



## 4- Propiedades típicas de los materiales plásticos

### 4.1- Propiedades Mecánicas

En la tabla "Propiedades típicas de los materiales" se puede observar que los plásticos son más livianos que los metales, es decir, tienen menor densidad. La resistencia mecánica de los plásticos es menor que la de los metales (excepto plásticos reforzados u orientados) pero debido a su menor densidad frecuentemente ofrecen una mejor relación **Resistencia/Peso**.

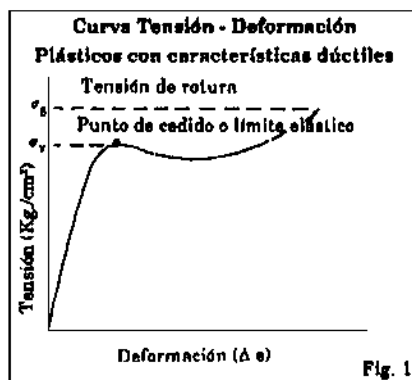
Cabe señalar que la tabla adjunta es sólo orientativa debido a que existe una enorme gama de productos plásticos así como de aleaciones en los metales con diferentes tratamientos térmicos que dificultan la comparación.

Entre las **propiedades mecánicas** citaremos:

- Resistencia a la tracción
- Resistencia al choque
- Resistencia a la encalladura
- Resistencia a la compresión
- Alargamiento o rotura
- Dureza

#### 4.1.1- Propiedades tensiles

Un material dúctil plástico sometido a la tracción genera una curva Tensión vs. Deformación que se muestra en la figura donde se observa una zona de deformación proporcional (recta) hasta un **Punto de Cedido o Límite Elástico** (denominado Yield Point en inglés).



En el caso de los metales, sometidos a tensiones relativamente bajas, tienen un comportamiento tal que la deformación es directamente proporcional a la tensión aplicada, esta relación se conoce como ley de Hooke:

$$\Delta e = k\sigma$$

k es la constante de proporcionalidad. En ingeniería el cociente entre tensión/deformación se define como Módulo de Elasticidad o de Young (E).

**Propiedades típicas de los materiales**

Material	Módulo E	Resistencia a la rotura	Densidad	E/d	s/d
	Kg./cm <sup>2</sup> x10 <sup>9</sup>	s kg./cm <sup>2</sup>	gr./cm <sup>3</sup>	(x10 <sup>4</sup> )	(x10 <sup>3</sup> )
1.0 Aluminio	700	2500	2,7	2,6	9,3
2.0 Acero Inoxidable (18-8)	1960	6300	8,0	2,5	7,9
3.0 Acero Dulce	2100	4800	7,8	2,7	6,1
4.0 Nylon 6 (5)	8,0	650	1,13	0,07	5,8
5.0 Bronce	980	4200	8,8	1,1	4,8
6.0 Poliestireno Cristal (7)	32	420	1,05	0,31	4,0
7.0 Zinc	–	2900	6,8	–	4,3
8.0 Polipropileno (Homo) (6)	17	350	0,90	0,19	3,9
9.0 A.B.S (9)	23	370	1,07	0,22	3,5
10.0 Poliestireno Alto Impacto (8)	22	240	1,05	0,21	2,3
11.0 Polietileno Alta Densidad (H0m0) (3)	12	180	0,965	0,12	1,9
12.0 Polietileno Alta Densidad (4)	9,5	160	0,953	0,10	1,7
13.0 Polietileno Lineal (d = 0,92 6) (2)	3,6	130	0,926	0,04	1,4
14.0 Polietileno Convencional (d = 0,923) (1)	1,9	100	0,923	0,02	1,1

(1) Boletín Técnico Ipako S.A. Duretileno 3080. 12 = 8,0 gr. /10 min.(2) Boletín Técnico Polisor S.M. 6320/1. 12 = 12 gr. /10 min.

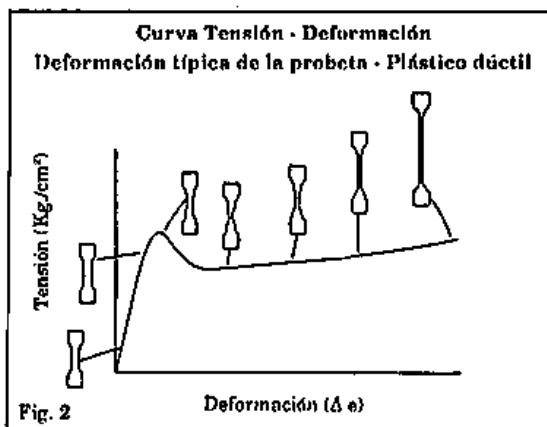
(3) Boletín Técnico Polisor S.M. 5070/6. 12 = 7,5 gr. /10 min.(4) Boletín Técnico Polisor S.M. 5915/1. 12 = 15 gr. /10 min.

(5) Boletín Técnico Sniamid - 6 meses en clima normal 20 °C y 65 % HR.(6) Boletín Técnico Shell – Ind. Fluencia = 8,0 gr. /cm<sup>2</sup>. (Homopolímero).

