

Nuevos cabezales con distribuidor en espiral

*Professor Dr. Ing. Johannes Wortberg
Neue Wendelverteiler-Werkzeuge*

Si bien los cabezales con distribuidor helicoidal o en espiral pertenecen al estado del arte en la extrusión de plásticos desde hace 25 años, una serie de novedosos diseños los hace, hoy, más actuales que nunca. En ellos, se combinan sistemas de distribución previa con distribuidores en espiral cilíndricos, cónicos o radiales que, en particular en la coextrusión, producen espesores de excelente uniformidad, en una gran variedad de procesos (con respecto a materias primas, flujos volumétricos y temperaturas), tiempos cortos de permanencia (cambio de material y/o color), poca pérdida de presión y un buen control térmico. Se caracterizan, además, por una larga vida útil, un diseño compacto, fácil montaje/desmontaje y limpieza, y brindan, a la vez, condiciones favorables de fabricación. Algunos ejemplos constructivos de estos distribuidores y su aplicación en la coextrusión de tubos y revestimientos, comprobarán las ventajas técnicas y de manufactura que ofrecen estos novedosos cabezales.

CRITERIOS DE OPTIMIZACIÓN

Desde hace años, el resultado sobresaliente que se logra usando cabezales con distribuidor en espiral en la extrusión de productos con simetría concéntrica (tales como película soplada, tubo rígido o flexible



Figura 1. Vista exterior de un cabezal con distribuidor helicoidal para revestimientos, con alimentación lateral, prerramificación cuádruple y distribución previa tipo percha.

y cuerpos huecos), es un flujo uniforme de la masa fundida y, en consecuencia, un producto con gran uniformidad de espesores de pared, sin líneas de unión^(1,4,6,9,10,11,12). A parte de satisfacer esta exigencia básica, los diseños modernos deben cumplir con importantes requisitos adicionales, sobre todo en la coextrusión. Han de tenerse en cuenta:

Criterios reológicos

- Pérdida mínima de presión y tiempos cortos de permanencia (secciones y longitudes de los canales de flujo)

- Esfuerzos de cizallado mínimos y máximos admisibles (riesgo de sedimentación o fractura del fundido) para el espectro de transformación establecido.
- Prevención de inestabilidades en las interfaces de coextrusión, en especial, donde las capas presentan diferencias extremas de espesor (por ej. capas con el 1% del espesor total).
- Prevención de deformaciones u orientaciones elásticas irregulares del fundido
- Prevención de estancamientos locales y puntos muertos (cambio de material y/o color).

Criterios termodinámicos

- Consideración de las propiedades de disipación e intercambio de calor específicas del material plástico a procesar (calefacción, aislamiento), las cuales para cabezales de coextrusión, en lo posible, deben determinarse para cada capa individual.
- Consideración de la simetría térmica para el cabezal y el flujo del fundido.

Criterios técnicos de operación

- Rigidez y ausencia de deformación.
- Fácil montaje/desmontaje y limpieza (en lo posible, poca o ninguna adhesión de fundido en las superficies de los canales).
- Estanqueidad en las superficies de separación.
- Fácil centrado.
- Tiempos mínimos de cambio del material o color y producción mínima de defectuosos (del sistema completo, la extrusora, el filtro, el adaptador y el cabezal).

DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO

En la concepción de cabezales con distribuidor en espiral, es importante atender a las áreas relevantes de los canales de flujo entre el cilindro de la extrusora (o el adaptador del paquete de mallas) y la salida anular en el extremo del cabezal. Se deben dimensionar las secciones y longitudes de los siguientes tramos del canal de flujo:

- El adaptador al conector del cabezal.
- Las ramificaciones del flujo en el cabezal.
- Los sistemas de distribución previa del fundido (arañas, perforaciones ramificadas, distribuidores tipo percha).
- El distribuidor helicoidal o en espiral.
- Las zonas de represión y de relajación.

