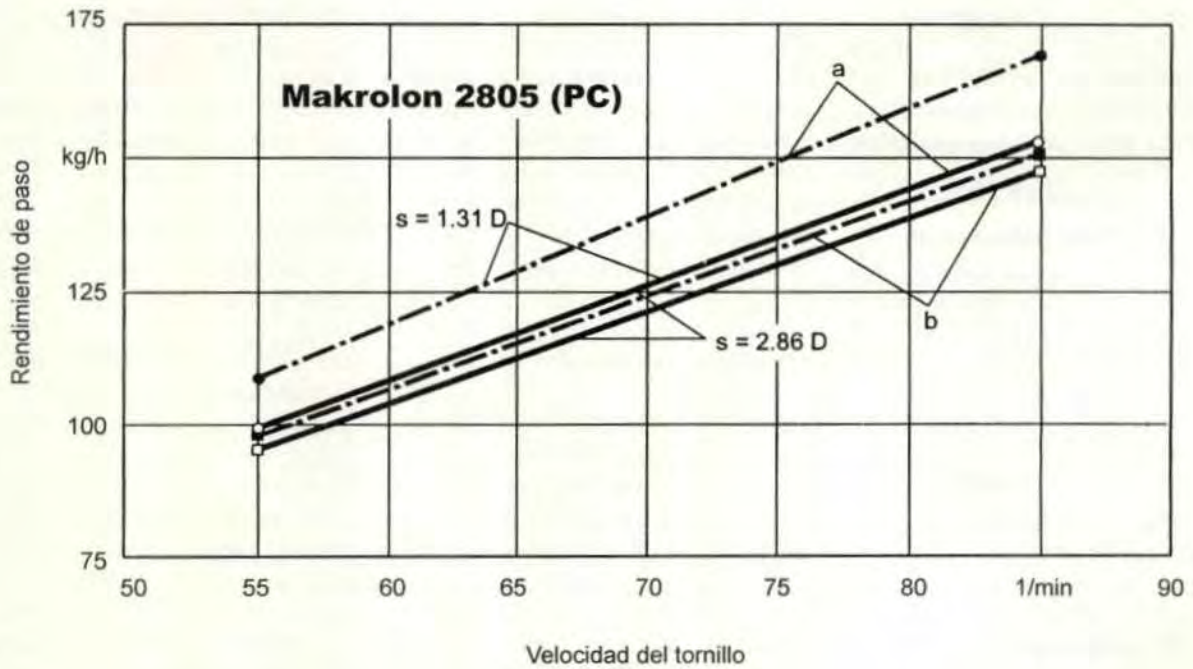
De la figura 7 se deduce que, en el plastificado de PBT mediante tornillo barrera, la presión de contrapresión influye poco en el rendimiento. En ambos materiales el tornillo barrera produce una muy buena homogeneidad aún sin presión de contrapresión. Por eso puede lograrse un mayor rendimiento con el tornillo barrera (con elementos de cizallado y mezcla), porque un tornillo de tres zonas (sin elementos de cizallado y mezcla) necesita presión de contrapresión para producir un fundido bien homogeneizado. Sin embargo, es indispensable que el tornillo barrera muestre buena capacidad de fusión, porque el rendimiento bajará, una vez que el canal de material sólido al final de la zona barrera se cierre.

