

# **MATERIALES POLIMÉRICOS: ÍNDICE GENERAL**

## **1. PROPIEDADES GENERALES DE LOS MATERIALES POLIMÉRICOS**

## **2. MECANISMOS DE DEGRADACIÓN DE LOS POLÍMEROS**

- 2.1 MECANISMOS DE DEGRADACIÓN DE LOS MATERIALES POLIMÉRICOS.
- 2.2 TABLAS DE RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN DE MATERIALES POLIMÉRICOS. E

## **3. POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS**

- 3.1 PROPIEDADES FUNDAMENTALES DE LOS TERMOPLÁSTICOS
- 3.2 TERMOPLÁSTICOS DE INTERÉS INDUSTRIAL
  - CLASIFICACIÓN
  - ESTRUCTURA, PROPIEDADES TECNOLÓGICAS Y APLICACIÓN EN LAS INSTALACIONES DE TRATAMIENTO Y CONDUCCIÓN DE AGUA.
- 3.3 APLICACIONES DE LOS TERMOPLÁSTICOS: TUBERÍAS

## **4. POLÍMEROS DUROPLÁSTICOS**

- 4.1 PROPIEDADES FUNDAMENTALES DE LOS DUROPLÁSTICOS
- 4.2 DUROPLÁSTICOS DE INTERÉS INDUSTRIAL
  - CLASIFICACIÓN
  - ESTRUCTURA, PROPIEDADES TECNOLÓGICAS Y APLICACIÓN EN LAS INSTALACIONES DE TRATAMIENTO Y CONDUCCIÓN DE AGUA.

## **5. ELASTÓMEROS**

- 5.1 PROPIEDADES FUNDAMENTALES DE LOS ELASTÓMEROS
- 5.2 ELASTÓMEROS DE INTERÉS INDUSTRIAL
  - CLASIFICACIÓN
  - ESTRUCTURA, PROPIEDADES TECNOLÓGICAS Y APLICACIÓN EN LAS INSTALACIONES DE TRATAMIENTO Y CONDUCCIÓN DE AGUA
  - TABLAS DE PROPIEDADES

## **ANEXO: TUBERÍAS DE POLIETILENO**

## **6. BIBLIOGRAFÍA MATERIALES POLIMÉRICOS**

## 1. PROPIEDADES GENERALES DE LOS MATERIALES POLIMÉRICOS

La utilización de los materiales plásticos en envases, recipientes e, incluso, maquinaria (bombas, ventiladores, agitadores, etc.) para el almacenamiento y manipulación de productos químicos supone frecuentemente grandes ventajas sobre los metales, el vidrio y los materiales cerámicos: Inexistencia del fenómeno de corrosión electroquímica, que tanto afecta a los metales, y propiedades mecánicas más favorables que el vidrio y la cerámica, con unos costes competitivos.

Aún en el caso de que las exigencias mecánicas a que debe estar sometida la pieza sean excesivas para los materiales plásticos (ejes, palas de agitadores, etc) el empleo de estos en forma de recubrimiento de elementos metálicos, siempre que se consiga una buena adherencia entre ambos, suele ser una solución satisfactoria. El metal proporciona la resistencia mecánica y el plástico la química.

Como característica fundamental, los materiales poliméricos que estén en contacto con el agua potable deben cumplir la legislación sanitaria vigente y no contendrán ningún elemento soluble ni producto susceptible de dar color, olor o sabor al agua.

En este apartado se exponen brevemente las propiedades fundamentales que justifican la gran utilidad y numerosas aplicaciones de los materiales poliméricos. Se consideran los siguientes apartados

### 1.1 ESTRUCTURA INTERNA

### 1.2 PROPIEDADES TÉRMICAS Y COMPORTAMIENTO ANTE EL FUEGO.

### 1.3 PROPIEDADES MECÁNICAS

### 1.4 PROPIEDADES ELÉCTRICAS Y MAGNÉTICAS

### 1.5 PROPIEDADES ÓPTICAS

### 1.6 MODIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS POLÍMEROS: ADITIVOS

## 1.1 ESTRUCTURA INTERNA DE LOS MATERIALES POLIMÉRICOS

**1) Composición química:** La mayoría de los polímeros importantes están constituidos por átomos de unos pocos elementos no metálicos: C, H, O, N, F, Cl y Si. Los elementos químicos que más abundan en los polímeros son el carbono e hidrógeno, el oxígeno está presente en el poliéster y los acrílicos, el nitrógeno en las poliamidas (nylon), el fluor en el teflón, el cloro en el PVC y el silicio en las siliconas.

**2) Enlaces primarios:** Son de tipo covalente. Dada la proximidad de los elementos constituyentes de los polímeros en la Tabla Periódica, poseen electronegatividades muy parecidas y por tanto se unen mediante enlace covalente (compartición de electrones).

**3) Fuerzas intermoleculares:** Son fuerzas de atracción electrostática *entre los dipolos* eléctricos existentes en una cadena polimerica y los dipolos que existen en las cadenas poliméricas adyacentes. Existe una relación estrecha entre la intensidad de las fuerzas intermoleculares y la estructura y usos del polímero.

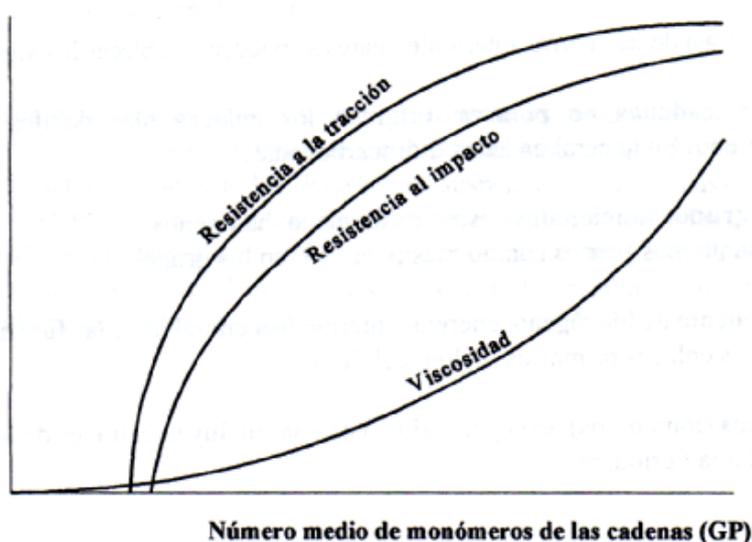
La intensidad de las fuerzas intermoleculares es creciente con:

1. Proximidad entre cadenas poliméricas
2. Polaridad de los dipolos eléctricos existentes en las cadenas.
3. Longitud de las cadenas poliméricas.

#### 4) *Peso molecular. Grado de polimerización*

Al aumentar la longitud de la cadena aumenta la posibilidad (y por tanto el número) de enlaces intermoleculares.

La aparición de las propiedades físicas características de los polímeros ocurre a partir de una determinada longitud de la cadena que depende, sobre todo, del tipo de enlaces que puedan establecerse. La longitud de las cadenas puede expresarse en función del grado de polimerización (GP), es decir el número de unidades del monómero que se encuentran en la cadena del polímero. El comportamiento como polímero aparece en los polihidrocarburos a partir de unos 100 monómeros (GP= 100), mientras que en las poliamidas se da a partir de 40, aproximadamente. Un posterior crecimiento de las cadenas provoca un aumento de las características mecánicas (resistencia a la tracción o al impacto), hasta llegar a un punto crítico a partir del cual su variación es pequeña y, en cambio, aumenta rápidamente la viscosidad del polímero fundido (200 monómeros aproximadamente para las poliamidas, unos 500 para los polihidrocarburos). Las dificultades de procesamiento crecen al aumentar el peso molecular (PM), como consecuencia del incremento de la viscosidad, de manera que para GP de 10000 o PM de  $10^7$  los polímeros resultan prácticamente imposibles de trabajar mecánicamente. En el proceso de polimerización se debe buscar la longitud de cadena óptima (buenas propiedades y fácil manipulación).



#### 5) *Estructura Molecular De Los Polímeros:*

Se diferencian tres casos:

1. **Lineales:** constituidos por cadenas poliméricas individuales, no ramificadas.
2. **Ramificados:** constituidos por cadenas poliméricas individuales, con ramificaciones más o menos largas.
3. **Reticulados:** las cadenas de polímeros están unidas entre sí por enlaces químicos primarios, de la misma intensidad que los enlaces en la cadena principal.

## 1.2 PROPIEDADES TÉRMICAS Y COMPORTAMIENTO ANTE EL FUEGO.

### 1.2.1 RESPUESTA DE LOS POLÍMEROS ANTE UN AUMENTO DE TEMPERATURA

Según la respuesta de los polímeros ante un aumento de temperatura estos pueden clasificarse en tres grandes grupos: TERMOPLÁSTICOS, DUROPLÁSTICOS Y ELASTÓMEROS

#### 1. Termoplásticos:

Los polímeros termoplásticos están constituidos por largas cadena polimérica (macromoléculas) individuales, sin ramificaciones o con ramificaciones más o menos largas. Las macromoléculas individuales se hallan unidas entre sí por enlaces secundarios (fuerzas de Van del Waals o puentes de hidrógeno).

Son plásticos **moldeables por calentamiento y reciclables** Cuando se les aplica calor, las macromoléculas adquieren suficiente energía para que unas cadenas puedan desplazarse respecto a las otras, pudiendo ser calentados y conformados varias veces sin sufrir alteraciones significativas en sus propiedades.

#### 2. Duroplásticos, Termoestables o Termoendurecibles

Las cadenas poliméricas se hallan unidas entre sí por enlaces primarios, dando lugar a polímeros de estructura reticulada. Al aplicar calor se acelera el proceso de polimerización: se aceleran las reacciones químicas que crean enlaces covalentes uniendo las cadenas o monómeros, dando lugar a estructuras en armazón, unidas por enlaces primarios de tipo covalente. Estas reacciones de polimerización aceleradas por la aplicación de calor, originarán el endurecimiento del plástico, por ello a este tipo de polímeros se les denomina termoendurecibles o termoestables. Si una vez que ha finalizado el proceso de polimerización continuamos aumentando la temperatura llegará el momento en que se destruyan los enlaces primarios, tanto dentro de la cadena como entre cadenas, y se destruirá el material; por tanto, una vez finalizado el proceso de polimerización estos polímeros no se pueden volver a moldear, no son reciclables.

#### 3. Elastómero(Gomas o Cauchos):

Constituidos por cadenas poliméricas largas, unidas en algunos puntos mediante enlaces primarios covalentes. Este tipo de estructura permite que el material pueda presentar una gran deformación elástica a temperatura ambiente.

### 1.2.2 PROPSIEDADES TÉRMICAS:

Los materiales poliméricos presentan una **conductividad térmica** baja ya que no poseen electrones libres.

La transmisión del calor se facilita si la estructura es cristalina, por tanto, cuanto mayor es la cristalinidad de un polímero mayor será su conductividad térmica.

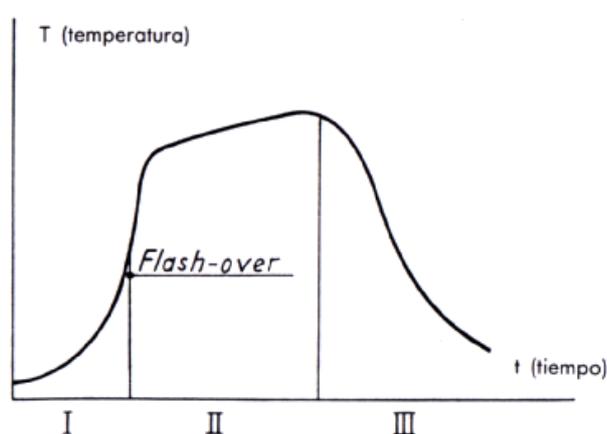
En los polímeros amorfos, y a igualdad de otras circunstancias, la conductividad térmica aumenta con el peso molecular promedio.

Los polímeros son en general poco resistentes a altas temperaturas. Su punto de fusión es bajo en comparación con los metales, cerámicos o vidrios.

### 1.2.3 COMPORTAMIENTO ANTE EL FUEGO

En la figura siguiente se indica la evolución de la temperatura en función del tiempo en las fases de inicio, desarrollo y disminución de un incendio. Después de la fase inicial, existe una temperatura de rápido crecimiento «FLASH-OVER» que tiene lugar cuando los materiales por acción de la radiación de las llamas y de la convección del aire caliente, desprenden vapores que son inflamables. Ello tiene lugar para los materiales plásticos por encima de los 200° C.

*Evolución de las temperaturas en el recinto incendiado en función del tiempo y para las tres fases en que se ha dividido la evolución temporal de un incendio: Fase inicial (I), Fase de desarrollo (II) y Fase terminal (III).*



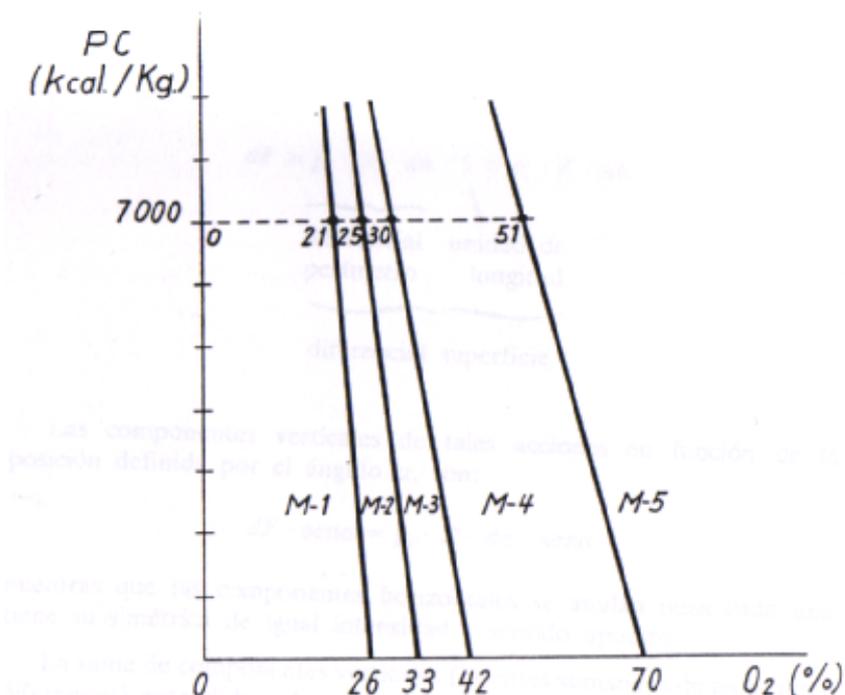
La mayoría de los polímeros son combustibles. En estado puro son inflamables a excepción de los que contienen elevada proporción de cloruros y/o fluoruros, tales como los cloruros de polivinilo y el politetrafluoretileno. La resistencia a la inflamabilidad de los polímeros combustibles aumenta adicionando aditivos denominados ignífugos o retardadores de llama. Estos aditivos funcionan interfiriendo el proceso de combustión mediante una fase gaseosa o iniciando una reacción química que enfría la región de combustión y cesa el fuego.

Existen una serie de ensayos normalizados (aplicando llama) que permiten comprobar la reacción de los materiales ante el fuego y clasifican la combustibilidad de estos en diferentes grados (M0 a M5):

No combustibles .....	M - 0	
Combustibles (clases M - 1 a M - 5) {	No inflamables .....	M - 1
	Difícilmente inflamables ...	M - 2
	Medianamente inflamables .	M - 3
	Fácilmente inflamables ....	M - 4
	Muy inflamables .....	M - 5

La clasificación se basa en el índice de oxígeno (porcentaje mínimo de  $O_2$  para la combustión total de una probeta de dimensiones determinadas) y en la potencia calorífica del material que se muestra en la siguiente figura.

**Clasificación del comportamiento al fuego de los materiales en función del índice de oxígeno (valor mínimo de  $O_2$  necesario para la combustión) en %, y de la potencia calorífica del material, en Kcal/ Kg.**  
**Identificación de menos a más combustible: clases M - 1 a M - 5.**



La inclinación hacia la izquierda del haz de rectas obedece a que es razonable considerar igualmente inflamable un material que al arder desarrolle una mayor potencia calorífica que otro de menor potencia, si paralelamente el primero utiliza un porcentaje de oxígeno menor que el segundo. Los valores del índice de oxígeno, anotados en el gráfico 26 %, 33 %, 42 % y 70 % para la potencia calorífica 0 kcal/kg y de 21 %, 25 %, 30 % y 51 % para la potencia calorífica 7.000 kcal/kg definen por dos puntos cada una de las rectas del haz.

Existen aditivos ignífugos que actúan como retardadores de la llama y que rebajan la combustibilidad de los materiales plásticos.

El PVC tiene una clasificación M - 1 (no inflamable) y una baja potencia calorífica, 4.000 kcal/kg. La llama se extingue al apartar el foco emisor. Emite vapores de gas clorhídrico.

El PE y el PP pertenecen a las clases M - 3 a M - 4 (M - 2 con retardadores). Los poliésteres según el tipo de resina, tienen clasificaciones de M - 2 a M - 4.

### 1.3 PROPIEDADES MECÁNICAS

En términos generales comparativos, los polímeros presentan las siguientes características:

- **Dureza:** baja
- **Facilidad de Conformado:** alta

- **Resistencia Mecánica:** Moderada (en comparación con los metales), salvo excepciones.

Se consideran a continuación los siguientes aspectos:

### 1.3.1 COMPORTAMIENTO MECÁNICO

### 1.3.2 FRACTURA DE POLÍMEROS

#### 1.3.1 COMPORTAMIENTO MECÁNICO

El comportamiento mecánico de los polímeros es más complicado que el de los metales, y sus características mecánicas (módulo elástico y resistencia a tracción) claramente inferiores.

La respuesta ante un esfuerzo mecánico no sólo depende de la magnitud de este, sino que intervienen *significativamente otros factores como:*

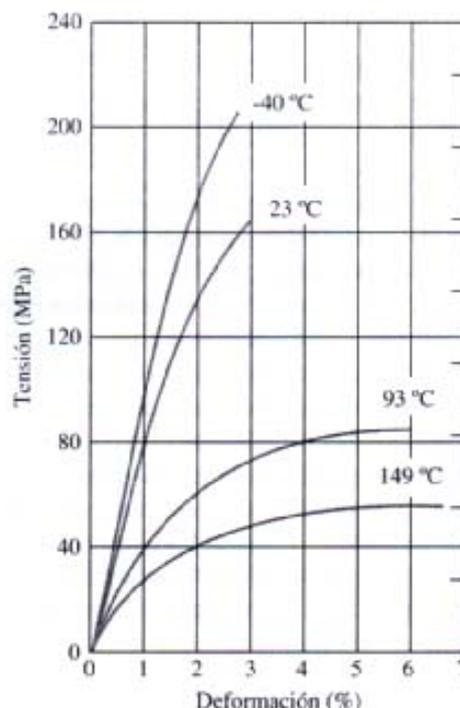
- 1) *Temperatura a la que se encuentra el material*
- 2) *Tiempo de aplicación de la carga*
- 3) *Velocidad de aplicación de la carga*

#### 1) *Temperatura a la que se encuentra el material*

Como se pone de manifiesto en la figura siguiente, correspondiente a un ensayo de tracción, el comportamiento del polímero cambia mucho con la temperatura de ensayo, desde un comportamiento frágil y puramente elástico, con alargamientos de rotura del orden del 5 por 100, a un comportamiento dúctil, con mucha deformación plástica y alargamientos del 100 por 100 o superiores. **La temperatura de transición vítrea (Tg) de cada polímero marca la frontera entre uno y otro comportamiento.**

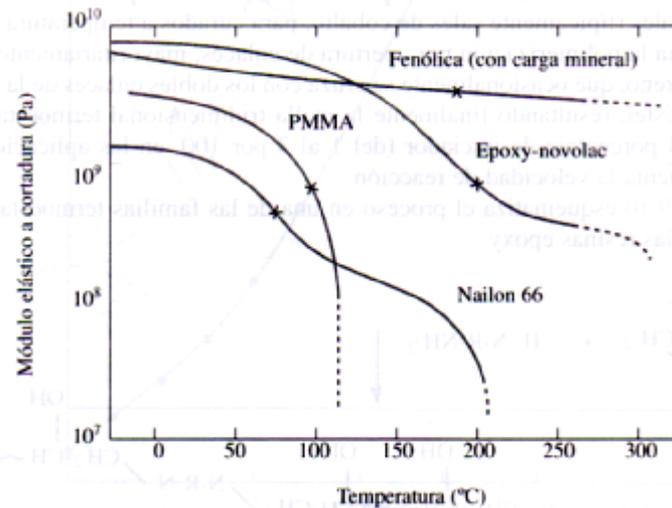
Cuando se alcanza la Tg ocurre una notable disminución del módulo elástico, como se aprecia en la figura.

**Gráfica de tensión-deformación de un poliéster termoplástico a diferentes temperaturas, por encima y por debajo de su Tg = 70 °C. (Ensayo de Corta Duración)**



En la figura siguiente se observa como varía (disminuye) el Módulo de Young (E) de varios tipos de materiales poliméricos al aumentar la temperatura

***Cambio del módulo elástico con la temperatura en polímeros termoestables, termoplásticos amorfos (PMMA) y termoplásticos cristalinos.***



En síntesis, A medida que aumenta la temperatura disminuye el módulo de elasticidad y la resistencia a la rotura y aumenta la ductilidad.

***2) Tiempo de aplicación de la carga. Fluencia.***

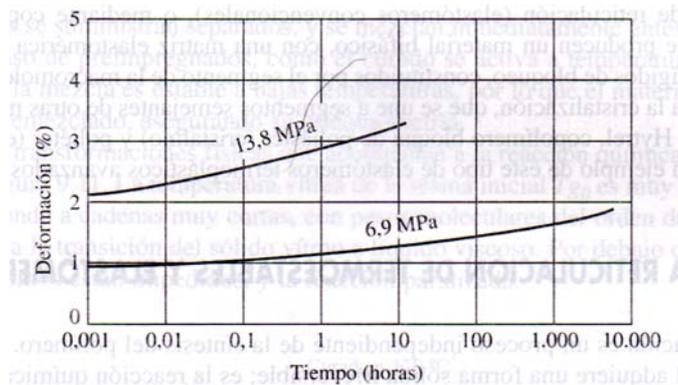
Los aspectos más importantes en los que influye el tiempo en relación al comportamiento mecánico de los polímeros son:

- ***Fluencia***
- ***Disminución de Resistencia mecánica***

***2.1) Fluencia:***

La gráfica de tensión – deformación del apartado anterior muestra la **respuesta del polímero en un ensayo mecánico de corta duración**. Si una fuerza constante se mantiene aplicada durante un largo período (días), se observaría que, partiendo la deformación inmediata que recoge la curva anterior, la deformación aumentaría progresivamente, de manera irreversible, especialmente si el ensayo se hace a temperaturas relativamente altas, como se aprecia en la figura siguiente.

***Curvas de fluencia de un Nailon 66, a 60 °C***



El fenómeno de **fluencia** tiene lugar en todos los materiales, pero en los plásticos es apreciable incluso a temperatura ambiente, lo que exige tenerlo siempre en consideración.

- **En los termoplásticos amorfos**, la fluencia a temperaturas superiores a su  $T_g$  es tan exagerada que imposibilita su uso en esas condiciones. La fluencia en polímeros corresponde al lento deslizamiento de unas macromoléculas sobre otras, modificando la posición de enlaces secundarios, provocando los cambios conformacionales..

- **En los termoplásticos cristalinos**, como el PE o el PP, los segmentos de macromolécula que están dentro de zona cristalina tienen más impedido su movimiento, lo que restringe su fluencia. Esto permite utilizarlos indistintamente por encima o por debajo de su  $T_g$ , aunque lógicamente serán más flexibles por encima de su temperatura vítrea.

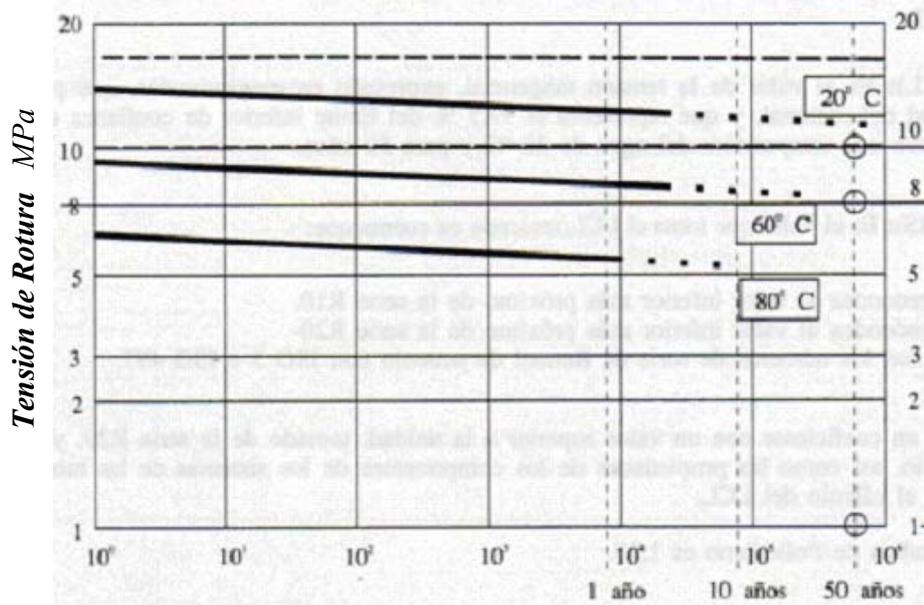
- **Los plásticos termoestables** tienen su fluencia restringida por los enlaces primarios de reticulación. La alta densidad de reticulación les confiere un carácter frágil, con alargamientos a rotura inferiores al 10 por 100. Suelen utilizarse por debajo de su  $T_g$ .

- **Los elastómeros** se caracterizan por su capacidad de deformación elástica (reversible) hasta el 500 por 100. Buscando la máxima elasticidad, se emplean siempre en temperaturas superiores a su  $T_g$ . Este gran alargamiento elástico, único entre los materiales, se basa en la posibilidad de múltiples cambios conformacionales en la macromolécula, que cambia su forma de ovillo desordenado, cuando está sin sollicitación externa, a una línea estirada bajo carga. El deslizamiento relativo de macromoléculas se evita mediante unos pocos enlaces químicos de reticulación (elastómeros convencionales), o mediante copolímeros bloque que producen un material bifásico, con una matriz elastomérica y puntos dispersos rígidos de bloqueo, constituidos por el segmento de la macromolécula con tendencia a la cristalización, que se une a segmentos semejantes de otras macromoléculas (elastómeros termoplásticos).

## 2.2) Disminución de la resistencia mecánica.

Un factor fundamental a tener en cuenta en el diseño es la disminución de resistencia mecánica que experimentan los materiales poliméricos con el tiempo. Como ejemplo, en la figura siguiente se muestra la disminución de la tensión de rotura de un polietileno de alta densidad PE-100, utilizado para la construcción de tuberías a presión.

*Evolución de la tensión de rotura del PE-100 con el tiempo, a distintas temperaturas*



### 3) Velocidad de aplicación de la carga

La influencia de la velocidad de deformación también puede ser muy importante. En general, el decrecimiento de la velocidad de deformación tiene un efecto similar al aumento de temperatura, es decir, el material se vuelve más blando y dúctil.

### 1.3.2 FRACTURA DE POLÍMEROS.

Como en el caso de los metales, la fractura en los polímeros puede ser frágil, dúctil o intermedia entre frágil y dúctil.

#### 1. Fractura Frágil:

- Los polímeros termoestables muestran generalmente una fractura tipo frágil.
- Los polímeros termoplásticos presentan rotura frágil cuando ocurre a temperaturas inferiores a la de transición vítrea.

#### 2. Fractura Dúctil:

Los polímeros termoplásticos presentan deformación dúctil cuando ocurre a temperaturas superiores a la de transición vítrea.

La velocidad de deformación afecta al tipo de fractura de los materiales termoplásticos, favoreciéndose la dúctil a velocidades de deformación bajas y la frágil a velocidades altas.

#### Características mecánicas a temperatura ambiente de los polímeros más comunes.

Material	Densidad	Módulo elástico [psi × 10 <sup>5</sup> (MPa × 10 <sup>2</sup> )]	Resistencia a la tracción [psi × 10 <sup>3</sup> (MPa)]	Alargamiento a la rotura (%)	Resistencia al impacto <sup>a</sup> (ft-lb <sub>f</sub> /in.)
Polietileno (baja densidad)	0,917-0,932	0,25-0,41 (1,7-2,8)	1,2-4,6 (8,3-31,7)	100-650	No se rompe
Polietileno (alta densidad)	0,952-0,965	1,55-1,58 (10,6-10,9)	3,2-4,5 (22-31)	10-1200	0,4-4,0
Cloruro de polivinilo	1,30-1,58	3,5-6,0 (24-41)	5,9-7,5 (41-52)	40-80	0,4-2,2
Politetrafluoretileno	2,14-2,20	0,58-0,80 (4,0-5,5)	2,0-5,0 (14-34)	200-400	3
Polipropileno	0,90-0,91	1,6-2,3 (11-16)	4,5-6,0 (31-41)	100-600	0,4-1,2
Poliestireno	1,04-1,05	3,3-4,8 (23-33)	5,2-7,5 (36-52)	1,2-2,5	0,35-0,45
Poli(metacrilato de metilo)	1,17-1,20	3,3-4,7 (22-32)	7,0-11,0 (48-76)	2-10	0,3-0,6
Fenol-formaldehído	1,24-1,32	4,0-7,0 (28-48)	5,0-9,0 (34-62)	1,5-2,0	0,24-4,0
Nilón 66	1,13-1,15	2,3-5,5 (16-38)	11,0-13,7 (76-94)	15-300	0,55-2,1
Poliéster (PET)	1,29-1,40	4,0-6,0 (28-41)	7,0-10,5 (48-72)	30-300	0,25-0,70
Policarbonato	1,20	3,5 (24,0)	9,5 (60)	110	16

<sup>a</sup> Espesor de la probeta: 3,2 mm = 1/8 pulgada.

### 1.4 PROPIEDADES ELÉCTRICAS Y MAGNÉTICAS

- **Conductividad eléctrica de los polímeros:** baja, ya que no poseen electrones libres.

Los polímeros industriales en general son malos conductores eléctricos, por lo que se emplean masivamente como aislantes en la industria eléctrica y electrónica.”

- **Los materiales poliméricos son sustancias diamagnéticas**

## 1.5 PROPIEDADES ÓPTICAS

Desde el punto de vista de su utilización, las propiedades ópticas más interesantes de los materiales plásticos son las relacionadas con su capacidad de transmitir la luz, tomar color y disponer de brillo, que proporcionan a los objetos fabricados una apariencia visual estética de alta calidad.

Un material es transparente cuando resulta posible la percepción de los objetos a su través. Para que un material presente una alta transparencia es necesario que el índice de refracción del material sea constante en el recorrido de la luz, por ello **la máxima transparencia se encuentra en polímeros amorfos, libres de cargas y otras impurezas, como sucede con el PMMA.**

**Los polímeros cristalinos no son transparentes**, salvo cuando las esferulitas son más pequeñas que la longitud de onda de la luz incidente, por lo que no se producen las interferencias que originan la turbidez.

Como ejemplos más importantes de polímeros transparentes están:

Polimetacrilato de metilo, (PMMA), el Poliestireno y los Policarbonatos. Todos ellos son amorfos

## 1.6 MODIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS POLÍMEROS: ADITIVOS

La mayoría de las propiedades de los polímeros son intrínsecas, es decir, son características esenciales del polímero específico. Algunas de estas propiedades se relacionan y se controlan con la estructura molecular. Sin embargo, muchas veces es necesario modificar las propiedades mecánicas, químicas y físicas en un grado mucho mayor que el permitido por la simple alteración de la estructura molecular fundamental. Para ello se utilizan los aditivos, sustancias que se introducen intencionadamente para modificar propiedades y aumentar la utilidad del polímero.

Son aditivos típicos los rellenos, los plastificantes, los estabilizantes, los colorantes y los ignífugos.

### 1) Rellenos

Los materiales de relleno se adicionan a los polímeros para incrementar las resistencias a la tracción, a la compresión y a la abrasión, la tenacidad, la estabilidad dimensional y térmica y otras propiedades.

Como relleno se utiliza serrín, sílice, vidrio, arcilla, talco, caliza e incluso polímeros sintéticos, todos ellos finamente pulverizados. Los tamaños de las partículas van de 10 nm a dimensiones macroscópicas.

El coste del producto final disminuye porque estos materiales baratos substituyen una parte del volumen de los polímeros más caros.

### 2) Plastificantes

La flexibilidad, la ductilidad y la tenacidad de los polímeros pueden mejorarse con la ayuda de los aditivos denominados plastificantes. Su presencia también reduce la dureza y la fragilidad. Los plastificantes suelen tener baja presión de vapor y bajo peso molecular. Las diminutas moléculas de los plastificantes ocupan posiciones entre las grandes cadenas poliméricas, incrementando la distancia entre cadenas y reduciendo los enlaces secundarios intermoleculares. Generalmente se utilizan plastificantes en la elaboración de polímeros frágiles a temperatura ambiente, tales como cloruro de polivinilo y algún copolímero del acetato. Los plastificantes disminuyen la temperatura de transición vítrea y de este modo los polímeros se pueden utilizar a temperatura ambiente en aplicaciones que requieren cierto grado de flexibilidad y de ductilidad.