(7) Boletín Técnico Monsanto PS Cristal Alta Frecuencia uso general (HF 55)(8) Boletín Técnico Monsanto PS Alto Impacto uso general (HT 88 – 2)

(9) Boletín Técnico Monsanto ABS para moldeo (610)

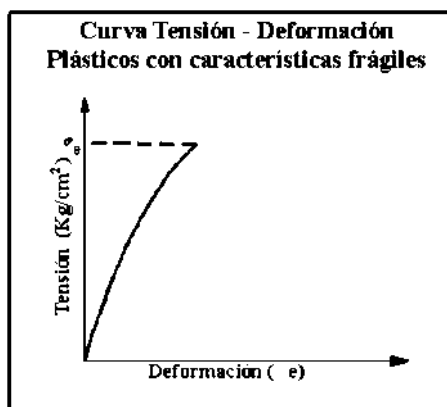
La diferencia esencial entre el comportamiento de los plásticos y metales es que los plásticos cuando se someten a tensión, la deformación resultante no depende sólo de la magnitud de la tensión sino también del tiempo durante el cual la tensión fue aplicada. Como consecuencia de ello el comportamiento de los plásticos sometidos a tensión no puede ser representado por un único valor y deben ser perfectamente definidas las condiciones de ensayo (tiempo o velocidad, temperatura, forma de moldeo de la probeta).



En el caso de los plásticos, el Módulo de Elasticidad se define como el cociente de la tensión en el punto de cedido y la deformación correspondiente.

Es una muy importante propiedad que está relacionada a la rigidez del material, cuanto mayor es el Módulo de Elasticidad más rígido es el material y en caso de contrario se trata de un material más flexible.

En el caso de los plásticos rígidos la curva tensión/deformación es distinta. A medida que se aplica una tensión se produce una deformación permanente y creciente hasta la rotura, como se observa en la figura.



El método standard de ensayo para determinar las propiedades tensiles está descrito en la norma ASTM D 638.

#### 4.1.2- Deformación en Frío (Fluencia en frío o creep)

A diferencia de otros materiales, los plásticos muestran deformación cuando se los somete a tensión relativamente baja, en frío, a lo largo del tiempo.

La dependencia de la deformación o cedido en función del tiempo, así como de la tensión, se determina mediante Ensayos de Deformación o Cedido en frío.

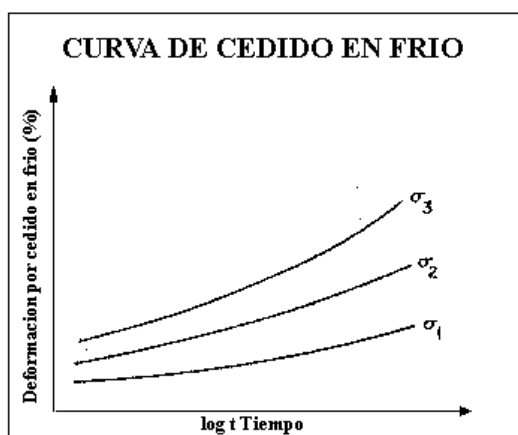


En la figura se muestra una curva típica del ensayo mencionado que muestra en el eje vertical la deformación ( $D_e$ ) y en el eje horizontal el tiempo ( $t$ ) para tres tensiones distintas ( $s$ ) ( $s_3 > s_2 > s_1$ ).

El gráfico es semilogarítmico porque el tiempo debe ser representado como  $\log t$  debido a los tiempos prolongados que están involucrados.

La deformación en frío debe ser tenida en cuenta cuando se diseña un envase de plástico. Se debe definir la deformación máxima admisible a lo largo de su vida útil, calcular la tensión a que está sometido y verificar con los valores tabulados para cada material en particular.

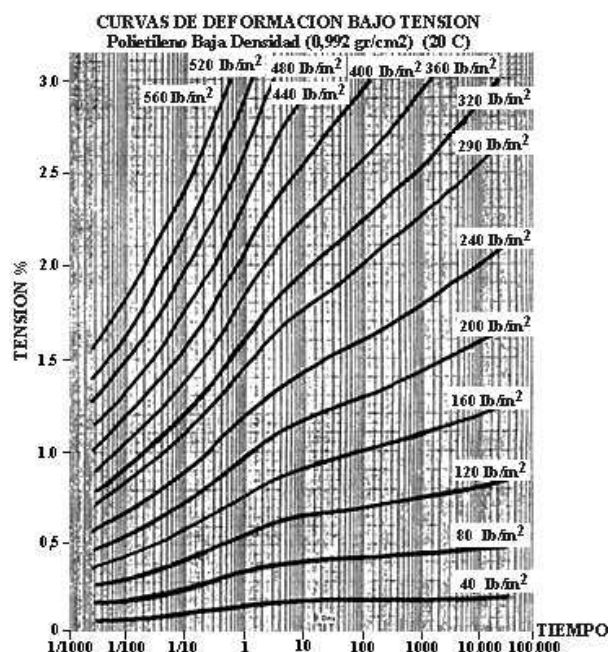
En la figura se muestra la curva de cedido en frío vs tiempo para el Polietileno de Baja Densidad (PEBD) de baja densidad.



#### 4.1.3- Resistencia al impacto

Es una muy importante propiedad de los plásticos que tiene gran importancia en la selección de un material para un envase determinado.

Las distintas familias o tipos de materiales plásticos tienen diferente resistencia al impacto. Algunos son frágiles y presentan rotura ante golpes, otros son dúctiles y cuando son sometidos a un impacto se deforman sin presentar rotura.



La resistencia al impacto se mide según método ASTM D 256.

Básicamente el método mide la energía necesaria para romper una probeta normalizada de tal manera que permite realizar una comparación entre distintos materiales plásticos.

Cabe señalar que dentro de una misma familia de polímeros existen tipos con distintas resistencias al impacto. Un ejemplo es el Poliestireno (PS) que mediante el agregado de caucho o elastómero a la estructura molecular aumenta considerablemente su resistencia al impacto, generándose los tipos denominados PS de medio impacto o PS de alto impacto necesarios para ciertas aplicaciones de envasamiento. Otro tanto sucede con el Polipropileno que mediante la adición de etileno como comonomero (copolímero Propileno-Etileno) se mejora sustancialmente su resistencia al impacto particularmente a bajas temperaturas.

