

RECOMENDACIONES PARA EL ESPUMADO DE PVC

Por: Boehringer - Ingelheim, Alemania

INTRODUCCIÓN

Los productos de PVC rígido, fabricados mediante espumado integral, constan de un núcleo celular y una piel no espumada. Tales productos presentan una serie de ventajas: son altamente resistentes a las sustancias químicas y a la llama, poseen una elevada rigidez específica y reducen el costo de material. Más importante aún es su similitud con la madera, no sólo por su aspecto sino por su fácil mecanizado. Los productos espumados de PVC compiten plenamente con los de madera blanda en la industria de la construcción, tanto en aplicaciones exteriores como interiores, por ejemplo como marcos de ventana, paneles de separación, persianas y revestimientos.

Espumar PVC es posible, mezclándole espumantes químicos en concentraciones adecuadas; las cantidades dependen de la densidad deseada del producto final. Durante el proceso de transformación, el espumante se descompone a una temperatura crítica y en determinada zona del extruder, generando un gas inerte, el cual, debido a las altas presiones, se mantiene en suspensión en el PVC fundido.

Cuando el producto extruido sale de la boquilla, se produce una pérdida de presión que genera la estructura

celular. Modificaciones en la reología del fundido, la concentración del espumante o las condiciones de refrigeración, tienen un enorme efecto sobre el proceso de espumado y las propiedades físicas del producto final.

Los productos extruidos de PVC rígido espumado, como placas y perfiles, o tubos coextruidos con núcleo celular, ofrecen una mayor libertad de diseño que los artículos no espumados y también una mayor rigidez de flexión. Sin embargo el espumado reduce la resistencia a la tracción y la tenacidad al impacto. Estas propiedades mecánicas dependen ante todo de la densidad del producto final, la distribución del tamaño de las células y la estructura celular. La calidad de la estructura celular y las características mecánicas correspondientes

son determinadas por la nucleación y la fase de crecimiento de la célula durante el flujo del fundido.

PROCESOS DE ESPUMADO

El PVC espumado puede obtenerse mediante tres procesos distintos:

El **espumado libre** que, usando cantidades exactamente definidas de espumante, permite espumar el producto de extrusión inmediatamente después de salir de la boquilla. En este caso, el espumado actúa en sinergismo coincide con el hinchamiento del fundido y su capacidad de retornar al estado original. Los espesores que se pueden obtener con este método van desde los 2 mm hasta los 19 mm.

