

Una de las principales funciones de un embalaje radica en evitar que se produzcan daños en el material embalado en caso de sacudidas y caídas. A este efecto, el EPS se deforma y amortigua de este modo las fuerzas. En esta ficha se describen los diversos factores que inciden y los diseños recomendados.

Para trasladar un cuerpo con un peso calculado como $(m \cdot g)$ a una determinada altura h , se precisa una energía $E = (m \cdot g) \cdot h$. Esta energía se libera nuevamente cuando el cuerpo cae de la altura h . Según la magnitud del recorrido de frenado y la curva de desaceleración hasta alcanzar la posición de reposo, sobre el cuerpo incide una fuerza más o menos grande.

La *figura 1a* muestra que la fuerza que incide en un cuerpo que tiene un sistema de amortiguación ideal, es decir, en el caso teóricamente más favorable, es:

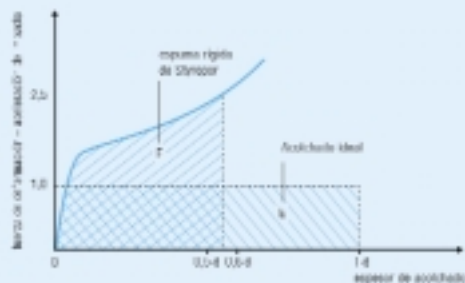
$$h / d \cdot (m \cdot g)$$

Figura 1a: Representación de los valores característicos en el ejemplo de un acolchado real



- (1) Un acolchado ideal se deforma completamente en el caso de carga por caída. La aceleración de impacto durante la deformación del acolchado es constante hasta la posición de reposo.
- (2) $L_1 = L_2 = m \cdot g \cdot h = m \cdot d \cdot d$ por lo tanto $h/d = h/d$
 $h/d =$ aceleración de impacto (valor constante del impacto si sobre h) como resultado de la aceleración de gravedad.

Figura 2b: Comparación de un “acolchado ideal con EPS con esfuerzo óptimo”



El factor de variación h/d frente a la incidencia de la fuerza en posición de reposo se denomina factor de choque G o índice G .

Al contrario de lo que sucede con un material de amortiguación ideal, los materiales de amortiguación reales se comportan de manera menos ventajosa. El motivo es la fuerza de deformación que varía con la deformación del material, especialmente en el caso de deformaciones grandes.

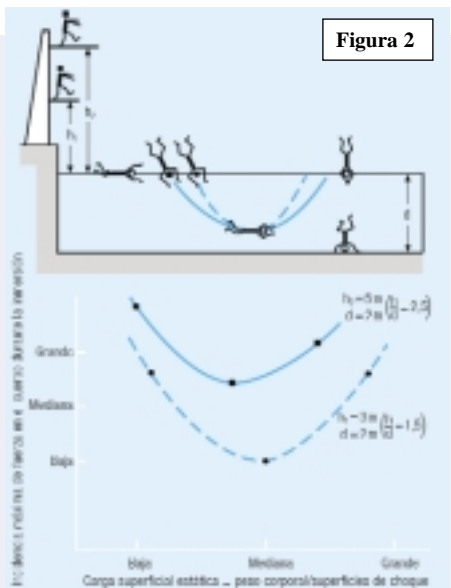
Las mejores propiedades de amortiguación de impactos se obtienen por lo tanto no en el caso de una deformación completa, sino con deformaciones de aproximadamente 50 a 60%.

De la *figura 1b* se desprenden las exigencias a que debe responder un buen material amortiguador:

- Aumento de la resistencia a la deformación a un determinado valor con un recorrido de deformación reducido.
- Invariabilidad de la resistencia a la deformación en un recorrido de deformación grande.

En comparación con otros materiales de amortiguación precisamente el Poliestireno Expandido reúne claramente estos requisitos. Como se deriva del diagrama de fuerza y deformación (figura 1b), este material acumula muy rápidamente una elevada resistencia a la deformación, alterándose muy poco hasta una deformación de aproximadamente el 60%. Si el embalaje está correctamente dimensionado, el valor del índice G será extraordinariamente reducido.





Dimensionado de los elementos amortiguadores.

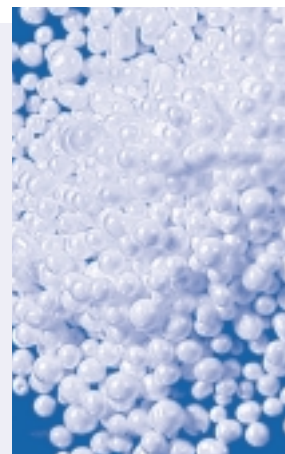
La capacidad de amortiguación de un embalaje no sólo viene determinada por las propiedades del material, sino también por los esfuerzos específicos a que está sometido. En la *figura 2* se ilustra, como ejemplo, este comportamiento de un salto a la piscina:

- En el salto "en plancha", la profundidad de inmersión, es decir, el recorrido de frenado, es muy reducido. El saltador nota cómo inciden fuerzas relativamente grandes en su cuerpo.
- En un salto de cabeza en vertical, la incidencia de fuerzas sobre el cuerpo es

muy baja. Pero en cambio el agua, como elemento amortiguador, tan sólo frena al cuerpo muy lentamente. En el extremo del elemento amortiguador "cabeza" se produce una amortiguación brusca con gran incidencia de fuerzas.

