

BOLETÍN: DISEÑO DE PIEZAS PLÁSTICAS



*El presente artículo es una adaptación libre del artículo **Distinguishing Features of the Mechanical Design of Plastic Parts. Commentaries for the Undergraduate Student.** S.I. Krishnamachari, Pioneer Technologies, Inc. Naperville, IL*

La creación de nuevas tecnologías y nuevos materiales en la industria plástica ha permitido la continua sustitución de otros materiales, como metales, papel y cerámicas, en diversas aplicaciones industriales. ¿Razones? Menor peso, bajos costos y mejor apariencia, entre otras, que han permitido el crecimiento de las aplicaciones de múltiples productos plásticos en el mercado mundial. Desafortunadamente, los criterios de diseño de materiales plásticos han seguido las pautas establecidas para el diseño de materiales más rígidos.

El proceso para diseñar efectivamente una pieza plástica involucra dos etapas fundamentales: el diseño de la pieza y de elementos individuales (como nervios de refuerzos, agujeros, rebordes, etc.) y el análisis de esfuerzos, dependiendo de la aplicación final de la pieza.

A continuación, se presentan los parámetros de diseño más importantes que deben ser tomados en cuenta para elaborar piezas plásticas. El objetivo es que el lector pueda conocer los criterios de diseño de los distintos materiales, dependiendo de la aplicación final, así como también de las condiciones mínimas requeridas que van a asegurar al fabricante y al consumidor una pieza de buena calidad.

1 Análisis de Esfuerzos para el Diseño Mecánico de Piezas Plásticas.

El análisis de esfuerzos a los cuales estará sometida una pieza es fundamental a la hora de diseñar un producto que tendrá ciertos requerimientos mecánicos. Este análisis se basa en las propiedades básicas de los materiales plásticos, así como también en los distintos estados de carga (apilamiento, estiramiento, flexión, etc.) en los cuales puede desarrollarse una aplicación. Es común, incluso, modelarse los casos de mal uso de

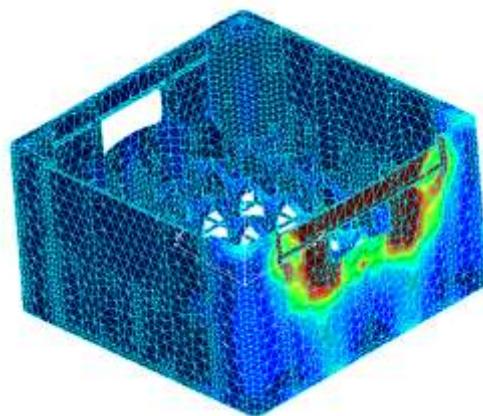
la aplicación, para prevenir fallas o sugerir modos de uso.

El factor de diseño que envuelve todas estas características es el llamado **Factor de Seguridad (FS)**, que -en otras palabras- es un factor de desconocimiento. Este FS asegura que el diseño realizado cumpla con los requisitos mecánicos de la aplicación, aún cuando existe una gran diferencia entre la vida real y la teoría obtenida de los modelos de análisis idealizados, considerando además que existe una gran cantidad de elementos no cuantificables que pueden afectar el diseño.

El FS escogido debe reflejar aspectos como el comportamiento del material, la economía de uso, condiciones de servicio, entre otros. Por lo tanto, el FS puede dimensionarse de manera diferente para diferentes productos, materiales y modos específicos de falla de los materiales. La tabla 1 (al final de este boletín) presenta unas recomendaciones de FS para distintas condiciones de uso. A continuación, se describen los diferentes criterios de uso.

2 Resistencia Estática y Rígidez.

La resistencia estática y la rigidez son los requerimientos más especificados para partes plásticas. Sin embargo, cuando ambas condiciones son requeridas en materiales no cargados, los requerimientos de rigidez son los predominantes. Estos parámetros dependen de la resistencia a la fluencia a corto plazo y del módulo tensil, respectivamente. En la mayoría de las hojas técnicas de productos se especifican estos valores.