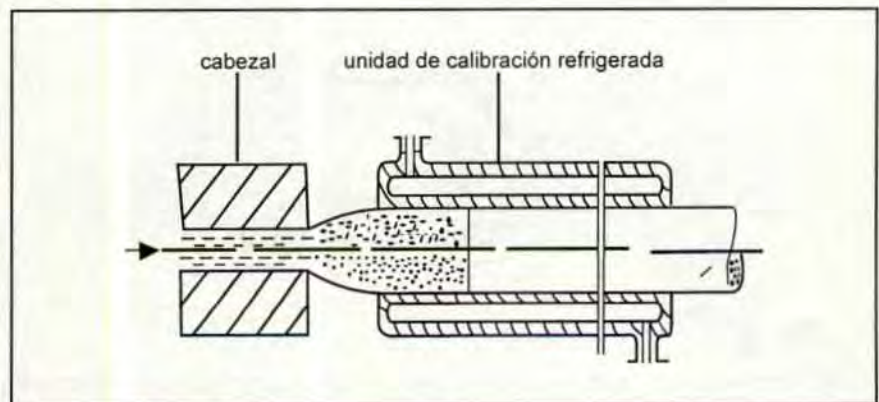


Figura 1. Espumado libre

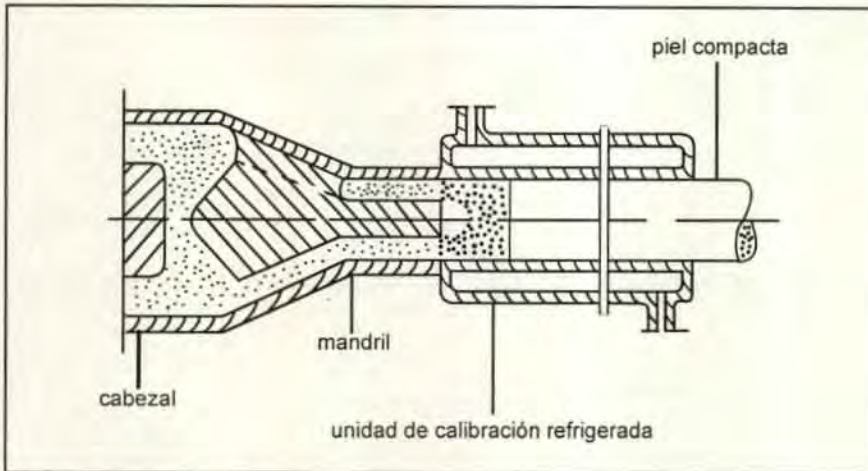


Figura 2. Proceso "Celuka"

Una alternativa tecnológica representa el **proceso Celuka**, donde el flujo del fundido es dividido en el cabezal mediante mandril. En la unidad de calibración el fundido de PVC comienza a espumar hacia el interior. En este procedimiento, toda la superficie es refrigerada inmediatamente después de salir del cabezal, lo cual genera superficies más duras y lisas, con densidades significativamente mayores que las del núcleo espumado. Las placas Celuka siempre tienen espesores por encima de los 10 mm.

Los productos que se elaboran con estos dos métodos de transformación

no resultan ser iguales, presentan diferencias en la distribución seccional de densidad y, en consecuencia, también en sus propiedades: Semi-productos elaborados por espumado libre muestran una superficie ligeramente estructurada y de menor dureza, en tanto que los productos Celuka presentan superficies con características muy similares a las de perfiles, placas y tubos no espumados.

El tercer proceso es la **coextrusión**, que ofrece una flexibilidad aun mayor en cuanto a transformación y estructura celular, permitiendo además altos rendimientos de producción.

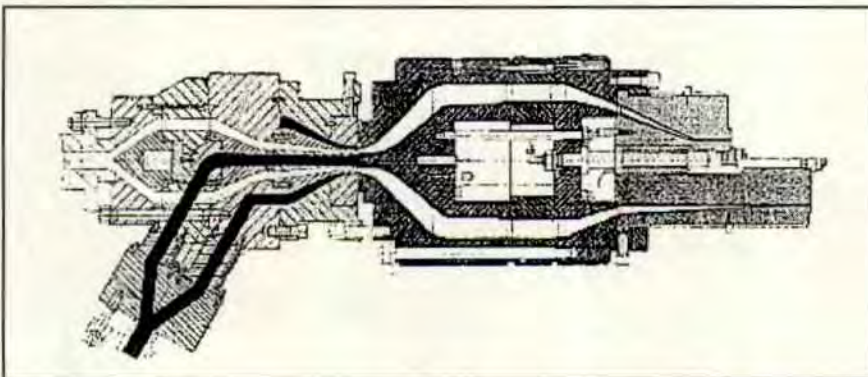


Figura 3. Cabezal de coextrusión para tubo espumado de tres capas (Theysohn TW 4-10)

APLICACIONES DE PRODUCTOS ESPUMADOS

Tubos

El mercado de tubos sin presión está dominado por el PVC. Al lado de los tubos no espumados se imponen cada vez más tubos de drenaje y desagüe espumados. La reducción del costo, en comparación con los tubos no espumados, asciende de 15 - 25%, debido a las bajas densidades. Tubos espumados de varias capas permiten el uso de formulaciones más económicas, sin afectar la calidad del producto. Además es posible aprovechar material reciclado de la propia producción o material regenerado de alta calidad de origen ajeno.

Las líneas de extrusión para producir tubos de PVC espumado de tres capas constan de un extruder principal para la capa interior espumada, y una o dos extrusoras menores para las capas exteriores compactas. Estos dos sistemas tienen las siguientes ventajas y desventajas:

Las ventajas del sistema de tres extrusoras son: mayor flexibilidad, regulación más exacta de la distribución de espesores de pared, posibilidad de combinar diferentes polímeros y colores en las capas exteriores. Sus desventajas: mayores costos de inversión y mayor requerimiento de espacio.