#### 4.2- Propiedades Térmicas

Las **propiedades térmicas** abarcan:

- Estabilidad térmica
- Conductibilidad térmica
- Dilatación térmica
- Temperatura o intervalo de fusión
- Carga térmica permanente admisible
- Resistencia al frío



#### **4.2.1- Puntos de transición térmica. Temperatura de fusión cristalina y Temperaturas de transición vítrea**

##### **4.2.1.1- Plásticos semicristalinos**

Las cadenas poliméricas de ciertos plásticos se pueden ordenar formando zonas cristalinas, que tienen marcada influencia en las propiedades finales del material. Como ya se mencionó los materiales en los que coexisten cristalitos y zonas amorfas se los denomina semicristalinos.

Los cristalitos de los materiales plásticos pueden variar en tamaño, forma y grado de perfección dependiendo de la estructura molecular (por ejemplo grado y longitud de las ramificaciones) de la historia térmica de la muestra y del grado de orientación o estiramiento que sufre durante la transformación. Por esta razón la temperatura de fusión de dichos cristalitos, para un mismo material plástico, no es una temperatura fija, exacta como es el caso de sustancias orgánicas simples. Por el contrario la fusión se lleva a cabo durante un rango de temperaturas. La temperatura a la que desaparecen las últimas trazas de cristalitos es el límite en el cual el material pierde toda estabilidad dimensional y usualmente se toma como punto de fusión.

##### **Plásticos amorfos**

Los plásticos amorfos están compuestos por cadenas moleculares distribuidas al azar y se caracterizan por tener un importante punto de transición térmica denominado Temperatura de Transición Vítrea (Tg) donde se produce el cambio de un sólido frágil y rígido como el vidrio (vítreo) a una sustancia elastomérica o dúctil. Debajo de Tg las cadenas moleculares son rígidas mientras que por encima son flexibles, sin embargo se necesitan temperaturas mucho más elevadas (aprox. +60°C) para reducir la viscosidad del fundido a los valores necesarios requeridos para la transformación mediante extrusión o inyección.

Estos materiales dado que no tienen estructura cristalina (cristalitos) no tienen un punto de fusión cristalino.



TEMPERATURAS DE TRANSICIÓN VITREA Y DE FUSIÓN DE POLÍMEROS				
Polímero	Unidad	Abreviación	Tg. (Transición Vítrea) (°C)	Tm. (°C)
Poliétileno Alta Densidad	$(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)$	PEAD	-110	134
Poliétileno Baja Densidad Lineal	$(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)$	PEBDL	-110	122
Poliétileno Convencional	$(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)$	PEBD	-110	115
Poliestireno	$\begin{array}{c} (-\text{CH}_2-\text{CH}-) \\   \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	PS	90-100	--
Policloruro de Vinilo	$\begin{array}{c} (-\text{CH}_2-\text{CH}-) \\   \\ \text{Cl} \end{array}$	PVC	87	--
Polipropileno	$\begin{array}{c} (-\text{CH}_2-\text{CH}-) \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$	PP	-10	165
Poliamida	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{O} \quad \quad \text{O} \\   \quad    \quad \quad    \\ (-\text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{N}-\text{C}-(\text{CH}_2)_4-\text{C}-) \\   \\ \text{H} \end{array}$	PA	50	240
Polietiléntereftalato	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ (-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-\text{C}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}-) \\    \\ \text{O} \end{array}$	PET	70	260

#### 4.2.2- Coeficiente de dilatación

Cuando los materiales se calientan, usualmente se expanden o dilatan y su magnitud se expresa mediante el Coeficiente de Dilatación.

En la tabla se muestra el coeficiente de dilatación de algunos plásticos comparado con el de los metales.

**Tabla comparativa del coeficiente de dilatación térmica de algunos plásticos, metales y vidrio**

Materiales	Coeficiente de dilatación térmica(cm./cm. °C)
PE Alta Densidad (PEAD)	2,00 x 10-4
Polipropileno (PP)	1,80 x 10-4
Poliestireno (PS)	0,67 x 10-4
Acero	12,10 x 10-6
Aluminio	23,40 x 10-6
Acero inoxidable	16,00 x 10-6
Vidrio	3,24 x 10-6



Se observa que los materiales plásticos tienen un coeficiente de dilatación aproximadamente 10 veces mayor que los metales comunes. Mientras que el PEAD y PP tienen coeficientes de dilatación que son 60 veces mayores que el vidrio y el PS 20 veces más que el vidrio.

Un cuidadoso estudio del coeficiente de dilatación es esencial para muchas aplicaciones de envases por diversas causas.

Debido a que los plásticos se moldean a elevadas temperaturas, los artículos finales serán ligeramente menores al tamaño del molde, por lo tanto ésto debe ser tenido en cuenta cuando se diseña el mismo. Debe tenerse en cuenta cuando se combinan en un envase distintos materiales: vidrio o metales con plásticos (tapas por ejemplo).

En ciertas aplicaciones donde las dimensiones son críticas debe considerarse que el tamaño cambiará con la temperatura.

Se puede reducir en cierto grado el coeficiente de dilatación de los plásticos, para llevarlo al mismo orden de los metales mediante el agregado de cargas.