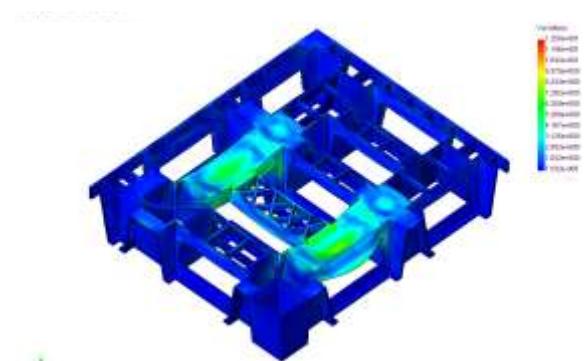


BOLETÍN: DISEÑO DE PIEZAS PLÁSTICAS



Normalmente, se considera que colocar un FS=1.5 en el esfuerzo a la fluencia y en la deflexión deseada a corto plazo resulta una protección adecuada para tener resistencia estática y rigidez. Este valor de FS es un valor tradicional que se ha aplicado exitosamente en metales y, actualmente, en plásticos. Históricamente, este FS se estableció cuando no existía un conocimiento detallado de la resistencia de los materiales y no se había desarrollado la teoría de las concentraciones de esfuerzos. Por lo tanto, el FS=1.5 se utilizaba para evitar la concentración y la fluencia. Ahora se conoce que en muchos casos, dependiendo de la aplicación, este valor puede ser muy elevado y resultar en exceso de material, altos tiempos de ciclo, y, en general, en mayores costos unitarios por pieza.

En el caso de la deflexión, también es necesario



aplicar el valor de FS, ya que se deben considerar los efectos acumulativos a largo plazo. La deformación puede llegar a ser inaceptable a largo plazo, llegando a fallar, incluso, con bajos niveles de esfuerzos. Por otro lado, debe tenerse en cuenta que la mayoría de los plásticos no cargados tienden a sufrir elevado Creep¹ en las etapas tempranas de la carga estática, por lo que la aplicación del FS sumamente importante.

Tómese el caso de un recipiente de 210 litros que debe ser apilado en 3 o 4 niveles. Si esta pieza no está bien diseñada, el recipiente del fondo puede sufrir el efecto de "pie de elefante" debido al Creep.

¹ Por Creep se entiende la fluencia o deformación lenta que sufren los materiales cuando son sometidos a cargas durante períodos prolongados. Los materiales termoplásticos son mucho más sensibles a los efectos de Creep que los metales, el vidrio o la madera.

A pesar de que este efecto no causa una ruptura catastrófica de la pieza ni derramamiento del contenido, la situación es inaceptable, ya que el recipiente no puede apilarse gracias a su nueva forma, por lo que deben restringirse mejor las deflexiones a corto plazo.

3 Comportamiento Esfuerzo-Deformación No-Lineal.

La relación entre el esfuerzo (o carga aplicada) y la deformación (o deflexión) de una pieza sometida a cargas, cuando la deformación y/o el esfuerzo son bajos, suele ser proporcional, elástica y recuperable, relacionada mediante el módulo elástico, que puede ser medido de diferentes maneras. En la mayoría de los casos, se desea que los estados de carga de una pieza se ubiquen en esta zona, ya que la deformación desaparece al cesar la carga. Sin embargo, en ocasiones, es necesario efectuar el análisis a cargas o deflexiones superiores a este estado. Un simple análisis elástico-lineal puede usarse para calcular el esfuerzo o la deflexión de una parte que muestra un comportamiento elástico no-lineal. En ese caso, sólo es necesario ajustar el FS usando la relación entre el módulo tangente y el módulo secante. Este FS viene dado entonces por $FS=1.5[E_{tan}/E_{sec}]^2$. Este valor del FS se escoge ya que cuando se trata de materiales de comportamiento no-lineal, las deflexiones se magnifican hasta $[E_{tan}/E_{sec}]$ como máximo, por lo que los problemas de rigidez se resuelven con este factor.



La resistencia del material viene dada por una deformación permisible. En las áreas de concentración de esfuerzos, es razonable suponer

² Para mayor información sobre los diferentes métodos de medición de módulos, consulte a su vendedor o contacte a la Gerencia de Mercadeo de Polinter.