Estabilidad de la temperatura del fundido

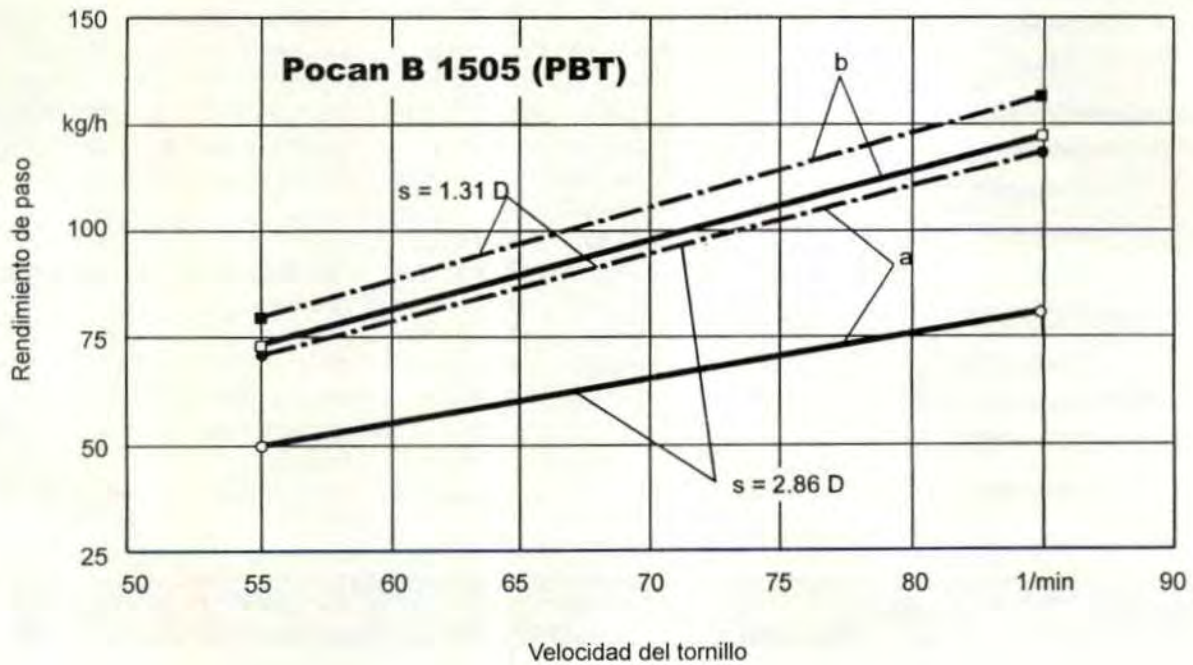
Alcanzar y sostener la temperatura establecida de la masa es de gran importancia en los procesos de inyección. En las mediciones del estudio no se presentaron diferencias

Material	T canal caliente	T boquilla	T zona 3	T zona 2	T zona 1
Makrolon 2805 (PC)	290 °C	290 °C	275 °C	270 °C	250 °C
Pocan B1505 (PBT)	260 °C	260 °C	245 °C	240 °C	230 °C

Tabla 1. Temperaturas seleccionadas para las zonas de calefacción y para el canal caliente (HK).



A)



B)

Figura 5. El rendimiento de paso como función de la velocidad de rotación del tornillo barrera (a) y del tornillo estándar (b), con diferentes carreras de dosificación (s) A: Policarbonato; B: PBT