### **3) Estabilizantes**

Algunos materiales poliméricos, en condiciones ambientales normales, se deterioran rápidamente. Este deterioro suele ser el resultado de la exposición a la luz, en particular a la radiación ultravioleta, y también a la oxidación. La radiación ultravioleta interacciona con los enlaces covalentes y puede romper algunos de ellos a lo largo de la cadena molecular, lo cual puede generar que surjan enlaces entre cadenas poliméricas.

El deterioro por oxidación es consecuencia de la interacción química entre átomos de oxígeno y moléculas poliméricas.

Los aditivos que contrarrestan los procesos anteriores de degradación se denominan estabilizantes.

### **4) Colorantes**

Los colorantes dan un color específico al polímero. Se pueden adicionar como tintes o pigmentos. Los tintes actúan como disolventes y se incorporan a la estructura molecular del polímero. Los pigmentos son como material de relleno que no se disuelven, sino que permanecen como fases separadas; generalmente son partículas de pequeño tamaño, transparentes y con índice de refracción próximo al polímero base.

### **5) Ignífugos**

La inflamabilidad de los polímeros es una característica del máximo interés, sobre todo en la fabricación de textiles, tuberías, etc. La mayoría de los polímeros, en estado puro son inflamables, a excepción de los que contienen elevada proporción de cloruros y/o fluoruros, tales como los cloruros de polivinilo y politetrafluoretileno. La resistencia a la inflamabilidad de los polímeros combustibles aumenta adicionando aditivos denominados ignífugos (o retardadores de llama). Estos aditivos funcionan interfiriendo el proceso de combustión mediante una fase gaseosa o iniciando una reacción química que enfría la región de combustión y cesa el fuego.

## **2. MECANISMOS DE DEGRADACIÓN DE LOS POLÍMEROS**

### **2.1 MECANISMOS DE DEGRADACIÓN DE LOS MATERIALES POLIMÉRICOS**

### **2.2 TABLAS DE RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN DE MATERIALES POLIMÉRICOS**

## **2.1 MECANISMOS DE DEGRADACIÓN DE MATERIALES POLIMÉRICOS**

Los materiales poliméricos experimentan deterioro al interactuar con el medio que les rodea. Para referirnos a este deterioro se utiliza el término degradación en lugar de corrosión, ya que los procesos son distintos.

En general puede afirmarse que los grandes enemigos de los plásticos son los disolventes, por una parte, y los ácidos, las bases y los oxidantes fuertes, por otra.

Los fenómenos que provocan la degradación polímeros podemos clasificarlos en los siguientes apartados:

### **1) EFECTO DE LOS DISOLVENTES: HINCHAMIENTO Y DISOLUCIÓN,**

### **2) ROTURA DE ENLACES O ALTERACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA**

#### **2.1) ATAQUE POR REACTIVOS QUÍMICOS**

#### **2.2) EFECTO DE LA RADIACIÓN**

#### **2.3) DEGRADACIÓN TÉRMICA**

#### **2.4) DEGRADACIÓN BIOLÓGICA**

#### **2.5) DEGRADACIÓN MECÁNICA**

### **1) EFECTO DE LOS DISOLVENTES: HINCHAMIENTO Y DISOLUCIÓN**

Los polímeros expuestos a líquidos pueden degradarse por hinchamiento y por disolución.

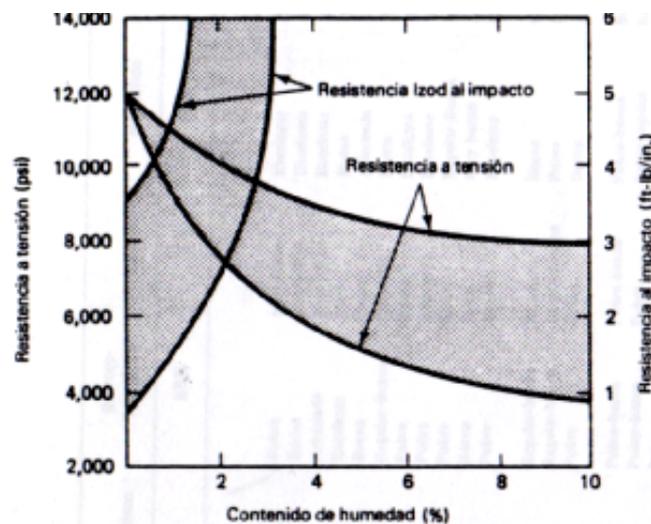
Los disolventes perjudican la consistencia del material, produciendo un hinchamiento cuando no la misma disolución. Los disolventes no polares ( hidrocarburos fundamentalmente ) perjudican especialmente a los polímeros de estructura parafínica y poco polares; mientras que los disolventes fuertemente polares ( cetonas, amidas, etc.) dañan a los polímeros polares, siguiendo el conocido principio de “semejante disuelve a semejante “. Otro efecto perjudicial puede ser el de la extracción de los plastificantes presentes en el material que pierde así la flexibilidad inicial.

La resistencia a la solvatación y a la disolución es tanto mayor cuanto más elevado sea el peso molecular y el número de uniones entre las macromoléculas poliméricas. De hecho, los polímeros reticulados no llegan a disolverse , pero si pueden hincharse por adsorción de disolventes altamente compatibles. La elevación de la temperatura favorece tanto los procesos de hinchamiento y disolución.

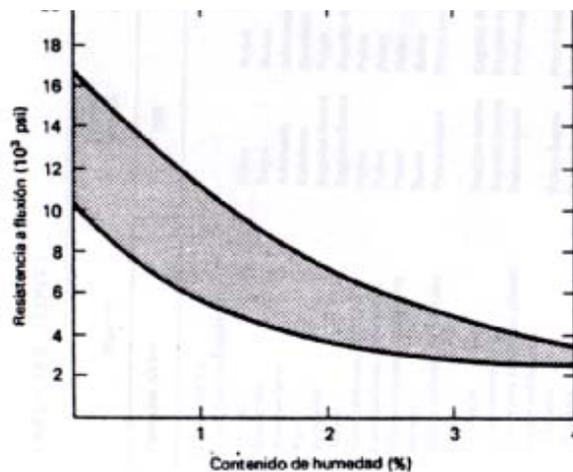
**El hinchamiento** se debe a que el líquido o soluto se difunde en el polímero, quedando adsorbido dentro de él. Las pequeñas moléculas de soluto ocupan entonces posiciones entre las macromoléculas del polímero, que aumentan su separación, la dilatación o hinchamiento. El aumento de la distancia de separación entre las macromoléculas conlleva una reducción de las fuerzas de enlace intermoleculares, con lo cual el material se hace más blando y más dúctil. El soluto líquido también causa una disminución de la temperatura de transición vítrea del polímero y, si ésta se sitúa por debajo de la temperatura ambiente, es causa de que un material que antes era resistente se convierta en gomoso y débil.

Para el caso del agua, la humedad puede quedar atrapada durante los procesos de polimerización o adsorberse en el polímero durante el almacenamiento y en servicio. La presencia de una humedad excesiva puede afectar a la estabilidad dimensional y alterar las propiedades mecánicas, como muestran las siguientes figuras:

***Efecto de la humedad en las propiedades mecánicas del nylon 66: Resistencia de tensión y de impacto***



***Efecto de la humedad en las propiedades mecánicas del nylon 66: resistencia a flexión.***



Como se puede observar, al aumentar el contenido de humedad:

- Disminuye la resistencia a la tensión y a la flexión
- Aumenta la resistencia al impacto

### **Ataque por disolventes**

**La disolución** puede considerarse como una continuación de un proceso de hinchamiento, ocurriendo cuando el polímero entra en contacto con una sustancia que actúa frente a él como un disolvente.

En un polímero, compuesto por una distribución de fracciones con diversos pesos moleculares, la fracción con el peso molecular menor está sujeta al ataque y la extracción por el disolvente. Los eslabonamientos cruzados que unen las cadenas de un polímero impiden que las moléculas individuales se disuelvan y tienden a hacer insoluble al polímero.

La probabilidad de que ocurra hinchamiento y/o disolución suele ser tanto mayor cuanto mayor es el parecido entre la estructura química del soluto y la del polímero. Por ejemplo, muchos cauchos de hidrocarburos absorben rápidamente hidrocarburos líquidos como la gasolina.

El deterioro causado por los procesos de hinchamiento y disolución es menor cuanto menor es la temperatura y cuanto mayores sean el peso molecular, el grado de cristalinidad y la reticulación del polímero. Por ejemplo, los polímeros termoplásticos se pueden disolver en varios solventes orgánicos, pero, como se ha señalado, general, la solubilidad del polímero es menor cuanto mayor es su peso molecular.

## **2) ROTURA DE ENLACES O ALTERACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA**

La rotura de enlaces en las cadenas moleculares origina una separación de los segmentos de las cadenas en el punto de escisión y una disminución del peso molecular. Resultan afectadas entonces varias propiedades de los materiales poliméricos asociadas al peso molecular o grado de polimerización, tales como la resistencia mecánica y la resistencia al ataque químico.

Determinados agentes provocan la creación de puntos de unión entre las cadenas poliméricas o bien reaccionan con los componentes del polímero alterando su composición química y, por tanto, sus propiedades.

Los fenómenos que pueden provocar los efectos anteriores se clasifican en los siguientes apartados:

### **2.1) ATAQUE POR REACTIVOS QUÍMICOS**

#### **2.2) EFECTO DE LA RADIACIÓN**

#### **2.3) DEGRADACIÓN TÉRMICA**

#### **2.4) DEGRADACIÓN BIOLÓGICA**

#### **2.5) DEGRADACIÓN MECÁNICA**

### **2.1) ATAQUE POR REACTIVOS QUÍMICOS**

Los reactivos químicos más agresivos para los polímeros suelen ser los ácidos, las bases y los oxidantes fuertes.

El ataque químico supone una modificación de la composición molecular y, por tanto, una alteración de las propiedades del polímero:

**- Los ácidos y bases fuertes** hidrolizan los grupos internos ésteres o amidas.

En general, los polímeros son más resistentes que los metales a los ataques de disoluciones ácidas y alcalinas. Por ejemplo, el PVC y los polímeros fluorocarbonados tienen extraordinaria resistencia al ataque químico en ambos tipos de disoluciones.

**- Los oxidantes provocan la oxidación y la fisión de las moléculas poliméricas.**

El oxígeno, en especial bajo la forma de ozono, se difunde a través de la superficie de los materiales poliméricos y reaccionar con la estructura, creando uniones entre cadenas y consecuentemente una disminución de la flexibilidad. Esto se hace patente de forma especial en los elastómeros, donde se puede ver el agrietamiento de la superficie después de una exposición prolongada al aire.

El efecto de oxidación se potencia si simultáneamente actúa la radiación ultravioleta o el material está sometido a tensiones. Por ejemplo, Si el caucho está en estado no tensionado generalmente se forma una película superficial que protege al material de una posterior reacción. Sin embargo, cuando el material está sometido a un esfuerzo de tracción, se forman grietas y hendiduras que crecen en dirección perpendicular al esfuerzo, y el material puede romperse .

Para proteger al polímero de los efectos de la oxidación suelen utilizarse aditivos antioxidantes.

## 2.2) EFECTO DE LA RADIACIÓN

Algunos tipos de radiación ( haz de electrones, Rayos X, rayos  $\beta$ , rayos  $\gamma$  y la radiación ultravioleta ) poseen suficiente energía para penetrar en los materiales poliméricos e interactuar con los átomos o los electrones originando, la rotura de las cadenas poliméricas ( rotura del enlace C-C ), o bien la creación de puntos de enlace entre cadenas poliméricas contiguas. Lo anterior se pone de manifiesto en la decoloración superficial y el aumento de la fragilidad, entre otros defectos más difícilmente observables ( aumento de pérdidas dieléctricas, etc). En cualquier caso, la estructura del material original se altera, cambian sus características mecánicas y varía su comportamiento frente a los agentes químicos.

El efecto de la radiación sobre los polímeros suele ser tanto mayor cuanto menor es la longitud de onda ( es decir, cuanto mayor es la frecuencia o energía de sus fotones). El que una radiación de una longitud de onda dañe o no a un determinado polímero depende también de las frecuencias de absorción de los enlaces existentes entre los átomos de la molécula.

La fotodegradación de los polímeros es mucho más importante por efecto de la radiación ultravioleta que por la visible. Sin embargo, se sabe que la luz visible potencia el efecto de la oxidación, la acción hidrolizante de la lluvia ácida y de la actividad microbiana sobre el polímero.

Puede protegerse al polímero del efecto de la radiación utilizando compuestos conocidos como **fotoestabilizantes**. Por ejemplo, para evitar el efecto perjudicial de la luz y de radiaciones ultravioletas, especialmente elastómeros ( en los que existen dobles enlaces que absorben con facilidad energía de la luz visible) se adicionan pigmentos absorbentes ( negro de humo, frecuentemente) o cargas que absorben las radiaciones en las proximidades de la superficie, protegiendo así el interior.

Todos los fotoestabilizantes se van perdiendo con el tiempo. Esto es debido a problemas de migración de dichos agentes hacia la superficie del material, produciéndose exudación del mismo, volatilización y arrastres por el agua o por los disolventes utilizados, por ejemplo durante la limpieza.

El problema de la volatilización puede resolverse si se usan fotoestabilizantes de alto peso molecular o enlazados químicamente a la estructura polimérica, aunque su coste es mucho mayor y sola mente se suelen utilizar en casos excepcionales. Junto a la pérdida física del fotoestabilizante con el tiempo, también puede ocurrir que se vaya perdiendo por reacción química. Aunque los fotoestabilizantes son estables, al final dan lugar a reacciones de fotólisis y combinación con los radicales libres presentes en el sistema.

Nota: No todas las consecuencias de la radiación son negativas. El entrecruzamiento , necesario para alcanzar un determinado comportamiento mecánico y de resistencia a la degradación , se induce por radiación. Por ejemplo, industrialmente se utiliza la radiación  $\gamma$  para entrecruzar el polietileno, lo que aumenta su resistencia al ablandamiento y a la fluencia a elevada temperatura. Este proceso se realiza también en productos ya fabricados. Se utiliza asimismo la radiación para crear reticulaciones

entre macromoléculas contiguas ( efecto de vulcanización o de curado, propio de elastómeros y duroplásticos) y para preparar elastómeros a partir de materiales lineales o termoplásticos.

En el caso de los **polímeros expuestos a la intemperie** el deterioro se debe principalmente a la oxidación iniciada por la radiación ultravioleta del sol. Algunos polímeros, como la celulosa y el nylon, también adsorben agua y disminuyen su dureza y su tenacidad. La resistencia a la degradación por exposición a la intemperie de los polímeros es muy dispar. Los fluorocarbonos son inertes a la degradación por agentes atmosféricos, mientras que el PVC y el Polietileno son susceptibles a este deterioro.

### 2.3) DEGRADACIÓN TÉRMICA

La degradación térmica ( pirólisis ) consiste en la escisión de las cadenas poliméricas cuando se les somete a elevada temperatura.

La estabilidad térmica del polímero se relaciona principalmente con la magnitud de las energías de enlace entre los diferentes componentes de un polímero. Por ejemplo, el valor del enlace C – F es mayor que el del enlace C-C, que, a su vez es mayor que el del enlace C-Cl. Los fluorocarburos, que tienen enlaces C-F figuran entre los materiales poliméricos de mayor resistencia térmica y pueden utilizarse a temperaturas relativamente elevadas.

Algunos polímeros, como consecuencia de las reacciones de pirólisis generan especies gaseosas.

### 2.4) DEGRADACIÓN BIOLÓGICA

Los materiales poliméricos, ya sean naturales o sintéticos (en este caso debido fundamentalmente a los aditivos que les acompañan), son susceptibles a la degradación por agentes biológicos, debido a ciertos productos químicos (los enzimas) generados por los microorganismos.

#### **Biodegradación de polímeros sintéticos**

Los polímeros sintéticos son escasamente susceptibles a estos ataques, pero normalmente este tipo de materiales casi siempre van acompañados de aditivos (plastificantes, cargas, etc.) que sí son susceptibles al ataque microbiano. Por ello, se observa que los microorganismos se adaptan y crecen sobre ellos.

Solamente los materiales susceptibles de hidrolizarse son propensos a la biodegradación. La biodegradabilidad está relacionada tanto con las ramificaciones de las cadenas poliméricas como con el peso molecular. En el caso de hidrocarburos con peso molecular mayor de 500 no es posible la biodegradación. Un ejemplo sería el polietileno, el cual debe sufrir una degradación previa (fotooxidación) que provoque una disminución en el peso molecular, para llegar a los valores a los cuales es biodegradable.

Esta propiedad de baja biodegradación de muchos polímeros ha llevado a la síntesis específica de polímeros que sí lo son, debido a su interés en medicina y agricultura. En agricultura se utilizan como encapsuladores de semillas y fertilizantes, mientras que en medicina se utilizan como hilos de sutura, encapsuladores de medicinas, etc.

Los poliésteres y las poliamidas alifáticas son los materiales más susceptibles de ser atacados biológicamente.

Además de los ataques químicos producidos por los enzimas de distintos tipos de microorganismos ( hongos, bacterias, etc), algunas especies provocan el deterioro mecánico de los polímeros; los roedores por ejemplo, causan daños por ataque a cables y tubos.

Para evitar el deterioro que sufren los materiales poliméricos, se han usado toda una serie de compuestos que evitan estos ataques y que se conocen como biocidas (bactericidas, fungicidas, etc.).

## 2.5) DEGRADACIÓN MECÁNICA

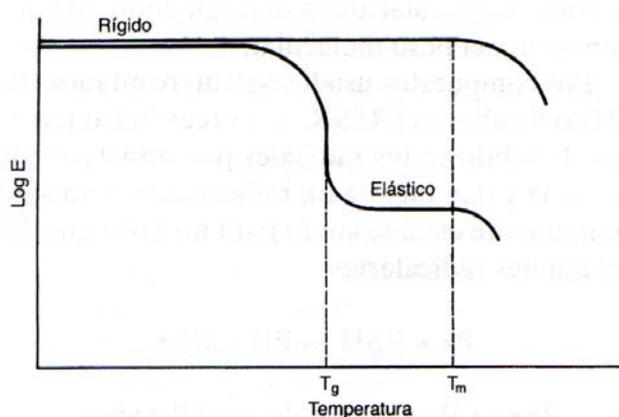
En este apartado consideramos las reacciones químicas que tienen lugar como consecuencia de la aplicación de una tensión al material polimérico.

Para que la aplicación de esfuerzos origine transformaciones químicas, la tensión a la que tiene que estar sometido el material debe exceder de un valor crítico, que viene determinado por el valor de la energía de disociación de sus enlaces. Depende en gran medida de la capacidad del material para disipar esa energía que absorbe al aplicarle una tensión frente a la posibilidad de que esa energía se use para romper los enlaces.

La probabilidad de que se produzca la degradación será función del estado físico en el que está el material. En un material rígido, el módulo de Young (E) es mayor. A medida que va aumentando la temperatura, como se observa en la figura siguiente el material va pasando de rígido a elástico. Cuando la temperatura se hace muy elevada, el material llega a fluir si está formado por cadenas poliméricas independientes.

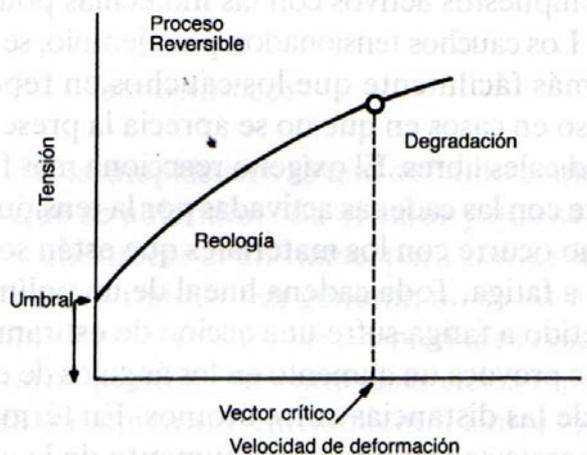
En el caso de polímeros reticulados, cuanto mayor sea el número de entrecruzamientos entre las distintas cadenas del polímero, mayor será el rango de temperatura en el que se mantiene rígido. En un material polimérico semicristalino las regiones amorfas son menos resistentes que las cristalinas.

### *Tránsito de un material polimérico de la condición de rígido a elastomérico.*



En la figura siguiente se muestra cómo el proceso es reversible hasta alcanzar un valor crítico, a partir del cual el proceso deja de ser reversible y se produce la degradación.

### *Condiciones de reversibilidad e irreversibilidad (degradación) en función de la tensión y la velocidad de deformación del material.*



### ***Consecuencias del proceso de degradación mecánica de los materiales poliméricos***

El primer efecto de la tensión en el material es la modificación de su estructura inicial. El material responde a la tensión debilitando las fuerzas de interacción tanto inter como intra moleculares de las cadenas. Si en el sistema hay enlaces de hidrógeno o existe otro tipo de fuerzas iónicas de interacción, éstas se verán disminuidas o eliminadas y como consecuencia se modifica la conformación de las cadenas y su disposición relativa. Si se sigue aumentando la tensión a la que se somete al material, el siguiente efecto sobre la estructura macromolecular es la distorsión de los ángulos de enlace y un aumento de las distancias intermoleculares. Aumentos mayores de la tensión producen la rotura de enlaces químicos. Por lo tanto, la degradación mecánica consiste en la rotura de enlaces covalentes. Es preciso destacar que los materiales que se encuentran deformados son más susceptibles a cualquier tipo de agente. Los cauchos bajo tensión, por ejemplo, son más susceptibles a la oxidación. Igualmente, los materiales bajo tensión son más susceptibles al ataque del ozono. Muchos polímeros de condensación sufren procesos de hidrólisis activados mecánicamente, por lo que hay que tener en cuenta que los materiales bajo tensión son más susceptibles de sufrir cualquier reacción de degradación.

Experimentalmente, se ha comprobado dos hechos: a) Las cadenas más largas siempre son más susceptibles de romperse y b) Se observa cómo por debajo de una tensión determinada no se reduce el peso molecular.

Las tensiones mecánicas aumentan la actividad química de los enlaces, lo que facilita las reacciones químicas. Los cauchos tensionados, por ejemplo, se oxidan más fácilmente que los cauchos en reposo, incluso en casos en que no se aprecia la presencia de radicales libres. El oxígeno reacciona más fácilmente con las cadenas activadas por la tensión. Lo mismo ocurre con los materiales que están sometidos a fatiga. Toda cadena lineal de un polímero sometido a fatiga sufre una acción de estiramiento que provoca un aumento en los ángulos de enlace y de las distancias entre átomos. En términos de energía se traduce en un aumento de la energía almacenada por el material. Esta energía potencial se distribuye de alguna forma entre las cadenas poliméricas y los reactivos presentes en el medio lo que aumenta la probabilidad de que se dé la reacción entre ellos.

## ***2.2 TABLAS DE RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN DE MATERIALES POLIMÉRICOS EN DISTINTOS TIPOS DE AMBIENTES***

Se incluyen las siguientes Tablas:

***Tabla 1: Resistencia a la Degradación de Materiales Plásticos***

***Tabla 2: Resistencia a la Degradación de Materiales Elastoméricos***

***Tabla 3: Comportamiento típico de algunos plásticos en medios químicos a baja temperatura  
( $T^a < 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ )***

Adicionalmente, en los **apartados 3.2, 4.2 y 5.2**, donde se hace una descripción de las propiedades tecnológicas de los Termoplásticos, Duroplásticos y Elastómeros respectivamente, se indica la resistencia a la degradación específica de cada tipo de polímero.

Tabla 1: Resistencia a la Degradación de Materiales Plásticos en Distintos

Material	Ácidos		Álcalis		Disolvente orgánico	Absorción de agua [%/24 h]	Oxígeno y ozono
	Débil	Fuerte	Débil	Fuerte			
Termoplásticos	Fluorocarbonos	N	N	N	N	0	N
	Metacrilato de polimetilo	R	AO	R	A	0,2	R
	Nilón	G	A	R	R	1,5	SA
	Poliétileno (baja densidad)	R	AO	R	R	0,15	A
	Poliétileno (alta densidad)	R	AO	R	R	0,1	A
	Polipropileno	R	AO	R	R	<0,01	A
	Poliestireno	R	AO	R	R	0,04	SA
	Cloruro de polivinilo	R	R	R	R	0,10	R
Polímeros termoesestables	Epoxi	R	SA	R	G	0,1	SA
	Fenólicos	SA	A	SA	SA	0,6	-
	Poliésteres	SA	A	A	SA	0,2	A

N = no resistente; R = generalmente resistente; SA = ligero ataque; A = atacado; AO = atacado por ácidos oxidantes; G = buena resistencia (tomado de: M. G. Fontana y N. D. Greene, *Corrosión Engineering*, 2ª ed. MacGraw-Hill Book Company, Nueva York, 1978.)

Tabla 2: Resistencia a la Degradación de Materiales Elastoméricos en Distintos

Material	Ácidos diluidos	Agentes oxidantes	Álcalis	Aceites minerales y grasas	Agua y anticongelantes	Intemperie y ozono
Poliisopreno (caucho natural)	G	P	F	P	G	F
Cloropreno (neopreno)	G	P	G	G	F	E
Nitrilo	G	P	E	E	E	F
Estireno-butadieno	G	P	P	G	G	F
Caucho de silicona	-	-	G	F	F	E

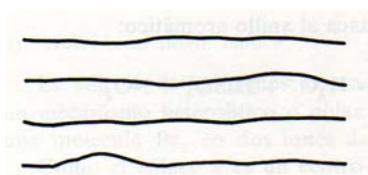
E = excelente; G = buena; F = razonable; P = poca

(tomado de: M. G. Fontana y N. D. Greene, *Corrosión Engineering*, 2ª ed. MacGraw-Hill Book Company, Nueva York, 1978.)



### 3. POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS

Los polímeros termoplásticos están constituidos por largas cadena poliméricas (macromoléculas) individuales, sin ramificaciones o con ramificaciones más o menos largas. Las macromoléculas individuales se hallan unidas entre sí por enlaces secundarios (fuerzas de Van del Waals o puentes de hidrógeno).



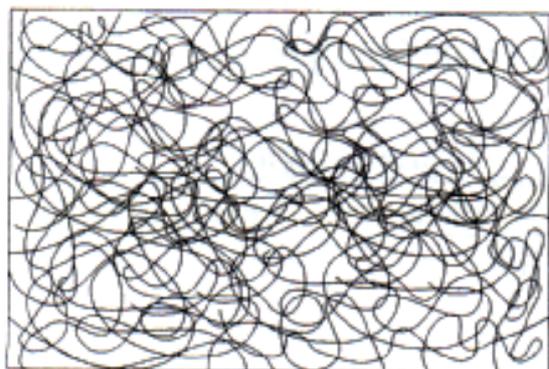
Son plásticos **moldeables por calentamiento y reciclables**: cuando se les aplica calor, las cadenas poliméricas adquieren suficiente energía para desplazarse unas respecto a las otras, pudiendo ser calentados y conformados varias veces sin sufrir alteraciones significativas en sus propiedades.

Los polímeros termoplásticos son, en términos generales, los más fáciles de obtener y asequebles, representando aproximadamente el 85% del total de polímeros comercializados. Son, por lo tanto, la primera opción a considerar en el momento de plantearse la utilización de un material polimérico.

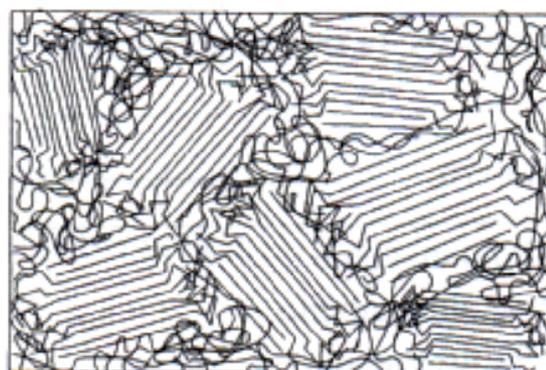
#### 3.1 PROPIEDADES FUNDAMENTALES DE LOS TERMOPLÁSTICOS

##### CRISTALINIDAD DE LOS POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS

Cuando los termoplásticos solidifican pueden desarrollar **estructuras parcialmente cristalinas** (ordenadas) o no cristalinas (polímeros amorfos).



**Polímero amorfo**

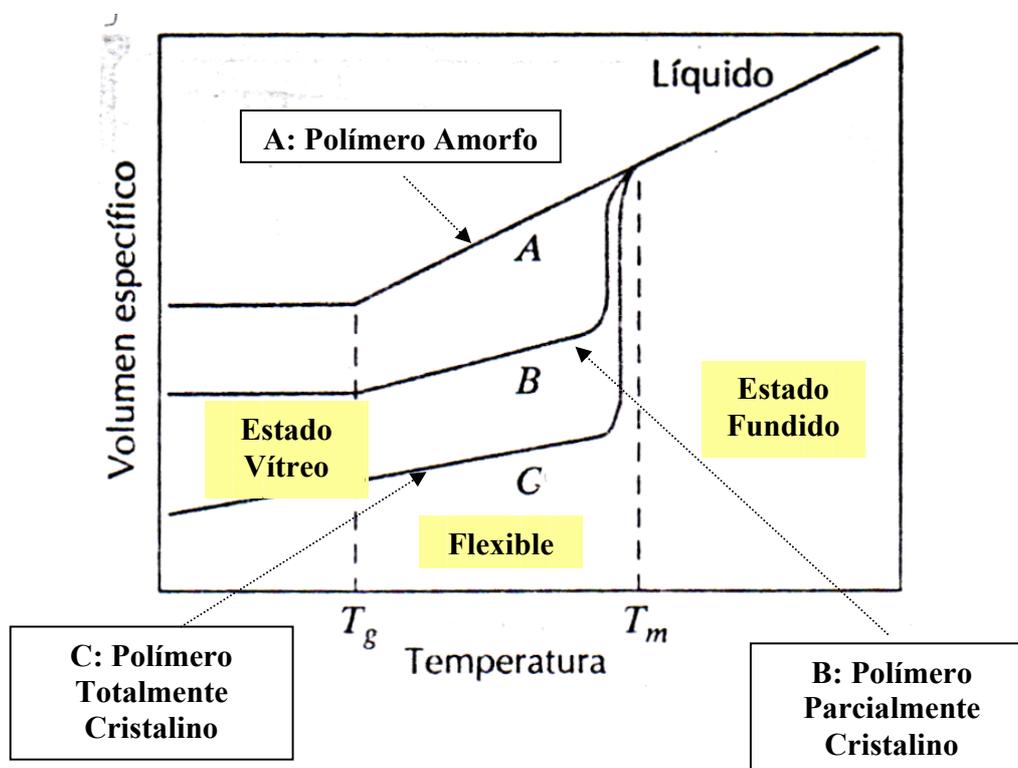


**Estructura microcristalina**

En los termoplásticos parcialmente cristalinos aparece un cambio brusco del volumen específico cuando solidifican, lo cual se corresponde con la parte de material que solidifica de forma ordenada

Un fenómeno que se observa a medida que el polímero se deja enfriar y va cristalizando es precisamente la disminución de su volumen específico, debido a que al ir produciéndose la aproximación y la ordenación de las cadenas, disminuye el espacio ocupado.

Es habitual representar los valores de volumen específico en función de la temperatura y de la velocidad de enfriamiento.



En el gráfico superior se representa la evolución (de izquierda a derecha) del volumen específico de un polímero cuando se disminuye la temperatura desde el estado fundido. **Se distinguen tres zonas:**

**a)  $T > T_m$  ( $T^a$  de fusión): Polímero fundido**

**b)  $T$  entre  $T_g$  ( $T^a$  de transición vítrea) y  $T_m$  : Polímero flexible.** El polímero se comporta con una cierta flexibilidad debido a que las fracciones amorfas (no ordenadas) pueden desplazarse y absorber energía de impacto.

**c)  $T < T_g$ : Polímero vítreo.** En esta zona el polímero presenta un comportamiento frágil, no pudiendo absorber energía de impacto ni por parte de la fracción cristalina (por su propia naturaleza se encuentra anclada) ni por parte de la fracción amorfa que no puede desplazarse (se encuentra inmóvil debido a que la temperatura es muy baja) y en consecuencia no puede absorber la energía de impacto, *comportándose con la fragilidad de un vidrio.*

**En el gráfico anterior se diferencian 3 curvas: :**

- La curva A corresponde a un polímero amorfo: no se aprecia un cambio en la pendiente del volumen específico cuando el polímero solidifica ( $T$  por debajo de  $T_m$ ).
- Las curvas B y C se corresponden a polímeros con diferentes grados de cristalinidad, que se manifiestan en una apreciable reducción del volumen específico cuando se produce la

solidificación, lo cual traduce la ordenación o cristalinidad de la estructura molecular. La curva B se correspondería con un polímero parcialmente cristalino, mientras que la curva C representaría un polímero perfectamente cristalino (inexistente en la realidad).