BOLETÍN: DISEÑO DE PIEZAS PLÁSTICAS



que el esfuerzo puede leerse a partir de las curvas carga-desplazamiento, sin tener que recurrir a métodos avanzados, como la simulación computacional. Sin embargo, el valor de FS establecido anteriormente es conservador, por lo que la realización de simulaciones apropiadas puede representar una alternativa para analizar la deflexión, en cuyo caso la escala del FS no es del todo necesaria, pudiendo emplearse los criterios tradicionales.

4 Fatiga.

Por fatiga se entiende el someter a una pieza a un esfuerzo cíclico. Un ejemplo representativo de este caso es la tapa "flip" del tubo de crema dental.

Las estructuras que sufren carga por fatiga necesitan un valor de FS muy alto en el número de ciclos de fatiga. Se recomienda un FS=10 sobre el número de ciclos, o un FS=2.0 en el esfuerzo. Por ejemplo, sea el caso de una parte que necesita superar 50.000 ciclos de carga. A partir de la curva de fatiga del material, se obtiene que pueda permitirse un esfuerzo de 25 MPa para 50000 ciclos. Entonces, la recomendación puede ser una de las siguientes:

- Hallar el esfuerzo correspondiente a 500.000 ciclos (es decir, usando un FS=10 en el número de ciclos) y limitar el esfuerzo en las áreas de concentración a ese valor. Esta determinación puede ser complicada, si no se cuenta con equipos de laboratorio adecuados.
- Limitar el esfuerzo en las áreas de concentración a 12.5 MPa (es decir, usar un FS=2 en el esfuerzo). En este caso, se usarían los métodos tradicionales de análisis de esfuerzo o simulaciones de carga estática.

La razón por la que estos FS son tan altos se debe a que la iniciación de la falla, debido a la fatiga, es muy sensible a imperfecciones locales microscópicas en el sitio de la falla, las cuales dependen de muchas variables de difícil control, tanto por el productor de la resina como por el transformador. También es muy común que las imperfecciones y los altos esfuerzos ocurran simultáneamente en el mismo lugar y tales vulnerabilidades no pueden considerarse cuantitativamente en el diseño, por lo

que se debe asegurar un alto FS. Este aspecto debe tomarse en cuenta para todos los modos de fallas localmente sensibles, no sólo para el caso de fatiga.

Debido a la alta sensibilidad del modo de falla a defectos locales, los resultados obtenidos en las curvas de fatiga pueden llegar a ser muy dispersos. La simulación de la fatiga, aún cuando ya se efectúa y está disponible en algunos programas comerciales sofisticados, requiere de un profundo conocimiento del problema y del desempeño del material.

Es importante recalcar que la evaluación de los esfuerzos por fatiga debe incluir efectos de concentración de esfuerzos, que se aplica a esquinas, costillas de refuerzo, etc. Por otro lado, como las partes de plástico generalmente están sujetas a fatiga de baja deformación pero altos tiempos de ciclo, un análisis de esfuerzo lineal pudiera ser suficientemente preciso. En el caso de simulaciones de elementos finitos, una malla que sea sensible a las curvaturas en las costillas de refuerzo también es recomendable.

5 Fluencia lenta (Creep).

Todas las estructuras plásticas sufren de Creep y, por lo general, se fija un límite de deformación por Creep para un producto. Esta deformación, ϵ_{all} , debe ser menor que la deformación a la ruptura al final de la vida de servicio, T. Una protección muy conservadora puede lograrse seleccionando un esfuerzo de diseño apropiado, que viene dado por: $\sigma = \text{Min}(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)$, donde:

$$\sigma_1 = (\text{esfuerzo que causa una deformación de } \epsilon_{all} \text{ al final del tiempo } T) / (\text{FS}=1.0)^3$$

$$\sigma_2 = (\text{esfuerzo que causa la aparición de grietas al final del tiempo } T) / (\text{FS}=1.0)$$

$$\sigma_3 = (\text{esfuerzo que causa ruptura al final del tiempo } T) / (\text{FS}=1.5)$$

³ Este es el criterio usualmente empleado en el diseño de contenedores, por parte del personal técnico de Polinter, en el apoyo a sus clientes.