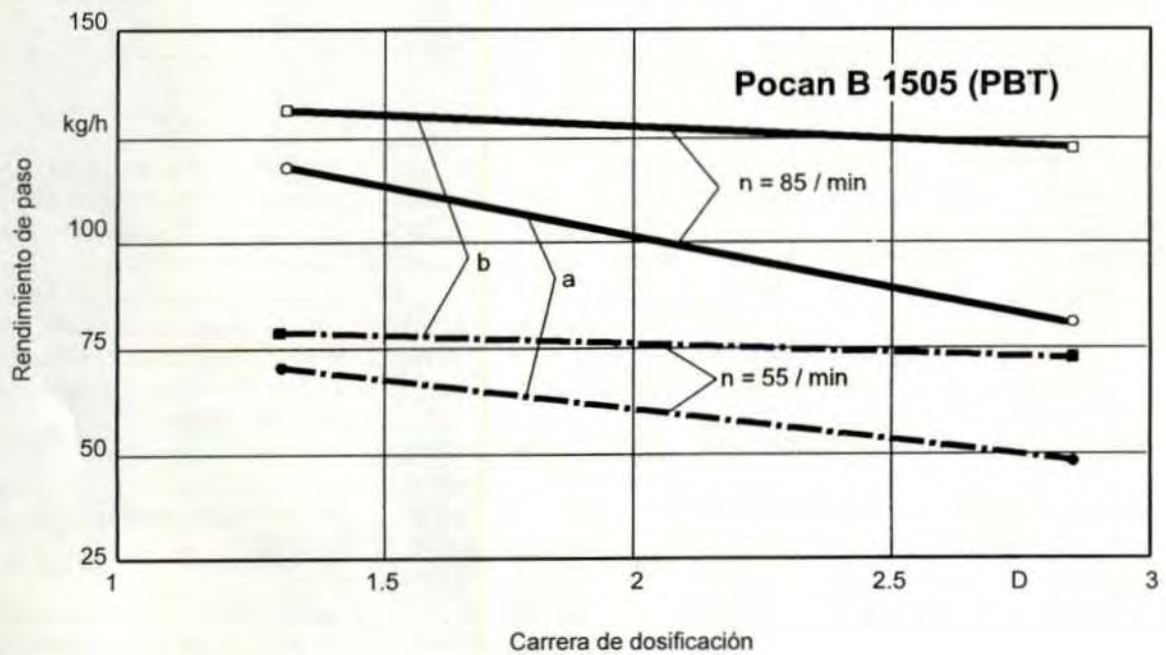
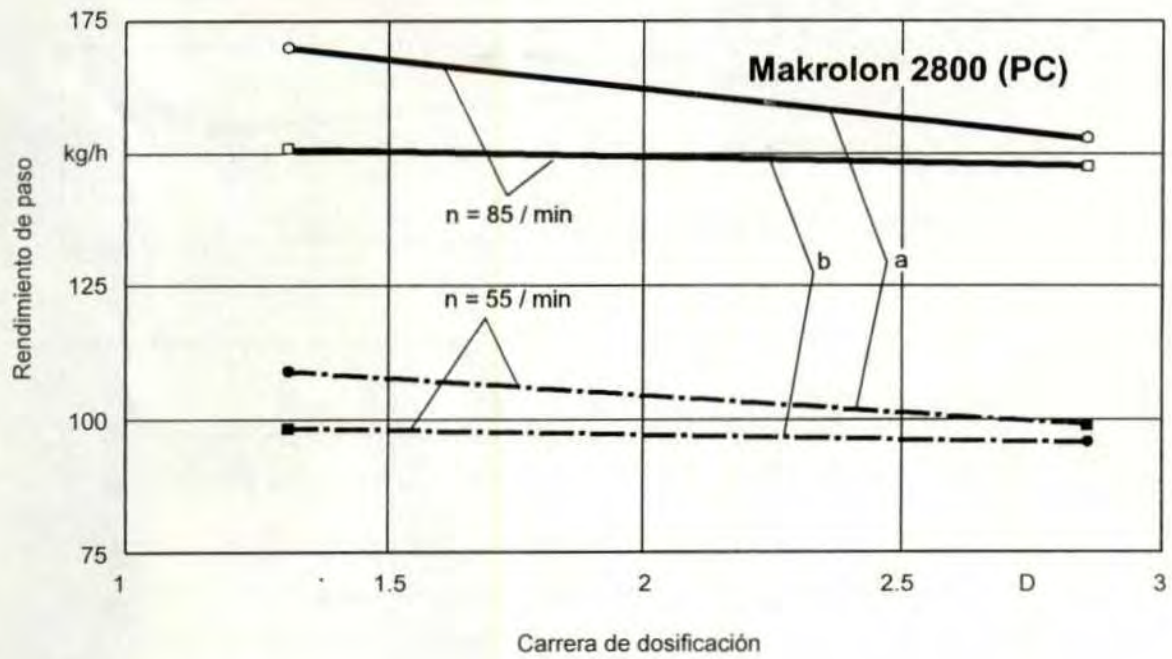