#### 4.2.3- Conductividad Térmica

Los materiales plásticos son malos conductores del calor comparados con los metales. La conductividad térmica de los polímeros amorfos generalmente está dentro del rango de  $3 \times 10^{-4}$  a  $5 \times 10^{-4}$  cal/cm. seg. °C, en un rango de temperatura de 0-300 °C. Por el contrario los termoplásticos semicristalinos tienen una mayor conductividad térmica alcanzando valores de hasta  $12 \times 10^{-4}$  cal/cm. seg. °C dado que la estructura cristalina ordenada tiene una mayor conductividad térmica que las regiones amorfas.

Por encima del punto de fusión, donde desaparece el componente cristalino la conductividad térmica tiene niveles similares a la de los polímeros amorfos. En la tabla puede observarse que los materiales plásticos son entre 100 y 1000 veces más aislantes del calor que los metales. La conductividad térmica del vidrio, muy usado en envases, es entre 7 y 3 veces más grande que la de los materiales plásticos.

**Tabla comparativa de la conductividad (k) térmica de algunos plásticos, metales y vidrio**

<b>Materiales</b>	<b>k(cal./cm.seg. °C)</b>
PE Baja Densidad (0,918 gr./cm <sup>3</sup> ) (25 °C)	$6,0 \times 10^{-4}$
PE Alta Densidad (0,951 – 0,958 gr./cm <sup>3</sup> ) (25 °C)	$9,5 - 10,9 \times 10^{-4}$
PVC (sin plastificante) (25 °C)	$3,85 \times 10^{-4}$
PVC (con 40 % de plastificante) (25 °C)	$3,70 \times 10^{-4}$
Polipropileno Homopolímero (20 °C)	$5,25 \times 10^{-4}$
Poliamida (Nylon 6 y Nylon 6-6)	$6,0 \times 10^{-4}$
Politetrafluoretileno (teflón) (20 –35 °C)	$6,0 \times 10^{-4}$
Acero al carbono	$12,4 \times 10^{-2}$
Acero Inoxidable	$3,9 \times 10^{-2}$
Aluminio	$52,0 \times 10^{-2}$
Vidrio	$25,8 \times 10^{-4}$





#### 4.3- Propiedades Ópticas

Las propiedades ópticas de un material plástico como la transparencia y el brillo, son de gran importancia en la industria del envasamiento.

A diferencia de los metales, papel, cartulinas, etc., los materiales plásticos no son totalmente opacos y sus características varían de traslúcido a transparente según el tipo de material y transformación a que es sometido.

##### 4.3.1- Transparencia y brillo

La **transparencia** se define como la calidad de la imagen de un objeto visto a través del plástico en términos de contraste y resolución. Se usan también los términos Claridad y Nubosidad (Haze).

El **brillo** es la aptitud de un objeto de reflejar la luz y ofrecer una superficie en la que se puedan ver objetos reflejados.

La transparencia es una propiedad que depende de la absorción y la difracción de la luz. Esta última a su vez depende de las variaciones locales del índice de refracción, en un Plástico Semicristalino dichos índices son distintos para la zona cristalina y la zona amorfa lo que causa pérdida de transparencia. En el caso del Polietileno cuando los cristalitos (denominados *esferulitas*) tienen un tamaño mayor de 0,2 micrones difractan la luz y presentan nubosidad que es el caso típico de una película obtenida por soplado.

Mediante procesos de obtención de películas con enfriamiento muy rápido (agua o rodillos enfriados) se logra reducir el tamaño de las *esferulitas* por debajo del valor mencionado y se obtiene una película con muy elevada transparencia.

Las largas cadenas moleculares de los plásticos y sus cristales se pueden "orientar" o sea alinear en una misma dirección mediante procesos de estirado, este cambio morfológico introduce importantes cambios en las propiedades ópticas mejorando sustancialmente la transparencia.

En el caso de los Plásticos Amorfos que no presentan estructura cristalina, en general son transparentes tales como Poliestireno cristal (PS), Polimetimetacrilato (PMMA)(Acrílico), Cloruro de Polivinilo (P.V.C.), Polietilentereftalato (PET).

#### 4.4- Propiedades Eléctricas

Los plásticos no son conductores de la electricidad, de hecho son los mejores materiales aislantes de la electricidad, razón por la cual se los usa extensivamente en la aislación de conductores eléctricos.

Relacionado con el envasamiento, la propiedad aislante tiene varias consecuencias prácticas, a saber:

Los plásticos son susceptibles a tener carga de **electricidad estática** y ésto trae como consecuencia ciertos problemas estáticos ya que existe una tendencia a acumular polvo que se encuentra en el aire. Esto se evita agregando **aditivos antiestáticos** que al migrar a la superficie de la pieza moldeada aumentan su conductividad evitando dicho problema.

Para el envasamiento de ciertos productos electrónicos, donde por ejemplo hay almacenada información en forma de carga magnética o que son sensibles a los campos eléctricos se deben usar materiales plásticos con tratamientos especiales que los transforman en conductores de la electricidad. Se trata de



plásticos que mediante aditivos tales como cargas de Negro de humo o Aluminio en polvo mejoran sustancialmente su conductividad eléctrica.

Por último, en el caso del envasamiento de productos pulverulentos (azúcar, leche en polvo, etc.) en películas plásticas (polietileno o laminados) existe la tendencia a que el polvo que se envasa se adhiera a la misma, por efecto de la electricidad estática, dificultando la soldadura del envase. Este problema se evita mediante el agregado de aditivo antiestático.

De las **propiedades eléctricas** de los plásticos en general sólo interesa para el embalaje el factor de pérdida dieléctrico  $\tan \delta$  que determina el trabajo de soldadura del material en el procedimiento de alta frecuencia.