- El comportamiento óptimo se alcanza con un ángulo de inmersión determinado. El cuerpo utiliza el recorrido de amortiguación disponible para frenarse paulatinamente. Las fuerzas de frenado generadas, o índices G, son las más bajas.

Si se alteran las condiciones de partida – por ejemplo, la altura de salto, el peso del saltador o la profundidad del agua –, también es posible variar el ángulo de inmersión, si se trata de reducir al mínimo posible las fuerzas que inciden sobre el cuerpo. Si aumenta la proporción entre altura del salto y profundidad del agua (h/d), el ángulo de inmersión deberá reducirse (mayor incidencia de fuerzas



sobre el cuerpo) para transformar la energía de caída a lo largo de la carrera de inmersión disponible.

Cuando se produce la caída de un producto embalado se observan fenómenos similares. Gracias a la posibilidad de escoger a voluntad la densidad aparente del EPS y las dimensiones del embalaje, podemos ajustar las propiedades de amortiguación a las necesidades reales.

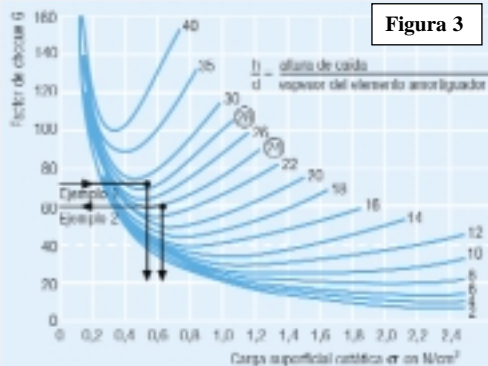


Figura 3

Las características señaladas en los diagramas tienen el siguiente significado:

Factor de choque G: valor G (por este factor aumenta el peso propio del material empaquetado durante el choque).

El valor máximo admisible de G para un determinado producto se denomina también sensibilidad del producto empaquetado.

$$h/d = \text{Altura de caída en cm} / \text{espesor del elemento amortiguador en cm.}$$

Las diferentes fotos que acompañan esta ficha ilustran las posibilidades de aplicación de los diagramas para el dimensionado de elementos amortiguadores de EPS.

$$\text{Carga Superficial estática} = \frac{\text{(Peso Producto empaquetado en N)} / \text{(Superficie de apoyo en cm}^2\text{)}}{}$$

En una serie experimental se han determinado las propiedades de amortiguación bajo distintas cargas, de elementos amortiguadores de distintos espesores, para caídas de diversas alturas y con materiales de diferentes densidades aparentes; los resultados se reproducen en forma de diagramas de amortiguación que la norma DIN 55 471, parte 2, recomienda para el cálculo del dimensionado.

Junto a los diagramas de amortiguación, existen también sistemas de cálculo más simples para determinar los valores óptimos del espesor y la

Figura 4



superficie de los elementos amortiguadores. El cálculo dimensional se basa en los puntos más bajos de las curvas de los diagramas de amortiguación *figura 3*. Esto significa que no permiten calcular valores distintos a los óptimos.

Las superficies calculadas de los elementos amortiguadores son, en la mayoría de los casos, menores que las disponibles para el apoyo del produc-

to empaquetado. Por ellos es preciso diseñar adecuadamente el embalaje para adaptarse a las necesidades. Al diseñar nervaduras o botones hay que seguir los siguientes criterios:

- Las nervaduras o botones, o la profundidad de las cavidades que los forman, deben representar del 50 al 60% del espesor total calculado del elemento amortiguador.
- Al diseñar nervaduras y botones se multiplicará el espesor calculado del elemento amortiguador por el factor 1,1 (factor de forma).
- Por superficie del elemento amortiguador se entiende la situada a media altura de la nervadura.
- El ángulo de los flancos de las nervaduras o botones será de aprox. 10° hasta 15° y los radios de base serán de aprox. 10 mm.





Recomendaciones para el diseño

Los cálculos proporcionan datos sobre el espesor necesario del elemento amortiguador, su superficie y la densidad aparente del poliestireno expandido. Estos valores permiten obtener entonces un embalaje adecuado, teniendo en cuenta todas las especificaciones del mismo. La *figura 4* ilustra los tipos de embalaje corrientes. Sus características particulares son:

- El diseño número 1 se caracteriza por tener unas superficies exteriores lisas y presentar nervaduras en el interior. En este caso no es preciso que el embalaje encierre todo el producto; sólo es necesario protegerlo, el cerrado puede realizarse con cinta adhesiva o flejes de plástico o cartón.
- El diseño número 2 ofrece una adaptación óptima a los contornos del producto. Este embalaje tiene nervaduras exteriores y permite fijar con toda seguridad el conte-

nido para resistir los máximos esfuerzos durante el transporte .

- El diseño número 3 representa un embalaje parcial con dos cubetas laterales o una pieza de fondo y una de cubierta. Estos elementos son especialmente interesantes para amortiguar golpes, por ejemplo en combinación con cajas de cartón ondulado.



- El diseño número 4 muestra elementos de protección de esquinas y cantos, que se emplean especialmente para muebles y grandes aparatos, utilizándose también como elementos amortiguadores universales.