- La confluencia o unión de los flujos individuales (en la coextrusión).
- El canal común desde la confluencia del fundido hasta la ranura de la boquilla (en la coextrusión).
- La geometría de la ranura en la unidad de la boquilla determinada por el diámetro (ancho de la ranura, longitud de paralelos).

Simulación

Los cálculos de simulación son útiles para dimensionar, de modo correcto, los canales de flujo en función de su aplicación específica. En este contexto, se calculan los procesos de flujo en canales circulares y anulares para fundidos de una sola capa en forma unidimensional bajo el supuesto de condiciones isotérmicas. Las geometrías del distribuidor en espiral «sean éstas cilíndricas, cónicas o radiales» se calculan, hoy, con ayuda de modelos bidimensionales para fluidos isotérmicos⁽¹⁰⁾. Si bien existen modelos tridimensionales no isotérmicos para el cálculo de fluidos (FEM, BEM), sigue siendo difícil interpretar la información adicional (como los perfiles de velocidad y de temperatura) para optimizar el dimensionamiento de los canales de flujo. No obstante, se obtienen valiosas indicaciones cualitativas para la optimización de detalles geométricos como admisiones, desviaciones y divisiones del flujo.

La simulación del flujo de varias capas en cabezales de coextrusión tiene el propósito de evitar inestabilidades en sus interfaces o superficies de contacto. En todo caso, pueden deducirse reglas básicas sencillas para el dimensionamiento concreto de canales de flujo. Así, puede

recomendarse, por ejemplo, adaptar el ancho de las ranuras, antes y después de la confluencia de varios flujos individuales, a la distribución específica de las capas en el producto final⁽¹⁰⁾. Sin embargo, no se puede dar una respuesta general a la pregunta frecuente: ¿Cuál es la gama de flujos volumétricos posibles para capas individuales en un cabezal de coextrusión?, porque ello depende, entre otros aspectos, de las propiedades elásticas de los fundidos que, en la simulación de flujos, sólo pueden ser tenidas en cuenta con gran dificultad, en especial, donde se examinen fluidos complejos de cizallado o dilatación.

Las limitaciones que imponen, por un lado, la compatibilidad reológica de determinadas materias primas, y por otro, los criterios de permanencia y pérdida de presión, no permiten un pronóstico teórico muy exacto sobre el posible espectro de procesabilidad. Sólo existen experimentos, en su mayoría, para productos de referencia. Debemos prevenir al lector contra una excesiva confianza en afirmaciones sobre la procesabilidad de nuevos materiales para la coextrusión (por ejemplo, para posibles caudales de 1:10 o mayores).

Para diferentes materiales

Por lo general, un cabezal con distribuidor en espiral puede y debe ser optimizado para varios materiales, para sus temperaturas de transformación y sus caudales. En el conflicto de intereses entre pérdida de presión y tiempo de permanencia, es preciso dimensionar los canales para el fundido con la mayor viscosidad, estableciendo, para cada tramo del recorrido, la máxima pérdida de presión admisible. En áreas críticas de desviación o ramificación del flujo y también para la geometría de las hélices, los criterios de

permanencia pueden ser más importantes que las pérdidas locales de presión, mientras que en canales circulares sencillos (perforaciones), pueden tener prioridad pérdidas menores de presión, con tiempos de permanencia, todavía, aceptables.

Por lo general, las velocidades de cizallado no deberían exceder el rango entre $5s^{-1}$ y $50s^{-1}$, para disponer de esfuerzos de cizallado aún suficientes que garanticen cambios aceptables de material o de color. Sólo en algunos casos particulares, como en cabezales para el revestimiento de cables y conductores o en el procesamiento de fundidos de baja viscosidad, las velocidades de cizallado pueden ascender a $1000s^{-1}$.

Grados de libertad geométrica

Para establecer las posibles libertades geométricas, como forma y grado de la distribución previa del fundido, número y sobreposición de hélices (altura de construcción), su geometría, así como su entrada y salida, los modelos de simulación en parte pueden ser útiles. Sin embargo, siempre habrá de considerar adicionalmente aspectos de fabricación y de costos, para determinar, por ejemplo, el número de hélices y la geometría de su sección transversal. No cabe duda de que a la actual diversidad de conceptos constructivos, la simulación por computador ha aportado mucho menos que la creatividad de los ingenieros. Vamos a presentar y a discutir a continuación algunas soluciones constructivas para cabezales con distribuidor en espiral, y diversos sistemas de distribución previa del flujo, además de su disposición en cabezales de coextrusión.