El sistema de dos extrusoras presenta las siguientes ventajas: costos de inversión más bajos y menor demanda de espacio. Sus desventajas consisten en: regulación limitada de la distribución de espesores de pared e imposibilidad de utilizar diferentes polímeros y colores en las capas exteriores.

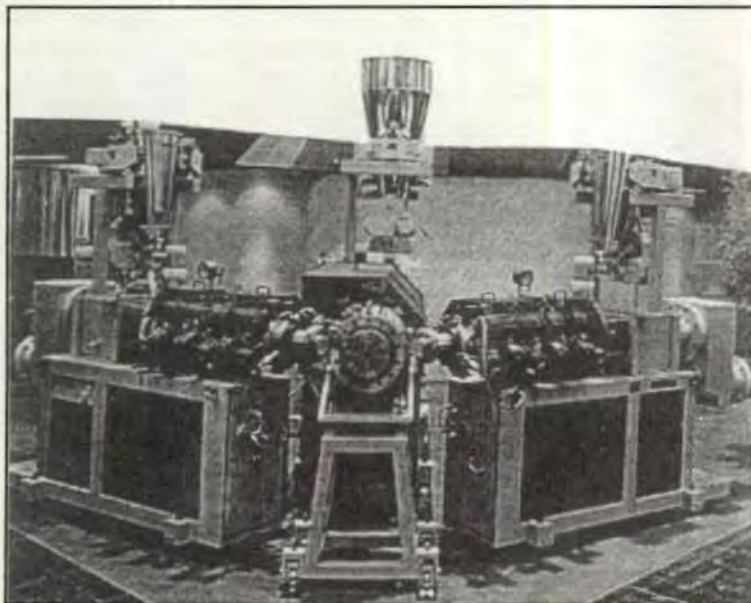


Figura 4. Sistema de tres extrusoras (Reifenhäuser Bitruder)

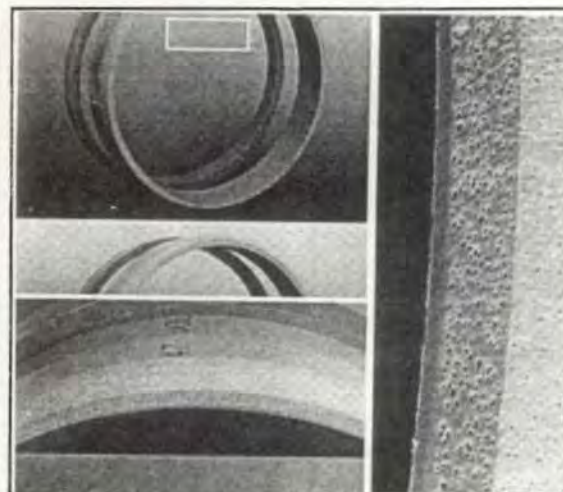


Figura 5. Sección de un tubo espumado de tres capas

La capa interior es espumada usando un agente químico. En comparación con los productos no espumados, se ahorra así del 15 - 20% de polímero, especialmente cuando se produce tubos de grandes diámetros.

El cabezal de extrusión

Las boquillas para la coextrusión de tubos con núcleo celular en su mayoría

son fabricadas en forma modular. La boquilla es alimentada por medio de un bloque distribuidor especial, que conduce los flujos de fundido a través de canales helicoidales. Igual como en las boquillas para la extrusión de tubos compactos, debe tenerse en cuenta determinada relación de compresión para garantizar los tiempos necesarios de paso.

Placas y perfiles

En la tabla 1 se pueden apreciar los tres procedimientos para fabricar placas y perfiles, con sus ventajas y desventajas:

Geometría del tornillo

Para la transformación de los más diversos compuestos de PVC, se usan casi exclusivamente extrusoras

Procesos	Ventajas	Desventajas
Espumado libre	<ul style="list-style-type: none"> ■ transformación más fácil ■ menor costo 	<ul style="list-style-type: none"> ■ alta absorción de agua ■ espesor limitado
Proceso Celuka	<ul style="list-style-type: none"> ■ buena calidad superficial ■ buena estabilidad a la intemperie ■ buenas propiedades mecánicas 	<ul style="list-style-type: none"> ■ mayor costo de inversión ■ proceso más sensible ■ menor rendimiento de producción
Coextrusión	<ul style="list-style-type: none"> ■ alto rendimiento de producción ■ excelente acabado ■ excelente estabilidad a la intemperie ■ buenas propiedades mecánicas ■ mayor diversidad de materiales 	<ul style="list-style-type: none"> ■ mayor requerimiento de espacio ■ mayores costos de inversión

Tabla 1. Procedimientos para fabricar placas y perfiles, con sus ventajas y desventajas



Figura 6. Doble tornillo cónico

con doble husillo de giro contrario. Para la extrusión de placas y perfiles espumados y también de tubos compactos de PVC rígido pueden usarse perfectamente husillos con la misma geometría.