La familia de curvas A, B y C anteriores pueden corresponderse con polímeros distintos, pero también pueden representar la evolución del volumen específico de un mismo polímero potencialmente cristalino que se somete a diferentes velocidades de enfriamiento desde el estado de fusión, lo cual provoca que el polímero adquiera un mayor o menor grado de cristalinidad:

- La curva A correspondería a un enfriamiento muy rápido del polímero desde el estado de fusión, que no daría tiempo suficiente para que se ordenase la estructura, y el polímero resultaría amorfo.

- Las curvas B y C se corresponderían con velocidades de enfriamiento intermedia y en equilibrio respectivamente, que permitirían que las moléculas del polímero se ordenasen cuando ocurre la solidificación, con lo cual el mismo tipo de polímero, potencialmente cristalino, adquiera menor o mayor grado de cristalinidad.

### Temperaturas de fusión y de transición vítrea de algunos de los materiales poliméricos más comunes

Material	Temperatura de transición vítrea [°C(°F)]	Temperatura de fusión [°C(°F)]
Polietileno (baja densidad)	-110 (-166)	115 (239)
Polietileno (alta densidad)	-90 (-130)	137 (279)
Cloruro de polivinilo	105 (221)	212 (414)
Politetrafluoretileno	-90 (-130)	327 (621)
Polipropileno	-20 (-4)	175 (347)
Poliestireno	100 (212)	
Nilón 66	57 (135)	265 (509)
Poliéster (PET)	73 (163)	265 (509)
Policarbonato	150 (302)	

### Factores que propician la cristalinidad de los polímeros termoplásticos:

#### 1) Regularidad química y estructural:

- Lo más favorable es cuando aparece sólo un tipo de unidades repetitivas en la cadena de polímero.
- Configuraciones isotácticas y todo- trans (totalmente extendidas) de las cadenas poliméricas.

#### 2) Condiciones que permitan el acercamiento de las cadenas poliméricas.

Para que las fuerzas intermoleculares alcancen puedan establecerse fuerzas de atracción intermoleculares intensas entre sus dipolos:

- Ausencia de ramificaciones en las cadenas poliméricas
- Sustituyentes poco voluminosos, y si los hubiese, deberían adoptar configuraciones especiales como la forma helicoidal. Por ejemplo, en el Polisobutileno los sustituyentes -CH<sub>3</sub> son relativamente voluminosos, pero se van girando alrededor de la cadena en forma helicoidal, lo cual permite las cadenas puedan aproximarse resultando un polímero cristalino

**3) Fuerzas intermoleculares intensas.**

La intensidad de las fuerzas moleculares decrecen en el siguiente orden :  
puentes de hidrógeno - fuerzas de Van Der Waals (orientación, inducción, dispersión).

Los condicionantes anteriores explican porqué el Polietileno es el polímero típicamente cristalino.

***Influencia del grado de cristalinidad en las propiedades del polímero.***

El grado de cristalinidad de un polímero (porción de material ordenado, respecto al total) **influye sobre propiedades físicas y mecánicas muy importantes del polímero,**

En general, **cuanto mayor sea la cristalinidad de un polímero mayores serán las siguientes propiedades:**

- Densidad
- Dureza
- Fragilidad
- Resistencia mecánica.
- Resistencia a los disolventes
- Punto de fusión.
- Opacidad al paso de la luz

***Influencia de la cristalinidad en las propiedades del Polietileno***

PRODUCTO COMERCIAL	BAJA DENSIDAD	MEDIA DENSIDAD	ALTA DENSIDAD
	LDPE	MDPE	HDPE
DENSIDAD, g/cm <sup>3</sup>	0,910-0,925	0,926-0,940	0,941-0,965
CRISTALINIDAD (aprox.)%	42-53	54-63	64-80
RAMIFICACIONES <sup>b</sup>	15-30	5-15	1-5
T <sub>m</sub> CRISTALINO, °C	110-120	120-130	130-136
DUREZA, SHORED	41-46	50-60	60-70
MODULO DE YOUNG, MPa	97-260	170-380	410-1240
RESISTENCIA A LA TRACCION, MPa	4,1-16	8,3-24	21-38

(b) Grupos CH<sub>3</sub> equivalentes por cada 1000 átomos de C.

## 3.2 TERMOPLÁSTICOS DE INTERÉS INDUSTRIAL

### 3.2.1 Clasificación

Los principales polímeros termoplásticos de uso industrial se clasifican en las siguientes familias:

#### 1. Polímeros Vinílicos

- Polietileno PE
- Policloruro de Vinilo (PVC)
- Polipropileno (PP)
- Poliestireno PS
  - Copolímeros de PS: resinas SAN, ABS y ASA.
- Acetatos PVAc
- Polímeros Acrílicos
  - PMMA
- Polibutileno PB

#### 2. Poliésteres Saturados

- Polietilentereftalato (PET)
- Arnite – PETP
- Copoliéster - PETG

#### 3. Policarbonato PC

#### 4. Poliamidas (Nylons) PA

- Nylon – PA.6
- Poliamida 6.6
- Poliamida 6 COLADA (PA.6 G)
- Poliamida 6 G + Bisulfuro de Molibdeno (PA.6 G + MoS<sub>2</sub>)
- Poliamida 6 G + Lubricante (PA.6 PLAC)
- Poliamida 6.6 + Fibra de Vidrio (PA.66 + GF30)

#### 5. Fluoroplásticos:

- PTFE : Politetrafluoretileno (Teflón)
- PVDF: Fluoruro de Polivinildieno

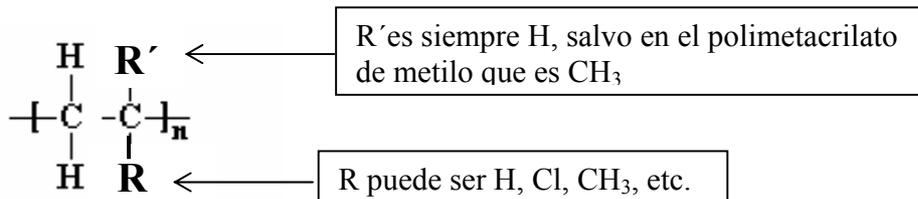
#### 6. Polioximetileno: POM (Poliacetal)

### 3.2.2 Estructura y Propiedades Tecnológicas

#### 1. POLÍMEROS VINÍLICOS

Los Polímeros Vinílicos PE, PP, PS, PVC suponen aproximadamente el 70% del volumen de los termoplásticos comercializados. Este tipo de plásticos son los más baratos de fabricar, y por ello serían la primera opción a considerar a la hora de elaborar un objeto de plástico.

Las cadenas moleculares de los polímeros vinílicos **responden a la expresión general:**



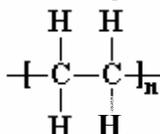
El volumen de los grupos sustituyentes (R y R') es tan grande que dificulta considerablemente la ordenación de las moléculas (cristalinidad), salvo el caso del Polietileno, por lo que estos *polímeros son típicamente amorfos, con un grado de cristalinidad muy pequeño.*

La presencia de grupos sustituyentes como el cloro, fenilo y carbonilo, proporciona *carácter polar* a estos polímeros, que da lugar a importantes fuerzas de cohesión y les hace totalmente inertes frente a los disolventes no polares, pero solubles en solventes polares fuertes, tales como éteres, ésteres, cetonas e hidrocarburos clorados y aromáticos.

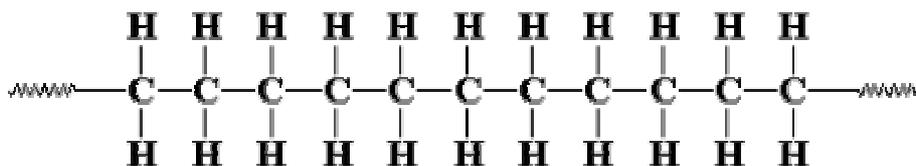
La flexibilidad o rigidez de un polímero a una dada temperatura están determinadas por la facilidad con la que las cadenas poliméricas pueden desplazarse entre sí. Cuanto más puedan moverse, más flexible será el polímero. Las cadenas poliméricas son como serpientes. Pueden deslizarse una sobre otra con suma facilidad. Los sustituyentes R vienen a ser como "puas" que se enganchan unas con otras dificultando en mayor o medida el deslizamiento entre cadenas y, por tanto, la flexibilidad del polímero.

Las expresiones más habituales del sustituyente genérico R serían:

### 1) H: Polietileno PE



El polietileno es el polímero sintético de mayor uso, con el se fabrican las bolsas de plástico, los envases de muchos productos, juguetes, chalecos a prueba de balas, etc. Siendo un material tan versátil, posee la estructura más simple de todos los polímeros comerciales. Una molécula del polietileno es una cadena larga de átomos de carbono, con dos átomos de hidrógeno unidos a cada átomo de carbono:



A veces algunos de los carbonos, en lugar de tener hidrógenos unidos a ellos, tienen asociadas largas cadenas de polietileno. Esto se llama polietileno ramificado, y origina el PE de baja densidad, o LDPE. Cuando no hay ramificación, se llama polietileno lineal, consiguiéndose el PE de mayor cristalinidad, a partir del que se obtiene el PE de alta densidad ó HDPE.

Se establecen los siguientes tipos de Polietileno:

#### a) Polietileno de Baja Densidad ( conocido por sus siglas PEBD o LDPE )

Con una densidad de 0,915 g/cm<sup>3</sup> a 0,930 g/cm<sup>3</sup> y un grado de cristalinidad del 40% al 55 %. También es denominado blando o de alta presión porque se obtiene en reactores que trabajan a elevadas presiones de hasta 1.000 atm.

En la figura siguiente se muestra una macromolécula de polietileno reticulado. Las ramificaciones laterales dificultan el acercamiento entre las cadenas, originando un polímero de baja cristalinidad y densidad.



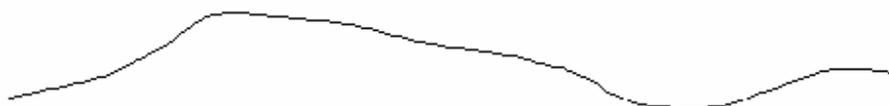
**b) Polietileno de Media Densidad** ( conocido por sus siglas PEMD o MDPE )

Corresponde este tipo al rango bajo de densidad del Polietileno de Alta Densidad, entre  $0,930 \text{ g/cm}^3$  a  $0,940 \text{ g/cm}^3$ .

**c) Polietileno de Alta Densidad** ( conocido por sus siglas PEAD o HDPE )

Con una densidad de  $0,930 \text{ g/cm}^3$  a  $0,965 \text{ g/cm}^3$  y una cristalinidad que varía del 55 al 80 %. También es denominado duro o de baja presión porque se obtiene en reactores que trabajan a una presión de 30 a 40 atm, mucho menor que en el caso anterior.

En la figura siguiente se muestra la imagen simplificada de una macromolécula de PE lineal. Al no presentar ramificaciones se facilita la aproximación entre moléculas, dando lugar a polímeros de la máxima cristalinidad y densidad (HDPE).



Las propiedades mecánicas del HDPE son muy superiores a las que presenta el LDPE, siendo este último más fácil de fabricar y consecuentemente más barato.

Las propiedades de cada tipo de Polietileno vienen determinadas por su densidad, ramificación de las cadenas, peso molecular y distribución de pesos moleculares.

El polietileno lineal se produce normalmente con pesos moleculares en el rango de 200.000 a 500.000, pero puede ser mayor aún. El polietileno con pesos moleculares de tres a seis millones se denomina polietileno de peso molecular ultra-alto, o UHMWPE. El UHMWPE se puede utilizar para hacer fibras que son tan fuertes que sustituyeron al kevlar para su uso en chalecos a prueba de balas. Grandes láminas de éste se pueden utilizar en lugar de hielo para pistas de patinaje

Dentro del PE de alta densidad, se encuentran comercialmente las siguientes variedades, en cuya denominación aparece **PE – XXX**, correspondiendo las cifras XXX a la resistencia característica a tracción en MPa.

- **PE-80 y PE-100** Usados fundamentalmente para la fabricación de tuberías a presión.
- **HM PE-300**

Aceptable fisiológicamente. Ninguna absorción de agua. Se puede mecanizar por embutición profunda. A prueba de choque y resistencia al impacto.

APLICACIONES: Aparatos químicos y galvanoplastia, laboratorios industriales, ingeniería mecánica, refrigeradores, industria de productos alimenticios e industria mecánica.

**- HMW PE-500**

Alto peso molecular. Aceptable fisiológicamente. Ninguna absorción de agua. Alta resistencia al impacto. Buenas propiedades de deslizamiento. Resistencia a la abrasión.

APLICACIONES: Revestimiento de depósitos, tanques y silos para canteras, minas y otras instalaciones, ingeniería mecánica, industria del papel, industria de productos alimenticios.

**- UHMW PE-1000**

Alto peso molecular. Aceptable fisiológicamente. Ninguna absorción de agua. Resistencia extremadamente alta al impacto. Buenas propiedades de deslizamiento. Alta resistencia a la abrasión.

**Resistencia a la degradación del Polietileno:**

Los polietilenos presentan una excelente resistencia a diversas sustancias químicas y disolventes. A temperatura ambiente, son resistentes a medios ácidos y alcalinos, excepto en el caso de ácidos oxidantes como el nítrico, el clorosulfónico y el sulfúrico fumante. Los polietilenos son generalmente insolubles en disolventes orgánicos a temperaturas por debajo de 80°C aproximadamente. Sin embargo, a temperaturas más altas, son solubles en diversos grados en hidrocarburos e hidrocarburos halogenados. Son afectados apreciablemente por disolventes clorados, hidrocarburos aromáticos y alifáticos, algunos ésteres y aceites. El polietileno se puede disolver en aceites lubricantes, terpentina, parafina, petróleo, tricloroetileno, xileno y tolueno a temperaturas por encima de los 120°C.

**APLICACIÓN DEL PE EN LAS INSTALACIONES DE TRATAMIENTO DE AGUA**

En la siguiente diapositiva se muestran usos típicos del PE en las instalaciones de tratamiento de agua.

El PE tiene muchas aplicaciones ( envases, bolsas, etc). Aquí se destaca su uso en tuberías para transporte de reactivos en fase acuosa (imagen 1), y para estructuras sumergidas (p.ej. la imagen 3 muestra las lam as de PE - con forma de panel de abeja -, de un decantador lamelar).

En la imagen 2 se muestran los efectos típicos de la dilatación térmica sobre las tuberías de PE.

Observe en la imagen 4 que la flexibilidad de la tubería de PE permite realizar un trazado curvo sin necesidad de realizar curvas ni codos, lo cual simplifica mucho el montaje y evita la posibilidad de fugas en los accesorios.

Por su importancia se ha incluido un **anexo dedicado a las tuberías de PE.**

## ***POLIETILENO (PE): APLICACIONES***

*1. Tuberías de PE para transporte de reactivos acuosos*



*2. Tuberías de PE: efectos de la dilatación térmica.*



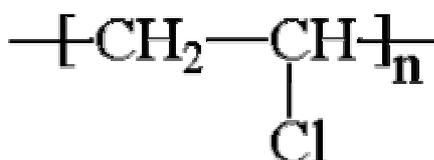
*3. Lamas de PE (decantador lamelar)*



*4. Flexibilidad de las tuberías de PE*



## 2) Cl: Policloruro de Vinilo (PVC)



El Policloruro de Vinilo (PVC) se obtiene por polimerización del monómero cloruro de vinilo, vía radicales libres.



**Cloruro de Vinilo**

**Policloruro de Vinilo  
PVC**

Según las condiciones (presión, temperatura, aditivos, etc.) y el proceso de fabricación de la resina de PVC se obtienen polímeros de PVC de cadenas más o menos largas (mayor o menor peso molecular medio), con mayor o menor dispersión de los tamaños moleculares en relación al valor medio, dando lugar a productos de PVC con características distintas. A medida que aumenta el peso molecular mejoran las propiedades mecánicas, pero disminuyen las facilidades en los procesos de fabricación.

Para mejorar las características de los polímeros (resistencia mecánica, duración, facilidad del proceso de fabricación, etc.), las resinas se mezclan con una serie de **aditivos**, entre los cuales cabe destacar:

- Estabilizadores y filtros ultravioleta para optimizar la duración del material.
- Lubricantes para favorecer los procesos de fabricación.
- Modificadores de impacto para mejorar la resistencia mecánica.
- Pigmentos para dar una coloración final al producto.

Técnicamente se distinguen dos tipos de PVC claramente diferentes: el rígido y el flexible o plastificado.

### - PVC rígido (U-PVC)

Se obtiene directamente en la polimerización, a partir del monómero puro; el segundo se obtiene mediante adición de plastificantes. Cada uno se fabrica con una gran variedad de subtipos, destinados a diferentes aplicaciones finales, pudiéndose conseguir desde una rigidez similar a la de la madera hasta la flexibilidad del caucho.

### - PVC plastificado (semirrígido y flexible)

El efecto de los plastificantes es debido a que sus moléculas se introducen entre las cadenas macromoleculares del polímero, facilitando el movimiento relativo respecto a las moléculas contiguas.

Los plastificantes más utilizados son el ftalato de dioctilo (DOP), el ftalato de dibutilo (DBP), el tricresilfosfato (TCP), etc. La proporción del plastificante suele variar desde el 10 al 60% en peso, según el grado de flexibilidad deseado.

Algunos plastificantes proporcionan flexibilidad al PVC a bajas temperaturas y no emigran por difusión a temperaturas relativamente altas. Para los envases alimenticios se exigen plastificantes inocuos para la salud y que no produzcan olor.

Por ser el PVC un producto termoplástico se endurece con el frío y se ablanda con el calor. Por esta razón, a bajas temperaturas aumenta su resistencia mecánica y disminuye su resistencia al impacto. Hasta los 40°C, la influencia de la temperatura es prácticamente nula. De 40 a 66°C se puede utilizar PVC rígido (sin añadir plastificantes), teniendo en cuenta que las presiones y cargas mecánicas que puede soportar son inferiores a las normales. A 0°C el material de PVC debe protegerse de los impactos.

**El PVC clorado (CPVC)** se obtiene por tratamiento del PVC con agentes clorantes incrementando su contenido en cloro del 57 % al 64-67 %. Aunque en un principio este tratamiento se desarrolló para aumentar la solubilidad del PVC y facilitar su utilización en fibras, posteriormente se orientó hacia la obtención de materiales con una temperatura de ablandamiento superior al PVC. Estos materiales, con una temperatura de transición vítrea de 110 °C, son particularmente interesantes para tuberías de desagüe de agua caliente.

### Características de PVC comercial para tuberías

Características del material	Valores		Método de Ensayo
	U-PVC	PVC-C	
Densidad	De 1,35 a 1,46 kg/dm <sup>3</sup>	De 1,49 a 1,58 kg/dm <sup>3</sup>	UNE 53.020/73
Coefficiente de dilatación lineal	De 60 a 80 millonésimas por grado centígrado		UNE 53.126/79
Temperatura de reblandecimiento	> 79° C	100-120°C a 66 lbf/i <sup>n2</sup> 95-115°C a 264 lbf/i <sup>n2</sup>	UNE 53.118/78
Resistencia a tracción simple	> 500 kg/cm <sup>2</sup>	> 520 kg/cm <sup>2</sup>	UNE 53.112/81
Alargamiento a la rotura	> 80 por 100		UNE 53.112/81
Absorción de agua	< 40 por 100 g/m <sup>2</sup>		UNE 53.112/81
Opacidad	< 0,2 por 100		UNE 53.039/55
Módulo de elasticidad	25-32 x 10 <sup>2</sup> mPa		
Resistencia de impacto IZOD	1,4 + 7,6 J		
Temperatura de uso máxima	110° C		

### **Resistencia a la degradación del PVC**

El policloruro de vinilo es resistente a medios alcalinos inorgánicos en todas las concentraciones y a todas las sales orgánicas e inorgánicas. El PVC es muy resistente a ácidos inorgánicos, como el clorhídrico, el nítrico, el fosfórico y el ácido sulfúrico concentrado. Los ácidos grasos, esteárico, oléico, y linoléico producen pocos efectos en PVC a temperatura ambiente. La exposición prolongada a ácidos grasos calientes produce un reblandecimiento en las partes en contacto con regiones en que se da el equilibrio entre las fases de líquido y vapor. Los ácidos acético y fórmico atacan levemente el PVC a temperatura ambiente, y muestran bastante agresividad a temperaturas entre 100 y 110°C y cuando se trata de ácido acético glacial. El PVC es muy resistente a agentes oxidantes como el ácido sulfúrico concentrado, el ácido nítrico, el ácido crómico y el peróxido de hidrógeno. Los disolventes comunes, como las cetonas, ésteres, éteres, hidrocarburos clorados e hidrocarburos aromáticos reblandecen y a veces disuelven el PVC rígido. Los alcoholes y los hidrocarburos alifáticos producen poco efecto en el PVC. Es completamente resistente a todos los aceites comunes tanto de origen vegetal como mineral y animal.

*El CPVC* tiene aproximadamente la misma resistencia química que el PVC rígido. Se han apreciado mejoras en la resistencia a la tensión residual del CPVC en comparación con la del PVC, tras exposición de 30 días a entornos como ácido acético, ácido crómico, ácido nítrico, ácido sulfúrico e hidróxido de sodio a temperaturas comprendidas entre los 50 y 140°C.

### **APLICACIÓN DEL PVC EN LAS INSTALACIONES DE TRATAMIENTO DE AGUA**

En la lámina siguiente se muestran los usos típicos del PVC en las instalaciones de Tratamiento de Agua:

- 1. Tuberías para dosificación de diversos reactivos químicos** (polielectrolitos, permanganato potásico, lechadas de cal, etc.)
- 2. Tuberías de PVC para conducción de aguas residuales.**
- 3. Tuberías de transporte de agua con cloro para su dosificación al agua.** El cloro húmedo que va en el interior de las tuberías ataca a casi todos los materiales orgánicos. Con el tiempo, el agua con cloro degrada el pegamento de las tuberías y se producen fugas de cloro al ambiente.
- 4. En esta imagen se observa el mayor grado de corrosión que presenta el acero en relación al PVC cuando existe cloro en el ambiente.** Se trata de un eyector situado en la sala de cloradores mostrada en la imagen 3, donde existen frecuentemente pequeñas fugas de cloro al ambiente. .

## **PVC: APLICACIONES**

*1. Tuberías para dosificación de diversos reactivos químicos*



*2. Tuberías de PVC Saneamiento*

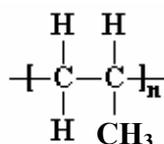


*3. Tuberías para transporte de agua con cloro*



*4. Eyector en atmósfera con cloro*



**3) CH<sub>3</sub> : Polipropileno (PP)**

El Polipropileno es un termoplástico con buenas características de rigidez y dureza. Tiene buena resistencia al impacto y a la abrasión. Su resistencia a los agentes químicos supera a la mayoría de los termoplásticos, siendo prácticamente inatacado.

**Aplicaciones:** Industria química, calderería, portuaria, arandelas, juntas, válvulas, membranas, casquillos, depósitos, cubas de tratamiento de superficie de metales, etc.

Se puede utilizar en la manipulación de productos alimenticios, por ser atóxico.

**Resistencia a la degradación del Polipropileno**

La resistencia química del polipropileno en muchos entornos es muy similar a la que presenta el polietileno de alta densidad, de manera que los dos polímeros tienden a hincharse bajo la acción de los mismos disolventes. El polipropileno es altamente resistente a la mayoría de los ácidos, medios alcalinos y soluciones salinas a alta temperatura. El polipropileno difiere del polietileno en su resistencia química como consecuencia de la presencia de átomos de carbono terciarios en su estructura de cadenas. El efecto más significativo es la susceptibilidad del poli propileno a la oxidación a temperaturas elevadas. Esto puede minimizarse mediante la adición de antioxidantes selectivos, que generalmente están incluidos en todos los polipropilenos disponibles en el mercado.

**APLICACIÓN DEL PP EN LAS INSTALACIONES DE TRATAMIENTO DE AGUA**

En la siguiente imagen se muestran varias aplicaciones típicas del polipropileno

## **POLIPROPILENO (PP): APLICACIONES**

*1. Tuberías para dosificación de Coagulante*



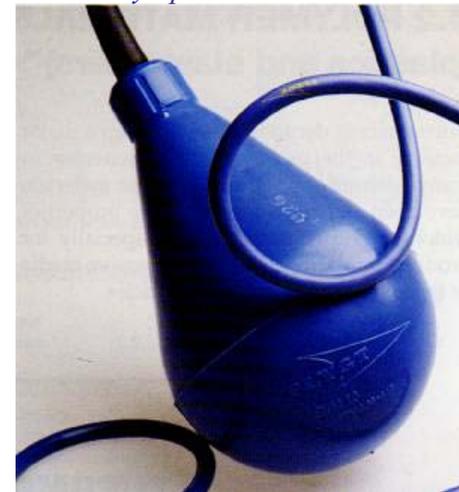
*2. Tanques para ácido hexafluorsilícico*



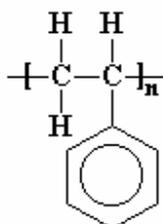
*3. Tuberías para dosificación de ác. hexafluorsilícico*



*4. Boya para control de Nivel*



#### 4) Anillo Bencénico: Poliestireno PS



El poliestireno es transparente, incoloro, de densidad 1,06 y muy duro y resistente aunque frágil. Se reblandece a 90 – 95° C.

Existen dos tipos fundamentales de PS, el no modificado y el de alto impacto (HIPS), obtenido mediante mezcla o copolimerización del estireno con un caucho sintético a base de estireno (estireno-butadieno, por ejemplo) o de butadieno, que tiene mejores características de resiliencia, pero menor transparencia y menor resistencia a la tracción que el no modificado.

Dentro de los PS no modificados existen diferentes tipos, según el peso molecular medio y la presencia de lubricantes. Los PS de alto peso molecular tienen una mayor resistencia a las temperaturas.

El poliestireno de alto impacto se utiliza para la fabricación de grandes piezas de refrigeradores (puertas, y piezas de interior), carcasas de electrodomésticos, calculadoras, accesorios de equipos de alumbrado, etc.

#### Espumas de PS

El PS es uno de los termoplásticos más utilizados en la fabricación de espumas en las que se emplea como PS sin modificar, HIPS o copolímeros y mezclas con PE, ABS y otros termoplásticos.

Estas espumas son muy similares a la madera, tanto en su estructura como en muchas de sus propiedades como la densidad, dureza y características acústicas.

#### Poliestireno expandido

El poliestireno tiene un amplio campo de aplicación en el embalaje y como material aislante térmico y acústico, en la modalidad de poliestireno expandido. La densidad del material resultante llega a ser tan pequeña como 16 kg/m<sup>3</sup>.

#### Copolímeros de estireno:

El estireno forma copolímeros con el acrilonitrilo, designados como **resinas SAN**, que se caracterizan por su transparencia, elevada resistencia mecánica y mayor estabilidad al calor. De mayor interés resultan las **resinas ABS y ASA**, que han conquistado un gran segmento del mercado de las resinas termoplásticas por sus magníficas propiedades.

- **Resinas ABS:** Copolímeros de acrilonitrilo, butadieno y estireno, son materiales termoplásticos muy resistentes al impacto y percusión. Se utilizan para la fabricación de un gran número de objetos tales como: teléfonos, cascos de protección, piezas y carcasas de ordenadores, televisores, etc.
- **Resinas ASA:** Copolímeros de acrilonitrilo, estireno y acrilato de metilo. Se utilizan fundamentalmente en la fabricación de accesorios de chasis de automóviles, luces de tráfico,
- muebles, etc.

#### Resistencia a la degradación del Poliestireno

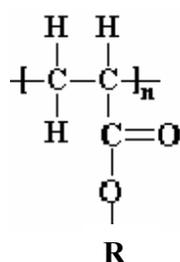
La resistencia química del poliestireno es algo menor que la del polietileno. Se disuelve en algunos hidrocarburos, como el benceno, tolueno y etilbenceno, y en hidrocarburos clorados como el tetracloruro de carbono, el clorobenceno, el cloroformo y el cloruro de metileno. Es atacado por cetonas (a excepción

de la acetona) y ésteres. Otros productos como los ácidos, alcoholes, aceites, cremas cosméticas y aditivos alimenticios a menudo dan lugar a agrietamientos y rajaduras. El poliestireno tiene una buena resistencia a muchos compuestos químicos ordinarios, como los ácidos débiles, todas las concentraciones de álcalis y soluciones acuosas de muchas sales, sin embargo es fácilmente atacado por agentes oxidantes.

### **Resistencia a la degradación de las resinas ABS**

Son resistentes a ácidos inorgánicos diluidos a temperatura ambiente. Son atacadas por ácidos fuertes, como el ácido perclórico, el ácido nítrico al 65%, el ácido sulfúrico concentrado a más del 50%. Son destruidas por la mayoría de las concentraciones de ácido butírico, cloracético y acético. Presentan desde buena hasta excelente resistencia a la mayoría de los medios alcalinos. Las resinas ABS no se ven afectadas por la mayoría de los gases húmedos o secos, a excepción del dióxido de azufre húmedo, que produce un efecto de degradación bastante significativo. Las resinas ABS tienen baja resistencia química a la mayor parte de los disolventes aromáticos (benceno, tolueno, xileno), éteres, ésteres, aromáticos clorados, y alifáticos clorados, aminas, cetonas y alcoholes calientes.

### **5) Acrilato: Polímeros Acrílicos**

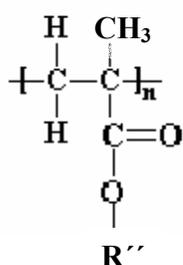
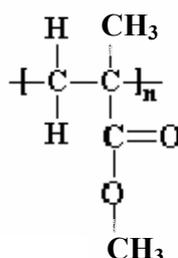


Los compuestos acrílicos son termoplásticos (capaces de ablandarse o derretirse con el calor y volverse a endurecer con el frío), impermeables al agua, y densidades bajas. Estas cualidades los hacen idóneos para fabricar distintos objetos entre los que se incluyen materiales moldeados, adhesivos y fibras textiles; estas fibras se utilizan para fabricar tejidos duraderos, de fácil lavado y que no encogen. Las pinturas acrílicas (emulsiones de pigmentos, agua y resinas acrílicas que no amarillean) secan rápidamente sin cambiar de color y no se oscurecen con el tiempo.

Los compuestos acrílicos se caracterizan por presentar una excelente resistencia a la intemperie y a la radiación UV. No afectan a los alimentos ni al tejido humano.

Como inconvenientes cabe mencionar:

- Escasa resistencia a los disolventes.
- Falta de flexibilidad.
- Posibilidad de grietas por tensión.

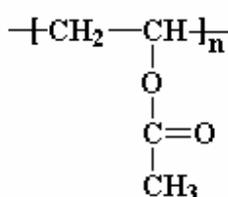
**Polimetacrilatos****Ej. Polimetacrilato de Metilo (PMMA)**

El PMMA tiene una gran dureza y rigidez. Puede ser transparente, opaco y de colores. No apto para la fabricación de piezas móviles. Débil resistencia al impacto. Es ideal para la construcción de piezas transparentes para maquinaria, electrotécnica y la industria de rótulos.

- **Aplicaciones:** Mirillas, piezas transparentes.
- **Denominaciones Comerciales:** PLEXIGLAS, RESARIT, TECACRYL.

**Resistencia a la degradación de los polímeros acrílicos**

No resultan esencialmente afectados por ácidos débiles, medios alcalinos débiles, soluciones salinas inorgánicas, aceites o agua. Tampoco resultan afectados por soluciones débiles de ácidos oxidantes, pero se deterioran rápidamente en soluciones altamente concentradas de estos ácidos.

**6) Acetatos: Poliacetato de Vinilo (PVAc)**

El PVAc se utiliza en las pinturas de latex acrílico, para hacer pegamentos para madera; asimismo el papel y los textiles tienen a menudo recubrimientos de PVA y de otros ingredientes para hacerlos brillantes

**7) Polibutileno PB**

El Polibutileno, "PB", es un termoplástico de gran interés a las siguientes **propiedades:**

- *Ligero* ∴
- *Flexible*
- *Resistente:* Alto grado de resistencia a altas temperaturas y presiones. Gran resistencia a impactos.

- *Poca Dilatación:* Es el material plástico con menor dilatación térmica.
- *Duradero:* Es el termoplástico para fontanería y calefacción con mas larga vida de servicio.
- *Buena calidad de mecanizado*
- *Resistente a los disolventes*

Resulta muy adecuado para las instalaciones de fontanería y calefacción.

### Limitaciones del PB

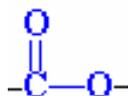
- Efecto de la luz solar: se agrieta.
- Efecto de los ácidos: es atacado por ácidos oxidantes.