#### 4.5- Resistencia Química

**Los plásticos se juzgan químicamente** según su estabilidad frente a alcoholes, compuestos aromáticos, gasolina, grasa y aceites, álcalis, ácidos, aceites etéricos y muchas otras sustancias.

Una de las más grandes ventajas del plástico es la ausencia total de ataque debido a la humedad del medio ambiente. Algunos plásticos son higroscópicos y sufren alguna disminución de las propiedades mecánicas y dimensionales pero ninguno está sujeto a ataques en la superficie comparables con la corrosión en el hierro o la oxidación del Cobre o Aluminio.

Algunos plásticos resisten ácidos que atacan y disuelven rápidamente a los metales. Algunas familias de plásticos se destacan por su resistencia a una muy amplia variedad de sustancias químicas, por ejemplo los fluoroplásticos (politetrafluoretileno).

Sin embargo para la mayoría de los plásticos, existen sustancias químicas que son hostiles, por lo tanto, se debe contar con datos confiables acerca del comportamiento de determinado plástico frente a las sustancias que va a contener.

Para juzgar si un material plástico es adecuado para envasar ciertos productos, se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- Cada familia de plásticos es distinta en lo que respecta a resistencia química y varía grandemente el tipo de producto químico al que es vulnerable. Deben consultarse las tablas de compatibilidad o resistencia para cada material en particular.
- Los plásticos interactúan con el medio químico mediante varios mecanismos que varían en velocidad y efecto sobre las propiedades, por ejemplo: Reacción química, Absorción, Solvatación, Plastificación, Resistencia al Fisuramiento en Medio Agresivo (Envirometal Stres Cracking Resistant) (ESCR). Los diferentes mecanismos afectan a distintas propiedades y producen diferentes riesgos que varían con la aplicación en particular.
- La mayoría de los ensayos de resistencia química han sido desarrollados para ser llevados a cabo en tiempos cortos, no los tiempos reales de envasamiento, razón por la cual sirven para propósitos comparativos y no dan información del efecto sobre las propiedades de diseño.



#### **4.5.1- Mecanismos de ataque químico**

##### **4.5.1.1- Reacción química**

Involucra directamente la reacción química del producto en los sitios activos de la cadena molecular. El resultado es la rotura de la cadena y la destrucción del polímero. El avance del ataque puede ser medido por el cambio del peso molecular.

La velocidad de reacción depende, como toda reacción química, de la temperatura y la concentración del producto químico.

##### **4.5.1.2- Solvatación y plastificación**

La mayoría de los plásticos tienen solventes específicos, sin embargo debido a su alto peso molecular la mayoría de los termoplásticos no son fáciles de disolver. Cuando un envase plástico es puesto en contacto con un solvente (para ese plástico en particular) la solvatación se produce lentamente, produciendo efectos similares al ataque químico; también se producen cambios en el peso (del envase), cambios dimensionales e hinchamiento a veces marcado.

En el caso que el producto químico es miscible con el plástico pero no lo disuelve, el resultado es de Plastificación y Absorción cuyo principal efecto es ablandarlo, reducir su rigidez y resistencia de cedido en frío; asimismo baja la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ).

##### **4.5.1.3- ESCR**

Se trata de un mecanismo de ataque químico en el cual el reactivo no ataca o disuelve el polímero cuando está sin tensiones pero causa importantes daños cuando se encuentra bajo tensiones, mediante la aparición de pequeñas fisuras. Es un mecanismo de ataque complejo y difícil de predecir en la vida real de un envase sometido a distintos requerimientos mecánicos. Ejemplos prácticos son: Agentes tensioactivos (detergentes) con el Polietileno, Alcoholes con el Poliestireno.

#### **4.6- Resistencia a las Radiaciones**

Los plásticos son sensibles a las radiaciones provocándoles degradación cuya magnitud depende de la intensidad y tipo de radiación, clase de plásticos y aditivos que se le agreguen.

Desde el punto de vista del envasamiento es importante el efecto que provocan los rayos ultravioletas (UV) que forman parte de la radiación solar que llega a la superficie de la tierra. Los rayos UV tienen suficiente energía para romper los enlaces de las cadenas del polímero, lo que provoca una destrucción o degradación progresiva de las propiedades mecánicas. Por esta razón la mayoría de los plásticos son Fotodegradables.

Cuando se diseña un envase que estará expuesto a la luz solar (cajones de gaseosas, bolsas industriales, coberturas de pallets, etc.), se debe estudiar cuidadosamente este aspecto teniendo en cuenta el plástico que específicamente se usa.

Asimismo afectan a los plásticos las radiaciones de alta energía, rayos gama, por ejemplo. En un principio, a muy bajas dosis de radiación, se produce un reticulado o puente entre las cadenas moleculares (crosslinking) que en ciertos casos mejoran algunas propiedades mecánicas. Si se continúa con la exposición a los rayos gama el material plástico se degrada rápidamente. Este fenómeno debe tenerse en cuenta cuando se someten productos envasados a esterilización por radiación de alta energía.

#### **4.7- Dureza**

En el caso de los metales, la dureza es una propiedad relativamente compleja pero en general, en ausencia de un tratamiento de endurecimiento, la cantidad medida es directamente proporcional al punto



de cedido. En el caso de los plásticos se considera que el valor del punto de cedido es una buena referencia de la dureza. Una comparación aproximada entre los plásticos y metales puede hacerse mediante la escala de Mohs que se muestra en la siguiente tabla:

DUREZA DE LOS MATERIALES (ESCALA MOHS)	
Materiales	Dureza
Plásticos	2 - 3
Mármol	3
Plomo	1,5
Aluminio	2 - 2,29
Hierro	4,5
Acero	5 - 8,5

LAS ESCALAS MOHS Y SHORE SON UNIDADES PARA MEDIR DUREZA DE MATERIALES EN FORMA RELATIVA Y COMPARATIVA.