PREDISTRIBUCIÓN DEL FUNDIDO

Durante mucho tiempo, se tenía el

concepto único de proveer los distribuidores en espiral con sistemas de distribución previa (en forma de perforaciones ramificadas o canales circulares), donde cada hélice fuera alimentada desde un canal. Hoy, se han impuesto, también, sistemas que prevén la predistribución en una ranura anular. En este diseño, el distribuidor en espiral es conservado como elemento esencial para la distribución definitiva del fundido (a diferencia de las anteriores «rosca de difuminación»), después de los portamandriles tipo araña⁽¹⁾. Esto significa que el fundido proveniente de la ranura anular del (sistema) predistribuidor es forzado, casi por completo, a las entradas de las hélices. Luego, la nueva distribución conduce el material del sistema de fluidos axiales y helicoidales superpuestos a flujos parciales distribuidos sobre la circunferencia en forma de hoz y, por último,



Figura 2. Distribuidor en espiral con alimentación central y pre-ramificación; n perforaciones y n hélices.

distribuido de manera uniforme, al extremo superior del distribuidor en espiral.

Solución convencional

En el diseño convencional (Figura 2), los canales ramificados perforados radialmente en forma oblicua desembocan directamente en las entradas de las hélices. Un desarrollo de su superficie hace evidente que no es posible elaborar las áreas sombreadas mediante torneado redondo, sino mediante el fresado. De lo contrario, se producirían espacios muertos entre las entradas de las hélices que reducirían su funcionalidad.

Sistema de predistribución tipo percha

En la Figura 3, el fundido entra, en primer lugar, de modo lateral, a un sistema predistribuidor tipo percha que lo entrega a partir de una ranura anular al distribuidor en espiral. Compuesto de sólo dos elementos constructivos, se tiene aquí una herramienta básica (en este caso, con un distribuidor de diámetro menor o igual a 100mm) que presenta todas las ventajas del principio helicoidal frente a los portamandriles, canales anulares y curvas en forma de corazón.

Al separar el número de hélices del sistema de distribución se consigue una versión, desde lo reológico y operativo, más favorable, aún aumentando el número de hélices, en especial en cabezales de coextrusión, donde el número de ramificaciones, por razones constructivas, está limitado. Por lo general, un mayor número de hélices con menor sección transversal es más favorable, lo cual tiene mucha más importancia en la extrusión de materiales tanto de alto peso molecular como viscoelásticos (como el PEAD de alto peso

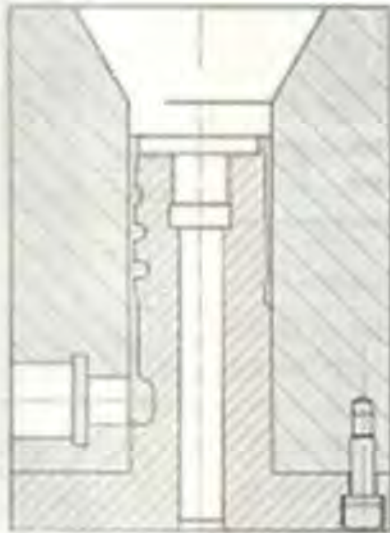


Figura 3. Distribuidores en espiral con alimentación lateral y distribución previa del fundido tipo percha.

molecular), que para plásticos de baja viscosidad (como el PA).

La geometría de la percha (aplicada en boquillas de ranura ancha y sobre pínolas) constituye una posibilidad de alimentar una ranura anular al final del pre-distribuidor. Existen variaciones desde una sola percha en la periferia del sistema de predistribución que es alimentado, en forma axial o radial, por una perforación o un canal hasta un sistema de prerramificación, combinado con un número n de distribuidores tipo percha en la periferia, siendo n el número de perforaciones o canales circulares.