Figura 6. El rendimiento de paso en función de la carrera de dosificación, para el tornillo barrera (a) y el tornillo estándar (b), a diferentes velocidades de rotación n . A: Policarbonato; B: PBT

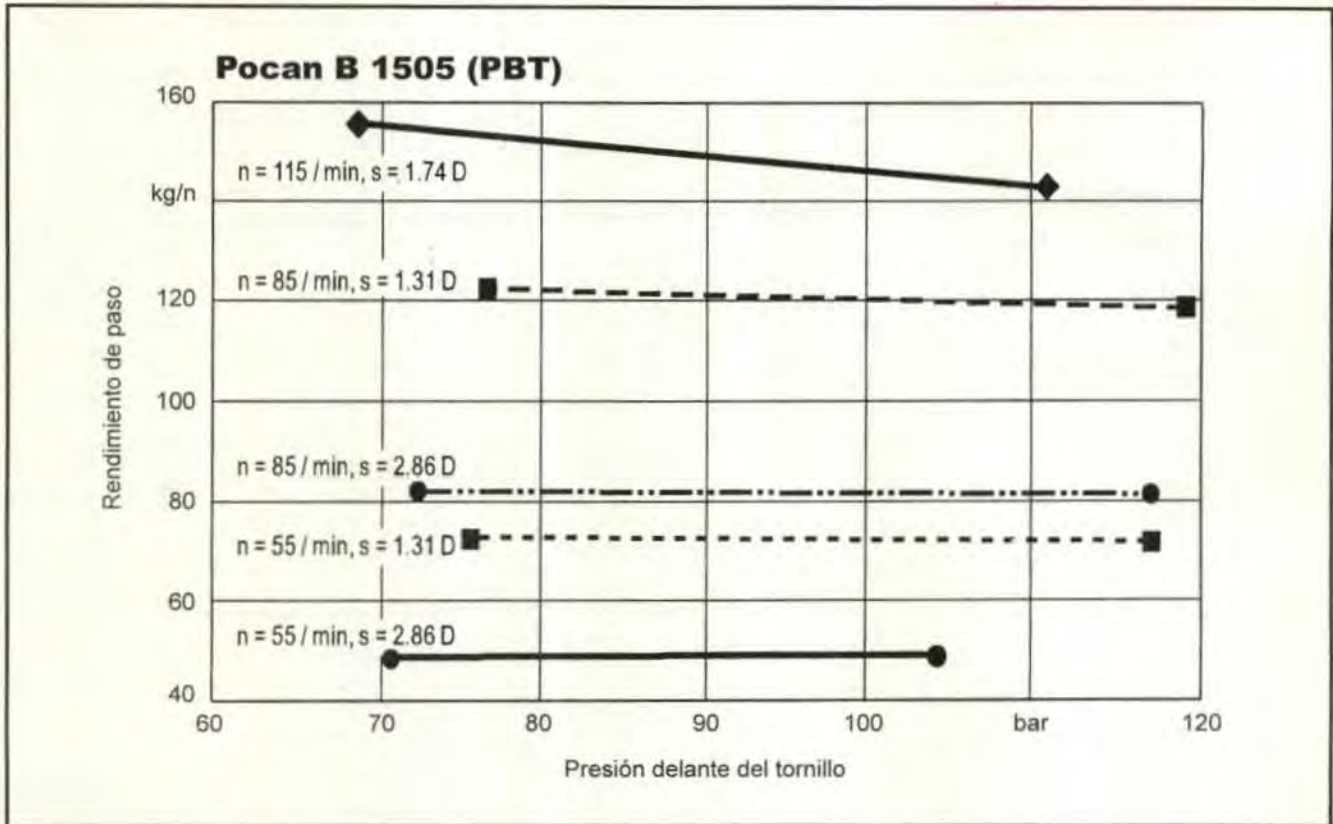


Figura 7. Rendimiento de paso de PBT en función de la contra-presión, con determinados valores de velocidad de giro y carreras de dosificación (s) preestablecidas.

significativas de temperatura; éstas se situaron para los dos materiales y todos los puntos de operación entre 15 y 25 K por encima de la temperatura nominal de la boquilla.