Boquilla plana

El uso de un adaptador permite conectar la boquilla plana directamente al extruder. La configuración del canal de flujo debería tener en cuenta las propiedades reológicas del PVC fundido. Es recomendable, además, proveer la boquilla de una barra reguladora y labios ajustables. Para la fabricación de placas de PVC espumado, estos labios deberían ser atemperados y aislados del resto de

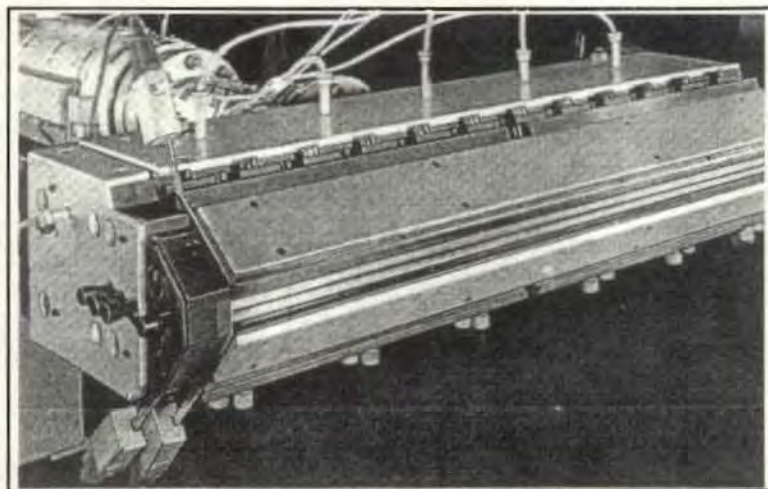


Figura 7. Boquilla plana para la extrusión de placas espumadas

la boquilla para regular las temperaturas en forma independiente. Si se reduce la temperatura de los labios, disminuye la viscosidad en la superficie del PVC fundido, lo cual produce una espuma muy fina de células cerradas, con excelentes propiedades superficiales. Para la elaboración de placas compactas de PVC rígido o PVC flexible, se puede usar la misma boquilla, siempre y cuando los labios de espumado sean reemplazados por labios estándar.

Alisado, enfriado, halado

Para aumentar la densidad de la superficie y enfriar el PVC fundido, se recomienda el uso de calandrias, en lo posible con mando neumático y

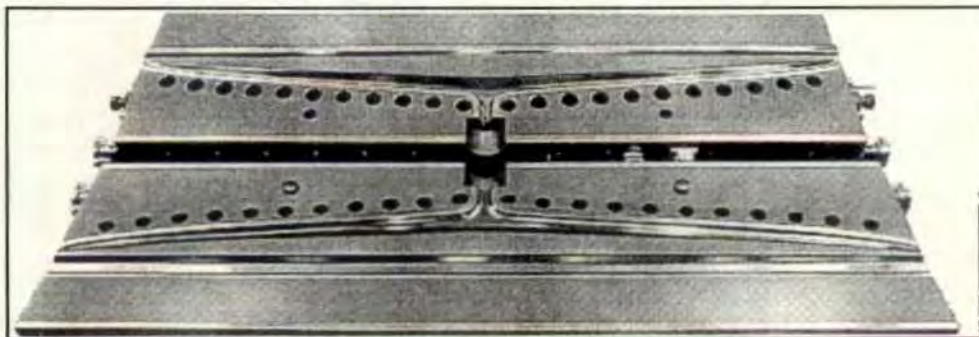


Figura 8. Boquilla en forma de percha



Figura 9. Calandria

refrigeración de los rodillos. Sería conveniente atemperar los diferentes rodillos usando ciclos independientes. El producto extruido y espumado es introducido entre los dos rodillos inferiores, pasa por los rodillos de la calandria en un recorrido total de 360 grados para terminar en la unidad de enfriamiento.