El número de hélices es independiente y puede variar entre n y un múltiplo de n , según el objetivo a cumplir y las condiciones básicas del diseño.

DISTRIBUIDORES EN ESPIRAL CONCÉNTRICOS Y CABEZALES MODULARES APILADOS («STACK DIES»)

A comienzos de los años noventa, aparecieron en el mercado cabezales de coextrusión con distribuidores helicoidales no concéntricos, en especial para la fabricación de película soplada. Sus características distintivas son la disposición radial o cónica de los distribuidores y un sistema de prerramificación con alimentación lateral del fundido^(2,5,7,15,16). El diseño plano de los cabezales de coextrusión permite que sean apilados (stack-dies) como los pancakes. La posibilidad de intercambiarlos y complementarlos (como en la coextrusión de 3, 5 ó 7 capas) promete al transformador la mayor variabilidad.

Mientras que la mayoría de los cabezales de apilamiento (stack-dies) conocidos poseen distribuidores helicoidales radiales, las versiones cónicas con alimentación lateral y prerramificación tal vez son una mejor alternativa porque permiten una mayor superposición de hélices y módulos (stacks) con menor diámetro exterior y menor altura. Un diseño de este tipo fue presentado recientemente como «multi-cone» (cono múltiple), que es un cabezal modular para el soplado de película⁽¹⁵⁾.

A parte de sus obvias ventajas, el diseño de este tipo de cabezales presenta, también, algunas desventajas. Los argumentos registrados en la Tabla 1 poseen carácter de principios. Sobre cuál sería el concepto más apropiado en un caso dado (teniendo en cuenta

aplicación, producto y dimensión), sólo puede pronunciarse un juicio con base en la experiencia práctica. Donde existen posibles alternativas conceptuales, antes de tomar una decisión, debería practicarse una sólida evaluación de beneficios y riesgos, guiada por los criterios de la Tabla 1^(2,5).

Hasta donde la versatilidad de los cabezales apilados (stack-dies) compense posibles desventajas como la limitada adaptación a la confluencia de flujos y las dificultades para superar la inestabilidad de las interfaces, dependerá mucho de la aplicación. Para productos de dimensiones menores, las ventajas, quizás, son mayores que en caso de cabezales de gran tamaño. Para tareas de recubrimiento y revestimiento, el principio del cabezal modular puede ofrecer ventajas, puesto que la alimentación lateral y la poca altura, también, permiten el montaje de cabezales existentes entre el cabezal

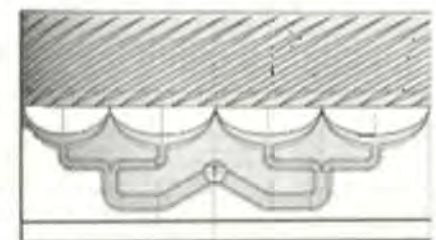


Figura 4. Cabezal de revestimiento con distribuidor en espiral con alimentación lateral, prerramificación cuádruple y distribución previa tipo percha.