El tornillo barrera provee una mejor homogeneidad

La homogeneidad del fundido es determinada por procesos térmicos y mecánico-reológicos, así como mecanismos compensatorios y de mezcla del material en la unidad de plastificación. Esta homogeneidad influye en forma decisiva en la calidad de la pieza moldeada. El rendimiento máximo sólo puede ser aprovechado racionalmente, hasta donde permita una homogeneización satisfactoria.

Para evaluar el efecto mezclador, se

agregó a los materiales básicos un concentrado altamente viscoso. Puesto que la capacidad mezcladora es muy distinta en tornillos estándar y tornillos barrera, fue posible juzgar la calidad de mezclado mediante inspección visual de las piezas moldeadas (tazón y placa).

En la figura 8 se pueden observar claramente las diferencias de homogeneidad, para el mismo punto de operación, y con ello la capacidad mezcladora de tornillos de tres zonas y tornillos barrera. El material que fue procesado con el tornillo de tres zonas contenía partículas del concentrado de colorante no dispersadas y sólo parcialmente fundidas.

Según evaluación visual, el efecto homogeneizador del tornillo barrera con elementos de cizallado y mezcla

es mucho mejor. No hay evidencia de variaciones de color en ninguna de las superficies. Resultados similares fueron establecidos en todos los puntos de operación. El tornillo barrera con elemento de cizallado y mezcla homogeniza el fundido perfectamente, sin importar la carrera de dosificación ni la velocidad de giro.

No existen limitaciones en la práctica

Con respecto al accionamiento del tornillo y la calefacción del cilindro y sus especificaciones, no hay ninguna diferencia entre tornillos universales y tornillos barrera. Aún cuando el tornillo barrera incorpora elementos de cizallado y mezcla, se pueden realizar cambios de material y de color tan impecablemente como el tornillo