### CARACTERÍSTICAS DEL PB

Densidad	ASTM D 1505	g/cm <sup>2</sup>	0.937
<b>Características Mecánicas</b>			
Coefficiente de Enervación	ASTM D 638	N/mm <sup>2</sup>	17.0
Coefficiente de Rotura	ASTM D 638	N/mm <sup>2</sup>	34.0
Alargamiento a Rotura	ASTM D 638	%	280
Módulo de Elasticidad	ASTM D 638	N/mm <sup>2</sup>	270
Dureza Shore	ASTM D 638	Escala D	D60
<b>Características Térmicas</b>			
Campo de Fusión	ASTM DTA	°C	124-126
Temperatura de Ablandamiento	ASTM D 1525	°C	113
Coefficiente de Dilatación Térmica Lineal	ASTM D 696	mm - 1°C-1	1.3 x 10 <sup>-4</sup>
Temperatura de Rigidez	ASTM D 746	°C	-15
Conductividad Térmica	-	W/mK	0.22
<b>Otras Características</b>			
Coefficiente Dieléctrico	ASTM D 150-65T		2.53

## 2. POLIESTERES SATURADOS

Los Poliésteres son aquellos polímeros que contienen **grupos éster** en sus cadenas hidrocarbonadas



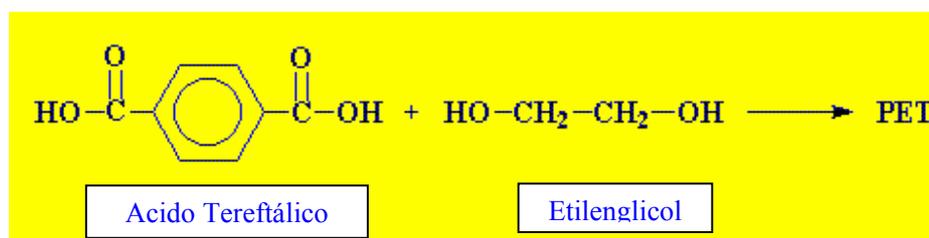
**Grupo Éster**

Los Poliésteres lineales o saturados se obtienen por reacción de dialcoholes con ácidos dicarboxílicos saturados ( es decir, no contienen enlaces dobles o triples entre los átomos de carbono ). Las macromoléculas formadas son lineales, no reticuladas, y en consecuencia tienen las propiedades características de los termoplásticos.

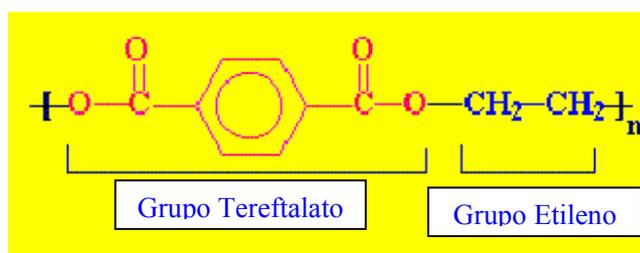
Partiendo de unos eslabones primarios que son el polialcohol y el poliácido, llegamos a la formación de unas verdaderas cadenas lineales, cuya constitución y longitud nos darán una verdadera gama de posibles productos con cualidades muy determinadas.

### 1) Polietilentereftalato (PET)

En la práctica industrial los poliésteres lineales más utilizados son los obtenidos por reacción del ácido tereftálico y de dióles alifáticos; concretamente del etilenglicol: el **Polietilentereftalato (PET)**.



#### Polietilentereftalato (PET):



**Los poliésteres son muy estables a la luz, a los ácidos y a los disolventes no polares.** Concretamente, el PET es resistente a los hidrocarburos y aceites minerales, aún a elevadas temperaturas, pero se disuelve con facilidad, incluso a temperatura ambiente, en el ácido cloroacético, el fenol y el ácido fluorhídrico.

### 2) Arnite - PETP

Es un poliéster termoplástico sobre la base de Tereftalato de Polietileno. Tiene una gran rigidez y dureza superficial. Resistente a la deformación y a las presiones elevadas. Alta tenacidad. Coeficiente de fricción muy bajo. Buena conductividad térmica. Estabilidad dimensional. Bajo coeficiente de dilatación térmica. Buen aislante eléctrico.

- **Aplicaciones:** Ideal para componentes mecánicos, hidráulicos y electrotécnicos, rodillos, poleas, cojinetes, engranajes silencioso autolubricantes, patines y guías de deslizamiento, piezas sometidas a un gran esfuerzo.

- **Denominaciones Comerciales:** NOVATRON, DURESTER, ERTALYTE, ULTRADUR

### 3) Copoliéster - PETG

Para reducir la cristalinidad, se puede copolimerizar el PET. Los copolíésteres de PET modificado con glicol se denominan PETG

El Copoliéster es un termoplástico con unas propiedades como: alto brillo y transparencia, resistencia al impacto muy alta, fácil conformación, buen comportamiento al ataque químico, temperatura de trabajo hasta 65°C, Certificado FDA (contacto con alimentos), no necesita presecado.

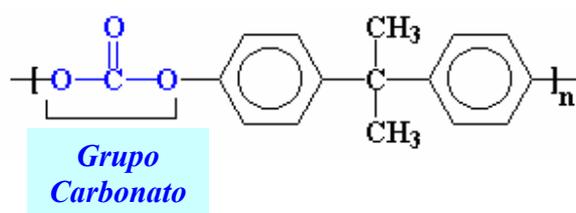
- **Aplicaciones:** Publicidad y rótulos, pantallas, protecciones de máquinas, aplicaciones interiores, etc.

- **Denominaciones Comerciales:** VERALITE PETG, TECANAT PETG, AXXIS-VIVAK.

Una familia especial de Poliésteres son los **Policarbonatos**

### 3. POLICARBONATO - PC

El policarbonato toma su nombre de los grupos carbonato existentes en su cadena principal.



El policarbonato representado anteriormente es el más utilizado, y se obtiene a partir de bisfenol A y fosgeno. Presenta las siguientes **propiedades:**

- Alta resistencia al impacto.
- Buena resistencia a la temperatura.
- Buena estabilidad dimensional.
- Excelente resistencia a la fluencia.
- Buenas propiedades dieléctricas
- Escasa combustibilidad.
- Asequible en calidades transparentes.

Como **inconvenientes** del policarbonato:

- Escasa resistencia a los álcalis.
- Sujeto a agrietamiento por disolventes.

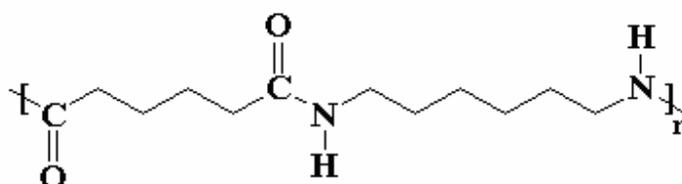
Hay otros polímeros que son tan rígidos como los policarbonatos, o tan transparentes; por ello, **la elección de los policarbonatos se justifica allí donde se requieren al menos dos o tres propiedades ventajosas, no esté presente ningún medio agresivo que provoque su fragilidad y no haya otra alternativa más barata.**

- **Aplicaciones:** Mirillas, lentes ligeras, piezas transparentes, protecciones de maquinaria.

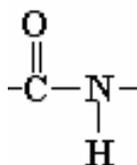
Nota: el PC es más ligero que el cristal y tiene mayor índice de refracción.

- **Denominaciones Comerciales:** LEXAN, MAKROLON, TECANAT.

#### 4. POLIAMIDAS (NYLONS)



Las Poliamidas son polímeros termoplásticos que se caracterizan por tener el grupo amida en la cadena polimérica:

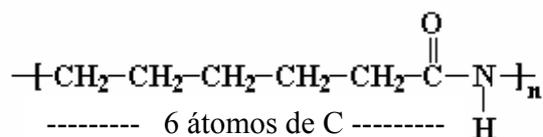


*Grupo Amida*

Nota: Las Poliamidas se obtienen al reaccionar poliácidos con poliaminas.

Se consideran a continuación principales poliamidas de interés industrial:

##### 1) Nylon – PA.6



El Nylon es una poliamida con excelentes cualidades, tales como dureza, capacidad de amortiguación de golpes, ruidos, vibraciones, resistencia al desgaste, a la abrasión, etc. Es capaz de soportar cargas dinámicas, es bastante resistente al calor y tiene buena resistencia contra algunas materias químicas.

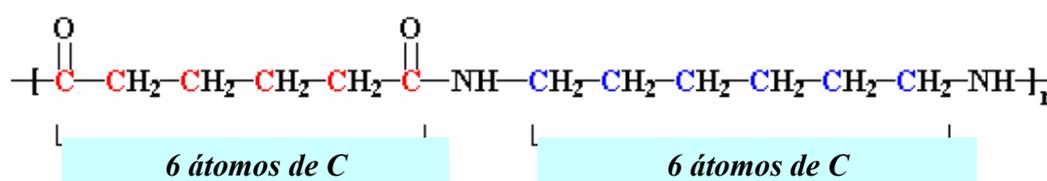
El Nylon es altamente deslizante y tiene muy buena resistencia al desgaste, aún trabajando en seco, por lo que tiene poco envejecimiento si es utilizado como cojinete.

Inercia química casi total. Antiadherente. No inflamable. Excelente dieléctrico. Amplio margen de temperatura de utilización.

- **Aplicaciones:** Sustitutivo del bronce, acero, latón, para casquillos, cojinetes, engranajes, asientos de válvulas, guías de deslizamiento, tubos en hidráulica y neumática, etc.

- **Denominaciones Comerciales:** NYLON-6, POLIAMIDA-6, NYLATRON-6, AKULON-6, ULTRAMID-B, DURETHAN-B, TECAMID-6, ERTALON-6 SA, AMIDAN-6.

## 2) Poliamida 6.6



La poliamida 6.6 o nylon 66 se obtiene haciendo reaccionar ácido adípico  $\text{HOOC} - [\text{CH}_2]_4 - \text{COOH}$  con exametildiamina  $\text{H}_2\text{N} - [\text{CH}_2]_6 - \text{NH}_2$ .

Tiene mejores propiedades mecánicas y mayor dureza que la Poliamida 6. Por su baja absorción de humedad es más adecuada para fabricar componentes con tolerancias más rígidas. La resistencia química a las bases y ácidos es mala y buena a los disolventes.

- **Aplicaciones:** Cojinetes, guías, casquillos, engranajes, manguitos, asientos, etc.

- **Denominaciones Comerciales:** NYLATRON 66, ERTALON 66-SA, TECAMID 66.

## 3) Poliamida 6 COLADA (PA.6 G)

Poliamida 6 sin aditivar y obtenida por colada, posee un buen conjunto de propiedades físicas, que combina el rendimiento a la tracción con la resistencia al desgaste, tenacidad, flexibilidad y fluencia.

Tiene buena resistencia química y puede trabajar en continuo bajo carga, hasta 100 °C.

- **Aplicaciones:** Cojinetes, ruedas y poleas, placas de fricción, deslizaderas, engranajes, etc.

- **Denominaciones Comerciales:** NYLATRON M, ERTALON 6 PLA, TECAST T.

## 4) Poliamida 6 G + Bisulfuro de Molibdeno (PA.6 G + MoS<sub>2</sub>)

Tiene unas características sobresalientes en su resistencia al desgaste, autolubricación y bajo rozamiento. Es un material idóneo para trabajar en aplicaciones de deslizamiento y rodadura, incluso a 100 °C.

- **Aplicaciones:** Engranajes, cojinetes, guías, casquillos, rodillos, placas de fricción, etc.

- **Denominaciones Comerciales:** NYLATRON GS/GSM, TECAST TM.

### 5) Poliamida 6 G + Lubricante (PA.6 PLAC)

Poliamida 6 colada con lubricación incorporada molecularmente. Gran resistencia al desgaste. Material no tóxico se puede utilizar en la industria alimentaria. Tiene un alto poder de deslizamiento en seco, gracias a su coeficiente de fricción reducido y su resistencia a desgaste superior.

- **Aplicaciones:** Cojinetes, placas de fricción, deslizaderas, ruedas y poleas, engranajes, etc.

- **Denominaciones Comerciales:** ERTALON LFX, SÖDER-ÖL

### 6) Poliamida 6.6 + Fibra de Vidrio (PA.66 + GF30)

Este tipo de Poliamida con carga del 30% de fibra de vidrio, aumenta su resistencia, rigidez y de forma destacada la resistencia a la fluencia y estabilidad dimensional. La temperatura de trabajo en continuo es de 120°C.

- **Aplicaciones:** Piezas sometidas a grandes esfuerzos, cojinetes, topes, etc.

- **Denominaciones Comerciales:** NYLATRON 66-GF30, ERTALON 66-GF30, TECAMID 66-GF30)

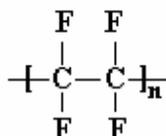
#### **Resistencia a la degradación de las poliamidas:**

Las poliamidas tanto alifáticas como aromáticas presentan en general una buena resistencia a concentraciones débiles de ácidos orgánicos o inorgánicos, y, esencialmente, no se ven afectadas por grasas ni aceites, ni por disolventes alifáticos ni aromáticos. Los ácidos minerales concentrados provocan un quebrantamiento considerable del polímero en un período de tiempo relativamente corto y son atacados severamente por medios alcalinos fuertes y agentes oxidantes. También son atacadas de forma significativa por bases nitrogenadas fuertes, como hidracina, dióxido de nitrógeno, aminas primarias y secundarias y amoniaco acuoso. Si se exponen al vapor o a agua caliente a 150°C, se produce una disminución de su resistencia a tensiones de tracción y flexión. Sin embargo, la mayor parte de esta resistencia puede restaurarse mediante secado, lo que indica que la reducción de propiedades no se debe a cambios químicos. A altas temperaturas, algunos disolventes que contienen grupos funcionales como el m-cresol y nitrobenzono, pueden provocar un hinchamiento de las poliamidas, sin reducir substancialmente su resistencia mecánica. Las sustancias químicas que actúan como agentes oxidantes poderosos pueden provocar la oxidación de algunas partes de las poliamidas, incluso en condiciones suaves.

Los nylons son muy resistentes a la mayoría de los compuestos químicos, son biológicamente inactivos, resistiendo ataques de bacterias y hongos. Son resistentes a la hidrólisis y presentan una excelente resistencia a la mayoría de los disolventes orgánicos comunes y a las soluciones salinas. Son especialmente aplicables para la exposición a hidrocarburos alifáticos y aromáticos, cetonas y ésteres. Esencialmente, no se ven afectados por lubricantes, aceites, y combustibles. Sin embargo, los nylons presentan una resistencia química pobre a ácidos minerales fuertes, agentes oxidantes, y a algunas sales, como el tiocianato de potasio, el cloruro cálcico y el cloruro de cinc. En general, se considera que el nylon 6/6 es el que presenta las mejores propiedades de resistencia química de todos los tipos de nylon.

## 5. FLUORPLÁSTICOS

### 1) Politetrafluoretileno: PTFE (TEFLON)



El Politetrafluoretileno, conocido por su nombre comercial de Teflón, supone aproximadamente el 90 % de los plásticos fluorados comercializados.

El PTFE presenta un conjunto de **propiedades excepcionales**:

- Gama de temperatura muy amplia de -200 a +250°C.
- Resistencia total a casi todos los productos químicos.
- Coeficiente de rozamiento muy bajo (propiedad antiadherente).  
Nota: Como dato orientativo, el coeficiente de rozamiento acero-acero es de 0,74, mientras que el coeficiente de rozamiento de latón sobre acero es de 0,51. El coef. de rozamiento de Teflón sobre acero es de 0,04.
- Extraordinaria antiadherencia.
- No inflamabilidad. El PTFE está clasificado entre los materiales "incombustibles" en el aire.
- Excelentes propiedades dieléctricas.
- Buenas propiedades mecánicas: excelente resistencia a la tracción, a muy baja y muy alta temperatura. Buen comportamiento a la fatiga y a los choques.
- Resistencia a la humedad y a los rayos ultravioletas (no envejece bajo los efectos de la luz solar).
- No es tóxico.

#### **Inconvenientes del PTFE:**

- No se puede procesar por los métodos habituales de los termoplásticos.
- Coste comparativamente alto.
- Sujeto a fluencia.
- Baja resistencia de compresión y tracción.
- Poca rigidez.
- Permeable.
- Tóxico al descomponerse térmicamente.

- **Aplicaciones:** Material de laboratorio, juntas membranas, segmentos, bombas y compresores, asientos de válvulas, casquillos, manguitos, guías de deslizamiento, empaquetaduras, etc.

- **Denominaciones Comerciales:** POLITETRAFLUORETILENO, GAFLON, HOSTAFLON, FLUON, ALGOFLON, TECAFLON PTFE, POLYPENCO PTFE.  
P.T.F.E Teflón



**FLUORPLÁSTICOS: APLICACIONES**

**Politetrafluoretileno PTFE (TEFLON)**

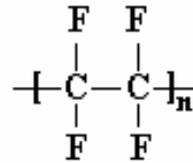


Fig. 1



Fig. 2

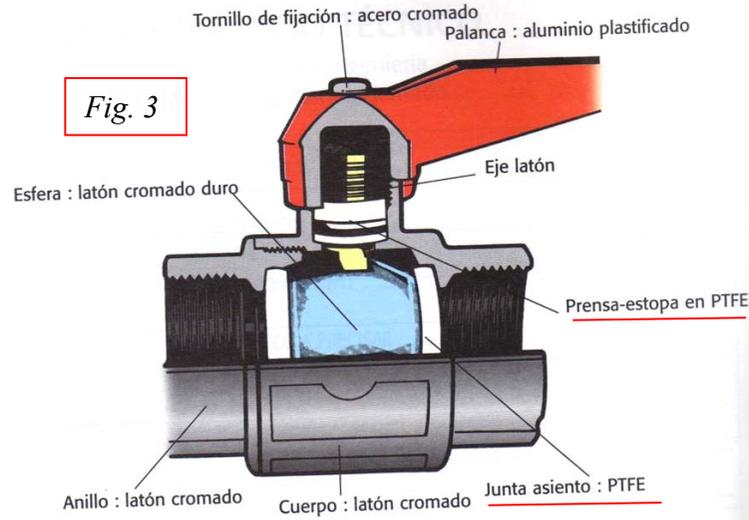


Fig. 3

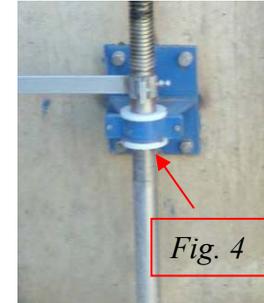


Fig. 4

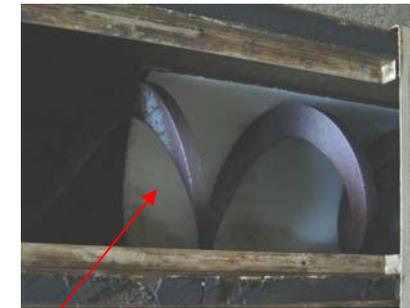
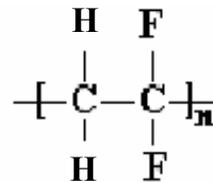


Fig. 5

**Fluoruro de Polivinildieno PVDF**



*Impulsor de PVDF moldeado por inyección*

## 6. POLIOXIMETILENO : POM ( POLIACETAL)

El POM es un termoplástico caracterizado por unas excelentes *propiedades* como una extraordinaria resistencia al impacto y una excelente estabilidad dimensional. Es también muy resistente a la abrasión y a la tracción.

No es atacado por la mayoría de los ácidos y bases, disolventes orgánicos, aceites, grasas y **hidrocarburos**. Hay que tener precauciones con los ácidos fuertes, bases o agentes oxidantes.

Es rígido, estable a la humedad y al calor y tiene un buen comportamiento a la fatiga. Buena mecanización.

Como *inconvenientes* cabe citar su inflamabilidad y su susceptibilidad a la degradación por rayos UV.

- **Aplicaciones:** Casquillos, guías, válvulas, cojinetes y engranajes para trabajos en contacto con agua o bajo condiciones de humedad alternamente variables, mecánica de precisión.

- **Denominaciones Comerciales:** DELRIN, RESINA ACETALICA, HOSTAFORM C, ULTRAFORM, ACETRON C, ERTACETAL, TECAFORM -AH, POLIACETAL

## TABLAS DE PROPIEDADES DE POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS

<i>Material</i>	<i>Densidad gr/cm<sup>3</sup></i>	<i>Punto de fusión °C</i>	<i>Temperatura máxima utilización continua °C</i>	<i>Temperatura mínima utilización continua °C</i>	<i>Alargamiento a rotura %</i>	<i>Resistencia a rotura Kg/cm<sup>2</sup></i>
<i>NYLON PA-6</i>	1,14	213	90	-40	>50	650
<i>POLIAMIDA PA-66</i>	1,15	250	110	-30	25	700
<i>POLIAMIDA PA-6G</i>	1,15	220	105	-40	25	--
<i>POLIAMIDA PA-6+MoS<sub>2</sub></i>	1,16	255	105	-30	25	--
<i>POLIAMIDA PA-6 PLAC</i>	1,13	220	100	-20	>10	--
<i>POLIAMIDA PA-66+6F30</i>	1,29	255	120	-20	7	--
<i>DELTRIN POM</i>	1,41	165	100	-50	400	600
<i>ARNITE PETP</i>	1,38	250	100	-20	15	750
<i>TEFLON PTFE</i>	2,20	327	260	-250	250 a 400	200 a 300
<i>PVC</i>	1,40	110	60	-10	150	550
<i>POLIPROPILENO PP</i>	0,91	160	100	-10	650	300
<i>POLIETILENO PE-300</i>	0,95	135	80	--	>800	--
<i>POLIETILENO PE-500</i>	0,96	135	80	-100	>600	300
<i>POLIETILENO PE-1000</i>	0,94	135	80	-250	>450	250
<i>COPOLIESTER PETG</i>	1,27	--	65	--	--	--
<i>METACRILATO PMMA</i>	1,18	--	70	-100	10	--
<i>POLICARBONATO PC</i>	1,20	150	120	-100	>100	650
<i>POLIURETANO PU</i>	1,25	--	--	-20	530	--

<i>Material</i>	<i>Resistencia al choque Kj/cm<sup>2</sup></i>	<i>Modulo elastico tracción N/mm<sup>2</sup></i>	<i>Absorción agua 100% Hr 23 %</i>	<i>Resistencia superficial ohm</i>	<i>Conductividad térmica W/Km</i>	<i>Dureza Shore D.A. Rockwell M. Brinell H.</i>
<i>NYLON PA-6</i>	3,80	2800	9	$5 \cdot 10^{12}$	0,28	D.75
<i>POLIAMIDA PA-66</i>	5	3000	8	$1 \cdot 10^{13}$	0,25	D.75
<i>POLIAMIDA PA-6G</i>	4	3300	6,5	$1 \cdot 10^{13}$	0,29	M.88
<i>POLIAMIDA PA-6+MoS2</i>	4	3400	6,1	$1 \cdot 10^{12}$	0,29	M.90
<i>POLIAMIDA PA-6 PLAC</i>	4	2800	6,5	--	--	M.80
<i>POLIAMIDA PA-66+6F30</i>	--	5200	5,5	$1 \cdot 10^{13}$	0,30	M.98
<i>DELTRIN POM</i>	7	2900	0,8	$1 \cdot 10^{13}$	0,31	M.90
<i>ARNITE PETP</i>	4	3400	0,6	$6 \cdot 10^{12+2}$	0,29	M.95
<i>TEFLON PTFE</i>	16	750	0	$1 \cdot 10^{13+3+2}$	0,25	D.50 D.65
<i>PVC</i>	12	3000	0,1	$1 \cdot 10^{13}$	0,20	D.65-85
<i>POLIPROPILENO PP</i>	NO ROMPE	1300	0,01	$1 \cdot 10^{13}$	0,22	D.73
<i>POLIETILENO PE-300</i>	NO ROMPE	1000	0,01	$1 \cdot 10^{13}$	0,43	D.65
<i>POLIETILENO PE-500</i>	NO ROMPE	900	0,01	$1 \cdot 10^{13}$	0,42	D.65
<i>POLIETILENO PE-1000</i>	NO ROMPE	700	0,01	$1 \cdot 10^{13}$	0,42	D.65
<i>COPOLIESTER PETG</i>	--	2200	0,2	--	--	R.155
<i>METACRILATO PMMA</i>	18	3300	0,3	$10^{13+2}$	0,19	H.190
<i>POLICARBONATO PC</i>	>30	2300	0,35	$1 \cdot 10^{13+3}$	0,21	M.75

Tipo de material	Marcas registradas	Características de las principales aplicaciones	Aplicaciones típicas
<b>Termoplásticos</b>			
Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS)	Marbon, Cycolac, Lustran, Abson	Gran resistencia y tenacidad; resistente a la distorsión térmica; buenas propiedades eléctricas; inflamable y soluble en disolventes orgánicos	Recubrimiento de interiores de frigoríficos; cortacéspedes y equipos de jardinería, juguetes y dispositivos de seguridad de carreteras
Acrílicos [poli(metacrilato de metilo)]	Lucite, Plexiglas	Extraordinaria transmisión de la luz y resistencia a la degradación ambiental; propiedades mecánicas regulares	Lentes, ventanas de avión, material para dibujar, letreros exteriores
Fluorocarbonos (PTFE o TFE)	Teflon TFE, Halon TFE	Químicamente inertes en la mayoría de los ambientes; excelentes propiedades eléctricas; bajo coeficiente de fricción; se pueden utilizar hasta los 260°C; nula o despreciable fluencia a temperatura ambiente	Aislamientos anticorrosivos, tuberías y válvulas químicamente resistentes, cojinetes, recubrimientos antiadherentes, componentes eléctricos expuestos a altas temperaturas
Nilones	Zytel, Plaskon	Buenas resistencias mecánica y a la abrasión y tenacidad; bajo coeficiente de fricción; absorbentes del agua y de otros líquidos	Cojinetes, engranajes, levas, palancas y recubrimientos de alambres y cables.
Policarbonatos	Merlon, Lexan	Dimensionalmente estables; baja absorción del agua; <b>transparencia</b> ; gran resistencia al impacto y ductilidad; extraordinaria resistencia química	Cascos de seguridad, lentes, globos para alumbrado, bases para películas fotográficas
Polietileno	Alathon, Petrothene, Hi-fax	Químicamente resistentes y eléctricamente aislantes; blandos y bajo coeficiente de fricción; baja resistencia mecánica y poca resistencia a la degradación ambiental	Botellas flexibles, juguetes, vasos, carcasas de pilas, cubiteras, láminas para embalaje
Polipropileno	Pro-fax, Tenite, Moplen	Resistencia a la distorsión térmica; excelentes propiedades eléctricas y resistencia a la fatiga; químicamente inerte; relativamente barato; poca resistencia a la radiación ultravioleta	Botellas esterilizables, láminas para embalaje, televisores, maletas
Poliestireno	Styron, Lustrex, Rexolite	Excelentes propiedades eléctricas y <b>claridad óptica</b> ; buena estabilidad térmica y dimensional; relativamente económico	Tejados, electrodomésticos, carcasas de pilas, juguetes, paneles de alumbrado doméstico
Vinilos	PVC, Pliovic, Saran, Tygon	Materiales para aplicaciones generales y económicas; ordinariamente rígidos pero con plastificantes se vuelve flexible; a menudo copolimerizado; susceptible a la distorsión térmica	Recubrimientos de suelos, tuberías, recubrimientos aislantes de hilos eléctricos, mangas de riego, discos fonográficos
Poliéster (PET)	Mylar, Celanar, Dacron	Una de las películas plásticas más blandas; excelentes resistencias a la fatiga, a la torsión, a la humedad, a los ácidos, a los aceites y a los disolventes	Cintas magnetofónicas, paños, encordelado de neumáticos

### 3.3 Aplicaciones de los Termoplásticos en las Instalaciones de Tratamiento y Conducción de Agua. Tuberías



La principal aplicación de los materiales termoplásticos en las instalaciones de tratamiento y conducción de agua es como materiales para la fabricación de tuberías.

Básicamente se utilizan materiales termoplásticos, vinílicos: Polietileno (PE), Policloruro de Vinilo (PVC) y Polipropileno (PP), este último a escala muy inferior actualmente.

#### 1. Principales VENTAJAS del uso de materiales plásticos para tuberías:

##### 1.1) Bajo coeficiente de rozamiento:

- Pérdidas de carga por fricción muy bajas.
- Resistencia a agentes abrasivos

Las tuberías de plástico demuestran una gran resistencia a la erosión por rozamiento con materiales abrasivos.

La escasa rugosidad del material reduce el coeficiente de rozamiento y, con ello, la abrasión de las superficies.

Numerosos ensayos realizados con mezclas de agua y arena circulando a gran velocidad demuestran un menor efecto de la abrasión en relación a tuberías fabricadas con otros materiales.

##### 1.2) Estabilidad Química

- **Casi ausencia de incrustaciones:** la baja reactividad química de los materiales plásticos favorece que el volumen de sedimentaciones calcáreas o incrustaciones en las tuberías sea muy inferior al observado en tuberías metálicas, donde puede ocurrir una significativa reducción de la sección interior.

Esta característica garantiza la invariabilidad del coeficiente de fricción de la tubería con el tiempo, no siendo necesario considerar posibles aumentos en las pérdidas de carga.

- Su resistencia química es superior a la que ofrecen los metales, no experimentando corrosión electrolítica y, por ello:
  - a) Los materiales plásticos suelen ser los más adecuados para las tuberías de instalaciones que trabajan con reactivos químicos (por ejemplo, para el trasiego y dosificación de reactivos para el tratamiento de agua).
  - b) En terrenos agresivos son las que mejores prestaciones poseen, siempre y cuando posean la resistencia mecánica necesaria.

Las tuberías de materiales plásticos (PVC, PE y PP) son resistentes a los ácidos inorgánicos diluidos. Esta resistencia disminuye al aumentar la concentración y la temperatura.

La resistencia a las bases y a las sales metálicas es buena independientemente de la concentración y la temperatura.

Resultan atacados por los hidrocarburos clorados y los compuestos aromáticos.

Para mayor detalle, consúltese el apartado de características tecnológicas relativo a estos polímeros.

### **1.3) Flexibilidad**

- La flexibilidad de las tuberías de polietileno permite, a veces, la fabricación y transporte de tuberías en rollos o bobinas de gran longitud, reduciendo de manera importante el número de uniones en el montaje.
- La instalación de tramos no rectilíneos en terrenos irregulares se realiza sin necesidad de acoplamientos o accesorios, desapareciendo el riesgo de fugas en juntas.
  - Resultan especialmente indicadas para conducciones enterradas en suelos movedizos o baja capacidad portante, puesto que los asentamientos diferenciales pueden ser absorbidos por la tubería sin riesgo de fisuras.

### **1.4) Elasticidad**

El módulo de Young (E) de los materiales plásticos es muy inferior al de los materiales metálicos:

- La velocidad de propagación de las ondas de sobrepresión es muy inferior y en consecuencia se reduce notablemente la sobrepresión de golpe de ariete.
- Carácter muy resistente a impactos bruscos, o elevadas tensiones instantáneas.

Esta característica reduce las posibilidades de rotura frágil en condiciones de funcionamiento de temperatura ambiente

### **1.5) Peso reducido**

Comparativamente con otros materiales (fundición u hormigón), su bajo peso facilita el transporte y manipulación de tuberías de gran envergadura sin necesidad de compleja maquinaria para la puesta en obra..

## 2. LIMITACIONES en el uso de las tuberías de material plástico:

### 2.1) Su resistencia mecánica es relativamente baja

- Sus coeficientes de resistencia a la tracción las hacen poco útiles cuando nos situamos en la gama de presiones elevadas, especialmente para diámetros grandes.
- Deformabilidad ante cargas externas elevadas, perdiendo su geometría cilíndrica (ovalización) lo cual les hace vulnerables a las depresiones.

### 2. 2) Su resistencia mecánica se reduce con la temperatura y con el paso del tiempo

Los tubos se diseñan para una tensión mínima de trabajo, con un coeficiente de seguridad, suponiendo que han de tener una vida útil de al menos 50 años.

Para garantizar la durabilidad anterior, se determina la resistencia a la rotura de las tuberías, sometidas a presión interna, en función del tiempo a temperaturas de ensayo de 20°, 40°, 60° y 80°C.

Estos ensayos, usando técnicas de extrapolación, permiten obtener curvas que describen el comportamiento del material en función del tiempo y la temperatura

### Ensayos para determinar la evolución temporal de resistencia a la rotura

La tensión se origina de una forma indirecta, sometiendo el tubo ensayado a presión interna ( $P_i$ ) la cual, en función del diámetro medio ( $D_m$ ) y del espesor de pared del tubo ( $e$ ), origina la tensión deseada ( $\sigma$ ).

La relación entre presión interna y tensión de trabajo está ligada por la fórmula:

$$e = \frac{P_i \times D_m}{2\sigma}$$

La presión interna de líquido a aplicar para obtener las tensiones de trabajo deseada en el material se obtiene de la fórmula anterior:

$$P_i = \frac{2e\sigma}{D_m}$$

y en función del diámetro exterior ( $D_e$ )

$$P_i = \frac{2e\sigma}{D_e - e}$$

El medio interno con el que se produce la presión  $P_i$  es, en los ensayos, usualmente agua y el medio externo que rodea el tubo agua o aire.

En cada ensayo, que es destructivo, se mantiene el tubo a tensión determinada, fijada de antemano, hasta la rotura.