Las dimensiones definitivas de la placa se alcanzan durante el alisado del

producto extruido; en esta fase la superficie se densifica y la temperatura de la placa se reduce hasta tal punto que la calibración ya no puede afectar la calidad superficial. La longitud de la unidad posterior depende del rendimiento del extruder y del espesor de la placa que se va a fabricar.

FORMULACIÓN (DEL PVC)

Los productos espumados de PVC son extruidos a partir de compuestos en forma de polvo. Estos compuestos contienen el PVC polimerizado y gran número de aditivos esenciales tales como estabilizadores térmicos, auxiliares de proceso, deslizantes, pigmentos y espumantes químicos.

Polímero de PVC

Para el espumado se utiliza básicamente PVC de dispersión con valores K entre 57 y 60. En aplicaciones con mayores exigencias respecto a las

propiedades mecánicas del producto final (por ej. tubos con núcleo celular) se usan polímeros con valores K de hasta 68. Al espumar polímeros con valores K elevados, hay que tener en cuenta que su espumado sólo es posible en combinación con productos auxiliares (4 - 8 phr). Polímeros con valores K inferiores de 56 son más fáciles de transformar, generan sin embargo estructuras celulares mucho más bastas y propiedades mecánicas comparativamente malas, debido a la baja estabilidad del fundido.

Aditivos para PVC

Estabilizadores térmicos

Ante la inestabilidad térmica del fundido, es necesario mezclarle a una fórmula de PVC termoestabilizadores como aditivo esencial, que mejoran la termoestabilidad, evitan la decoloración del fundido durante el proceso de transformación y procuran que las propiedades físicas del producto final

	Aplicación	Ventajas	Desventajas
Plomo *sales y jabones de plomo	*tubos *perfiles *placas	*excelente estabilidad térmica	*productos no totalmente transparentes
Compuestos organo-estánicos *compuestos de alquilestaño *placas	*tubos *placas	*alta estabilidad inicial y de larga duración *transparencia excelente	
Otros compuestos metálicos *compuestos Ba/Cd *compuestos Ca/Zn	*tubos *perfiles *placas	*excelente estabilidad inicial y de larga duración *amable con el medio ambiente	*perjudicial para la salud y el medio ambiente *efecto térmico reducido

Tabla 2. Estabilizadores térmicos

sean perdurables.

Productos auxiliares de transformación, modificadores de la resistencia al impacto

La adición de productos auxiliares que faciliten la transformación modifica la reología del PVC fundido al tiempo que mejora las propiedades de procesamiento en general. Facilitadores del proceso son ante todo copolímeros de acrilato con pesos moleculares relativamente altos.

Estos productos auxiliares son un elemento muy importante en la formulación de PVC para el espumado de tubos y placas, porque aumentan la elasticidad y la estabilidad del fundido y previenen el colapso de la estructura celular. Porcentajes superiores de este aditivo, permiten reducir considerablemente la densidad y mejorar la calidad de la superficie.

Con crecientes porcentajes del producto auxiliar disminuye la densidad de la espuma, aumentando a la vez la cantidad de espumante. Es muy importante conservar la relación correcta entre los dos aditivos. Se desperdicia productos auxiliares en gran cantidad, si no se provee espumante suficiente. Con niveles muy bajos de auxiliares de proceso, no es posible obtener bajas densidades, sea cual fuera el porcentaje de espumante. Las densidades más bajas se alcanzan con porcentajes relativamente altos tanto de espumante como de auxiliares de transformación.

Se ha comprobado además que son los productos auxiliares con elevado peso molecular los que generan las densidades más bajas. Cantidades desproporcionales de espumante frente al producto auxiliar o aumentos en la temperatura del fundido pueden producir el colapso de las células. Tal colapso es resultado de una deficiente

K 400 (phr)	Densidad (g/cm ³)	Peso (kg/m)	Reducción del peso (%)
Tubo no espumado			
0	140	1.32	0
Tubo con núcleo espumado (porcentaje de espuma 60%)			
1	0.65	0.90	32.1
2	0.60	0.87	34.3
3	0.55	0.84	36.4

Fuente: Rohm & Haas

Tabla 3. Reducción de peso en tubo con núcleo espumado

estabilidad del fundido, por la falta de porcentajes suficientes de producto auxiliar.