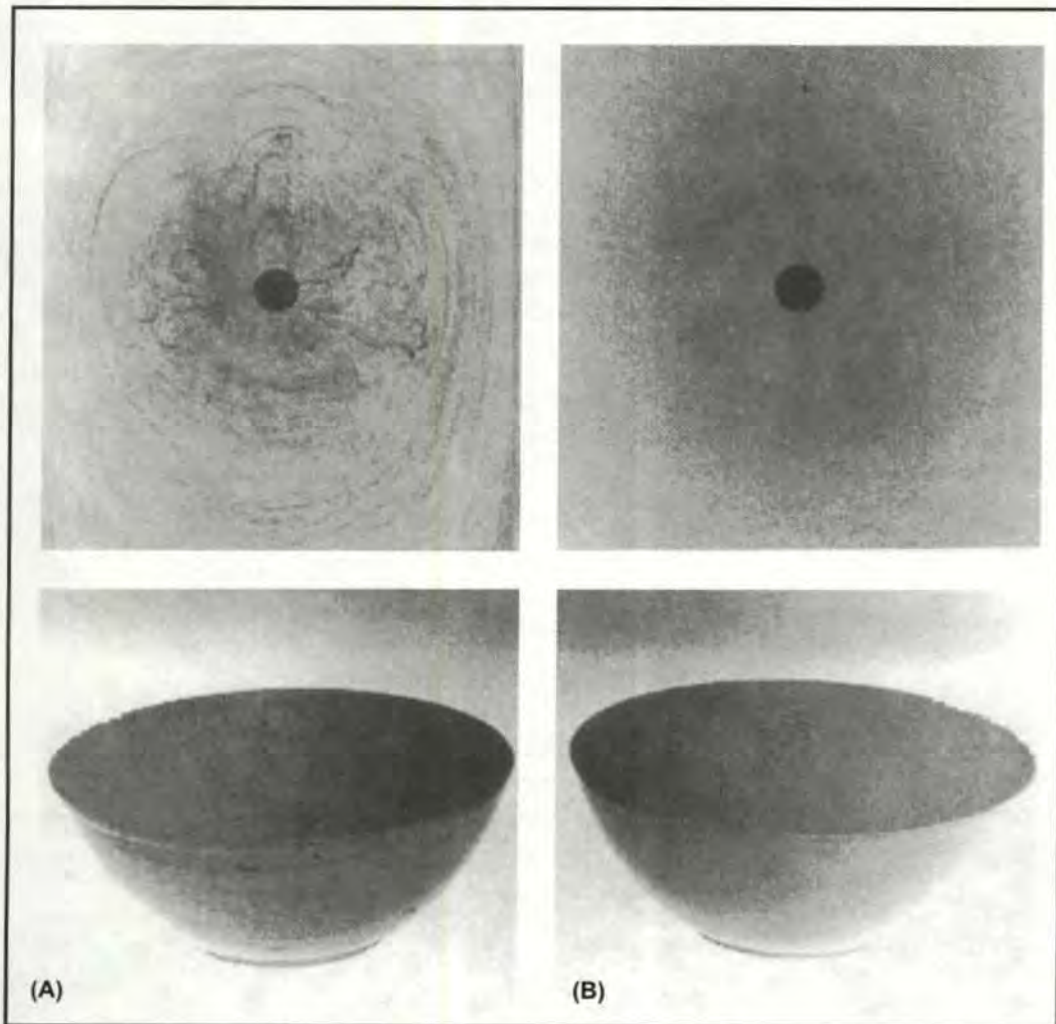


Figura 8. La uniformidad del color indica la capacidad homogeneizadora del tornillo de tres zonas (A) y del tornillo barrera (B) Arriba: Sección de una placa de policarbonato; B: Taza de PBT.

universal. Por eso se puede reemplazar un tornillo de tres zonas en cualquier momento por un tornillo barrera.

Conclusiones y prospectivas

La comparación demuestra que los tornillos barrera y los de tres zonas no se distinguen mucho en cuanto a criterios como temperatura de masa y rendimiento. Solamente cuando se procesa PBT, el rendimiento que se obtiene con el tornillo barrera es

ligeramente inferior y depende en mayor grado de la carrera de dosificación. Sin embargo, los resultados pueden ser considerados como completamente satisfactorios, ya que en la inyección de materiales técnicos el rendimiento volumétrico rara vez constituye un factor limitante.

En cambio respecto a la homogeneidad del fundido, la diferencia es marcada: el tornillo barrera con sus elementos de cizallado y mezcla es muy superior al tornillo de tres zonas. Con su buena acción

homogeneizadora, el tornillo barrera además abre el camino para nuevos métodos de procesamiento, que integran el mezclado de diferentes componentes directamente al moldeo por inyección. Podría pensarse por ejemplo en obviar la elaboración de compuestos en el marco del reciclaje material de polímeros, para mezclar material virgen con reciclados. El efecto homogeneizador necesario se puede obtener con el tornillo barrera en la inyectora [13]. Este método ahorraría un paso en el proceso y con ello también la carga térmica sobre el

material involucrada en él.

Para los ensayos se estableció una longitud de tornillo de $19,4 \times D$, es decir en el límite inferior. Faltan pruebas con tornillos más largos para explorar rendimientos mayores y carreras más extensas de dosificación. Además se recomienda una selección más amplia de materiales, para comprobar la versatilidad del tornillo barrera.

En comparaciones futuras el tornillo de tres zonas debería ser provisto de los mismos elementos de cizallado y mezcla, a fin de poder estudiar también el efecto de la geometría de los tornillos en la homogeneidad del fundido, y de paso la influencia de los elementos de cizallado y mezcla sobre el rendimiento volumétrico.