	Distribuidores en espiral concéntricos	Cabezales modulares apilados (stack-dies)
<i>Pérdida de presión</i>	Resistencias al flujo iguales después de su unión. Diseño óptimo de canales en forma individual para cada capa.	Resistencias al flujo adicionales después de cada unión. En cabezales de gran tamaño, largos recorridos de flujo desfavorables.
<i>Tiempo de permanencia, cambio de material o color</i>	La permanencia se puede determinar individualmente para cada capa hasta el punto de confluencia.	Imposible de determinar individualmente después de cada unión de flujos. En cabezales grandes, desfavorable, debido a los largos recorridos de flujo.
<i>Distribución, en función del punto de operación</i>	Número de superposiciones ilimitado; amplio espectro de puntos de operación	Número de superposiciones limitado; espectro de puntos de operación más estrecho.
<i>Confluencia de fundidos</i>	A discreción, en forma secuencial o puntual (según la estructura de capas)	Sólo posible en forma secuencial. Para algunas estructuras de capas y materias primas, desfavorable.
<i>Estabilidad de capas o flujos</i>	Optimizable mediante configuración de los puntos de confluencia.	Todos los flujos de varias capas, de 2 a n capas, deben ser estables.
<i>Variabilidad de la estructura de capas</i>	Muy limitada (por ej. a través de adaptadores de empalme).	Variaciones mediante el intercambio de discos, con adaptación a la altura del extruder o del adaptador. Ranuras y confluencias son adaptables dentro de ciertos límites.
<i>Atemperado individual de las capas</i>	IDR imposible. Influencia sólo posible a través del atemperado del cabezal y la temperatura del fundido (desde el extruder).	Estructura de discos que pueden ser atemperados individualmente (si es preciso, intercambio de calor mediante contacto entre metales de los discos)
<i>Número de componentes</i>	Sólo pocos componentes y tornillos; pocas superficies de contacto.	Gran número de componentes y tornillos; numerosas superficies de contacto.
<i>Aptitud para pasos internos (refrigeración interna)</i>	Depende de alimentación y ramificación; para la alimentación lateral muy buena.	Debido a la alimentación lateral, por principio, buena.

Tabla 1. Cabezales con distribuidor en espiral concéntrico en comparación con el concepto del cabezal apilado o de varios pisos (stack-die o pancake-die).

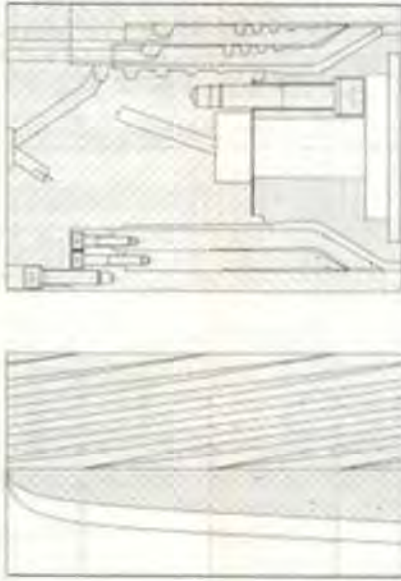


Figura 5. Cabezal para tubos de revestimiento externo, con distribuidor helicoidal de tres capas. Interior: n perforaciones, n hélices; centro/ exterior: 1 perforación, 1 percha y n hélices.

principal y la unidad de boquilla. Es conducente partir de la idea de que los dos principios constructivos encontrarán sus aplicaciones específicas, sin que ninguna prevalezca: Hasta hoy, el convincente principio del distribuidor en espiral no ha desplazado los cabezales y distribuidores de diseño alternativo, en todas las aplicaciones (como los cabezales porta-mandrill para el PVC⁽¹³⁾).

CABEZALES DE EXTRUSIÓN PARA NUEVOS REQUERIMIENTOS

La complejidad de los nuevos productos, así como la variedad y sofisticación de sus materiales, muchas veces exceden los límites de aplicación de los cabezales estándar, lo cual requiere, más que nunca, de una tecnología adecuada de extrusión, en particular, en el área de los cabezales. De este modo, los grados

de libertad geométrica y las tecnologías de recubrimiento están adquiriendo una mayor importancia. Frente a las técnicas comprobadas de recubrimiento galvánico (cromado, niquelado) para los aceros que se usan comúnmente en la fabricación de cabezales (C45 o C60), existen, hoy, novedosos tratamientos superficiales que proporcionan mejores propiedades de abrasión y adhesión. Los primeros resultados obtenidos con recubrimientos «diamond-like-carbon» (carbono similar al diamante) en componentes de boquillas son prometedores⁽⁸⁾. De especial interés, es su influencia sobre sedimentaciones en el canal de flujo y en la salida de la boquilla. Dado que los procesos de recubrimientos duros como PVD o CVD (deposición física o química de vapor) posiblemente demanden requerimientos adicionales para el material de base y la geometría de partes, los constructores de cabezales se ven ante nuevos desafíos.