Deslizantes

Los deslizantes ocupan una posición clave en toda receta de PVC, sean las aplicaciones compactas o espumadas. Tradicionalmente, se distinguen deslizantes internos y externos. Los deslizantes externos previenen la adhesión del fundido en las superficies metálicas, mientras que los deslizantes internos mejoran el flujo del fundido, disminuyendo su viscosidad. Por lo general, las fórmulas de PVC contienen deslizantes internos y externos en baja cantidad para mejorar las propiedades de transformación. Cantidades excesivas, sin embargo, afectan la transformabilidad. Espumas de PVC, que contienen deslizantes externos, presentan una superficie muy lisa y brillante, espumas con deslizantes internos, o una combinación de deslizantes internos y externos, exhiben superficies ligeramente mates. Deslizantes que han sido desarrollados en sintonía con los demás aditivos de una receta de PVC, facilitan considerablemente el proceso de transformación.

Materiales de carga

Los materiales de carga tienen un efecto adicional sobre la estructura celular de la espuma extruida, según la cantidad que se incorpore y el tamaño de las partículas. Varios tipos de carbonato de calcio pueden ser agregados en cantidades de hasta 10 partes, siempre que el tamaño de partículas no exceda los 1,28 µm.

Partículas mayores producen menores reducciones de peso y con ello también densidades más altas en los productos finales.

Espumantes

Los espumantes son aplicados, a escala considerable, en el espumado de plásticos de PVC y de perfiles de PVC flexible. Se usan además en la fabricación de placas, perfiles y tubos espumados de PVC rígido. Su objetivo es siempre la elaboración de un producto espumado con baja densidad y buena tenacidad al impacto de entalladura y, ante todo, ahorro de material y reducción de costos.

En la transformación de PVC se usan dos clases de espumantes : algunos tipos exotérmicos como la azodicarbonamida (ADC) y algunos

endotérmicos como el bicarbonato sódico (BIC). Ambos actúan, liberando gases durante su descomposición térmica, que se disuelve en el PVC fundido, generando a la salida de la boquilla la estructura celular del producto final. Es muy importante que la descomposición térmica se produzca en una zona exactamente definida del extruder.

Espumantes exotérmicos

Durante el proceso de descomposición, los espumantes exotérmicos emiten calor. En caso de que esta descomposición no sea completa, el

calor adicional puede provocar un post-espumado del producto o afectar el control del proceso de transformación. El espumante exotérmico más conocido es azodicarbonamida, que se descompone a 215 °C y tiene su aplicación principal en la industria del PVC. Los productos de descomposición son los gases N₂, NH₃, CO y CO₂. A pesar de que la temperatura de descomposición para azodicarbonamida (ADC) está fuera de los parámetros de procesamiento de PVC espumado, ésta puede ser disminuida, usando activadores (o kickers). Por fortuna, algunos de estos activadores son jabones metálicos (estearatos de

zinc y de plomo), que ya se están utilizando en recetas de PVC como termoestabilizadores.

Espumantes químicos endotérmicos

Hydrocerol®, el espumante químico endotérmico de Boehringer Ingelheim, ha sido aplicado desde un principio en el proceso Celuka. Los gases que se generan en su descomposición térmica son Na₂CO₃, CO₂ y H₂O. La descomposición se realiza sobre un amplio espectro de temperaturas, que coincide con los parámetros de transformación para espuma de PVC rígido. Debido a la lenta expansión de los gases que se generan, se logra una piel compacta y lisa, lo cual es una preciada ventaja del proceso Celuka.

Espumantes químicos endo-yexotérmicos

Las densidades más bajas se obtienen con una combinación de espumantes endotérmicos y exotérmicos, como los ofrece Boehringer Ingelheim. Estos productos son más fáciles de procesar y permiten un mejor control sobre la densidad de la espuma y la calidad (por ejemplo el grado de blancura) del producto final. La densidad de las espumas, en función del porcentaje de espumante, depende por una parte de los parámetros del proceso y por otra de los demás aditivos de la receta (ante todo de productos auxiliares y deslizantes).