Es usual también medir la dureza de los plásticos por el método Shore usando la escala CoD

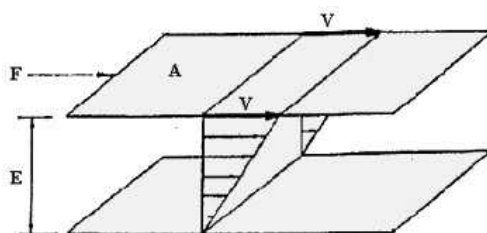
#### 4.8- Propiedades Reológicas (Propias de cada material).

A diferencia de la mayoría de los líquidos, los termoplásticos fundidos no cumplen la ley de viscosidad de Newton y por esa razón se los denomina fluidos **No-Newtonianos**.

##### 4.8.1- Definición de viscosidad

Básicamente el concepto de viscosidad de un fluido es la resistencia que ofrece cuando es sometido a una deformación.

En la figura se muestra esquemáticamente la deformación de un fluido entre dos planos paralelos cuando uno de ellos se pone en movimiento:



Donde: Tensión =  $\tau = \frac{F}{A}$

Gradiente de velocidad  $\gamma = \frac{V}{E} = \text{lseg}$

$$\mu = \frac{\tau}{\gamma} = \frac{\text{Pa}}{\frac{1}{\text{seg}}} = \text{Pa.seg}$$



Viscosidad:

Pa = Pascal. Pascal = unidad de tensión (fuerza /superficie) para medir se usa un viscosímetro

La unidad es el Poise o Pascal. seg. (Poise = 0,1 Pa. seg.)

Poise = unidad de medida de viscosidad en Pascal x segundo

1 Poise = 0,1 Pascal x segundo

Denominada ley de Newton. Es decir, el gradiente de velocidad (también denominado velocidad de deformación) es proporcional a la tensión aplicada y la constante de proporcionalidad se denomina Viscosidad.

En el caso de los plásticos fundidos la viscosidad varía con el gradiente de velocidad **sigma** (g) cuando la velocidad de deformación es significativa ( $g < 1$  1/seg) siendo menor cuanto mayor es dicho gradiente (g). En otras palabras, el plástico fundido se hace más "fluido", o sea, menos viscoso a medida que se aumenta la velocidad de deformación (mayor caudal a través de una matriz o mayor velocidad en el tornillo de extrusión).

Asimismo la viscosidad de los plásticos fundidos varía fuertemente con la temperatura. A mayor temperatura menor viscosidad.

Cada material plástico tiene una curva o característica de viscosidad en función del Gradiente de Velocidad g y la temperatura típica para cada familia de plásticos. Existen materiales plásticos que son fuertemente **No-Newtonianos**, o sea que muestran una marcada disminución de la viscosidad con el aumento de g, por ejemplo el Polipropileno; otros se aproximan más a las características **Newtonianas**, por ejemplo las poliamidas (Nylon 6 y Nylon 6-6).

A los efectos de comparar la viscosidad de los plásticos fundidos con otros materiales se muestran valores típicos de viscosidad en la tabla adjunta.

**Valores típicos de la viscosidad**

Viscosidad (Pascal . seg)	Ejemplo de material
$10^{21}$	Vidrio
$10^{20}$	
$10^{19}$	
$10^{18}$	
$10^{17}$	
$10^{16}$	
$10^{15}$	
$10^{14}$	
$10^{13}$	
$10^{12}$	
$10^{11}$	
$10^9$	Brea, Alquitrán
$10^8$	
$10^7$	
$10^6$	Miel
$10^5$	
$10^4$	Almíbar
$10^3$	
$10^2$	
$10^1$	Aceite Automotor
$10^0$	
$10^{-1}$	Agua
$10^{-2}$	
$10^{-3}$	
$10^{-4}$	
$10^{-5}$	
	Aire

Polímeros  
Fundidos

Por otra parte los plásticos fundidos, a diferencia de los líquidos constituidos por pequeñas moléculas, tienen características elásticas. Los polímeros fundidos muestran tensiones elásticas que provocan deformaciones durante su procesamiento; el ejemplo más típico es el hinchamiento que se produce al emerger un polímero de un capilar a través del cual fluye.

Asimismo en los plásticos fundidos se presenta el fenómeno de la fractura del polímero cuando se supera cierta velocidad de deformación (gradiente de velocidad crítico), que se manifiesta en la práctica en una rugosidad cíclica superficial o aspereza.

Este fenómeno tiene importancia en relación con los envases ya que afecta el aspecto de la estética de los mismos.

**Al técnico** en embalajes le interesan además **las propiedades físicas**:

- . transparencia
- . opacidad
- . permeabilidad al gas y vapor de agua
- . absorción de agua
- . permeabilidad a los aromas
- . neutralidad de olor y sabor
- . capacidad de sellado
- . capacidad de soldadura



Las propiedades específicas de los diversos plásticos están suficientemente expuestas en la bibliografía correspondiente, en tablas y sobre todo en las publicaciones de los fabricantes de primeras materias, por lo que consideramos aquí superflua una repetición.

Para la conservación de mercancías que se estropean fácilmente, resulta de particular importancia la permeabilidad de los plásticos al vapor de agua y gases. Al hablar de permeabilidad no nos referimos a la falta de estanqueidad en el sentido de porosidad o agujeros capilares, sino a la llamada "difusión por disolución", en la que el gas se disuelve en la película en forma semejante a la disolución en un líquido, migra a través de la misma y sale nuevamente por el otro lado en forma de gas. La difundibilidad no depende del espesor de la película, sino exclusivamente del material. El espesor del film solamente representa un factor de tiempo.