BOLETÍN: DISEÑO DE PIEZAS PLÁSTICAS



Los términos de deformación a corto plazo, así como los criterios de esfuerzo, están implícitos en estas expresiones. Para esfuerzos a corto o largo plazo, por su parte, deben aplicarse herramientas más sofisticadas, como las de simulación.

Un $FS=1.0$ para σ_1 y σ_2 se asigna cuando la pieza no fallará catastróficamente al alcanzar la deformación permitida; en este caso, el producto puede ser retirado sin daño alguno. Sin embargo, la ruptura por Creep denota una falla catastrófica y, en este caso, es necesario un $FS=1.5$.

Es importante notar que la aparición de grietas y la ruptura se encuentran en áreas de donde hay altas concentraciones de esfuerzos, por lo que los diseños que satisfagan los requerimientos considerados deben ser aquellos en los que el esfuerzo, incluyendo los efectos de concentración de esfuerzos, sean menores que el σ definido anteriormente. Estos criterios se aplican en elementos de diseño locales, tales como nervios de refuerzo, las interfaces con los insertos metálicos, etc., ya que allí es donde probablemente el mecanismo de fractura comience a actuar.

6 Esfuerzos Térmicos Constantes.

Desde el punto de vista de los esfuerzos térmicos, no es necesario agregar un FS adicional para diseñar una pieza. Es necesario tan sólo usar criterios apropiados de diseño (tales como impedir la expansión o contracción térmica) para minimizarlo. Por otro lado, es recomendable que la suma de los esfuerzos térmicos y de carga sean menores al 80% del esfuerzo a la fluencia en el corto plazo.

La razón por la cual no hace falta colocar un FS se debe a que, en primer lugar, estos esfuerzos térmicos son muy bajos cuando se trata de plásticos; en segundo lugar, a que estos esfuerzos tienden a relajarse con el tiempo. Expresado en porcentajes, la velocidad de relajación de esfuerzo térmico es aproximadamente igual y opuesta a la velocidad de Creep. Por lo tanto, no es posible que suceda una ruptura catastrófica del material sólo por acción de esfuerzos térmicos, ya sea a largo o corto plazo.

7 Ciclos Térmicos y Ciclos de Creep.

Muchos plásticos sufren de ciclos carga-descarga en un patrón relativamente regular y, muchas veces, éstos están acompañados de ciclos térmicos. Así, la pieza pasa por ciclos de Creep y recuperación de acuerdo con la relación esfuerzo-Creep-tiempo-temperatura del material.

Usualmente, el esfuerzo actúa a una alta temperatura; la relajación opera a temperatura ambiente. Esta situación es muy interesante, ya que la velocidad de deformación por Creep en presencia de temperatura es alta, mientras que la velocidad de recuperación a temperatura ambiente es relativamente lenta (igual al Creep a temperatura ambiente), por lo que la deformación por Creep no se recupera totalmente y, en cada ciclo, se acumula una cierta cantidad de deformación residual en los sitios de altos esfuerzos.

El único límite que se establece en cuanto al diseño es que $\epsilon(T) \leq \epsilon_{all}$, donde, $\epsilon(T)$ es la deformación acumulada al final del tiempo de vida de la pieza, T , y ϵ_{all} es la deformación permitida para el material. Sin embargo, establecer el esfuerzo o deformación acumulada por ciclo no es una tarea sencilla.

8 Vibración Periódica.

La vibración periódica se asocia con una fuente de excitación identificable y que, generalmente, se debe a una máquina rotativa, como - por ejemplo - las herramientas de mano. Los componentes plásticos sujetos a la vibración necesitan ser suficientemente rígidos, de manera que su frecuencia natural (FN) sea por lo menos 2.0 veces mayor a la frecuencia rotativa de la máquina. Este valor se asigna, debido a que cuando la $FN > 2.0$, los esfuerzos en condiciones dinámicas son menores que aquellos en condiciones estáticas.

En caso de que exista más de una frecuencia de excitación proveniente de la máquina rotatoria, se recomienda utilizar herramientas de simulación, ya que no es posible designar un valor específico de FS.