Para el espumado de PVC flexible y rígido, Boehringer Ingelheim ofrece una gran variedad de espumantes en forma de polvo y microgranulado. Estos productos se basan en espumantes netamente endotérmicos, pueden ser de naturaleza exotérmica (activados o no activados) o combinaciones de ambos. Uno de los polvos endo-/exotérmicos más conocidos es el Exocerol 232, 100% activo. Gracias

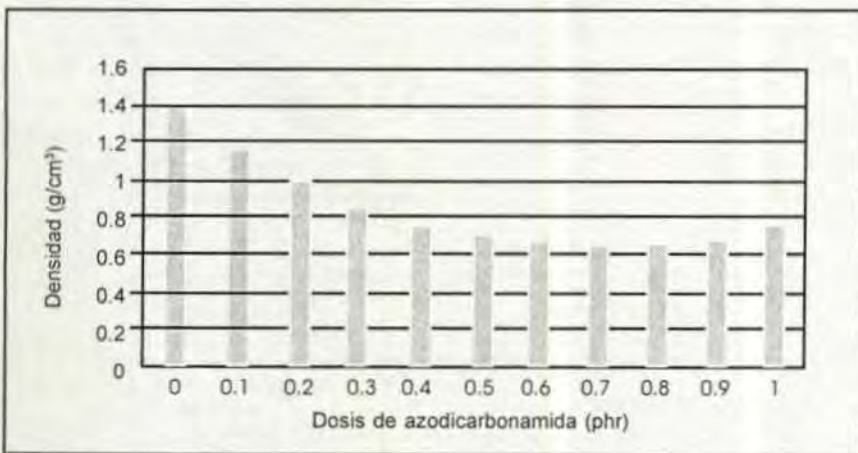


Figura 10. Densidad en función de la dosificación de ADC

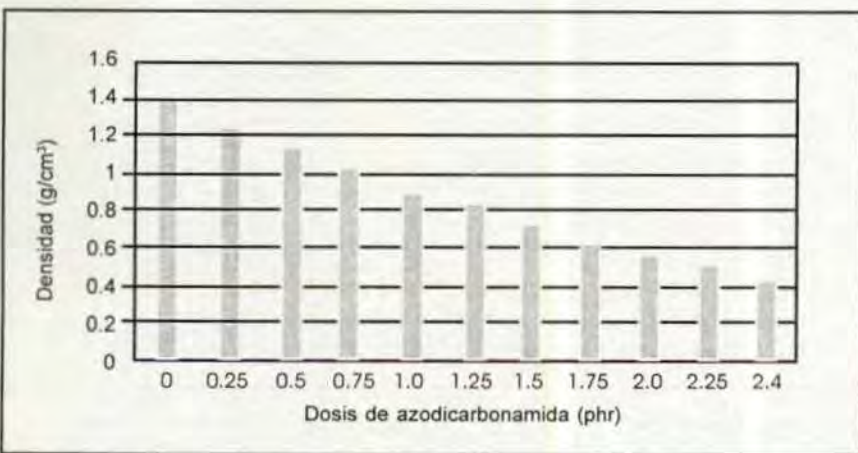


Figura 11. Densidad en función de la dosificación de bicarbonato sódico

a su bajo punto de descomposición, este producto posee una amplia aplicación, desde la fabricación de plastisoles, pasando por placas y blanquísimos perfiles, hasta la producción de tubo con núcleo espumado.

Con base en el Exocerol 232 se desarrolló el producto experimental CT 378. El portador de acrilato es inerte, lo cual significa que no se usaron sustancias, que podrían incidir negativamente en el procesamiento del PVC. Este producto se emplea ante todo en el espumado de placas y perfiles. Como viene en forma de granulado (microgranulado libre de polvo, con ϕ de 1,2 mm), es posible agregarlo al mezclador caliente o también directamente al extruder.

Otros productos con diferentes relaciones endo- / exotérmicas son CT 380 y CT 381, con 30% de

sustancia activa. También estos productos son granulados exentos de polvo y tienen un soporte inerte. CT 380 se ofrece en forma de microgranulado (con ϕ de 1,2 mm), en tanto que CT 381, debido al mayor diámetro (2,2 mm) del grano, se presta para el espumado de material reciclado. Ambos productos pueden emplearse en la producción de placas de espumado libre y tubos con núcleo espumado.