Un tornillo barrera con sus elementos de cizallado y mezcla se aproxima más a un tornillo universal, que ofrece un mayor grado de libertad en comparación con un tornillo estándar. Se debería diseñar de acuerdo a la materia prima con el mayor rendimiento volumétrico y la más alta entalpía de fusión. Esta combinación representa la condición menos favorable para el diseño del tornillo, y garantiza su idoneidad para otros materiales.

BIBLIOGRAFÍA

1. CH-PS. 3.63.149 MAILLEFER, Ch.
2. RAUWENDAAL, C. Extruder Screws with Barrier Sections. Polym. Eng. Sci. 26 (1986) 18, p. 1245-1253.
3. STENZEL, H. Grundlagen zur verfahrenstechnischen Auslegung von Barrierschnecken in Glattrohr und Nutbuchsenextrudern. Diss. Universität-GH-Paderborn, 1992.
4. LIMPER, A. Der Einschnecken-

extruder im Extrusionsprozess – Barrierschnecken für die Hochleistungsextrusion. VDI-Verlag, Düsseldorf 1989, p. 107–125

5. WORTBERG, J. Zylinder glatt oder genutet – Alternative Extruderkonzepte zum Optimieren der Qualität. Maschinenmarkt 95 (1989) 95, p. 40-43
6. VERBRAAK, C. P. M. / MEIJER, H. E. H. Screw Design in Injection Moulding. Polym. Eng. Sci. 29 (1989) 7, p. 479-487
7. ROTHE, J. Spritzgießen - Maschinen und verfahrenstechnische Entwicklungen. Kunststoffe 80 (1990) 2, p. 217-226
8. WORTBERG, J. Schmelzequalität – Auswahlkriterien für Extruder zum Optimieren der Verarbeitungsparameter. Maschinenmarkt 96 (1990) 96, p. 38-42
9. US-PS 3.650.652. Dry, R.F. / Lawrence, D. L
10. HENDRIKSON, F. Bewertung eines Barrierschneckenkonzepts beim Spritzgießen. Diplomarbeit, Universität-GH-Paderborn 1992
11. JOHANNABER, F. Dosierweg bei Spritzgießmaschinen – eine Entwicklung in die falsche Richtung. Kunststoffe 79 (1989) 1, p. 25-28
12. POTENTE, H. Entwicklung bei Plastifizierschnecken. In: Handbuch zur Fachtagung Spritzgießtechnologie 2000. Engel, Linz 1991
13. HÄHNSEN, H./ JOHANNABER, F./ ORTH, P. Recycling spritzgegossener Formteile aus der Sicht der kunststofffer-

zeugenden Industrie. In: VDI-K (Hrsg.) Recycling im Spritzgießbetrieb. VDI-Verlag, Düsseldorf 1993.

Traducido y adaptado para el Informador Técnico por Ilse Koenig de Laverde, instructora CDT ASTIN.

Tomado de: WORTBERG, J.; MAHLKE, M.; EFFEN, N.; "Barrierschnecken steigern die Homogenität der schmelze = Los tornillos barrera aumentan la homogeneidad del fundido", :BAYER Leverkusen, 1994, 12p.



Adpostal

Llegamos a todo el mundo

**CAMBIAMOS PARA SERVIRLE MEJOR
A COLOMBIA Y AL MUNDO**

ESTOS SON NUESTROS SERVICIOS

VENTA DE PRODUCTOS POR CORREO
SERVICIO DE CORREO NORMAL
CORREO INTERNACIONAL
CORREO PROMOCIONAL
CORREO CERTIFICADO
RESPUESTA PAGADA
POST EXPRESS
ENCOMIENDAS
FILATELIA
CORRA
FAX

LE ATENDEMOS EN LOS TELÉFONOS
8813265 - 8810165 - 8811281
Com. 8812288
Call