#### 4.9- Propiedades de Barreras de los Gases

En el caso de películas que absorben humedad (celofán, acetato de celulosa, poliamida) se produce una más fácil difusión de gases por el mayor grado de humedad, ya que los gases pueden disolverse también en dicha humedad.

**La permeabilidad al vapor de agua** es la cantidad de agua, en peso, que se difunde en veinticuatro horas a través de  $1 \text{ m}^2$  del plástico objeto del ensayo, con un gradiente de humedad prefijado y a una temperatura determinada. La correspondiente fórmula es:

$$DH_2O = \frac{\text{g}}{\text{m}^2 \cdot 24 \text{ h}}$$

Si se reduce la permeabilidad a las unidades de superficie, espesor y presión, se obtiene el *coeficiente de permeación*. Este valor es para el agua:

$$PH_2O = \frac{\text{g}}{\text{cm} \cdot \text{g} \cdot \text{Torr}}$$

Se refiere a películas o films de 40m de espesor. Una conversión a otros espesores sólo puede efectuarse para films cuyo espesor no sea notablemente distinto de 40m. Como fórmula de conversión se utiliza la forma simplificada:

$$DH_2O = \frac{35.7 \cdot PH_2O}{\text{Espesor del film en m}}$$

La **permeabilidad al gas** es el volumen de gas que se difunde a través de  $1 \text{ m}^2$  del producto objeto del ensayo, a una determinada temperatura y con el gradiente de presión de 1 bar en 24 h. Su fórmula es la siguiente:

$$DG = \frac{\text{cm}^3}{\text{m}^2 \cdot 24 \text{ h} \cdot \text{atm}}$$

Reduciendo a las unidades de superficie, espesor y presión, se obtiene el *coeficiente de permeación para gases*



$$pG = \frac{\text{cm}^3}{\text{cm} \cdot \text{s} \cdot \text{cmHg}}$$

Si transformamos nuevamente las constantes de presión y tiempo según la fórmula para la permeabilidad al gas, se obtiene la fórmula simplificada

$$DG = \frac{656,6 \cdot PG}{\text{Espesor del film en m}}$$

Los valores del coeficiente de permeabilidad están resumidos en tablas, y la siguiente relación contiene una selección de los más importantes para plásticos de embalaje y los gases más corrientemente empleados (tabla 3).

**Tabla 3**  
*Coefficientes de permeabilidad*

Material	Vapor de agua	Oxígeno	Nitrógeno	CO <sub>2</sub>	Aire
PE (densidad 0,92)	2	250	80	1100	130
PE (densidad 0,95)	1	110	30	450	50
PP	1,5	100	25	350	40
E - PVC	8	5	0,4	12	1,5
S - PVC	7	5	0,4	10	1,0
PVC-PVAC (Cop.)	12	9	3	30	4
PVDC	0,2	0,5	0,3	2	0,4
Acetato de celulosa	300	70	14	450	25
Caucho hidroclorado	3	10	2	40	4
PS	35	200	30	1200	50

Como los valores para los diversos plásticos no son siempre unitarios, en la tabla precedente se indicaron siempre los valores máximos.

Para la determinación de la permeabilidad al vapor de agua y al gas de un film de PVC de emulsión citamos el siguiente ejemplo.

**Hallar: 1. Permeabilidad al vapor de agua**

$$DH_2O = \frac{35,7 \cdot PH_2O}{m} \cdot F = \frac{35,7 \cdot 8}{50} \cdot 0,5 = 28,46 \text{ g/24 h}$$

**2. Permeabilidad al oxígeno**

$$DGO = \frac{656,6 \cdot PG}{m} = \frac{656,6 \cdot 5}{50} = 65,66 \text{ cm}^3/24 \text{ h m}^2$$





DGO = en consecuencia, para 0,5 m<sup>2</sup>:  $\frac{65,66}{2} = 32,82 \text{ cm}^3/24\text{h}$

### 3. Permeabilidad al anhídrido carbónico

DGCO<sub>2</sub> =  $\frac{656,6 \cdot 12}{2} = 157,58 \text{ cm}^3/24 \text{ h m}^2 = \frac{157,56}{2} = 78,78 \text{ cm}^3/24 \text{ h}$

La determinación de los valores de permeabilidad es indispensable para la elección de un plástico previsto para el embalaje de productos alimenticios. Solamente una comparación numérica de los valores de las tablas permite reconocer que, por ejemplo, la permeabilidad del poliestireno al oxígeno y al anhídrido carbónico representa un valor de cuarenta a cien veces superior al de PVC rígido. De ello puede sacarse la conclusión de que no pueden utilizarse embalajes de poliestireno para mercancías sensibles a la acción del oxígeno y del anhídrido carbónico, o sólo de este último, a no ser que el poliestireno esté revestido con un segundo plástico apropiado, que se encarga entonces de la función de barrera.

En las listas y tablas sobre el comportamiento de los diversos tipos de plásticos no pueden verse algunas propiedades técnicas de elaboración, como por ejemplo el comportamiento de fluidez en el molde de inyección o la capacidad para la embutición profunda por conformación en caliente. Tampoco se hacen siempre indicaciones sobre las posibilidades de impresión, troquelado o galvanizado. Estas deben consultarse en cada caso concreto al suministrador.