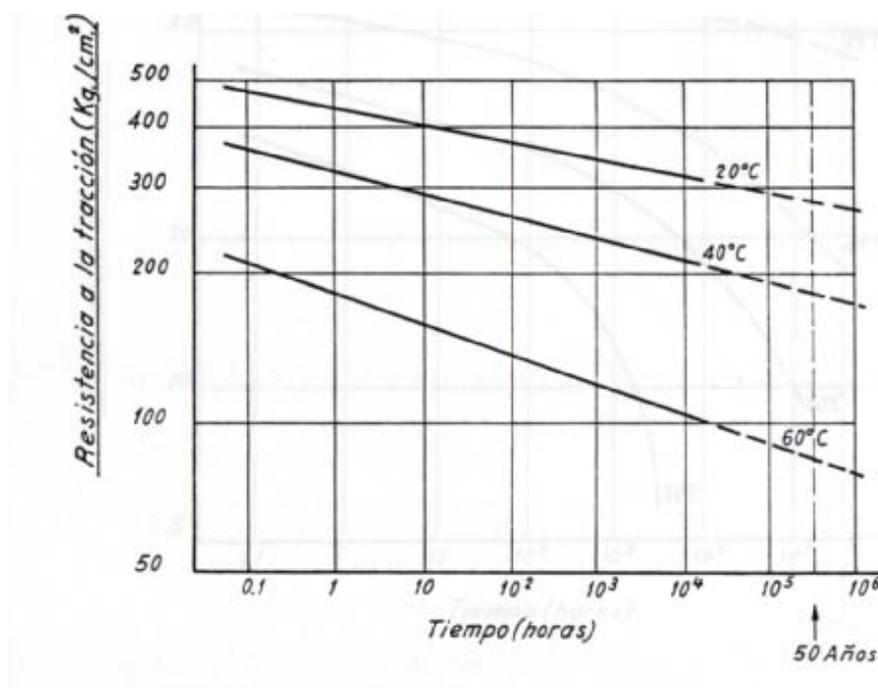
Los ensayos se agrupan de la siguiente forma:

- Grupos de tubos a ensayar a las temperaturas siguientes: 20° C, 40° C, 60 °C y 80 °C.
- En cada grupo de tubos se obtienen los tiempos de rotura para distintas presiones internas, calculadas a partir de las tensiones tangenciales.

La representación gráfica de la figura siguiente muestra en el eje de abscisas los tiempos (horas) en escala logarítmica, y en el eje de ordenadas las tensiones de trabajo del material. Los ensayos se agrupan en varias líneas correspondientes cada una de ellas a una temperatura de ensayo.

Los ensayos en tiempo real no han alcanzado el límite de los 50 años correspondientes a la vida mínima que deben tener los tubos. Sin embargo, se han realizado estimaciones de envejecimiento acelerado estableciendo correlaciones entre las líneas correspondientes a distintas temperaturas y, por extrapolación de los tiempos, deduciendo la resistencia que tendrán los tubos al cabo de 50 años.

### Envejecimiento funcional del PVC



### 2. 3) Transferencia de materia entre el fluido y la tubería: Migración de aditivos hacia componentes al agua.

La transferencia de materia entre el material de la tubería y el fluido que transporta, puede ocurrir en dos sentidos:

- a) Alguno de los componentes del material plástico es soluble en el fluido conducido:  
→ Se pueden alterar de forma inadmisibles las características del fluido transportado.

En el ámbito que nos ocupa, este fenómeno se puede traducir en la transferencia de determinados componentes (generalmente serán aditivos) de las tuberías de plástico hacia el agua potable. Por ello, en el uso alimentario es necesario exigir al material de las tuberías que no existirá migración (difusión) de compuestos tóxicos (recogidos en RD 140/2003) hacia el agua para consumo humano. En el caso de PVC, se exige la variedad U-PVC, que garantiza la no incorporación de plastificantes.

Nota: entre los plastificantes que se han utilizado para el PVC se hallan ciertos ftalatos, de los cuales existe sospechas de ser cancerígenos.

→ Se pueden alterar de forma importante las propiedades del material de la tubería, al perder el parte del componente que se ha solubilizado en el fluido transportado.

- b) El plástico de la tubería adsorbe alguna sustancia del fluido transportado, originando hinchamiento o incluso la disolución del material de la tubería, lo cual ha sido ya tratado dentro del apartado de degradación de los materiales poliméricos.

Tal es el caso de los compuestos aromáticos (por ejemplo, el benceno) en las tuberías de PVC. El fenómeno es debido a que el compuesto aromático, que circula por el interior de la tubería, formando parte del gas o del líquido, se disuelve parcialmente en la pared del tubo de PVC hasta alcanzar un estado de equilibrio tal que la relación de concentraciones del compuesto aromático, entre el contenido en la tubería de PVC y el contenido en el gas o líquido, es una constante (coeficiente de distribución). A partir de una cierta cantidad adsorbida se produce hinchazón y reblandecimiento del PVC.

## **4. POLÍMEROS DUROPLÁSTICOS** **( Termoestables o Termoendurecibles )**

*Se consideran los siguientes apartados:*

### **4.1 PROPIEDADES FUNDAMENTALES DE LOS DUROPLÁSTICOS**

#### **4.2 DUROPLÁSTICOS DE INTERÉS INDUSTRIAL**

- CLASIFICACIÓN
- ESTRUCTURA, PROPIEDADES TECNOLÓGICAS Y APLICACIÓN EN LAS INSTALACIONES DE TRATAMIENTO Y CONDUCCIÓN DE AGUA.

### **4.1 PROPIEDADES FUNDAMENTALES DE LOS DUROPLÁSTICOS**

En los **Polímeros Duroplásticos** los monómeros o cadenas poliméricas se hallan unidas entre sí por enlaces primarios de tipo covalente, dando lugar a una estructura reticulada.

La estructura reticular de los duroplásticos pueden obtenerse mediante dos procesos:

- A través de reacciones de condensación de monómeros que posean tres o más grupos funcionales.(por ejemplo resinas fenólicas).
- Partiendo de un polímero de cadena lineal, con dobles enlaces en la cadena, y el uso de agentes reticulantes que sirven de puente uniendo las cadenas a través de sus dobles enlaces. Por ejemplo, serían agentes reticulantes el estireno en los poliésteres insaturados o las aminas en el caso de las resinas epoxi. La reticulación o creación de uniones covalentes entre las cadenas poliméricas cuando se añade el agente reticulante se denomina curado del polímero.

Al aplicar calor se acelera el proceso de polimerización (reacciones de condensación) o de curado del polímero, aumentando la velocidad de creación de las reacciones químicas que crean enlaces covalentes de unión entre las cadenas o monómeros (curado del polímero).

Si una vez que ha finalizado el proceso de polimerización continuamos calentando, llegará el momento en que se destruyan los enlaces primarios, tanto dentro de la cadena como entre cadenas, y se destruirá el material; por tanto, una vez finalizado el proceso de polimerización estos polímeros no se pueden volver a moldear por aplicación de calor, no son reciclables.

En general, las **ventajas de los duroplásticos para aplicaciones de ingeniería** son las siguientes:

1. Alta estabilidad térmica.
2. Alta rigidez.
3. Alta estabilidad dimensional
4. Resistencia a la termofluencia y a la deformación bajo carga.
5. Peso ligero.
6. Altas propiedades de aislamiento térmico eléctrico.

**Comparativamente con los termoplásticos** puede afirmarse que los polímeros duroplásticos son:

1. Son más inertes químicamente
2. Admiten temperaturas de trabajo más elevadas.
3. Mayor estabilidad dimensional.
4. Son más compactos, duros, resistentes a la abrasión e impermeables a gases y vapores, por lo que resultan muy convenientes en aplicaciones de protección de superficies de todo tipo.
5. Presentan menor flexibilidad y resistencia al impacto.

**Fabricación de materiales compuestos:** La posibilidad de combinar los polímeros termoestables con cargas y materiales fibrilares de todo tipo, orgánicos o inorgánicos, ha potenciado su uso en la construcción de elementos soportes y resistentes, con magníficas propiedades mecánicas y eléctricas. Su principal inconveniente está en relación a la transparencia y calidad superficial.

Las resinas termoendurecibles más antiguas, más baratas y de uso más frecuente para aplicaciones convencionales son las resinas fenólicas y las amino resinas. Las más modernas son los poliésteres insaturados, las resinas epoxi y las de poliuretano, de uso preferente en aplicaciones con elevadas exigencias.

## 4.2 DUROPLÁSTICOS DE INTERÉS INDUSTRIAL

### 4.2.1 Clasificación

Los duroplásticos de mayor interés industrial son:

1. **Resinas Fenólicas: Fenol- Formaldehído (Bakelita y resinas novolac )**
2. **Aminoresinas ( Urea – Formaldehído y Melamina - Formaldehído)**
3. **Resinas epoxy**
4. **Poliésteres insaturados**
5. **Resinas de poliuretano**
6. **Polisiloxano (Siliconas).**

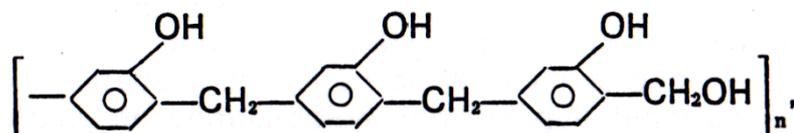
### 4.2.2 Estructura y Propiedades Tecnológicas

#### **RESINAS FENOL-FORMALDEHÍDO (Baquelitas y Novolaca).**

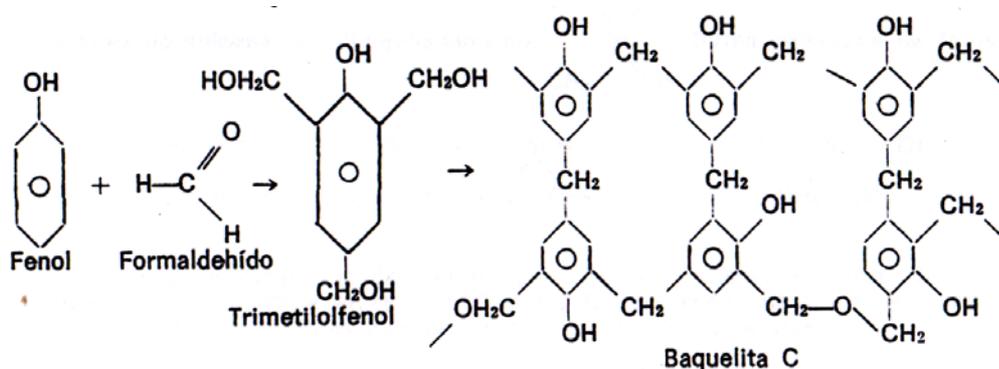
Las resinas de fenol-formaldehído son los plásticos sintéticos más antiguos. Se obtienen mediante la reacción de polimerización por condensación del fenol y el formaldehído.

Aunque comercialmente se usa la solución de monómero de fenol, también se podrían utilizarse cresoles, xilenoles o resorcinoles. El furfural puede sustituir asimismo al formaldehído.

- En las **resinas de etapa única** se produce un **resol** por reacción de un fenol con una cantidad en exceso de aldehído en presencia de un catalizador (no ácido). Por calentamiento moderado se forma en primer lugar **resol o baquelita A**, de cadena lineal, soluble en alcohol y fácilmente fusible:



prosiguiendo el calentamiento se forma **resitol o baquelita B**, insoluble en los disolventes usuales e infusible, pero se reblandece por el calor. Por encima de 100 °C se forma **resita o baquelita C** con estructura reticulada:



Es dura, insoluble e infusible y no se reblandece por el calor.

Si la condensación se efectúa en presencia de catalizadores de tipo ácido, con defecto de formol, se obtiene **novolaca**, fusible y soluble en disolventes orgánicos;

Las **resinas de dos etapas** se producen cuando la reacción de condensación tiene lugar con fenol en exceso y un catalizador ácido. El resultado es la **resina novolac**, de bajo peso molecular y soluble en disolventes orgánicos, que continuará siendo una resina termoplástica lineal a no ser que se añadan compuestos capaces de formar reticulación al calentarse. Se denominan resinas de dos etapas porque se debe incorporar algún agente antes del moldeo.

### **Resistencia a la degradación de las resinas fenólicas**

Presentan buena resistencia a disolventes comunes, soluciones salinas inorgánicas acuosas y medios alcalinos.

### **- Aplicaciones:**

El uso de las resinas fenólicas ha ido disminuyendo, ya que se han desarrollado nuevos plásticos. Sin embargo, su bajo coste, su capacidad de moldeo y sus propiedades físicas les confieren excelentes cualidades como recubrimientos y adhesivos, polvos de moldeo, aglutinantes de para la elaboración de formar materiales compuestos. Destacar asimismo que presentan una excelente estabilidad térmica hasta los 150 °C.

Son buenos adhesivos que resisten altas temperaturas y humedades, y por ello se utilizan entre otras cosas, en el lamindo de algunos tipos de madera contrachapada y tableros de partículas de madera.

Gracias a su alta resistencia al agua, los álcalis, las sustancias químicas, el calor y la abrasión, a veces se seleccionan para el acabado. Se usan también para recubrir electrodomésticos, maquinaria y otros dispositivos que requieren la máxima resistencia térmica.

**Las baquelitas**, nombre con el que se conocen las mezclas de resinas fenólicas con distintas cargas, tales como grafito, serrín, mica, etc., presentan magníficas propiedades de estabilidad dimensional, resistencia al calor y mecánica que, junto con su bajo coste de producción y transformación, les confieren una gran utilidad en numerosas aplicaciones como accesorios eléctricos, mangos, manillas, etc.

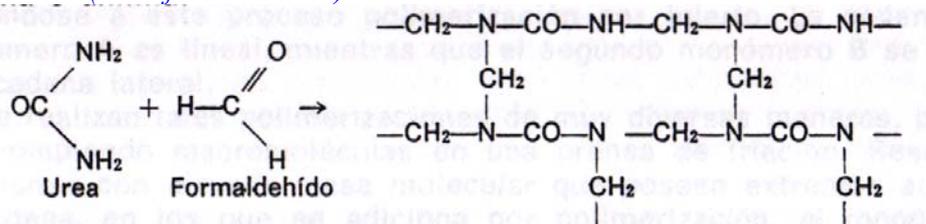
Las resinas fenólicas presentan como principal inconveniente su aspecto, ya que son demasiado oscuras para su empleo como capas superficiales en estratos decorativos y como adhesivos cuando quedan a la vista las juntas encoladas.

### AMINOPLÁSTICOS O AMINORESINAS

Los aminoplásticos son materiales poliméricos termoestables, formados por la reacción controlada de formaldehído con ciertos compuestos que contienen el grupo amino -NH<sub>2</sub>.

Los dos tipos más importantes de aminoresinas son:

#### 1) Resinas ureicas (urea-formaldehído).



#### 2) Resinas melamínicas (melamina-formaldehído).

##### Propiedades de los aminoplásticos:

- Dureza y resistencia al rayado.
- Coste comparativamente bajo.
- Buena resistencia a los disolventes.

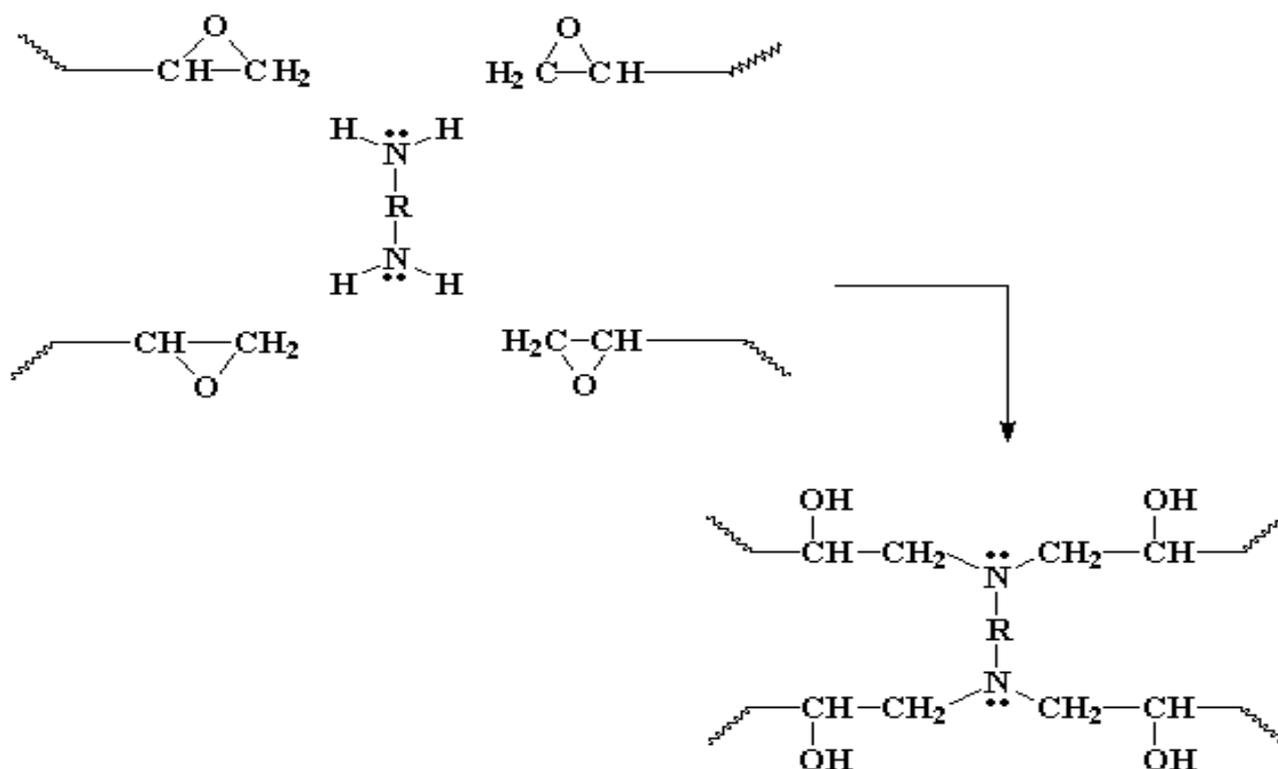
##### Inconvenientes de los aminoplásticos

- Escasa resistencia a la oxidación a largo plazo
- Atacados por ácidos y bases fuertes.

Los productos preparados con **resinas melamínicas** ofrecen una mayor calidad superficial y de acabado que las resinas ureicas, disponiendo de una mayor resistencia al calor, dureza y menor absorción de agua. Las resinas melamínicas se utilizan frecuentemente en la fabricación de laminados de alta calidad, de utilización en la industria del mueble (para cocinas especialmente). Son más caras que resinas fenólicas o las ureicas.



Al reaccionar todas las moléculas de diamina y de epoxi se origina una molécula gigantesca en forma de red entrecruzada. Cuando esto sucede, el resultado es una sustancia rígida que puede ser muy resistente, pero no procesable: no puede ser moldeada, ni fundida.



Además de los reticulantes, en una **formulación epoxi** puede haber otros productos, bien para mejorar las sollicitaciones a que va a estar expuesta o bien, para facilitar su aplicación. A continuación se indica una breve relación de los productos más usuales:

- Diluyentes. Su finalidad es reducir la viscosidad de la formulación. Los hay reactivos, que pueden participar químicamente en la reacción, y no reactivos.

- Flexibilizantes. El más utilizado es el alquitrán, que actúa como flexibilizante termoplástico. La resistencia al agua no se ve afectada y el coste del producto se reduce. Como agentes flexibilizantes pueden también usarse poliamidas de bajo peso molecular, que llegan a integrarse con las resinas epoxídicas en la relación 1:2. Otros flexibilizantes, actúan al propio tiempo de endurecedores y confieren propiedades elastómeras al poliepoxi.

También puede conseguirse una buena flexibilidad después del curado, cuando los grupos funcionales que producen la reticulación están suficientemente alejados.

- Cargas. Admiten cargas de sílice (hacen que disminuya el coeficiente de dilatación de la resina), de metales atomizados (aumenta su conductividad) y son compatibles con el estireno ( que les proporciona una mayor capacidad de admitir cargas y pigmentos). Las cargas de mayor utilización corresponden a los áridos silíceos para la confección de morteros.

- Pigmentos y aditivos Entre los aditivos destacan los desaireantes, los promotores de adhesión, etc.

A veces, la resina llega a tener más de seis componentes, que deben ser conservados separadamente (algunos en condiciones de baja temperatura) y se mezclan en el momento de su uso. La formulación se determina, en cada caso, mediante métodos casi exclusivamente empíricos.

La variedad de formulaciones que se pueden realizar hacen que en el mercado exista una amplia gama de productos epoxi. Sus diferencias se manifiestan en su diferente grado de viscosidad, tiempo de vida de la mezcla, resistencia al calor, resistencia química, etc.

### **Propiedades y Aplicaciones de las Resinas Epoxi:**

En términos generales, las resinas epoxi son polímeros termoestables caracterizados por presentar una excelente combinación de propiedades mecánicas y de resistencia a la corrosión, excelente adherencia, estabilidad dimensional, buenas propiedades de aislamiento eléctrico, y ser relativamente baratas.

- Las resinas epoxídicas se caracterizan por su elevada resistencia al agua, a los disolventes, ácidos y bases, así como a la mayoría de los agentes químicos.
- No dan productos de reacción cuando se produce el curado (entrecruzamiento) y tienen poca contracción por curado (estabilidad dimensional).
- Las resinas epoxi son excelentes adhesivos, siendo éstos de los pocos que se pueden utilizar en los metales. La presencia de numerosos grupos polares ( $\text{OH}^-$ ) en sus cadenas moleculares favorece la adhesión.  
La capacidad de los adhesivos epoxi de unir materiales distintos ha permitido que reemplacen a la soldadura, soldado, remachado y otros métodos de unión en las industrias aeronáutica y del automóvil.
- Los epóxidos destacan como protectores de piezas electrónicas de la humedad, calor y sustancias químicas corrosivas. Permiten también proteger piezas de motores eléctricos, transformadores de alta tensión, relés, bobinas y otros componentes de entornos agresivos van recubiertos con resinas epoxi.  
Se utilizan asimismo como aislantes de alto voltaje, enchufes y encapsulamiento de transistores.
- Los acabados de epoxi en los electrodomésticos constituyen la principal aplicación de este material duradero y resistente a la abrasión y, además, han sustituido a los esmaltes de vidrio para ciertas aplicaciones que requieren resistencia a sustancias químicas.
- Los epóxidos también se elaboran materiales compuestos. Los composites de resina epoxi, reforzados con fibras de carbono, ofrecen aún mejores características que las resinas poliésteres, sándose en aeronáutica y cohetes.
- En cuanto a sus características mecánicas y térmicas, ofrecen una alta resistencia a la tracción (del orden de  $1050 \text{ kg/cm}^2$ ), pero reducida al calor (hasta temperaturas de deformación bajo carga de  $120$  a  $180$  °C, según los tipos).
- Las resinas epoxídicas son difícilmente inflamables y, casi siempre, autoextinguibles.

## **APLICACIÓN DE RESINAS EPOXI EN LA CONSTRUCCIÓN**

Si entre los muchos materiales poliméricos líquidos que se han desarrollado en las últimas décadas para la construcción, hubiera que elegir aquellos que más variedad de prestaciones han aportado al hormigón, el primer puesto sería ocupado por las resinas epoxi.

En los siguientes apartados aparecerán resaltadas en “negrita” aquellas aplicaciones que son más específicas para las instalaciones de tratamiento de agua.

### **1) Como revestimiento protector de materiales metálicos y de hormigón**

Las principales ventajas de los recubrimientos de resinas epoxi son las siguientes:

- Su buena adherencia, tanto a superficies metálicas como al hormigón.
- Su elevada resistencia al agua, a los disolventes, ácidos y bases, así como a la mayoría de los agentes químicos.
- Pueden aplicarse al 100% de sólidos, o diluidos en disolventes o emulsionados en agua.

Por los motivos anteriores, las pinturas o recubrimientos epoxi suelen ser los productos más adecuados para la protección de las superficies metálicas y de hormigón en ambientes industriales

Concretamente, el hecho de que no se necesiten disolventes, alguno de ellos no permisible para uso en contacto con agua de consumo humano, junto con la buena resistencia al agua y los agentes químicos, hace de las resinas epoxi el recubrimiento idóneo para la protección del acero y del hormigón en las instalaciones de tratamiento de agua: decantadores, filtros, canalizaciones, compuertas, válvulas, etc.

Nota: los preparados poliméricos sin disolventes (ó 100% en sólidos), al estar exentos de materias volátiles logran grandes espesores con una sola capa y el proceso de reticulación se alcanza en breve tiempo.

### **2) Como masillas y morteros y morteros de reparación de estructuras de hormigón**

Esta aplicación está desarrollada en el apartado de Protección del Hormigón

### **3) Como adhesivo: productos para uniones y refuerzos estructurales**

Los adhesivos epoxi han encontrado un sinfín de aplicaciones tanto en estructuras nuevas de hormigón como viejas. Con ellos se pueden lograr uniones al hormigón que son superiores a su propia cohesión y uniones de elementos metálicos entre sí, que se consideran soldaduras químicas.

**Los productos epoxi resuelven satisfactoriamente las siguientes aplicaciones:**

1. Uniones de hormigones endurecidos entre sí.
2. Uniones de hormigón nuevo a viejo.
3. Anclajes metálicos dentro del hormigón.
4. Refuerzo de pilares con elementos metálicos.
5. Refuerzo de vigas o forjados con pletinas metálicas.

Existe bibliografía específica donde se detalla cada una de las anteriores aplicaciones.

***Resistencia a la degradación de las resinas epoxi:***

Las resinas epoxídicas no se ven afectadas, o lo son de forma poco importante, por la mayoría de los ácidos débiles, y son completamente resistentes también a la mayoría de las soluciones salinas. En cualquier caso, **la resistencia química de estas resinas depende del endurecedor con el que se las trata, por lo que conviene revisar bibliografía sobre el comportamiento en cada caso.**

***Precauciones de uso:***

Un aspecto a tener en cuenta en la manipulación de los compuestos epoxi es hay evitar su contacto con la piel. El componente epoxi la puede irritar y algunos endurecedores tienen propiedades corrosivas. En las etiquetas de los envases en que se suministra el producto, figuran los daños que puede ocasionar a la salud si no se toman las debidas precauciones. Como mínimo hay que utilizar guantes de goma y en general ropa de trabajo que evite el contacto con la piel, y gafas para impedir salpicaduras a la vista.

***APLICACIÓN DE LAS RESINAS EPOXI EN LAS INSTALACIONES DE TRATAMIENTO DE AGUA***

*En la lámina siguiente se muestran aplicaciones típicas de las resinas epoxi en las instalaciones de tratamiento de agua*

## RESINAS EPOXI: APLICACIONES

1. Recubrimiento de superficies de hormigón



2. Recubrimiento de superficies metálicas en contacto con agua potable



3. Defecto en un recubrimiento epoxi



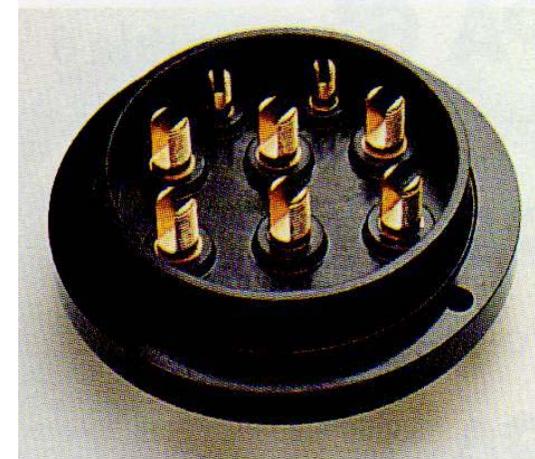
4. Recubrimiento de equipos en atmósferas agresivas



5. Morteros y masillas para reparación de hormigón.

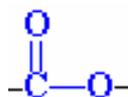


6. Materiales aislantes de la electricidad



## RESINAS DE POLIESTER INSATURADO

Los Poliésteres son los polímeros orgánicos caracterizados por la presencia de grupos éster - COO - :

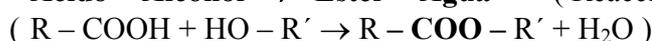
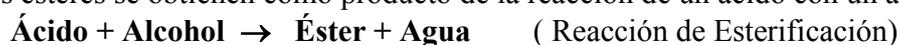


**Grupo Éster**

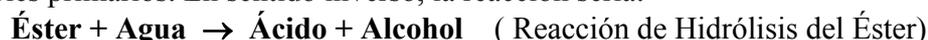
Los grupos éster poseen un carácter fuertemente polar.

### Notas:

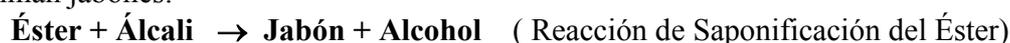
Los ésteres se obtienen como producto de la reacción de un ácido con un alcohol:



La reacción anterior tiene carácter reversible y se lleva a cabo con mayor facilidad en el caso de alcoholes primarios. En sentido inverso, la reacción sería:



Cuando un éster se halla en presencia de una base fuerte puede experimentar una **reacción de saponificación**, obteniéndose sales alcalinas de los ácidos que han generado el éster, que se denominan jabones:



Si se parte de diácidos ( dos grupos ácidos - COOH ) y de polialcoholes (más de un grupo - OH) se obtiene un **poliéster**. Estas moléculas pueden crecer por sucesivas condensaciones intermoleculares.

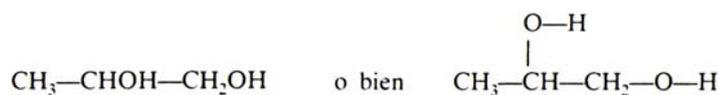
### **Poliésteres insaturados.**

Si las moléculas de dialcohol y diácido son insaturadas - llevan una de ellas, o las dos algún doble enlace entre dos carbonos C=C - ocurrirá la esterificación y la formación de de largas cadenas lineales, según lo dicho anteriormente, pero con la particularidad de que quedarán dobles enlaces a lo largo de la molécula resultante. La apertura de los dobles enlaces en dos cadenas contiguas, permitirían su unión a través de un agente de reticulación, para lo que generalmente se utiliza el estireno.

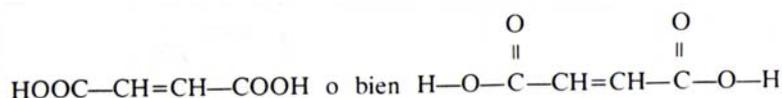
Los diácidos insaturados normalmente utilizados para la obtención de poliéster son el maleico y el fumárico, y como alcoholes el propilenglicol o el bisfenol A.

Por ejemplo, si partimos de propilenglicol y ácido maleico, tendremos:

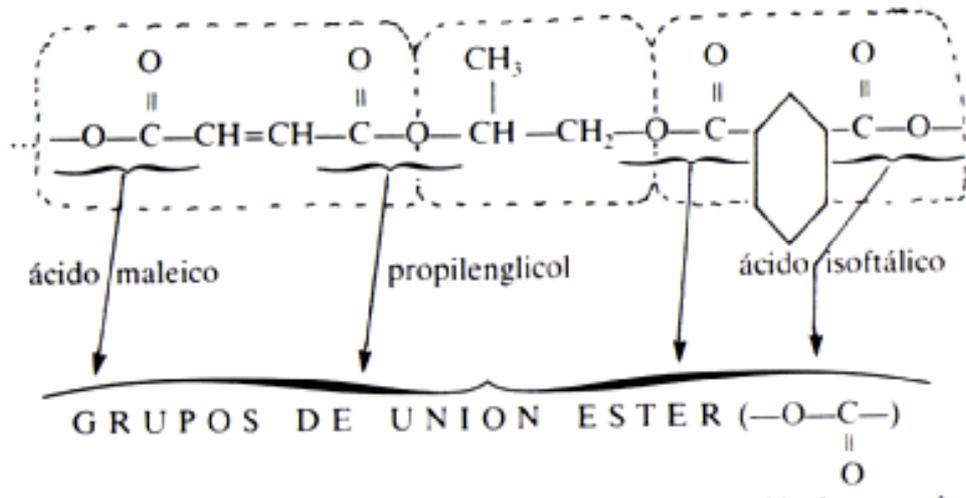
Propilenglicol:



Ácido Maleico:



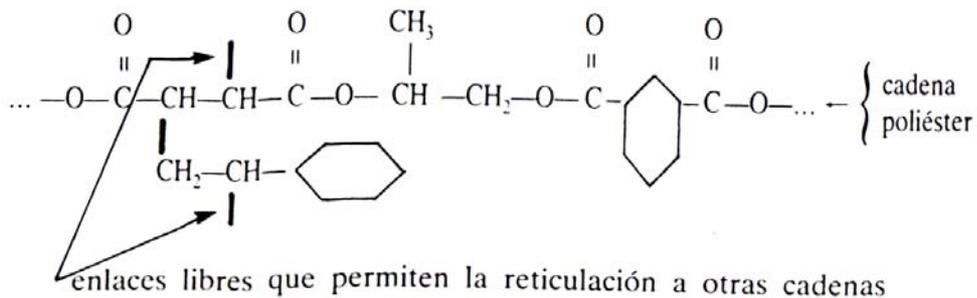
Mediante la reacción de esterificación obtenemos una cadena de poliéster insaturado. En la figura siguiente aparece en la cadena del poliéster, junto con el ácido maleico, el ácido isoftálico, que no aporta dobles enlaces.



Para conseguir la unión entre cadenas se utiliza *estireno*:



La apertura del doble enlace del ácido maleico permite la unión con los grupos estireno. Ello origina la reticulación (unión) de cadenas poliéster, unas con otras, a través de los grupos monómeros del estireno de la forma que se indica a continuación y que corresponde a la estructura química del **Poliéster Isoftálico**.