BOLETÍN: DISEÑO DE PIEZAS PLÁSTICAS



9 Vibraciones aleatorias.

Las vibraciones aleatorias se obtienen cuando una amplia gama de frecuencias de excitación está presente en todo momento, por lo que no es posible diseñar para una frecuencia particular. Los siguientes indicadores pueden utilizarse como guía para diseñar la pieza plástica:

- Usar una alta rigidez, radios de filetes generosos, buenos métodos de unión de piezas y procesos de control que minimicen los esfuerzos residuales. En conjunto, esto reducirá la respuesta del esfuerzo.
- Agregar puntos adicionales de soporte o masa adicional.
- En el cálculo de la frecuencia natural y en el análisis modal, es aceptable ignorar los nervios, lo que lleva a estimados conservadores de esfuerzos.

Una alta resistencia en el material aumentará los valores de la frecuencia de resonancia, a los cuales - por fortuna - los niveles de energía son menores.

Un ejemplo real de vibración aleatoria es la que sufren las ventanas de los automóviles al ser elevadas. Las cargas del viento son un ejemplo perfecto de vibración aleatoria. Como no se pueden agregar nervios de refuerzo, toda la rigidez debe provenir de forma de cáscara de la ventana y de los métodos de soporte.

En el caso del uso de herramientas de simulación para analizar estos casos, se recomienda el uso de modelos muy detallados y finamente discretizados, con el fin de detectar fuentes pequeñas de concentración de esfuerzos, que pueden actuar como elementos de aceleración de la falla. Sin embargo, el costo de tiempo de computación y de memoria suele ser elevado.

10 Pandeo (Buckling).

El pandeo ocurre cuando esfuerzos resultantes compresivos, combinados con un efecto de pandeo, predominan en algunas partes del componente (ver figura).

Prevenir el pandeo se basa principalmente en aumentar la rigidez de la pieza, por lo que los tres

componentes que contribuyen a la rigidez son de gran importancia para evitar este efecto: el módulo del material, el espesor de la pieza y los elementos de diseño de refuerzo, como los nervios.

Generalmente, suele aplicarse un $FS=2.0$ sobre la carga crítica de pandeo, que además es calculada por un análisis de pandeo no-lineal. En otras palabras, la resistencia mínima de pandeo de la pieza debe exceder dos veces la carga aplicada. La única manera de lograr esto es aumentando el espesor, el número y altura de las costillas, así como aumentar el número de soportes. Estos análisis pueden ser provistos por el personal de servicios técnicos de Polinter.



Siendo materiales de baja rigidez, casi todas las estructuras de plástico son muy susceptibles a fallar por efecto del pandeo. Por otro lado, muchos procesos para plásticos limitan el valor del espesor de la pieza, lo cual genera una falta de rigidez que evite el pandeo, por lo que los elementos de diseño son necesarios para evitar este modo de falla.

Otros factores bien conocidos, como la excentricidad de la carga, la no-uniformidad de las propiedades, del espesor y el comportamiento no-lineal del material, tienden a reducir la resistencia del material al pandeo. Por otro lado, se debe reconocer que para un material y una pieza dada, no hay efectos naturales que aumenten la resistencia al pandeo; sólo buenos elementos de diseño pueden aumentar tal resistencia.

Hasta ahora, se han señalado todas las consideraciones que deben realizarse al momento de realizar un análisis de esfuerzos, como una de las etapas del proceso de diseño de una pieza plástica. Es importante recordar que todas las condiciones propuestas fueron destinadas para que la pieza a diseñar **sobreviviera** a una cierta carga

BOLETÍN: DISEÑO DE PIEZAS PLÁSTICAS



o deformación, sin fallar. En ningún caso se requería que la pieza llegara a fluir o fallara de alguna manera. Sin embargo, existen nuevos criterios de diseño para aplicaciones, donde se requiere que el material ceda ante los esfuerzos.