Al planificar el empleo de un plástico para embalaje, hay que determinar, pues, previamente su posibilidad técnica de aplicación según el proceso previsto. Tales investigaciones no pueden emprenderse generalmente más que por medio de artículos comparablemente semejantes, ya que de otro modo el trabajo resultaría excesivo. No obstante, estas comparaciones dan una indicación suficientemente segura sobre la posibilidad de empleo y muchas veces pueden conducir también a correcciones importantes para la confección de los moldes definitivos. No existen materiales que posean todas las propiedades en sentido positivo. Es preciso, por tanto, efectuar la elección según la importancia de las exigencias. Las exigencias impuestas han de hacer posible su cumplimiento dentro de unas condiciones todavía rentables.

### 5- Tendencias futuras de plásticos en envasamiento

El uso de los plásticos en envasamiento muestra un gran crecimiento, estimándose que la participación de los plásticos en el mercado total de envasamiento de alimentos se incrementará sustancialmente en los próximos años.

Sólo para mencionar algunas tendencias futuras en este campo se describen los siguientes rubros:

- **Envases para microondas:** el 70% de los hogares en Estados Unidos y el 25% en Inglaterra tienen hornos microondas.

Esto ha generado un importante mercado con necesidades totalmente nuevas, tales como envases de alimentos preparados para ser usados en freezer y microondas.

- **Atmósfera Controlada:** mediante el control de los distintos gases en el interior del envase se alarga la vida útil y la calidad de los alimentos.
- **Envasamiento Aséptico:** para lograr más larga vida en estantería sin necesidad de refrigeración.



- **Plásticos de Barrera:** mediante la combinación de distintos plásticos se puede lograr una barrera aceptable a los gases (o sea impermeabilidad) lo que abre nuevos campos de aplicación para los plásticos.

## 6- ABREVIATURAS UTILIZADAS EN PLÁSTICOS Y CAUCHO

ABS	Acrilonitrilo-butadieno-estireno
AMMA	Acrilonitrilo-metacrilato de metilo
ASA	Acrilonitrilo-estireno éster acrílico
CA	Acetato de celulosa
CAB	Acetato-Butirato de celulosa
CAP	Acetato-propionato de celulosa
CF	Cresol-formaldehído
CMC	Carboxi-metil-celulosa
CN	Nitrocelulosa
CP	Propianato de celulosa
CS	Caseína
CTA	Triacetato de celulosa
DAP	Ftalato de dialilo (dialilftalato)
DAIP	Ftalato de Iso-dialilo
EC	Etil celulosa
EEA	Etileno/acrilato de etilo
E/P	Etileno/propileno
EP	Epoxi
EPE	Ester epoxídico
EPS	Poliestireno expandido
EVA	Etileno-acetato de vinilo
EVAL	Etileno-alcohol vinílico
ETFE	Etileno-tetrafluor-etileno
FEP	Tetrafluoretileno/hexafluor-propileno
HDPE	Polietileno de alta densidad
LDPE	Polietileno de baja densidad
LLDPE	Polietileno lineal de baja densidad
MDPE	Polietileno de media densidad
MBS	Metacrilato de metilo butadieno estireno
MC	Meticelulosa
MF	Melamina-formaldehído
MPF	Melamina/fenol-formaldehído
PA	Poliamida
PA 6	Polímero de 6-caprolactama
PA 66	Polímero de hexametilendiamina y del ácido adípico
PA 610	Polímero de hexametilendiamina y del ácido sebácico
PA 612	Polímero de hexametilendiamina y del ácido dodecanóico
PA 11	Polímero del ácido amino-11-undecanóico
PA 12	Polímero de dodecanolactama 1,12
PA 66/610	Copolímero de hexametilendiamina con ácido adípico y ácido sebácico
PA 6/12	Copolímero de PA 6 y PA 12
PA6-3-T	Polímero de trimetil-hexametilendiamina y ácido tereftálico
PAN	Poliacrilonitrilo



PB	Polibuteno-1
PBTP	Poli-butilen-tereftalato
PC	Policarbonato
PCTFE	Policlorotrifluoretileno
PDAP	Pli(ftalato de dialilo)
PE	Poli(etileno)
PEC	Poli(etileno clorado)
PEOX	Poli(óxido de etileno)
PEP	Polímero de etileno propileno
PETP	Poli(tereftalato de etilenglicol)
PF	Fenol-formaldehído
PI	Poli(amida)
PIB	Pli-isobutileno
PIR	Poli-isocianurato
PMI	Polimetacrilamida
PMMA	Poli(metacrilato de metilo)
PMP	Poli(metil-4 penteno-1)
POM	Poli(oximetileno poliformaldehído(poliacetal)
PP	Polipropileno
PPC	Polipropileno clorado
PPO	Poli-óxido de finileno
PPOX	Poli(óxido de polipropileno)
PPS	Polisulfuro de fenileno
PPSU	Poli(fenilén-sulfona)
PS	Poli(estireno)
PS CP	Pli(estireno cristal)
PS HI	Poli(estireno antichoque)
PSU	Polisulfona
PTFE	Poli(tetrafluoretileno)
PUR	Poli(uretano)
PVAC	Poli(acetato de vinilo)
PVAL	Poli(alcohol vinílico)
PVB	Poli(butirato de vinilo)
PVC	Poli(cloruro de vinilo)
PVCC	Poli(cloruro de vinilo) clorado
PVDC	Poli(cloruro de vinilideno)
PVDF	Poli(Fluoruro de vinilideno)
PVF	Fluoruro de vinilideno
PVFM	Poli(vinil-formaldehído)
PVK	Polivinilcarbazol vinílico
PVP	Polivinil pirrolidona