Dentro de las resinas poliéster, además de la representada (poliéster isoftálico), también se utilizan las resinas de poliéster ortoftálico (en que se emplea el ácido ortoftálico), las bisfenólicas, HET, etc.

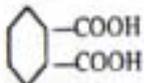
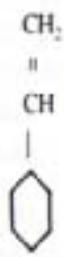
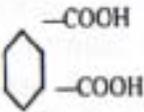
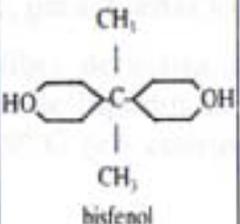
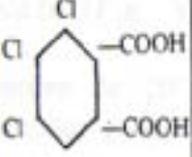
El monómero que reticula las cadenas poliéster es casi siempre el estireno. La casi universal utilización del **estireno como agente reticulante** está fundamentada en su menor coste, en que su volatilidad no es demasiado alta, su retracción en el curado es aceptable y, además, porque es un buen disolvente de la resina primaria.

**Resistencia a la degradación de los poliésteres insaturados**

Aunque los poliésteres no saturados de uso general poseen algunas propiedades de resistencia química razonablemente buenas, no se consideran aceptables para entornos muy agresivos. Lo detallaremos para cada uno de los tipos de resina en el apartado siguiente

**PRINCIPALES RESINAS DE POLIESTER INSATURADO**

En la tabla siguiente se indican los componentes básicos de distintos tipos de resinas de poliéster .

Resina	Acido orgánico		Alcohol	Monómero
	Saturado	Insaturado		
Ortoftálica	 ác. ortoftálico(*)	$COOH-CH=CH-COOH$ ác. maleico ác. fumárico	$CH_2-CHOH-CH_2OH$ propilenglicol	 estireno
Isoftálica	 ác. isoftálico(**)	ác. maleico	propilenglicol	
Bisfenólicas	ác. ftálico(*)	ác. maleico ác. fumárico	 bisfenol	
Acido HET	 tetrahidroftálico	ác. maleico	propilenglicol	

(\*) Los dos grupos -COOH están en posición orto (1 y 2 del anillo bencénico).  
 (\*\*) Los dos grupos -COOH están en posición meta (1 y 3 del anillo bencénico).

En la tabla anterior, la resistencia química aumenta de arriba hacia abajo

La posibilidad de combinar monómeros con dobles enlaces ( $-C=C-$ ) con otros de enlace simple ( $-C-$ ) en la misma cadena de poliéster, permite distanciar a voluntad los dobles enlaces que constituirán los puntos de unión de las cadenas cuando ocurre la reticulación. Eligiendo las moléculas adecuadas lograremos resinas más o menos resistentes, tanto desde el punto de vista mecánico como químico.

### Resinas Ortoftálicas

Se obtienen mediante reacción de ácido ftálico (ac. saturado), ácido maleico (ac. insaturado) y propilenglicol, utilizando estireno como agente de reticulación.

Son las más corrientes y más económicas. Se utilizan para conducir agua potable, aguas residuales y ácidos diluidos, no resultando aptas para soluciones de carácter alcalino. Resultan adecuadas para soluciones salinas, excepto las derivadas de ácido débil.

Aumentando la proporción de ácido saturado (ácido ortoftálico) respecto al insaturado (ácido maleico) aparecen menos dobles enlaces y la resina es menos rígida y menos reactiva. Si se substituye el ácido maleico por el fumárico (isómero del anterior) la resina resultante es más rígida y resistente químicamente. El aumento de estireno también aumenta la resistencia química.

### Resinas Isoftálicas

Se obtienen por reacción de los ácidos isoftálico (ac. saturado), ácido maleico (ac. insaturado) con el propilenglicol. El agente de reticulación normalmente utilizado es el estireno. En el ácido isoftálico los grupos carboxílicos están en posición meta dando lugar a moléculas más compactas que pueden mezclarse con proporciones más elevadas de estireno.

Son más resistentes a los productos químicos que las resinas ortoftálicas. Ofrecen gran resistencia al agua, inclusive agua del mar, gasolinas y soluciones débilmente alcalinas.

### Resinas Bisfenólicas.

Se obtienen por reacción de los ácidos isoftálico (ac. saturado) y maleico (ac. insaturado) con el bisfenol A. La sustitución del propilenglicol por el bisfenol A proporciona una estructura reticular más compacta. Existen además variantes optimizadas con introducción de ácido fumárico, hidrogenación, etc. que aumentan la resistencia mecánica y química.

Son más resistentes a los ácidos que las resinas anteriores y pueden contener productos alcohólicos. Además, resisten los álcalis en soluciones diluidas y ofrecen mejores prestaciones mecánicas.

### Resinas HET

Presentan mayor resistencia química, al calor y al fuego que las anteriores.

### Resinas Vinil-Éster

No son realmente resinas de poliéster pues por su estructura son resinas epoxi. Ofrecen excelentes prestaciones en todos los campos (resistencia química, mecánica, osmótica, eléctrica ...)

Es destacable su resistencia química a:

- Ácidos concentrados (excepto el nítrico)
- Ácidos diluidos
- Hidróxidos, incluso a temperaturas elevadas
- Sales
- Alcoholes
- Derivados clorados
- Compuestos orgánicos (con excepciones).

### **Factores que determinan la resistencia química de los Poliésteres:**

1. La proporción de enlaces éster.  
La degradación química que puede tener una resina de poliéster consiste principalmente en rotura de uniones éster por hidrólisis. Debemos tender a bajas proporciones de enlaces éster para lograr mayor resistencia.
- 2.- Cuanto mayor es el peso molecular, mayor es la resistencia química.
- 3.- Cuanto mayor es la simetría molecular, mayor resistencia ( Ng: mayor cristalinidad ).
- 4.- Proporción de grupos terminales; para lograr mayor resistencia esta proporción debe ser baja.
- 5.- El grado de insaturación. La resistencia química vendrá favorecida con la máxima reticulación con estireno, para ello necesitamos suficientes dobles enlaces.

### **Poliésteres reforzados con fibras.**

Se utilizan los poliésteres insaturados para la obtención de materiales compuestos, al reticularse alrededor de las fibras de vidrio o carbono formando una masa que las une y aumenta su rigidez. Son usados frecuentemente con fibra de vidrio para dar lugar a recubrimientos compactos y de buena resistencia al agua.

La aplicación de la mezcla de resina primaria con el estireno, y la impregnación de las fibras y tejidos reforzantes con ella, resultan relativamente sencillas, dada la baja viscosidad de la disolución de la resina. La disolución admite pigmentos, cargas reforzantes y otros aditivos, por lo que pueden obtenerse productos finales de características muy diferentes adecuadas a la aplicación deseada. La polimerización se produce con bastante rapidez en ausencia de humedad, y su velocidad puede ser controlada a voluntad mediante la adición de acelerantes (naftenato de cobalto, por ejemplo) y retardadores.

Las aplicaciones más habituales de los poliésteres insaturados en la construcción son como revestimientos protectores - generalmente reforzados con fibra de vidrio -, como morteros de reparación y para fijaciones y anclajes.

### **POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO.**

El poliéster reforzado con fibra de vidrio, en lo sucesivo PRFV, es un material compuesto y formado por dos materiales fundamentales:

- a) Una matriz, constituida por una resina sintética de tipo poliéster.
- b) Un refuerzo de fibra de vidrio ubicado dentro de la anterior.

La matriz de poliéster es un aglomerante perfecto para el refuerzo, ya que nos asegura la participación simultánea de todos los filamentos del mismo, siendo además una barrera excelente frente a los agresivos químicos y ambientales.

La matriz puede estar constituida exclusivamente de resina, o bien llevar adicionalmente cargas inertes (cuarzo-sílice).

La fibra de vidrio debe proporcionar la armadura necesaria para lograr la resistencia mecánica precisa para soportar tanto la presión interna como las cargas externas en las conducciones enterradas.

Tanto la matriz como refuerzo, pueden ser aportados cualitativa y cuantitativamente dentro de un amplio espectro en función de la aplicación a que vaya a destinarse la tubería para obtener la relación coste/prestaciones más adecuada.

En cuanto a las matrices, existen en el mercado resinas de diferentes tipos que empleadas, bien solas o en combinación, proporcionarán el carácter anticorrosivo al producto terminado. Estas resinas son

susceptibles de ser formuladas conjuntamente con aditivos que incrementen alguna de sus propiedades (resistencia a la radiación ultravioleta, resistencia a la abrasión,...).

En cuanto a las fibras de vidrio, podemos manejarlas en forma de velo muy fino, en fieltros (mat) de varios gramajes, en tejidos equilibrados o no, y en hilos continuos. Cada uno de ellos proporciona una característica resistente propia al producto terminado.

#### - **Métodos De Fabricación**

Para la fabricación de tuberías y accesorios de PRFV a escala industrial existen varios métodos normalizados e internacionalmente reconocidos: Normas NBS PS 15/69, DIN 16966, ASTM D 2996, etc. y que dan lugar a tuberías de características bien definidas, con diferencias debidas al propio proceso y a los materiales de refuerzo empleados.

##### Fabricación por laminación manual (HLU) NBS PS 15/69

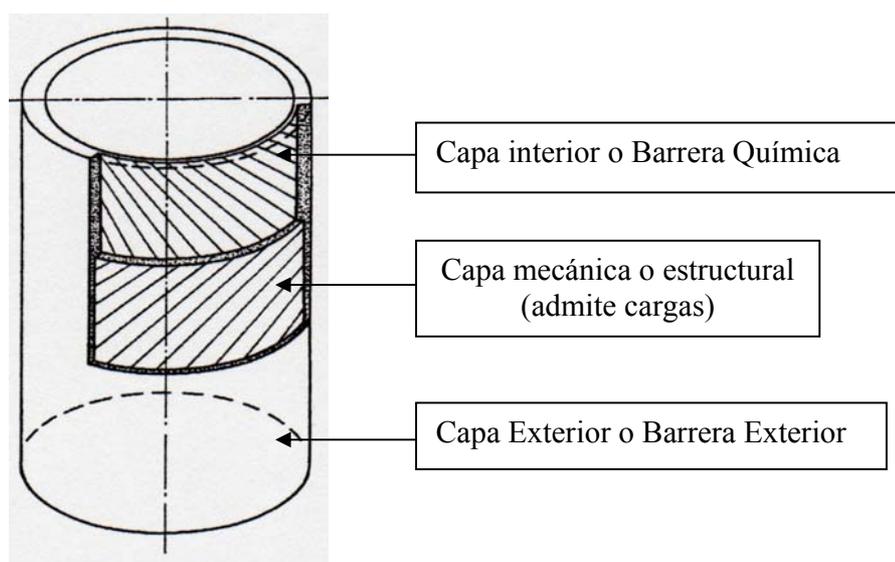
En el ámbito de redes de agua y residuales este método de fabricación es de aplicación exclusiva para accesorios. Consiste en la disposición manual sobre el molde, de sucesivas capas de fieltro y/o tejido de vidrio saturadas de resina, hasta obtener el espesor deseado.

##### Fabricación mecánica "Filament Winding" (FW) Awwa C-950

Entre los diferentes sistemas de fabricación de poliéster reforzado, el que proporciona productos con una mejor relación coste/prestaciones es el de "filament winding", consistente en el enrollado de hilos continuos sobre un molde al que previamente se ha provisto de una barrera anticorrosiva, realizándose el conjunto de operaciones de forma continua y automática mediante control por ordenador. Con este procedimiento se consiguen unos laminados de altas prestaciones mecánicas, lo que posibilita la adopción de espesores mucho más reducidos que con el método de fabricación manual. La resistencia a la corrosión se obtiene con la barrera anticorrosiva interior de la tubería.

#### - **Estructura de la pared**

La pared estructural de las tuberías de PRFV está formada por tres fases fundamentales, cada una de las cuales tiene una composición diferente y un fin específico.



### **Capa interior o Barrera Química**

De gran importancia ya que debe proporcionar la resistencia a los agresivos químicos, la resistencia a la abrasión, la estanqueidad absoluta y la lisura, tan característicos en este tipo de tubería. Está compuesta por una superficie interior lisa, rica en resina de 0,25 a 0,5 mm de espesor, reforzada con velo de vidrio, seguida de una capa de un espesor mínimo de 1 mm reforzada con un 25-30% en peso de fieltro de vidrio.

El espesor de esta barrera puede variar según las características corrosivas y abrasivas del fluido a vehicular.

### **Capa estructural**

Debe proporcionar la resistencia mecánica necesaria para soportar los esfuerzos a que se somete la tubería. En las tuberías FW está formada con un 65-75% de hilos continuos de vidrio entrecruzados, dispuestos con el ángulo adecuado para obtener la mayor resistencia en la dirección necesaria (característica exclusiva de los materiales compuestos). El espesor de esta capa y el ángulo de enrollamiento determinarán la resistencia mecánica de la tubería en el sentido circunferencial y longitudinal de la misma. En esta capa se admite la colocación de cargas inertes (sílice, cuarzo o similar).

En los accesorios, de fabricación HLU, la capa estructural está formada por un 30-40% de fieltro de vidrio (en espesores mayores de 6,5 mm. se incorpora tejido de vidrio). La cantidad de estos materiales determinarán se resistencia mecánica, inferior a la anterior.

### **Capa externa**

Su finalidad es proporcionar resistencia a los agresivos externos, bien sean ambientales o de los terrenos. Está compuesta normalmente por una capa de resina de 0,2-0,3 mm de espesor. En el caso que se prevea una agresividad externa importante sobre la tubería será recomendable colocar, antes de la capa de resina, una barrera anticorrosiva como la descrita anteriormente. Esta protección exterior puede contener si el caso lo requiere aditivos para la protección de las radiaciones ultravioletas.

### **Resistencia a la corrosión del poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV)**

La resistencia a la corrosión de las tuberías de PRFV es excepcional en comparación a los materiales tradicionales y muy superior frente a otros materiales plásticos, para la gran mayoría de los compuestos químicos.

La existencia de diferentes tipos de resinas: ortoftálicas, isoftálicas, bisfenólicas, furánicas y de viniléster plantea, además, la posibilidad de elegir entre ellas al objeto de adaptar la resina de la capa interna a las exigencias anticorrosivas del fluido a vehicular.

Existen, por tanto, soluciones para todo tipo de efluentes, desde el agua potable con mayor o menor concentración de solutos, hasta los vertidos urbanos e industriales, incluyendo soluciones de ácidos, bases, oxidantes, reductores y disolventes orgánicos.

**Tabla n° 1: Resistencia química de diferentes resinas en función del fluido y temperatura**

PRODUCTO	CONC. (%)	TEMPERATURA MÁXIMA DE SERVICIO		
		Viniléster	Bisfenólica	Isoftálica
Salmuera	30	99/C	99/C	70/C
Ácido Sulfúrico	2-20	99/C	99/C	60/C
	20-50	60/C	60/C	NR
Hipoclorito Sódico	10	37/C	NR	NR
Hidróxido Sódico	2	37/C	37/C	37/C
	50	37/C	37/C	NR
Ácido Cítrico		99/C	99/C	37/C
Hexano	100	71/C	71/C	71/C
Aceites Minerales	100	99/C	80/C	60/C
Agua Desalinizada	100	99/C	99/C	99/C
C = Servicio continuo		V = Sólo gases o vapores		

**APLICACIONES DEL PRFV EN LAS INSTALACIONES DE TRATAMIENTO DE AGUA:****- Recipientes y tuberías para almacenamiento y trasiego de productos químicos:**

Lo más recomendable es utilizar resinas de viniléster, que servirían prácticamente para todos los reactivos en disolución acuosa utilizados en el tratamiento de agua (hipoclorito sódico e hidróxidos de sodio y de calcio, permangato, Sulfato de aluminio en disolución, etc.). En el caso concreto del ácido hexafluorsilícico, que no figura en la tabla anterior, habría que recabar información del proveedor del producto. De la tabla anterior, se deduce asimismo que para almacenamiento y trasiego de sulfato de aluminio en disolución sirven también las resinas bisfenólicas.

**- Conducciones de agua sometidas a corrosión atmosférica por  $\text{Cl}_2$  (g)**, como es el caso en las galerías de dosificación de la postcloración donde puede originarse una intensa corrosión por picaduras en la tuberías de acero al carbono. Servirían las Resinas Isoftálicas y Ortoftálicas, teniendo siempre presente su limitación a los álcalis. También podrían utilizarse resinas bisfenólicas o tipo viniléster, pero su precio es superior..

NOTA: Aparte de las dos aplicaciones anteriormente mencionadas, las resinas de poliéster se presentan frecuentemente en aplicaciones generales en la construcción como son en los morteros termoestables y como adhesivos, por ejemplo para la fijación al hormigón de los pernos de anclaje de las estructuras metálicas.

En la lámina siguiente se muestran aplicaciones típicas del PRFV en las instalaciones de tratamiento de agua:

**1. Rejillas de PRFV en sala dosificación  $\text{Ca}(\text{OH})_2$** 

El PRFV resiste mejor el ambiente alcalino ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y humedad sobre el suelo) que las rejillas o tramex típicos de galvanizado (ya que el Zn es atacado por los álcalis, disolviéndose como ión zincato).

*Las rejillas y tapas de canaletas o arquetas fabricadas de PRFV aguantan perfectamente el peso de las personas, pero se supone que no van a circular sobre ellas vehículos.*

## **POLIÉSTER INSATURADO: APLICACIONES**

1. Rejillas de PRFV en sala dosificación  $\text{Ca}(\text{OH})_2$



2. Silos de PRFV para almacenamiento de Coagulantes (reactivos ácidos)



3. Tuberías en atmósferas agresivas



4. Silo de almacenamiento de  $\text{NaOH}$  y cubeto<sub>2</sub>



5. Rejillas y estructura interior de la torre de  $\text{NaOH}$



6. Cuba de PRFV para preparar lechadas de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

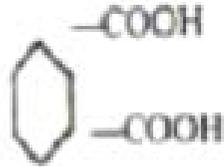


# POLIESTER INSATURADO: COMPONENTES

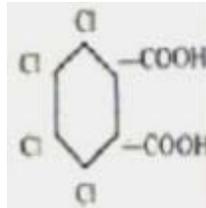
## ACIDOS SATURADOS



Ácido Ortoftálico

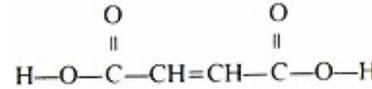


Ácido Isoftálico



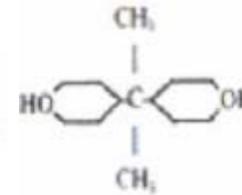
Ácido Tetrahydroftálico

## ACIDOS INSATURADOS

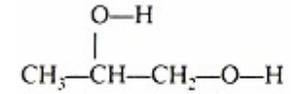


Ácido Maleico

## ALCOHLES



Bisfenol

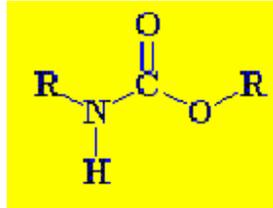


Propilenglicol

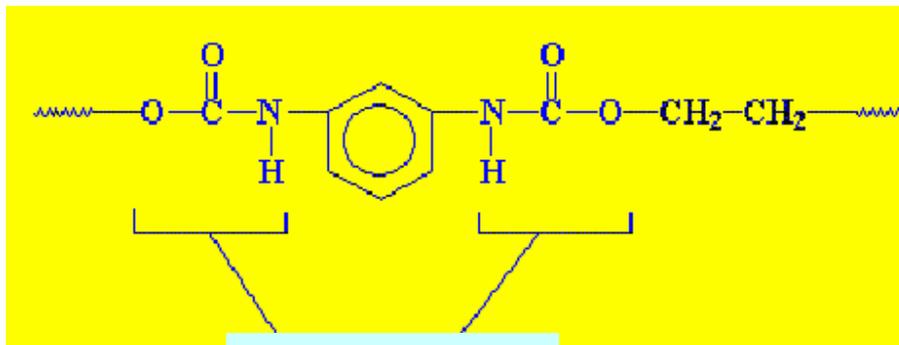
RESINA	ÁCIDO ORGÁNICO		ALCOHOL	PROPIEDADES
	Saturado	Insaturado		
ORTOFTÁLICA	Ac. Ortoftálico	- Ac. Maleico - Ac. Fumárico	Propilenglicol	Aptas para Agua potable y residual y ac. diluidos. No aptas para álcalis. → <b>Uso para estructuras en atmósferas agresivas ( galería de filtros ...)</b>
ISOFTÁLICA	Ac. Isoftálico	- Ac. Maleico	Propilenglicol	Mayor resistencia química que las anteriores. Gran resistencia al agua, gasolinas y soluciones débilmente alcalinas.
BISFENÓLICA	Ac. Ortoftálico	- Ac. Maleico - Ac. Fumárico	Bisfenol	Mas resistentes a los ácidos que las anteriores. Resisten alcoholes y álcalis diluidos.
HET	Ac. Tetrahydroftálico	- Ac. Maleico	Propilenglicol	Mejor resistencia química, al calor y al fuego que las anteriores
→ VINIL - ESTER	Excelente resistencia química a ácidos, álcalis (incluso a Tª elevada), alcoholes, sales y derivados clorados → <b>Uso para almacenamiento y transporte de reactivos: NaOH, Ca(OH)<sub>2</sub>, Hipocloritos, Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, etc.</b>			

### RESINAS DE POLIURETANO

Las resinas de poliuretano son polímeros que contienen en su cadena principal grupos uretano ( $-\text{NHCOO}-$ ):



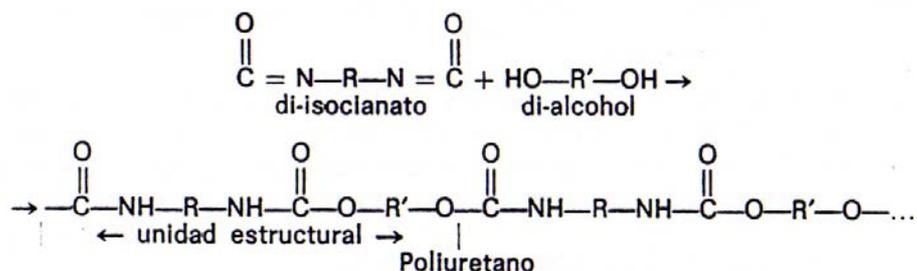
Grupo Uretano



Enlaces uretano en un Poliuretano

El grupo funcional uretano es capaz de establecer puentes de hidrógeno con otros grupos contiguos, proporcionando un alto grado de cristalinidad.

**Los poliuretanos se sintetizan** mediante reacción de isocianatos ( $-\text{N}=\text{C}=\text{O}$ ) con alcoholes, u otros productos que sean portadores de átomos de hidrógeno activo o grupos  $\text{OH}$  en su molécula, como polioles, poliésteres, poliéteres, resinas alquídicas, resinas acrílicas, etc.

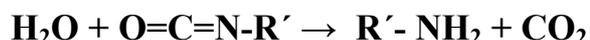


Se vulcanizan con glicol obteniéndose



### *Compuestos de Poliuretano de un sólo componente:*

Los grupos isocianato también pueden reaccionar con los compuestos que tengan “grupos de H activos”, como por ejemplo el agua. En este caso, la reacción finaliza con desprendimiento de dióxido de carbono.



Esta reacción es la base de los **compuestos de poliuretano de un solo componente**, que terminan de endurecer al reaccionar los grupos de isocianato libre con el agua del aire.

Esto es una ventaja en la fabricación de pinturas y barnices de un solo componente. Pero tiene ciertos inconvenientes. El hecho que los grupos isocianato reaccionen con el agua y se desprenda  $\text{CO}_2$  es uno de los motivos por el cual los morteros de poliuretano no han tenido la divulgación de los poliepoxi. La humedad no sólo está en el aire, también puede estar en el soporte que va a ser tratado con poliuretano y en las cargas minerales que se le adicionan y principalmente cuando se preparan en obra morteros.

La reacción anterior también presenta utilidad en la producción de **espumas de poliuretano**. El espumado se lleva a cabo mediante la adición de agentes físicos (freón y nitrógeno) o químicos, y también aprovechando el  $\text{CO}_2$  generado de la reacción de los isocianatos con el agua, que queda en forma de burbujas muy pequeñas y uniformemente distribuidas en la masa de poliuretano.

Las espumas de poliuretano se usan mucho y son muy conocidas. Pueden adquirirse en formas flexible, semirrígida y rígida en diferentes densidades.

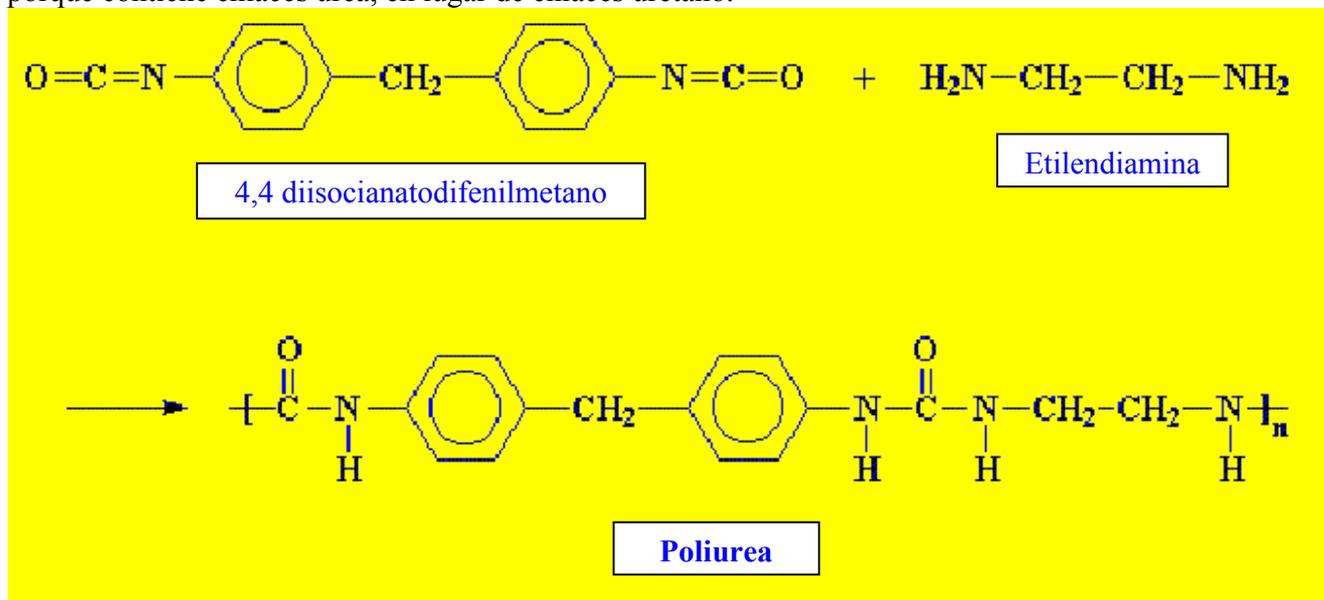
Las distintas combinaciones de polialcoholes, de diisocianatos y agentes de reticulación permiten preparar el material con las características más convenientes para cada aplicación, por lo que **las resinas de poliuretano** son la familia más versátil de polímeros que existe, encontrando aplicación como adhesivos, pinturas, fibras textiles, aislantes, etc.

### *Poliuretanos Aromáticos y Alifáticos:*

Los poliisocianatos manifiestan propiedades muy diferentes según estén constituidos por cadenas aromáticas o alifáticas. Los primeros resisten poco los rayos ultravioleta y amarillean. Los alifáticos, por el contrario, gozan de una alta resistencia a la intemperie y no amarillean, y ello explica el creciente consumo de estos aglutinantes de dos componentes para pinturas de exteriores.

**Poliureas:**

A veces, el dialcohol se sustituye por una diamina y el polímero que obtenemos es una **poliurea**, porque contiene enlaces urea, en lugar de enlaces uretano.



Los poliuretanos lineales son termoplásticos y se pueden tratar a través de las técnicas para termoplásticos normales, incluyendo inyección y extrusión. Dado su coste, tienen un uso limitado como fibras o filamentos.

**Resistencia a la degradación de los Poliuretanos**

Los poliuretanos se hinchan bajo el efecto de muchos disolventes comunes, pero vuelven a sus dimensiones originales cuando se retiran del disolvente y se secan al aire. Son bastante resistentes a disolventes alifáticos, alcoholes, éteres y aceites carburantes. Son atacados por agua caliente y disolventes polares. Presentan buena resistencia al oxígeno. Los ácidos oxidantes fuertes, los ácidos inorgánicos fuertes y los álcalis concentrados provocan un ataque considerable.

**Propiedades del Poliuretano:**

1. Alta resistencia a la abrasión.
2. Buena capacidad a baja temperatura.
3. Amplia variabilidad en estructura molecular.
4. Posibilidad de curado en condiciones ambientales.

**Inconvenientes del poliuretano:**

1. Escasa resistencia a la temperatura.
2. Tóxico ( se usan isocianatos).  
Debe tenerse en cuenta que los isocianatos son tóxicos, por lo que su manipulación debe ser cuidada e ir acompañada de medidas de seguridad muy estrictas.
3. Escasa resistencia a la intemperie.
4. Susceptible del ataque de disolventes.

## APLICACIÓN DE LAS RESINAS DE POLIURETANO:

### 1) Como revestimiento protector

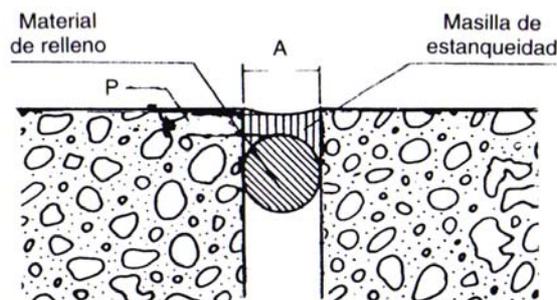
Los recubrimientos de poliuretano destacan por su alta resistencia a la abrasión, su tenacidad y sus cualidades de dureza, flexibilidad y resistencia a sustancias químicas y a la intemperie, empleándose como acabados transparentes o pigmentados para uso doméstico, industrial o marino. Es muy frecuente el uso de pinturas epoxi con capa de acabado en poliuretano para el recubrimiento de superficies metálicas en ambientes industriales.

Los revestimientos protectores de poliuretano pueden presentarse al 100% de sólidos o diluido en disolventes.

### 2) Sellado de juntas con movimiento (juntas de dilatación)

Las masillas de poliuretano Estas masillas son de gran aplicación para conseguir la estanqueidad de obras hidráulicas (presas, canales, etc).

Para este fin se utilizarán poliuretanos de tipo elastómero, siendo posible incorporar alquitrán, pigmentos, cargas minerales y diversos aditivos.



### 3) Masillas acuarreactivas para taponar fisuras con filtraciones de agua

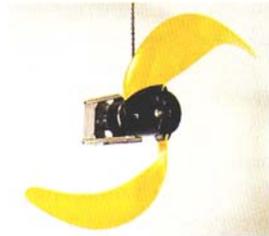
Cuando a través de las fisuras de un hormigón, aparecen filtraciones de agua, no es posible su eliminación con una inyección epoxi. La única solución sería con un producto que al introducirlo por inyección reaccionase con ese agua y se solidificase en breve tiempo. En un principio, con vistas a estabilizar terrenos sobre los cuales había que construir. El primer producto utilizado para intentar resolver esa problemática fue el cemento portland aplicado por inyección en suspensión acuosa (en 1876). Después se fue probando con otros productos inorgánicos como la bentonita sódica y los silicatos alcalinos, y en las últimas décadas, productos orgánicos más fluidos como las resinas de urea-formol y las acrilamida, que permitían sellar fisuras más estrechas. Todos estos productos estaban expuestos a ser arrastrados por el agua, por lo que su eficacia planteaba dudas en muchos casos. La solución rápida y eficaz se logró a partir de mediados de los años setenta, con las resinas de poliuretano de 1 componente (comentadas anteriormente) que, en presencia de agua, reaccionan y se expansionan formando una espuma impermeable y estable, por ello se denominan **resinas acuarreactivas**.