Para la espumación de placas Celuka, Boehringer Ingelheim ofrece los productos CT 414 (ϕ de 1,2 mm), y CT 416 (ϕ de 2,2 mm) con 60 % de sustancia activa. CT 397 (ϕ de 1,2 mm, 30% sustancia activa) y CT 403 (ϕ de 1,2 mm, 50% sustancia activa) fueron desarrollados para el espumado de tubos multicapa y ya han dado muy buenos resultados en la fabricación de tubo.

Boehringer Ingelheim, además, está en condiciones de ofrecer productos "hechos a la medida" (polvos y granulados), que se ajustan a los requerimientos individuales del transformador de PVC, y de sugerir formulaciones de PVC óptimas para la producción de artículos espumados.

BIBLIOGRAFÍA

N.L.Thomas, R.P.Eastup y J.P.Quirk: Rigid PVC Foam. Some Aspects of Formulation Technology. Conference Papers, Brighton 1996, p. 197 - 208.

P. Ellinger, B. Haworth: Synergistic Effects of Additives and Foaming Agents in Rigid PVC Foam Formulations, 1997.

Boehringer Ingelheim Pharm KG
Ingelheim-Alemania.

Aplicación	Espumante	Dosificación*
Tubos con núcleo espumado	Exocerol 232 (polvo) CT 380 (30% m, ϕ de 1,2 mm) CT 381 (30% m, ϕ de 2,2 mm) CT 397 (30% m, ϕ de 1,2 mm) CT 403 (30% m, ϕ de 1,2 mm)	0,3 - 0,5 phr 0,5 - 1,5 phr 0,5 - 1,5 phr 0,5 - 1,5 phr 0,3 - 1,0 phr
Placas y perfiles de espumado libre	Exocerol 232 (polvo) CT 378 (20% m, ϕ de 1,2 mm) CT 380 (30% m, ϕ de 2,2 mm) CT 394 (polvo) CT 414 (60% m, ϕ de 1,2 mm) CT 416 (60% m, ϕ de 2,5 mm)	0,3 - 1,5 phr 0,7 - 2,5 phr 0,5 - 2,0 phr 0,3 - 1,5 phr 1,5 - 2,5 phr 1,5 - 2,5 phr
Placas y perfiles Celuka	Hydrocerol BIF (polvo) Exocerol 232 (polvo) CT 394 (polvo) CT 414 (60% m, ϕ de 1,2 mm) CT 416 (60% m, ϕ de 2,5 mm)	1,5 - 2,5 phr 1,0 - 1,5 phr 1,0 - 1,5 phr 1,5 - 2,5 phr 1,5 - 2,5 phr

* depende del grado de espumado y las propiedades del producto final deseadas.

Tabla 4. Recomendaciones para el uso de espumantes en diferentes procesos de espumado

Allied Signal Europe N.V.
Heverlee, Belgica.

Ciba Additive GmbH
Lampertsheim-Alemania.

Cincinnati Milacron Austria GmbH,
Viena - Austria.

Hüls A.G.
Marl-Alemania.

Kureha Chemicals Singapore,
Pte. Ltd Singapur.

Reifenhäuser GmbH & Co.
Troisdorf-Alemania
Rohm & Haas.
Frankfurt-Alemania.

Theysohn Extrusionstechnik GmbH,
Korneuburg-Austria.

Boehringer Ingelheim
D-55216 Ingelheim
Tel.: +496132-773873
Fax: +496132-774617
Internet: <http://www.hydrocerol.de>
e-mail: Info@hydrocerol.de

Boehringer Ingelheim Chemicals, Inc.
Winchester, VA 22602-4535
Tel.: +1 800-891-3922
Fax: +1 540-665-2917
Internet: <http://www.hydrocerol.com>
e-mail: Info@hydrocerol.de

*Traducción realizada para el
INFORMADOR TÉCNICO por
Ilse Koenig de Laverde,
Instructora CDT ASTIN, SENA-
Regional Valle del Cauca.*

*Los proveedores de
maquinaria han cotizado
ahorros de costos de hasta
un 27 % para los tubos con
núcleo espumado,
comparados con tubos
estándar de PVC.*