11 Límites del Espesor y Uso de Elementos Reforzantes.

El aspecto distintivo de todos los diseños de piezas plásticas es que el proceso de producción de los mismos coloca un límite en el espesor de la pieza. Un límite universal máximo de 15 a 20 mm parece aplicarse para todos los plásticos, sin tomar en cuenta el proceso. Por otro lado, para la mayoría de las piezas plásticas, la longitud y el ancho de la misma son considerablemente mayores que el espesor. Este hecho conlleva a la necesidad de usar elementos de refuerzo. Las siguientes pautas generales deben tomarse en cuenta al momento de diseñar las costillas:

- Es recomendable lograr mayor rigidez, colocando más nervios en lugar de colocar un menor número de nervios con mayor altura. Esto es debido a que, además de someter las puntas de los nervios a mayores condiciones de esfuerzos, los nervios de mayor altura generan los problemas de pandeo torsional bajo cargas excéntricas.
- Un menor número de nervios de mayor altura proporciona rigidez sólo cuando los esfuerzos son altos, pero disminuyen el peso de la pieza. Por otro lado, un mayor número de nervios con menor tamaño proporciona la misma rigidez a menores niveles de esfuerzos, pero con un peso mayor de la pieza.
- Es recomendable colocar nervios en dos direcciones perpendiculares, aún cuando el diseño no requiera estrictamente de refuerzos en la segunda dirección.

El diseño de la geometría de un nervio de refuerzo se obtiene comúnmente de una extrapolación de diseños previos exitosos; por lo general, no existen reglas específicas para el diseño más eficiente. Debe existir un balance entre el espesor de la pieza impuesto por el proceso, la altura del nervio impuesta por el esfuerzo permisible y el cumplimiento de los requisitos de peso y rigidez.

Otras razones físicas que hacen el diseño de nervios muy complejo son: (i) generalmente se aplican en superficies curvas, (ii) su altura no es constante y la punta puede seguir un contorno, (iii) puede estar parcialmente ranurado por razones de ensamblaje, (iv) pueden tener un hueco para inserto, (v) están espaciadas de manera no uniforme. Debido a la gran dificultad de seguir un patrón en el diseño, es recomendable sobreponer la rigidez necesaria en el diseño inicial y, luego, verificarlo aplicando herramientas de simulación.

A pesar de que los nervios y otros refuerzos pueden aumentar considerablemente la rigidez de una pieza, los estilos de geometría de los nervios dependen del proceso que se utilice. A continuación, se describen aspectos relacionados con la rigidez de la pieza, dependiendo de la técnica de moldeo empleada:

- Las partes moldeadas por inyección pueden ser diseñadas para una rigidez flexural deseada, pero en general son deficientes en cuanto a rigidez torsional, debido a la presencia de nervios abiertos (visibles).
- Los procesos asistidos por gas producen nervios huecos, que pueden aumentar simultáneamente tanto la rigidez flexural como la torsional. Sin embargo, el proceso permite colocar pocos nervios en unas ubicaciones preseleccionadas. Por otro lado, estos nervios huecos no pueden interceptarse y se debe tener en cuenta que el método de inyección asistida por gas se aplica para crear piezas relativamente grandes.
- Los productos moldeados por la técnica del rotomoldeo o con doble capa, en los cuales dos superficies opuestas se diseñan para tocarse y unirse, poseen alta rigidez flexural y torsional.
- Las botellas moldeadas por soplado, así como los tambores y contenedores, poseen alta rigidez debido a su geometría (regularmente) redonda.

BOLETÍN: DISEÑO DE PIEZAS PLÁSTICAS



12 Nuevos Conceptos en el Diseño de Piezas Plásticas.

La baja rigidez de los materiales plásticos, comparada con la de los metales, no es completamente una desventaja, ya que se han desarrollado nuevos conceptos y elementos de diseño en función de esta propiedad. Entre las aplicaciones más novedosas se encuentran los "snap-fits", que son utilizados en los ensamblajes removibles o no-removibles y que pueden integrarse en la pieza. Estos elementos no podrían incorporarse en piezas elaboradas de metal y significan una gran ventaja, a un costo muy razonable y con muy poco material.



En segundo lugar, está el concepto de consolidación de la parte, es decir, la posibilidad de combinar funciones en una sola pieza final. En el caso de los metales, muchas partes separadas debían acoplarse para lograr este fin, lo que implica más tiempo, costo y dificultad de producción.