*En la lámina siguiente se muestran aplicaciones típicas de las resinas de Poliuretano en las instalaciones de tratamiento de agua*

**POLIURETANO (PU): APLICACIONES**



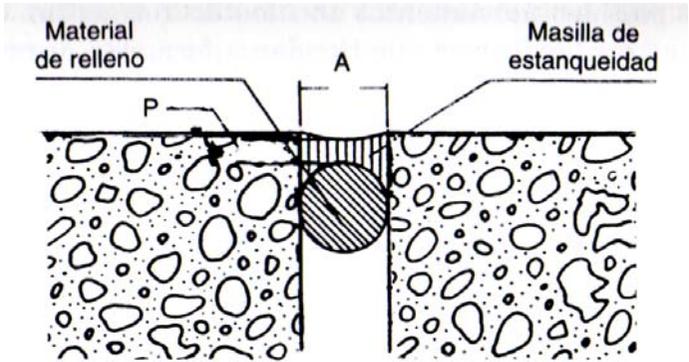
Álabes de un agitador  
(Poliuretano rígido)



Recubrimiento Protector  
(capa de acabado)



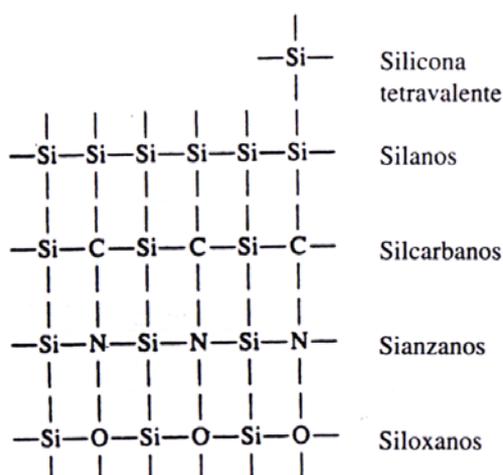
**Poliuretano Acuarreactivo (1 componente)**



### POLISILOXANOS (SILICONAS)

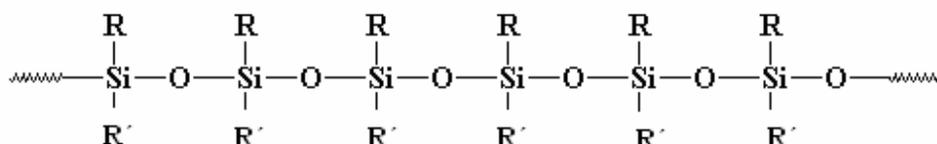
Las siliconas son compuestos muy versátiles. Pueden ser termoplásticos, elastómeros y aceites lubricantes.

Los compuestos originados por unión del Silicio con otros elementos químicos reciben las denominaciones siguientes:



**Las siliconas son Polixiloxanos**, compuestos químicos en los cuales los átomos de silicio están separados por uno o más átomos de oxígeno, presentando la siguiente estructura :

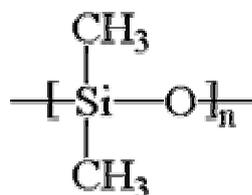
#### Silicona (Polixiloxano)



De las numerosas expresiones que pueden tomar los radicales orgánicos (R y R') se obtiene una extensa gama de productos.

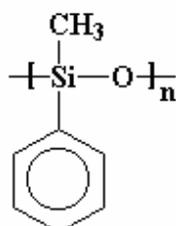
Cuando los radicales R y R' de la figura anterior son metilo (–CH<sub>3</sub>) resulta el **Polidimetilsiloxano**, que es la silicona más común:

#### Polidimetilsiloxano

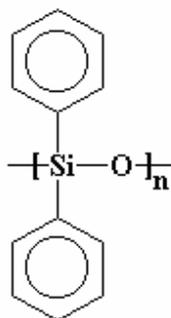


Otros ejemplos de siliconas serían:

**Polimetilfenilsiloxano**



**Polidifenilsiloxano**



Gracias a estar constituido por enlaces siloxanos (— Si — O — Si —) y radicales orgánicos las siliconas reúnen a la vez las propiedades de los materiales inorgánicos y de los orgánicos. De ahí su resistencia al calor - por ser inorgánico - y su flexibilidad e insolubilidad en agua, propia de los materiales orgánicos.

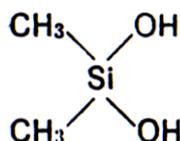
**APLICACIONES DE LAS SILICONAS**

En general todos los polímeros de silicona son muy resistentes al calor, excelentes aislantes eléctricos y térmicos, no atacan a los metales y son insolubles en el agua, alcohol y acetona.

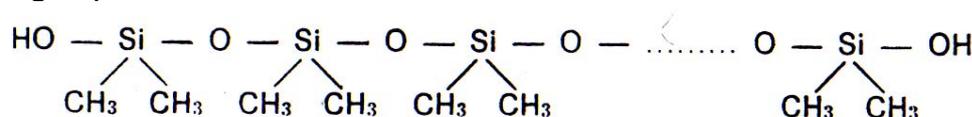
Los cables eléctricos recubiertos con silicona soportan temperaturas de 200°C sin perder su aislamiento. Mediante su aplicación se ha conseguido una reducción del 25 al 40 % en el peso y tamaño de las máquinas eléctricas, en comparación con los barnices usuales.

**Aceites de silicona:**

El dimetil-silano-diol:



origina polímeros de fórmula



Como lubricantes, las siliconas son muy apreciadas, ya que no se deterioran ante temperaturas de servicio extremas. **El aceite de silicona** es completamente inerte y su viscosidad permanece casi constante entre - 85° C y 150° C, propiedad que lo hace insustituible como lubricante de motores que han de trabajar en climas polares.

Las siliconas se usan para lubricar caucho, plástico, cojinetes de bolas, válvulas y bombas de vacío.

Asimismo, se pueden utilizar para recubrimientos flexibles y tenaces utilizados como pinturas de alta temperatura para colectores de motor y silenciadores. Su capacidad impermeable los convierte en útiles para el tratamiento de muros de hormigón.

Sus excelentes características impermeables, térmicas y eléctricas las hace valiosas para aislamiento eléctrico en motores y generadores.

Algunas de las siliconas mejor conocidas se dan en forma de elastómeros. Los cauchos de silicona son estables a temperaturas elevadas y se mantienen flexibles bajo la exposición a ozono y aceites.

#### APLICACIONES EN LA CONSTRUCCIÓN:

Las siliconas son el grupo más importante de polímeros usados en la construcción. Sus dos principales campos de aplicación en este ámbito son:

- Para impregnar materiales absorbentes y transformarlos en hidrófugos.
- Como material elastómero para el sellado de juntas.

Como hidrofugante, su finalidad es transformar las propiedades hidrófilas, que presentan todos los materiales minerales, en hidrófugas. En el caso del hormigón, la superficie, en vez de mojarse con agua (Fig.1), la repele (Fig.2.). Ello es lo que se consigue con los tratamientos de impregnación a base de hidrófugos de siloxanos.

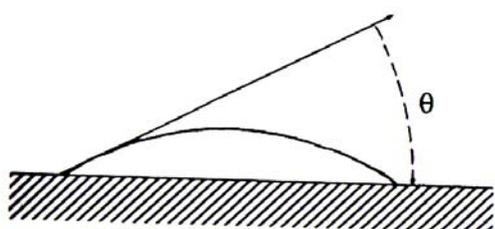


Fig. 1

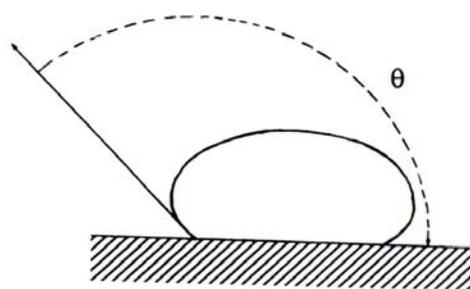
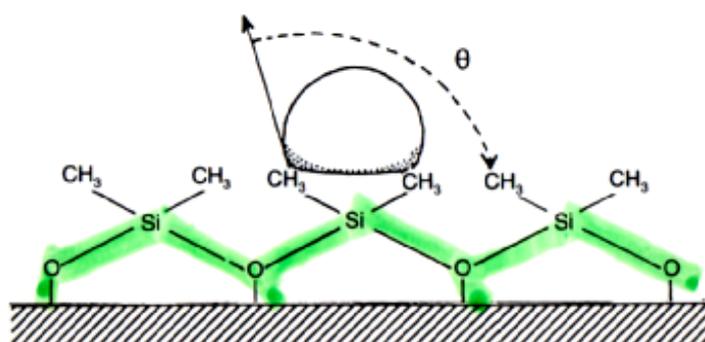


Fig. 2

Desde hace años los polisiloxanos han sido sustituidos por los **alcoxisiloxanos**. Su menor tamaño de molécula, 0,004 micras, les permite alcanzar una penetración más profunda y en una mayor concentración. Una vez evaporado el disolvente reaccionan con la humedad, formándose un producto intermedio – silanoles - que reacciona entre sí e incluso con los grupos OH existentes en el hormigón. Como resultado de estas reacciones, los enlaces siloxanos se adhieren a la superficie y los radicales orgánicos producen el efecto de perleo representado en la figura siguiente



Cuando se desea una impregnación más profunda y con una mayor concentración de materia activa hay que recurrir a los monómeros de las siliconas, o sea, a los silanos. Los impregnantes a base de silanos, están constituidos por alquilsilanos al 100% de contenido sólido. Debido a que el tamaño de sus moléculas es inferior a 1 nm, penetran profundamente en el hormigón. A continuación reaccionan con la

humedad y los hidróxilos que pudieran permanecer en el hormigón y se polimerizan en su totalidad desprendiéndose alcohol.

Los compuestos de silicona se pueden tratar del mismo modo que otros plásticos orgánicos termoendurecibles.

Se resumen a continuación las principales ventajas e inconvenientes de las siliconas:

***Ventajas de las siliconas:***

- Amplio intervalo de resistencia térmica, desde -73 hasta 315 °C
- Buenas características de aislamiento eléctrico.
- Amplio margen de variación en la estructura molecular (formas flexibles o rígidas).
- Se pueden obtener siliconas transparentes.
- Baja adsorción de agua.
- Existen tipos retardantes de llama.
- Buena resistencia química.

Los polímeros de silicona presentan excelente resistencia al ozono y la intemperie

***Inconvenientes de las siliconas:***

- Baja resistencia mecánica.
- Sujetas al ataque de disolventes halogenados.
- Alto coste relativo.

## 5. ELASTÓMEROS



*Se consideran los siguientes apartados:*

### 5.1 PROPIEDADES FUNDAMENTALES DE LOS ELASTÓMEROS

#### 5.2 ELASTÓMEROS DE INTERÉS INDUSTRIAL

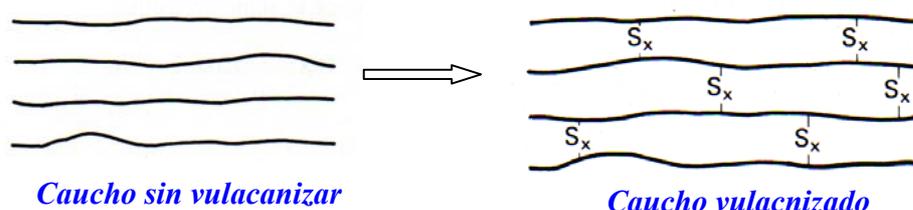
- CLASIFICACIÓN
- ESTRUCTURA, PROPIEDADES TECNOLÓGICAS Y APLICACIÓN EN LAS INSTALACIONES DE TRATAMIENTO Y CONDUCCIÓN DE AGUA
- TABLAS DE PROPIEDADES

### 5.1 PROPIEDADES FUNDAMENTALES DE LOS ELASTÓMEROS

Los elastómeros (cauchos o gomas) constituyen un grupo de polímeros cuya elasticidad es mayor que la de otros sólidos.

*Sus características fundamentales son:*

1. Estar formados por cadenas largas poliméricas, unidas en algunos puntos mediante enlaces primarios (covalentes), enrolladas o en forma de ovillos, capaces de desenrollarse por la acción de tensiones externas y recuperar su forma original cuando cesan.
2. Su temperatura de trabajo, por lo general la ambiente, es superior a su temperatura de transición vítrea  $T_g$ .
3. Tienen la posibilidad de establecer uniones entre cadenas (**vulcanización**) para impedir el flujo plástico.



## 5.2 ELASTÓMEROS DE INTERÉS INDUSTRIAL

### 5.2.1 Clasificación

#### 1) CAUCHOS DIOLEFÍNICOS

- Caucho natural (NR) y Poliisopreno sintético (IR)
- Polibutadieno (BR)
- Cauchos butadieno-estireno (SBR o Buna S)
- Cauchos nitrilo (NBR o Buna N)
- Policloropreno (CR) o Neopreno

#### 2) CAUCHOS MONOLEFÍNICOS

- Cauchos butilo (IIR)
- Cauchos de etileno-propileno:
  - a) Copolímero etileno-propileno (EPR o EPM)
  - b) Terpolímeros de etileno-propileno-diolefina (EPT o EPDM)

#### 3) CAUCHOS DE USOS ESPECIALES

- Cauchos Acrílicos
- Cauchos fluorolefínicos
- Polietileno clorosulfonado (Hypalon)
- Cauchos de Poliuretano
- Cauchos de Silicona
- Elastómeros Termoplásticos
- Otros cauchos de usos especiales:
  - Polietileno clorado, cauchos de etileno-acetato de vinilo, polisulfuros, etc.

### 5.2.2 Estructura y Propiedades Tecnológicas

#### CAUCHO NATURAL (NR)

Es un producto que se halla en el jugo lechoso (látex) de diversos árboles y plantas. El que más produce es la *Hevea brasiliensis*.



Cuanto mayor es el porcentaje de azufre, más aumenta la dureza, la resistencia a los agentes químicos y a la oxidación. Con un 5 % se mantiene flexible y elástico entre -30 °C y 150 °C, mientras que con el 25 al 40 % se vuelve duro obteniéndose un material denominado **Ebonita** (caucho duro). La vulcanización proporciona al caucho mayor resistencia a la tracción y mayor duración. La presencia de dobles enlaces en las cadenas hace que la resistencia a la oxidación sea más bien baja.

Un material con un futuro prometedor es el **caucho natural epoxidado (ENR)**, obtenido por epoxidación de una fracción de los enlaces dobles del caucho natural. De esta manera se mejora la resistencia a los aceites, se disminuye la permeabilidad al aire y se aumenta la capacidad de amortiguar impactos. Asimismo, se puede reforzar con facilidad con sílice.

### Resistencia a la degradación del caucho natural

Es bastante resistente en medios ácidos y alcalinos, pero tiene tendencia a hincharse en presencia de aceites vegetales y animales.

Presenta muy buena resistencia mecánica, abrasión, desgarró, tenacidad y elasticidad. Baja resistencia a intemperie, aceites, grasas y gasolinás

Tipo de material	Marcas registradas	Elongación (%)	Intervalo útil de temperaturas [°C (°F)]	Características de las principales aplicaciones	Aplicaciones típicas
Poliisopreno natural	Natural Rubber (NR)	500-700	-55 hasta 120 (-65 hasta 250)	Excelentes propiedades físicas; buena resistencia al corte, a la excavación y a la abrasión; baja resistencia al calor, al ozono y al aceite; buenas propiedades eléctricas	Neumáticos para coches y tubos; tacones y suelas de zapatos; juntas

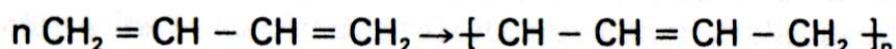
### Nota: Cauchos sintéticos

Desde, aproximadamente, 1930 se han fabricado con carácter industrial varios cauchos sintéticos. Los más importantes son el policloropreno (Neopreno), los copolímeros butadieno-estireno (Buna S) y los copolímeros butadieno acrilonitrilo (Buna B).

En 1980 los cauchos sintéticos proporcionaban ya el 70% de todo el caucho existente en el mundo.

## CAUCHOS DIOLEFÍNICOS

Para sustituir al caucho natural se desarrollaron polímeros sintéticos a base de diolefinas (butadieno o isopreno, principalmente), que polimerizan linealmente con transposición del doble enlace:

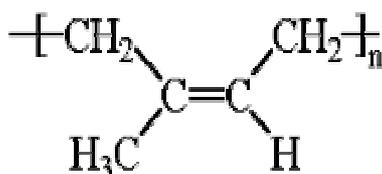


Como ocurre con el caucho natural, de todos los estereoisómeros únicamente los polímeros 1-4-cis son elastómeros, siendo los demás excesivamente cristalinos a temperatura ordinaria. Todos ellos vulcanizan con azufre.

Los cauchos diénicos de mayor interés industrial son:

- 1) *Poliisopreno sintético (IR)*
- 2) *Polibutadieno (BR)*
- 3) *Cauchos butadieno-estireno (SBR o Buna S)*
- 4) *Cauchos nitrilo (NBR o Buna N)*
- 5) *Policloropreno (CR) o Neopreno*

### 1) *Poliisopreno (IR): Caucho natural sintético.*



El poliisopreno puede extraerse de la savia del árbol de la Hevea, pero también puede sintetizarse por medio de la polimerización Ziegler-Natta. Este es un raro ejemplo de un polímero natural que puede hacerse *casi* tan bien como lo hace la naturaleza.

Las técnicas de fabricación industrial del poliisopreno requieren el empleo de productos muy puros y esto, unido al elevado coste de fabricación del isopreno monómero, hace que el poliisopreno sintético resulte poco competitivo frente al caucho natural.

En las operaciones de moldeo por compresión, transferencia e inyección los poliisoprenos sintéticos fluyen con mayor facilidad que el caucho natural, lo que resulta ventajoso en el moldeo de piezas de poco espesor y gran superficie.

Los IR tienen menos tendencia a la cristalización bajo tensión que el caucho natural, debido a las irregularidades de su estructura, lo que se manifiesta en un comportamiento mecánico diferente, especialmente a grandes deformaciones, sin que se produzca el aumento del módulo elástico que se verifica en el caucho natural en los ensayos de tracción a velocidad de deformación constante.

Los vulcanizados de IR tienen menos dureza, rigidez y resistencia a la tracción y al desgarro que los de caucho natural.

En síntesis, las aplicaciones de los IR son similares a las del caucho natural pero su nivel de utilización es muy inferior debido a su mayor precio.

### 2) *Caucho de polibutadieno (BR)*

Los cauchos de polibutadieno ocupan actualmente el segundo lugar, en cuanto a volumen de consumo, entre los cauchos sintéticos. Los primeros cauchos fabricados a escala industrial (1920-1930) se obtuvieron por polimerización en masa. El primero lo obtuvieron los alemanes a partir del **dimetilbutadieno** y no fue de muy buena calidad. Con posterioridad se obtuvo el **BUNA** polimerizando **butadieno** con **Na** como catalizador.

Actualmente los cauchos BR se sintetizan por polimerización en disolución y existen muchos tipos comerciales que pueden clasificarse en dos grandes grupos:

- El BR de alto contenido (93-97%) de estructuras cis-1,4, preparado con catalizadores de coordinación
- El BR de medio contenido (35%), preparado con catalizadores de alquil-litio.

Estos cauchos tienen muy buenas propiedades mecánicas pero se trabajan con grandes dificultades, por lo que se mezclan normalmente con caucho natural y otros elastómeros sintéticos.

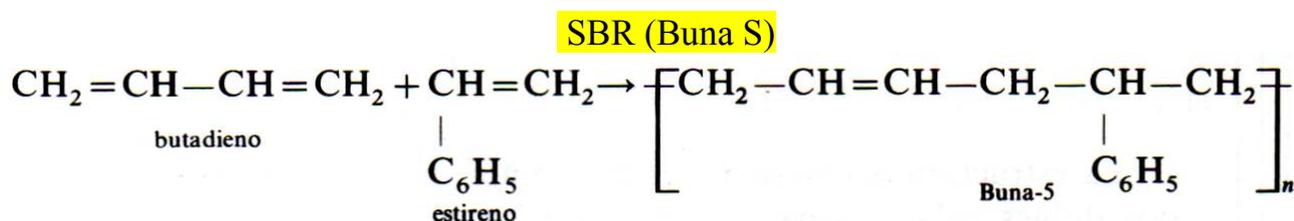
Características distintivas de los vulcanizados de BR son su elevada resiliencia y su resistencia al frío debida a la baja temperatura de transición vítrea que tiene el polibutadieno cis-1,4 (-105 °C).

Por sus buenas propiedades mecánicas de resiliencia y resistencia a la abrasión y a la aparición de grietas son sumamente interesantes para la sustitución parcial del SBR o del caucho natural en las cubiertas de neumáticos.

Cuando se sustituye parcialmente el caucho natural (hasta el 40%) por polibutadieno en una mezcla en que aquel sea el componente mayoritario, se mejora su resistencia a la abrasión y al agrietamiento por fatiga, a la vez que se disminuye la tendencia a la reversión de la vulcanización y se mantiene su buen comportamiento en las operaciones de procesado. Si el polibutadieno sustituye al SBR (hasta el 50%), además de mejorarse la resistencia a la abrasión y al agrietamiento, también se mejora la resiliencia.

El 90% del consumo de cauchos BR se destina a la fabricación de neumáticos y el resto a la de otros artículos tales como cintas transportadoras, en los que es importante su resistencia a la abrasión, mezclado con caucho natural o SBR o bien en mezclas con otros cauchos sintéticos especiales, para mejorar el comportamiento de estos últimos a temperaturas bajas.

### 3) Cauchos de butadieno-estireno (SBR)



Los primeros cauchos de butadieno-estireno (SBR) se sintetizaron a escala industrial en 1937 en Alemania y se denominaron **BUNA S**. La proporción de estireno en los cauchos SBR es normalmente de 23,5 % en peso.

Los SBR son el más importante caucho sintético y el más ampliamente utilizado

Se polimeriza y posteriormente se realiza el proceso de vulcanización.

El caucho SBR es más barato que el caucho natural por lo que es usado en muchas aplicaciones.

Los cauchos SBR mejoran sus características mecánicas con la adición de cargas reforzantes; concretamente su resistencia a la abrasión llega a superar la del caucho natural. Por ello y por su precio más bajo, se usan preferentemente en la fabricación de cubiertas para vehículos pequeños (motocicletas y coches) y de suelas para calzado.

Una desventaja es que absorben disolventes orgánicos como el aceite y la gasolina, y por ello se hinchan.

Son inferiores al caucho natural en lo que se refiere a resiliencia, por lo que en los neumáticos de mayor tamaño (camiones, tractores, etc.) y en los de servicio particularmente exigente (aviones) sigue siendo imprescindible el empleo de caucho natural.

Su resistencia al envejecimiento por calor y oxidación es mejor que la del caucho natural y, como en éste, puede aumentarse mediante una formulación adecuada.

Los tipos más recientes de SBR son los fabricados por polimerización en solución. En esta técnica, variando las condiciones de polimerización, se puede, dentro de ciertos límites, modificar las características estructurales del polímero resultante pudiéndose regular no sólo el peso molecular sino también la dispersión de pesos moleculares, la proporción de adiciones cis-1,4, trans 1,4 y 1-2 de la fracción de butadieno y la distribución de las moléculas de butadieno y de estireno a lo largo de las cadenas (al azar o en bloques). Los productos obtenidos son de mayor pureza que los SBR obtenidos en emulsión.

#### **Resistencia a la degradación de los cauchos de butadieno-estireno (SBR)**

Se deteriora rápidamente en contacto con aceites y disolventes. Sin embargo, son insolubles en cetonas, ésteres y muchos hidrocarburos.

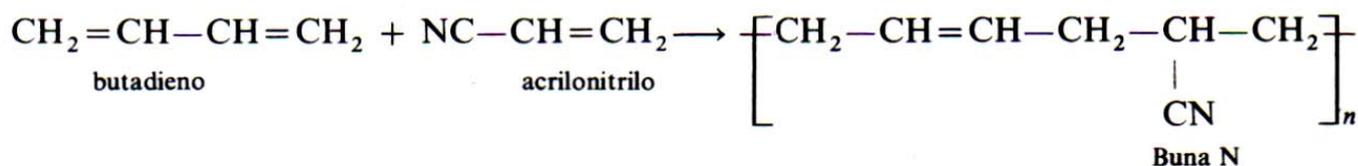
Presentan buenas propiedades físicas: excelente resistencia a la abrasión.

Son poco resistentes a la degradación ambiental, al aceite o al ozono.

#### **4) Cauchos nitrilo (NBR o Buna N)**

Los cauchos nitrilos (NBR) son copolímeros de butadieno y acrilonitrilo. La fabricación industrial comenzó en 1934 (en Alemania) con el nombre de BUNA N.

#### **NBR ( Buna N )**



Los distintos tipos comerciales de NBR se diferencian en la proporción de acrilonitrilo, que está entre el 18 y el 50% en peso.

La fracción de polibutadieno da al copolímero su carácter elástico propio de un caucho, mientras que la fracción de poliacrilonitrilo, debido a la presencia de un grupo polar, es la que le proporciona su resistencia a compuestos no polares tales como gasolinas, aceites y disolventes hidrocarbonados. En consecuencia, al aumentar la proporción de acrilonitrilo en el copolímero aumenta su resistencia a los compuestos no polares y su compatibilidad con materiales plásticos polares (PVC, por ejemplo), en detrimento de propiedades elásticas como la deformación remanente y la resiliencia. La resistencia al hinchamiento en aceites del NBR es superior a la del CR y a la del SBR y conserva su resistencia a la tracción aún después de muchos días de inmersión.

La resistencia a la tracción, a la abrasión, la dureza y la resistencia al calor aumentan con el contenido de acrilonitrilo.

En cuanto a sus aplicaciones, son muy variadas y derivadas de su resistencia a compuestos no polares: juntas, diafragmas, mangueras, tubos, rodillos de imprenta y una serie de artículos técnicos que han de

mantener sus propiedades después de un contacto prolongado con hidrocarburos, frecuentemente a temperaturas superiores a las ambientales.

La presencia de dobles enlaces en la fracción diénica disminuye la resistencia al ozono y, por consiguiente, a la intemperie, ocasionando una resistencia térmica insuficiente para algunas aplicaciones. Este fenómeno ha contribuido al desarrollo de cauchos NBR parcialmente hidrogenados, en los que se reduce el grado de insaturación, dejando los dobles enlaces necesarios para permitir la vulcanización por azufre.

<i>Tipo de material</i>	<i>Marcas registradas</i>	<i>Elongación (%)</i>	<i>Intervalo útil de temperaturas [°C (°F)]</i>	<i>Características de las principales aplicaciones</i>	<i>Aplicaciones típicas</i>
Acrilonitrilo-butadieno (copolímero)	Buna A. Nitrile (NBR)	400-600	-50 hasta 150 (-60 hasta 300)	Excelente resistencia a los aceites minerales, vegetales y animales; malas propiedades a baja temperatura; propiedades eléctricas no excepcionales	Mangueras para aceite, gasolina y reactivos químicos líquidos; juntas herméticas y aros tóricos; tacones y suelas; juntas

### **Resistencia a la degradación de los cauchos Nitrilo**

El caucho nitrilo se caracteriza por su buena resistencia al aceite, gasolina, soluciones ácidas y álcalis y por presentar una mínima tendencia a hincharse por adsorción de agua. Su resistencia a la abrasión es buena.

No apropiado para ozono, agua y vapor ni líquidos de freno

Existen dos variedades de especial interés dentro de los cauchos nitrilo:

#### **1) Nitrilo Carboxilado (XNBR)**

- Muy buenas características mecánicas
- Resistencia excepcional a la abrasión y al desgarramiento.
- Buena resistencia a los aceites.
- Muy adecuado para circuitos abrasivos y transporte neumático de materiales pulverulentos a alta velocidad.

#### **2) Nitrilo Hidrogenado (HNBR)**

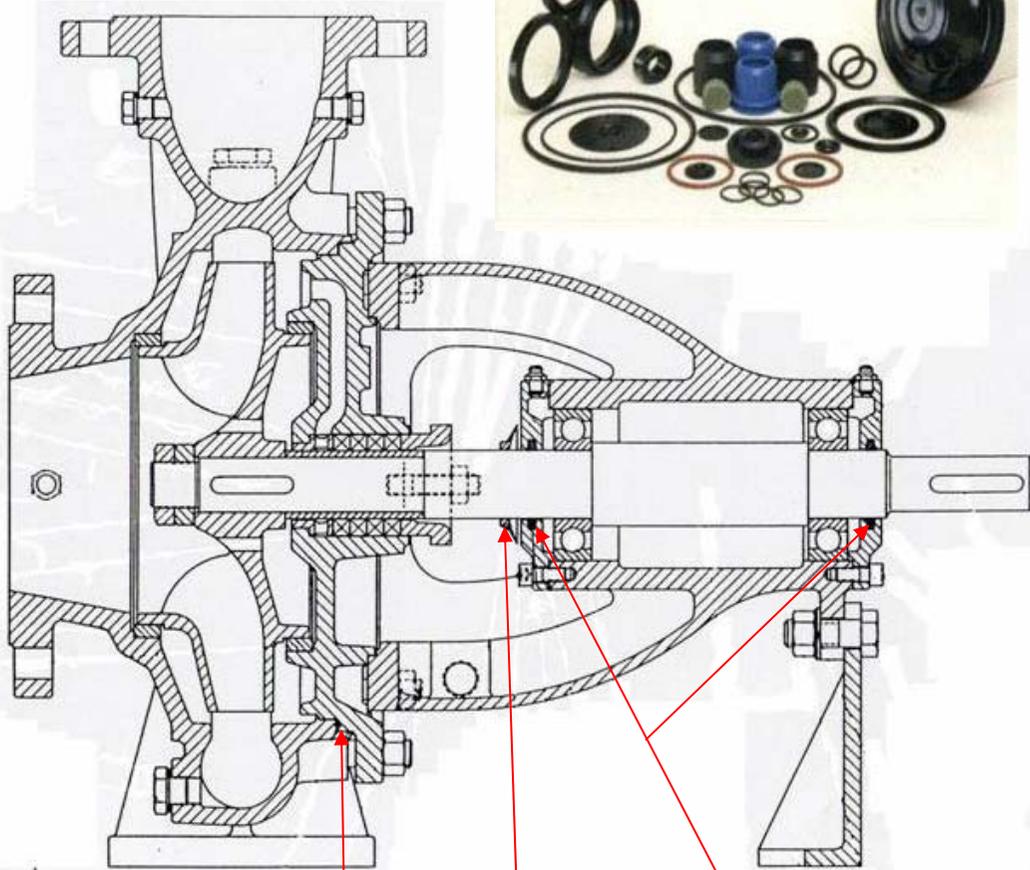
Posee prácticamente la mismas propiedades que el NBR, con la diferencia de que puede ser utilizado a temperaturas superiores.

## **APLICACIONES DE LOS CAUCHOS NITRILLO EN LAS INSTALACIONES DE TRATAMIENTO DE AGUA**

*En la lámina siguiente se muestran aplicaciones típicas de los cauchos nitrilo en instalaciones de tratamiento de agua:*

# CAUCHOS NITRILO: APLICACIONES

Juntas de estanqueidad

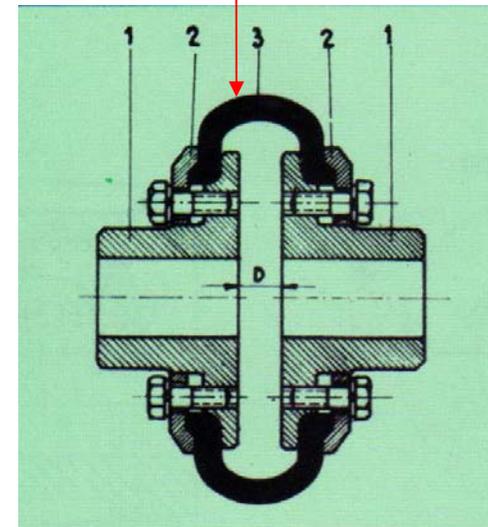


Junta tapa - cuerpo, Lanzagotas, y Retenes: Nitrilo

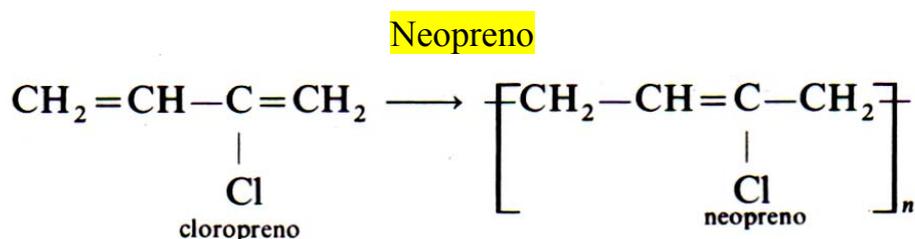
Acoplamiento semielástico



Acoplamiento Elástico



### 5) Neopreno o Cloropreno (CR)



El policloropreno se vende generalmente bajo el nombre **Neopreno**. Fue el primer elastómero sintético que tuvo éxito a nivel comercial.

Se obtiene por polimerización del cloropreno. Como consecuencia de la introducción de cloro posee una extraordinaria resistencia al calor y a las llamas, así como a los aceites y agentes químicos en general.

Los cauchos de cloropreno pueden vulcanizarse sin azufre, por simple calentamiento en presencia de óxidos metálicos (de Zn o de Mg) con condensación de ácido clorhídrico. El átomo de cloro ejerce un efecto protector sobre el doble enlace, por lo que su resistencia al envejecimiento y al ozono es superior a la de otros cauchos diénicos. Como ocurre con el caucho natural y el IR, cristalizan con el estiramiento.

Sus características mecánicas son buenas y no requieren cargas reforzantes, aunque muchas formulaciones de estas gomas las llevan para abaratar su coste. También ofrecen buena resistencia a temperaturas relativamente altas y a los disolventes hidrocarbonados, autoextinguiéndose en el fuego, cuando se les aparta de la llama.

Los CR son los elastómeros que cuentan con propiedades mejores en su conjunto, aunque en cada una de ellas sean superados por otros tipos de cauchos. Así, por ejemplo, el caucho natural tiene mejores características elásticas y resistencia mecánica; los cauchos butílicos les superan en resistencia a altas temperaturas y al ozono, mientras que los NBR presentan mejor comportamiento frente a los disolventes apolares.