TRES CABEZALES A MANERA DE EJEMPLO

Como complemento de los cabezales que se encuentran en el estado del arte^(3,4,6,10,14), queremos presentar los siguientes conceptos que ya se han comprobado en la práctica y han demostrado la gran diversidad de posibles diseños que ofrece el principio del distribuidor en espiral. Lograr un concepto acorde con la función y la necesidad en combinación con el diseño reológico, mecánico y térmico adecuado, promete una óptima solución del problema.

Las Figuras 1 y 4 muestran la sección transversal y el desarrollo de la superficie del sistema de predistribución de un cabezal para el revestimiento de tubos de acero. Desde la entrada lateral, pasando por un sistema de ramificación elaborado

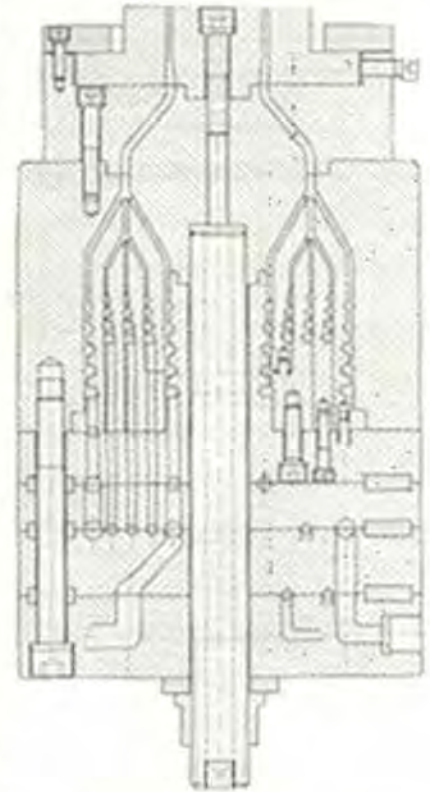


Figura 6. Cabezal de cinco capas con distribuidor en espiral, alimentación lateral y canal anular de prerramificación (Fuente: ETA Kunststofftechnologie GmbH)

sobre la periferia, el fundido es distribuido de modo uniforme sobre cuatro perchas. La distribución definitiva se realiza en un distribuidor helicoidal de 16 hélices. El cabezal básico consta de dos partes, lo cual hace fácil su montaje y desmontaje.

El cabezal en la Figura 5, para un tubo de tres capas, fue diseñado para una estructura de pared, con una capa interior muy gruesa y capas media y exterior delgadas. El sistema de predistribución fue realizado en forma convencional, es decir, con una perforación de alimentación para cada hélice y alimentación central, mientras que las capas media y exterior son alimentadas en forma axial y excéntrica a través de su

respectiva perforación. Un sistema tipo percha para cada una se encarga de la predistribución del fundido en su respectiva ranura anular. La distribución definitiva tiene lugar en un distribuidor en espiral con seis hélices. En esta tarea de cubrir una capa interior con dos capas delgadas, deben confluir, en primer lugar, las capas delgadas para unirse, después, con la capa interior.

En un cabezal de extrusión de cinco capas para pequeños tubos y mangueras (Figura 6), la prerramificación ocurre en canales anulares, partiendo de la alimentación lateral, con la correspondiente desviación del fundido, puesto que se hace necesario una perforación central para tareas de recubrimiento. En este tipo de prerramificación, el número de canales de alimentación para cada distribuidor en espiral asciende a 8 ó 16, de acuerdo con la serie potencial de 2. Los diámetros de las perforaciones y canales de flujo en los distribuidores en espirales son adaptados a las especificaciones del producto, buscando el óptimo equilibrio entre resistencia al flujo y tiempo de permanencia.

Los anteriores ejemplos demuestran la flexibilidad de diseño que ofrece el principio de la distribución en espiral en combinación con diferentes sistemas de prerramificación. Otros esfuerzos están dirigidos hacia la optimización de procesos (tecnológica y de fabricación) de aquellos detalles del cabezal y de los canales de flujo que aún se sustraen a la optimización por simple cálculo. Asimismo, parece una tarea necesaria y razonable mejorar el atemperado de los cabezales de extrusión.