Por último, se encuentran todas aquellas aplicaciones donde, gracias al bajo módulo y la alta capacidad de deformación de los materiales, se han logrado piezas casi irrompibles y con una muy alta resistencia al impacto.

Tomando en cuenta estos aspectos, se han desarrollado una nueva cantidad de productos basados en el concepto de que la pieza debe fallar bajo una cierta carga. Los mejores ejemplos son los productos médicos y los empaques higiénicos. Las tapas de envases de leche, por ejemplo, pueden proteger el contenido si botella si llega a caer al suelo, pero se rompe fácilmente cuando la carga correcta es aplicada, al abrir el empaque.

Se han logrado otras funciones únicas con los plásticos, que deben ser mencionadas:

- Artículos absorbentes de energía, paneles resistentes al sonido y amortiguadores vibratorios que aprovechan las propiedades viscoelásticas de los materiales.
- Implementos de soporte que son utilizados ampliamente en sistemas de soporte anti-sismos, utilizando un gel viscoelástico que es forzado a través de pequeños orificios. El orificio está localizado en un pistón que pasa el gel a través de velocidades del pistón muy bajas, pero que se trancan y solidifican cuando hay presentes altas velocidades provocadas por los sismos.
- Materiales con muy altos y muy bajos coeficientes de fricción, que son muy utilizados en aplicaciones domésticas.
- Materiales extremadamente resistentes al impacto, como en las aplicaciones que detienen proyectiles a altas velocidades.

BOLETÍN: DISEÑO DE PIEZAS PLÁSTICAS



Tabla 1. Recomendaciones de empleo de FS para distintas condiciones de uso de piezas plásticas.

Característica predominante del comportamiento	FS	FS aplicado sobre...
1 Resistencia, Rígidez	1.5	Esfuerzo de Fluencia, deflexión máxima permitida
2 Comportamiento no-lineal	1.5[Etan/Esec]	Esfuerzo de Fluencia, deflexión máxima permitida
3 Fatiga	10 2	Número de ciclos permitidos Límite de Duración
4 Resistencia al Creep. Vida = T horas	Usar esfuerzo de diseño $\sigma = \text{Min}(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)$ donde, σ_1 =(esfuerzo que causa una deformación de $Ea\% / \text{al final del tiempo } T$) σ_2 =(esfuerzo que causa "crazing" al final del tiempo T) σ_3 =(esfuerzo que causa ruptura al final del tiempo T)/1.5	
5 Esfuerzo Térmico	1.5	Esfuerzo total debido a las cargas mecánicas y esfuerzos térmicos
6 Vibración periódica	2.5 ~ 3.0	Frecuencia forzada
7 Vibración al azar	De difícil predicción, se recomienda solicitar ayuda especializada si es el factor predominante en el comportamiento de la pieza	
8 Pandeo	2.0	Resistencia al Pandeo requerida. Usar análisis pandeo no-lineal.
9 Diseñado para fallar	≤ 1.0	Ánálisis detallado mediante simulación, Ensayo de Productos

Este boletín ha sido elaborado por la Gerencia de Mercadeo de Polinter, con el apoyo de los especialistas de Investigación y Desarrollo, C.A. (INDESCA). El mismo está dirigido a todos los clientes usuarios de las resinas Venelene® y confiamos en que la información contenida en el mismo sea de su máximo provecho y utilidad.

En caso de que desee hacernos llegar cualquier comentario o sugerencia, le agradecemos nos escriba a la siguiente dirección electrónica: info@polinter.com.ve o a través de nuestro agente comercial: Corporación Americana de Resinas (CORAMER), con sucursales en Venezuela y Colombia (<http://www.coramer.com>)

La información descrita en este documento es, según nuestro mejor conocimiento, precisa y veraz. Sin embargo, debido a que los usos particulares y condiciones de transformación están enteramente fuera de nuestro control, el ajuste de los parámetros que permiten alcanzar el máximo desempeño de nuestros productos para una aplicación específica, es potestad y responsabilidad del usuario.

Para obtener información más detallada de los aspectos de seguridad relativos al manejo y disposición de nuestros productos, le invitamos a consultar las hojas de seguridad (MSDS) de los Polietilenos Venelene®.