Referencias

1. Michaeli, W. Extrusionswerkzeuge für Kunststoffe und

Kautschuk (Cabezales de extrusión para plásticos y caucho), Hanser Verlag, München 1991.

2. Perdikoulis, J., Petric, J. Developments in annular coextrusion die design (Desarrollos en el diseño de cabezales anulares de coextrusión), SPE-Retec., Coextrusion VI, Arlington Heights 1991.

3. Wortberg, J. Rechneunterstützung bei der Blaskopfauslegung (El diseño de cabezales de soplado asistido por computador), en: Rechnereinsatz beim Blasformen, Reihe «Kunststofftechnik», VDI-Verlag, Düsseldorf 1993.

4. Wortberg, J. Rohrwerkzeuge für Polyolefine und technische Kunststoffe (Cabezales para la extrusión de tubos de poliolefinas y plásticos de ingeniería), SKZ-Fachtagung: Extrusionswerkzeuge für Profil und Rohr, Würzburg 1995.

5. Bode, W. W. Design considerations for concentric mandrel and stackable coextrusion blown film dies (Consideraciones acerca del diseño de cabezales apilables para la coextrusión de película soplada), SPE-Antec, Boston 1991, p. 32-39.

6. Wortberg, J. Design of spiral mandrel coextrusion heads for blow moulding (Diseño de cabezales de coextrusión con distribuidor en espiral para el soplado), SPE-Antec, Boston 1995, p. 936-942.

7. Neuer Fünfschichtblaskopf mit Spiralverteiler (Nuevo cabezal de soplado de cinco capas con distribuidor en espiral), Firmenschrift der Hosokawa-Alpine AG, Augsburg 1995.

8. Grischke, M. Hartstoffsichten mit niedriger Klebneigung (Capas de material duro con baja tendencia adhesiva), JOT 1996, No.1, p. 4-7.

9. Berghaus, U. Hochleistungs-extrusion von Polyolefinrohren (Extrusión de alta velocidad de tubos de poliolefinas) en: Kunststoffe 86 (1996) 6, p. 776-782.

10. Burmann, G., Wortberg, J. Wendelverteiler für Folien, Rohre und Vorformlinge (Distribuidores helicoidales para película, tubo y preformas), Plastics No.1 (1995) 11, p. 21-29.

11. Schmitz, G. Blasfolienextrusion-Detailverbesserungen bei Anlagen und Automatisierung. (Extrusión de película soplada-Mejoramiento de detalles en maquinaria y automatización) en: Kunststoffe 85 (1995) 12, p. 2118-2122.

12. Esser, K., Franke, M., Wortberg, J. Sechs Schichten halten dicht-Coextrusionsblasgeformte Kunststoffkraftstoffbehälter (Seis capas garantizan hermeticidad - tanques de combustible moldeados por coextrusión-soplado) en: Kunststoffe 86 (1996) 8, p. 1120-1122.

13. N.N. Rohrköpfe für PVC und ABS (Cabezales para la extrusión de tubos de PVC y ABS) Plastics Special (1996) 7-8, p. 24-25.

14. Fischer, P. Extruder- und Werkzeugtechnik (Tecnología de extrusoras y cabezales) Plastics-Special (1996) 12, p. 12-14.

15. Multicone - Modularer Folienblaskopf (Multicone - cabezal modular para la extrusión de película soplada) Firmenschrift der Windmüller & Hölscher AG, Lengerich 1997.

16. Mayer, A., Butler, T., Yap, P. Blasfolientechnik im Spannungsfeld von Preis und Leistung (La extrusión de película soplada entre precio y rendimiento) en: Kunststoffe 87 (1997) 11, p. 1584-1592.

Artículo publicado en la Revista *Kunststoffe*, 88 (1998) 2, p.175-76, 178-180. Traducido para el Informador Técnico por: Ilse König de Laverde, traductora Marketing SIDT - ASTIN