Sus aplicaciones son muy diversas y comprenden muchos campos de aplicación: juntas de dilatación de autopistas y puentes, cintas transportadoras, recubrimientos protectores de cables de minería, guantes y tejidos revestidos, etc.

#### **Resistencia a la degradación de los cauchos del caucho de cloropreno (CR)**

El neopreno no es afectado por los hidrocarburos alifáticos, alcoholes, glicoles, hidrocarburos fluorados, ni por los ácidos minerales diluidos. Resiste bien la intemperie, álcalis concentrados y soluciones acuosas salinas inorgánicas. Es atacado severamente por ácidos oxidantes concentrados, como el ácido nítrico y el ácido sulfúrico, así como por agentes oxidantes fuertes, como el dicromato potásico y los peróxidos. La resistencia al aceite es ligeramente peor que la del caucho de nitrilo, pero bastante mejor que la del caucho butílico. Es afectado por los hidrocarburos clorados, ésteres, hidrocarburos aromáticos, fenoles y cetonas.

Presenta una excelente resistencia al ozono, al calor ya la degradación ambiental; buena resistencia al aceite; excelente resistencia a la llama.

En aplicaciones eléctricas es preferible el caucho natural.

## CAUCHOS MONOOLEFÍNICOS

A los elastómeros sintéticos derivados del butadieno y del isopreno se han añadido modernamente los elastómeros obtenidos por copolimerización de monoolefinas lineales (etileno, propileno, isobutileno y superiores), e incluso cíclicas (ciclopenteno). Para poder reticular estos polímeros lineales existen dos posibilidades: introducir en el momento de la polimerización ciertas cantidades de butadieno o de isopreno, que proporcionan a las moléculas lineales suficientes dobles enlaces que permiten la vulcanización posterior con azufre, o utilizar como agentes vulcanizantes determinados peróxidos orgánicos, o bien mediante cloro-sulfonación, seguida de deshidrocloruración.

La inexistencia de dobles enlaces insaturados en las macromoléculas reticuladas de estos elastómeros saturados les hace mucho más resistentes a los agentes químicos, al oxígeno y al ozono que los cauchos sintéticos obtenidos a partir de las diolefinas.

Los cauchos monoolefinicos de mayor consumo son:

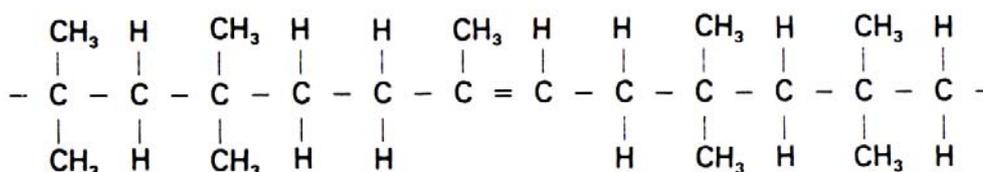
**1) Cauchos butilo (IIR)**

**2) Cauchos de etileno-propileno:**

- Copolímero etileno-propileno (EPR o EPM)
- Terpolimeros de etileno-propileno-diolefina (EPT o EPDM)

### 1) Cauchos Butílicos (IIR)

Los cauchos butilo son copolímeros del isobutileno con pequeñas cantidades de isopreno (IIR). El poliisobutileno no puede vulcanizarse mediante peróxidos y la presencia del isopreno aporta una cierta concentración de enlaces no saturados que hacen posible la vulcanización. Esta concentración conocida como “porcentaje de insaturación molar” es la característica más importante a considerar al seleccionar el tipo de caucho butílico más adecuado para una aplicación determinada y varía generalmente entre 0,6 y 2,5%.



La vulcanización por azufre es muy lenta, por lo que es necesario añadir acelerantes ultra-rápidos e inhibidores. Otros agentes vulcanizantes empleados con los cauchos butílicos son las oximas y las resinas de fenol-formaldehído. Estas últimas permiten obtener gomas resistentes a altas temperaturas (130 °C), de gran interés para la fabricación de bandas o correas transportadoras.

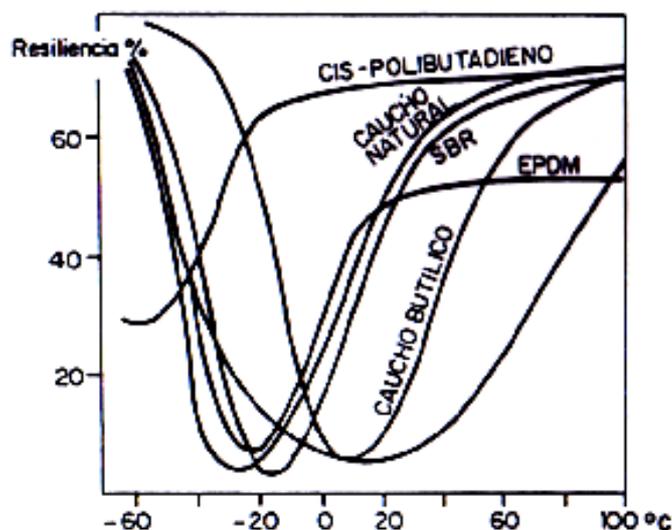
Estos elastómeros se mezclan muy mal con el caucho natural por lo que se usan preferentemente solos o junto con cauchos etileno-propileno.

Su característica más destacada, aparte de su buena resistencia a los agentes químicos y al envejecimiento, es su baja permeabilidad a los gases, que hace que este tipo de caucho sea el más adecuado para la fabricación de cámaras para neumáticos.

Las características del caucho butilo pueden mejorarse mediante una halogenación (bromuración o cloruración) que le confiere compatibilidad con el caucho natural y otros cauchos diénicos sintéticos y

modifica su comportamiento en la vulcanización (pueden vulcanizarse mediante óxidos metálicos, como el óxido de zinc con formación de enlaces directos carbono-carbono entre cadenas). Este tipo de caucho es el que se utiliza en el forro interior de las cubiertas de neumáticos sin cámara.

Otras aplicaciones de los cauchos butilo, aparte de las ya mencionadas son: aislamiento de cables de alto voltaje, amortiguadores de choque (como puede verse en la figura siguiente, su resiliencia es muy baja a temperatura ambiente), tapones de la industria farmacéutica y artículos que han de estar en contacto con alimentos. También se emplean en tuberías y accesorios que están en contacto con grasas y aceites vegetales o animales y disolventes polares.



### **Resistencia a la degradación del cauchos butílico**

Es bastante resistente a muchos medios ácidos y alcalinos. Al contrario que el caucho natural, es muy reacio a hincharse bajo el efecto de aceites animales y vegetales. El caucho butílico vulcanizado se hincha y deteriora rápidamente cuando se expone a disolventes alifáticos y aromáticos. Este caucho se puede usar a temperaturas de servicio entre 160 y 200°C. El calor tiende a reblandecer el material en vez de endurecerlo.

### **2) Cauchos de etileno-propileno**

Los cauchos de etileno-propileno son copolímeros de estas dos olefinas. Tanto el polietileno como el polipropileno son materiales que presentan, en condiciones normales, un grado de cristalinidad excesivamente elevado para ser elastómeros. Sin embargo, se comprueba que, por encima de los 100-110 °C, el polipropileno tiene magníficas características elastoméricas pues a esa temperatura están fundidas las esferulitas.

Para evitar la cristalización a bajas temperaturas se puede provocar la copolimerización al azar del etileno con  $\alpha$ -olefinas (propileno, por ejemplo), en presencia de catalizadores Ziegler-Natta, originando macromoléculas lineales con una irregularidad estructural que impide la cristalización.

Los productos resultantes (**EPR**), con temperaturas de transición vítrea de -120 °C, son completamente amorfos y tienen magníficas propiedades elásticas. Habitualmente su composición es de 50/50 pudiéndose aumentar la proporción etileno/propileno hasta 75/25, pero a partir de esta relación ya comienzan a formarse zonas cristalinas que degradan las características elastoméricas del material.

La vulcanización se realiza generalmente mediante peróxidos (de dicumilo o de isobutilo y derivados) con pequeñísimas cantidades de azufre.

Es frecuente la copolimerización de ambas olefinas con butadieno o isopreno, dando lugar al **terpolímero etileno-propileno (EPT)**, que puede vulcanizarse en caliente con azufre, a la manera clásica.

Debido al bajo precio de las materias primas y a su magnífica resistencia al envejecimiento, su utilización va rápidamente en aumento. Una ventaja adicional es que pueden vulcanizarse fácilmente mezclados con hasta el 100-200% de su peso en aceite y hasta 400-500% en peso de cargas reforzantes dando vulcanizados de bajo precio y características satisfactorias para especificaciones no muy exigentes.

Una importante característica de los cauchos EPR y EPT también llamados EPM (etileno-propileno-copolímero) y EPDM (etileno-propileno-dienoterpolímero) respectivamente es su baja densidad, del orden de 0,86 g/cm<sup>3</sup> la más baja de todos los cauchos utilizados industrialmente y que tiene naturalmente una repercusión importante en el costo final del artículo a fabricar.

Sus aplicaciones son muy diversas, siendo el mayor consumidor la industria de automoción, que lo emplea en numerosas aplicaciones tales como juntas de puertas y ventanillas, manguitos de radiador y cables y capuchones de bujías.

#### ***Resistencia a la degradación del caucho de etileno propileno (EPM)***

Estos elastómeros presentan buena o excelente resistencia química al agua, a los ácidos y a los álcalis. Esencialmente, no resultan afectados por los alcoholes. Sólo presentan resistencia pobre a los hidrocarburos aromáticos, y a los lubricantes sintéticos de tipo diéster. Su resistencia a la oxidación y al ozono es excelente.

No se recomiendan para hidrocarburos orgánicos.

### ***APLICACIONES DEL CAUCHO DE ETILENO PROPILENO EN LAS INSTALACIONES DE TRATAMIENTO DE AGUA***

***En la siguiente lámina se muestran aplicaciones típicas del EPDM en las instalaciones de tratamiento de agua:***

**EPDM: APLICACIONES**

*Junta de Asiento  
Collarín de Toma*



*Juntas de Estanqueidad  
de Compuerta*



*Membrana para válvula neumática de purga en decantador*



## CAUCHOS DE USOS ESPECIALES

Los cauchos para usos especiales de mayor interés industrial son:

- 1) *Cauchos Acrílicos*
- 2) *Cauchos fluorolefínicos*
- 3) *Polietileno clorosulfonado (Hypalon)*
- 4) *Cauchos de Poliuretano*
- 5) *Cauchos de Silicona*
- 6) *Elastómeros Termoplásticos*
- 7) *Otros cauchos de usos especiales:*

Polietileno dorado, cauchos de etileno-acetato de vinilo, polisulfuros, etc.

### 1) *Cauchos Acrílicos*

Los cauchos acrílicos tienen como principal componente (95 a 99%) el producto de la polimerización de uno o varios ésteres acrílicos (acrilato de etilo, n butilo y otros) con los que se copolimeriza una pequeña cantidad (1 a 5%) de otro monómero que proporciona los puntos activos para la reticulación, principalmente átomos de cloro en una cadena lateral, como en el 2-cloroetilvinileter o en el cloroacetato de vinilo o más recientemente con compuestos epoxidados. Estos copolímeros vulcanizan fácilmente por una variedad de sistemas vulcanizantes, obteniéndose unos cauchos que tienen una excelente resistencia al envejecimiento y son estables en presencia de aceites lubricantes que contienen aditivos y a elevadas temperaturas (150 °C). Las exigencias cada vez mayores en cuanto a las condiciones de servicio de los lubricantes obliga a añadirles una serie de aditivos tales como antioxidantes, inhibidores de corrosión, aditivos antidesgaste, etc., que con frecuencia contienen azufre y pueden ejercer un efecto vulcanizante continuado sobre los cauchos insaturados con la consiguiente pérdida del carácter elástico.

Entre sus limitaciones, además de su precio, debe señalarse su escasa resistencia al vapor de agua y a los ácidos y álcalis.

Sus principales aplicaciones son retenes y juntas en automoción y maquinaria en general.

### *Resistencia a la degradación de los cauchos del caucho del caucho acrílico*

El caucho acrílico presenta buena resistencia a aceites calientes y al aire hasta a 250°C. Tienen buena resistencia a productos derivados del petróleo, hidrocarburos alifáticos, y a aceites y grasas animales y vegetales. Se hincha en presencia de hidrocarburos aromáticos, alcoholes y cetonas. Los disolventes que se emplean más a menudo con el caucho acrílico son la metiletilcetona, el tolueno, el xileno o el benceno.

El caucho acrílico se deteriora cuando se expone a medios acuosos, vapor de agua y entornos cáusticos. Los cauchos acrílicos no son afectados por el oxígeno o el ozono.

### 2) *Cauchos fluorolefínicos o Fluoroelastómeros*

Los cauchos fluorolefínicos son, en su mayoría, copolímeros de los siguientes monómeros: fluoruro de vinildieno, tetrafluorpropileno, tetrafluoretileno y éster perfluorometilvinílico, en particular de los dos primeros en una proporción aproximada de 4 a 1.

**Destacan fundamentalmente por su resistencia al calor y por su resistencia química.** Soportan prácticamente sin degradación temperaturas de hasta 250 °C aunque a elevadas temperaturas se reduce su dureza y su resistencia mecánica.

Estos cauchos figuran entre los más resistentes a los hidrocarburos y resisten también al agua, al vapor de agua, a los álcalis y a los ácidos concentrados y calientes. Son muy resistentes al ozono y a la

intemperie y son autoextinguibles. Su utilización está limitada por su precio y entre sus aplicaciones figuran la extracción de petróleo a grandes profundidades y la industria aeronáutica y aeroespacial.

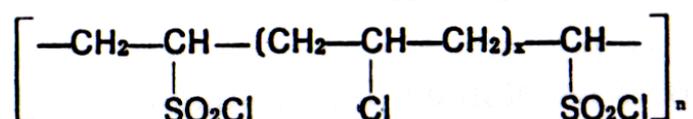
### **Resistencia a la degradación de los cauchos de los fluoroelastómeros**

Los fluoroelastómeros tienen todos una excelente resistencia a sustancias químicas y a disolventes. Son muy resistentes a hidrocarburos alifáticos, disolventes clorados, aceites animales, minerales y vegetales, gasolina, carburantes de inyección, ácidos diluidos, medios alcalinos y soluciones salinas inorgánicas.

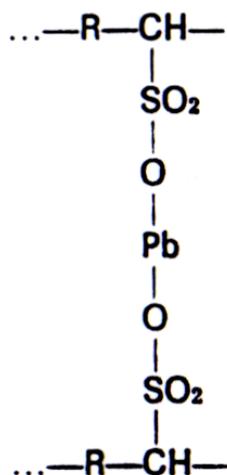
Presentan resistencia aceptable o pobre a disolventes oxigenados, alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres y éteres.

### **3) Polietileno clorosulfonado (CSM ó Hypalon)**

Como la presencia de dobles enlaces en las macromoléculas facilitan la oxidación, para evitarlo se han obtenido nuevos cauchos sintéticos, tal como: **Hypalón (polietileno clorosulfonado)**.



Vulcanizado con PbO o MgO en presencia de H<sub>2</sub>O, resulta la siguiente unión cruzada



Como no tiene enlaces insaturados, es muy resistente a la oxidación y a otros agentes químicos.

### **- Resistencia a la degradación del caucho de polietileno clorosulfonado**

Es muy resistente a la mayoría de las sustancias químicas, aceites y grasas. En particular, resulta inalterado por soluciones salinas acuosas, alcoholes, medios alcalinos débiles y concentrados y el ácido sulfúrico concentrado. Presenta, sin embargo, pobre resistencia a hidrocarburos aromáticos y alifáticos, gasolina, carburantes para motores de inyección, disolventes clorados, aldehídos, cetonas y aceites carburantes. El elastómero es resistente a microorganismos y presenta excelente resistencia a la humedad y al ozono.

## **- APLICACIONES DEL POLIETILENO CLOROSULFONADO EN LAS INSTALACIONES DE TRATAMIENTO DE AGUA**

El Hypalón es un elastómero usado en aplicaciones en las se requiere una elevada resistencia química, como es el caso del estator de bombas que trasiegan sustancias químicas agresivas en estado pastoso (fangos, lechadas, etc.). Estas bombas, con forma muy característica, se denominan “bombas mono” y constan de un impulsor alargado y curvado que gira dentro de un estator cilíndrico recubierto con elastómero bombeando sustancias en estado pastoso.

La elección del tipo de elastómero utilizado para el estator depende de la agresividad química de la sustancia transportada por la bomba así como de las condiciones de operación. Por ejemplo, puede ocurrir que existan frecuentes periodos en los que la bomba funcione en vacío, sin alimentación, con lo cual el rotor va a girar contra el estator elevando su temperatura, ya la propia sustancia transportada actúa frecuentemente absorbiendo el calor originado por la fricción del rotor. Si es este el caso, debe prestarse atención especial al rango de temperaturas de trabajo del elastómero además de a su resistencia química y mecánica

En el caso de la bomba que transporta lechadas de cal (Imagen 2) donde se requiere resistencia química, el hypalón sería una elección muy adecuada. En el caso del transporte de fangos deshidratados (Imagen 1), con baja agresividad química pero con capacidad abrasiva, la elección de XNBR (Nitrilo carboxílico) sería lo más adecuado.

# HYPALÓN: APLICACIONES

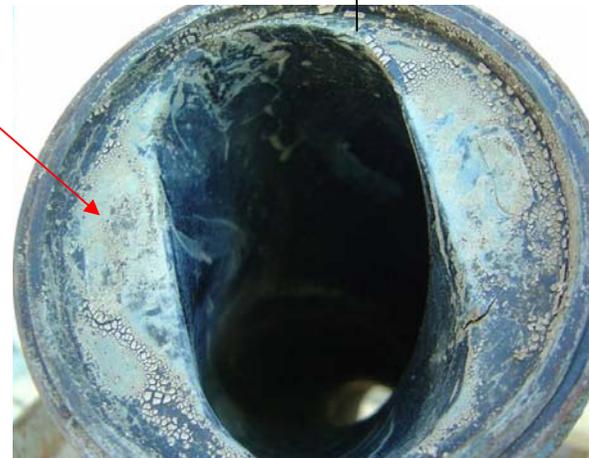
1. Bomba "mono" para transporte de fango deshidratado



2. Bomba "mono" para transporte de lechadas de cal.



Hypalón (estator)



3. Impulsor y estator de la bomba "mono".

4. Detalle del estator de la bomba "mono".



### **- Resistencia a la degradación de los cauchos del caucho de silicona**

El caucho de silicona es muy resistente a aceites lubricantes, vegetales, animales y minerales, y a alcoholes, ácidos diluidos y medios alcalinos. Se hinchan excesivamente en presencia de disolventes aromáticos, como el benceno y el tolueno, la gasolina y los disolventes clorados. No son resistentes al vapor de agua a temperaturas elevadas. Los polímeros de silicona presentan excelente resistencia al ozono y la intemperie. Son muy utilizados en muchas aplicaciones aeronáuticas, como componentes de motores de propulsión, diafragmas, cierres, juntas y conductos de aeronaves.

### **6) Elastómeros Termoplásticos**

Son materiales que a temperatura ambiente presentan un comportamiento elástico como el de los cauchos tradicionales pero que, a mayores temperaturas, presentan un comportamiento plástico como el de los polímeros termoplásticos fundidos y, como éstos, pueden ser conformados. Es decir, con estos materiales no es necesaria la vulcanización y resulta posible la reutilización directa de los desperdicios y productos defectuosos sin regeneración previa, lo que supone una ventaja económica.

Un ejemplo de estos elastómeros termoplásticos (TR) son los **polímeros tribloque** constituidos por cadenas formadas por un bloque intermedio de un polímero elástico (polibutadieno, poliisopreno o polietileno-propileno) con dos bloques terminales de un polímero vítreo a temperatura ambiente (PS generalmente). La incompatibilidad entre ambos tipos de bloques hace que se formen unas zonas rígidas dispersas en una matriz elástica que cumplen una función análoga a los puentes químicamente creados en la vulcanización, con la diferencia de que estos puentes se anulan cuando se sobrepasa la Tg de la zona rígida. Es decir, puede pasarse del estado plástico al elástico modificando la temperatura, y esta transformación es reversible.

## **TABLAS DE PROPIEDADES Y USO DE ELASTÓMEROS**

- **Tabla 1 : Propiedades de Uso de Elastómeros**
- **Tabla 2 : Materiales Para Anillos De Estanqueidad Y Juntas Tóricas**

Tabla 1 : Propiedades de Uso de Elastómeros

ELASTÓMERO	PROPIEDADES DE USO
<p><b>CAUCHO NITRILO</b>  <b>Copolímero Acrilonitrilo</b>  <b>Butadieno (NBR)</b></p> <p>Marcas comerciales:  <b>Buna N®</b></p>	<p><b>Propiedades de uso:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Excelente resistencia a los aceites minerales, vegetales y animales (de escaso o medio contenido en componentes aromáticos)</li> <li>- Uso para servicios generales de aire comprimido, agua y combustibles</li> <li>- Existen variedades para uso alimentario.</li> </ul> <p><b>Limitaciones:</b> Ácidos orgánicos, cloro, ozono, alcoholes, hidrocarburos aromáticos y algunos ácidos minerales.</p> <p><b>Tª de Trabajo:</b> -30°C a 120 °C ; <b>Alargamiento:</b> 250 %.</p>
<p><b>NITRILO CARBOXÍLICO</b>  <b>(XNBR)</b></p>	<p><b>Propiedades de uso:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Muy buenas características mecánicas</li> <li>- Resistencia excepcional a la abrasión y al desgarramiento.</li> <li>- Buena resistencia a los aceites.</li> <li>- Muy adecuado para circuitos abrasivos y transporte neumático de materiales pulverulentos a alta velocidad.</li> </ul>
<p><b>ETILENO - PROPILENO</b>  <b>Terpolímero de</b>  <b>Etileno – Propileno-Dieno</b>  <b>(EPT)</b></p> <p>Marcas comerciales:  <b>EPDM®</b></p>	<p><b>Propiedades de uso:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Buena resistencia química al agua, a los ácidos (minerales y orgánicos), los álcalis y las sales neutras, ácidas o alcalinas.</li> <li>- Su resistencia a la oxidación y al ozono es excelente.</li> <li>- Existen variedades para uso alimentario.</li> </ul> <p><b>Limitaciones:</b> Baja resistencia hidrocarburos aromáticos, y a los lubricantes sintéticos de tipo diéster.</p> <p><b>Tª de Trabajo:</b> -40°C a 140 °C - <b>Alargamiento:</b> 170 %.</p>
<p><b>POLIETILENO</b>  <b>CLOROSULFONADO</b>  <b>(CSM)</b></p> <p>Marcas comerciales:  <b>Hypalon®</b></p>	<p><b>Propiedades de uso:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Resistente a la mayoría de las sustancias químicas, aceites y grasas. En particular, resulta inalterado por soluciones salinas acuosas, alcoholes, medios alcalinos débiles y concentrados y el ácido sulfúrico concentrado.</li> <li>- Es resistente a microorganismos y presenta <u>excelente resistencia a la humedad y al ozono.</u></li> <li>- Indicado para disoluciones de <u>ácidos minerales, ácidos orgánicos e inorgánicos, sustancias oxidantes e hipocloritos.</u></li> </ul> <p><b>Limitaciones:</b> Pobre resistencia a hidrocarburos aromáticos y alifáticos, gasolina, carburantes para motores de inyección, disolventes dados, aldehídos, cetonas y aceites carburantes.</p> <p><b>Tª De Trabajo:</b> -40°C a 135 °C <b>Alargamiento:</b> 430 %.</p>

<p><b>FLUORCARBÓN</b> Copolímero de hexafluoropropileno - Fluoruro de vinildieno (FPM,FKM)</p> <p>Marcas comerciales: Viton®</p>	<p><b>Propiedades de uso:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Buena resistencia al calor con la mayoría de los ácidos, bases e hidrocarburos.</li> </ul> <p><b>Limitaciones:</b> Muy baja resistencia a acetona y ácido acético</p> <p><b>Tª De Trabajo:</b> - 5°C a 180 °C</p>
<p><b>CAUCHO NATURAL</b> <b>CAUCHO DE ISOPRENO</b> Poliisopreno (NR, IR)</p>	<p><b>Propiedades de uso:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Muy buena resistencia mecánica, abrasión, desgarró, tenacidad y elasticidad.</li> <li>- Adecuado para su uso con agua y productos alimenticios.</li> </ul> <p><b>Limitaciones:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Baja resistencia a intemperie (agentes atmosféricos)</li> <li>- Baja resistencia a los ácidos, álcalis e hidrocarburos (aceites, grasas, gasolinas, etc.).</li> </ul> <p><b>Tª De Trabajo:</b> - 10°C a 100 °C</p>
<p><b>CAUCHO DE POLIURETANO</b> (AU, EU)</p>	<p><b>Propiedades de uso:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Máxima resistencia mecánica y a la abrasión.</li> <li>- Excelente resistencia a los hidrocarburos (aceites minerales, gasolinas, etc).</li> </ul> <p><b>Limitaciones:</b> Es atacado por ácidos, bases y disolventes</p>
<p><b>CAUCHO DE CLOPOPRENO</b> Policloropreno (CR)</p> <p>Marcas comerciales: Neopreno®</p>	<p><b>Propiedades de uso:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Resistente a los hidrocarburos alifáticos, alcoholes, glicoles, hidrocarburos fluorados, y a los ácidos minerales diluidos, álcalis concentrados y soluciones acuosas salinas inorgánicas.</li> <li>- Excelente resistencia al ozono, al calor y a la degradación ambiental.</li> <li>- Excelente resistencia a la llama</li> </ul> <p><b>Limitaciones:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Es atacado severamente por ácidos oxidantes concentrados, como el ácido nítrico y el ácido sulfúrico, así como por agentes oxidantes fuertes, como el dicromato potásico y los peróxidos.</u></li> <li>- Es afectado por los hidrocarburos clorados, ésteres, hidrocarburos aromáticos, fenoles y cetonas.</li> <li>- La resistencia al aceite es ligeramente peor que la del caucho de nitrilo, pero bastante mejor que la del caucho butílico.</li> </ul> <p><b>Tª de Trabajo:</b> -30°C a +120 °C . <b>Alargamiento:</b> 360 %</p>

<b>CACHO DE SILICONA</b> <b>Homopolímero de Poli (Metil-</b> <b>Vinil-Siloxano)</b> <b>(VMQ)</b>	<p><b>Propiedades de uso:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El caucho de silicona es muy resistente a aceites lubricantes, vegetales, animales y minerales, y a alcoholes, ácidos diluidos y medios alcalinos.</li> <li>- Buena resistencia a las temperaturas (altas y bajas)</li> <li>- Buena resistencia al ozono y agua oxigenada</li> <li>- Buena resistencia a la intemperie.</li> <li>- <u>Adecuado para uso con alimentos.</u></li> </ul> <p><b>Limitaciones:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se hinchan excesivamente en presencia de disolventes aromáticos, como el benceno y el tolueno, la gasolina y los disolventes clorados.</li> <li>- No son resistentes al vapor de agua a temperaturas elevadas.</li> <li>- Baja resistencia a aceites minerales a excepción de bajo contenido aromático.</li> <li>- Baja resistencia a agentes químicos en general: hidrocarburos, ácidos fuertes, bases fuertes, agua sobrecalentada, vapor de agua.</li> </ul> <p><b>Tª De Trabajo:</b> - 80°C a +180 °C    <b>Alargamiento:</b> 150 %.</p>
---	--

**Tabla 2 : Materiales Para Anillos De Estanqueidad Y Juntas Tóricas**

ELASTÓMERO		DENSIDAD	DUREZA ± 5°	CARGA DE ROTURA	ALARGAMIENTO	TEMPERATURA TRABAJO
		g/cm <sup>3</sup>	SHORE A	Kg/cm <sup>2</sup>	%	°C
<b>POLIISOPRENO</b>	<b>NR, IR</b>	0.95	30-90			100°C
<b>NITRILO</b>	<b>NBR BUNA N</b>	1.3	55-90	120	250	-30° C +120°c
<b>ETILENO PROPILENO</b>	<b>EPDM EPM</b>	1.2	60-80	100	170	-40°C +140°C
<b>HYPALON®</b>	<b>CSM</b>	1.12-1.28	40-90		430	-40°C +135°C
<b>POLIURETANO</b>	<b>AUEU</b>	1.2		350	500	-20°C +70 °C
<b>NEOPRENO</b>	<b>CR CLOROPRENE</b>	1.3	40-90	180	360	-30°C +120°C
<b>SILICONA</b>	<b>VMQ</b>	1.2	30-90	75	150	-80°C +180°C
<b>SILICONA ESPONJOSA</b>	<b>VMQ</b>	250-400 kg/m <sup>3</sup>	15-25		45-200	-60°C +200°C
<b>SILICONA PLATINUM</b>	<b>HTV</b>	1.11-1.16	40-70		500-700	-30°C +180°C
<b>FLUORCARBON</b>	<b>FKM VITON</b>	2	57-87	140	150	-20°C +200°C
<b>PERFLUORELASTÓMERO FFKM</b>	<b>KALREZ® CHEMRAZ®</b>	1.5	60-90		145-75	-30°C +310°C

## **Anexo: Tuberías de Polietileno**

- 1. CARACTERÍSTICAS DE LAS TUBERÍAS DE POLIETILENO**
- 2. COMPORTAMIENTO FÍSICO Y QUÍMICO DE LAS TUBERÍAS**
- 3. CONCEPTOS BÁSICOS EN DISEÑO DE TUBERÍAS**
- 4. CALIDAD, NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN**

### **1. CARACTERÍSTICAS DE LAS TUBERÍAS DE POLIETILENO**

Las propiedades y ventajas más significativas de las tuberías de polietileno, que deben tenerse muy en cuenta a la hora de diseñar una conducción son:

#### **- Densidad**

El bajo peso específico del polietileno facilita el transporte y manipulación de tuberías de gran envergadura de forma sencilla sin necesidad de compleja maquinaria para la puesta en obra de las tuberías, incluso en condiciones muy adversas.

La densidad del Polietileno es menor que la del agua y relativamente baja en comparación con materiales convencionales, esto permite la sencilla instalación de tuberías en terrenos abruptos.

En el siguiente cuadro comparativo se pueden comprobar las importantes diferencias de densidad entre los materiales utilizados en fabricación de tuberías.

	<i>Acero</i>	<i>Fundición</i>	<i>Hormigón</i>	<i>PEAD</i>	<i>PEBD</i>
<i>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</i>	7,85	7,15	2,30	0,96	0,92

#### **- Flexibilidad**

La flexibilidad de las tuberías de polietileno permite la fabricación y transporte de tuberías en rollos o bobinas de gran longitud, reduciendo de manera importante el número de uniones en el montaje.

Hasta un diámetro de 110 mm los tubos se pueden suministrar en rollos continuos que pueden tener una longitud de 50 a 200 metros.

La instalación de tramos no rectilíneos en terrenos irregulares se realiza sin necesidad de acoplamientos o accesorios, desapareciendo el riesgo de fugas en juntas.

**Las tuberías de polietileno están especialmente indicadas para conducciones enterradas en suelos movedizos o baja capacidad portante, puesto que los asentamientos diferenciales pueden ser absorbidos por la tubería sin riesgo de fisuras.**

Nota: por “Relining” se entiende la introducción de un tramo de tubería en una conducción defectuosa ya existente sin necesidad de excavación. En este campo, las tuberías de PE se han convertido, gracias a su flexibilidad y bajo coeficiente de fricción, en la opción más utilizada. La introducción de la tubería de PE puede realizarse tirando de ella con un cable de acero, empujando con un émbolo o con una combinación de ambos métodos.

Las tuberías de polietileno por su **bajo módulo de elasticidad**, tienen tal grado de flexibilidad que permite realizar en frío curvaturas importantes sin necesidad de piezas especiales.

### **- Resistencia a los agentes químicos**

El polietileno es una poliolefina de alto peso molecular con una estructura apolar similar a la de los hidrocarburos parafínicos, lo que les proporciona una excelente resistencia a los agentes químicos.

No sufre ninguna alteración por efecto del agua del mar, terrenos salinos o ácidos, así como vertidos urbanos e industriales.

El polietileno es insoluble en todos los disolventes inorgánicos a 20°C.

Resiste soluciones salinas acuosas, así como ácidos y álcalis. Muestras sumergidas durante horas a 100°C en ácido nítrico, clorhídrico y sosa cáustica, no presentan alteraciones.

Únicamente los agentes oxidantes muy fuertes, como los peróxidos y ácidos a alta concentración, así como los halógenos, lo atacan después de una actuación permanente y prolongada.

A temperatura ambiente, el PE no se disuelve en ningún disolvente. Si bien es cierto que **determinados compuestos con base de hidrocarburos provocan en las superficies de contacto cierto hinchamiento práctica mente despreciable.**

En determinadas circunstancias, las características mecánicas del polietileno pueden resultar afectadas por la acción de agentes químicos. La estructura del material puede alterarse y reducir las capacidades mecánicas como resistencia y tenacidad. Por ejemplo, por acción de los halógenos en estado libre se forma polietileno halogenado, con desprendimiento de haluros de hidrógeno, lo que provoca la modificación de las propiedades físicas del tubo.

### **- Resistencia al ataque de microorganismos y roedores**

El polietileno no sufre agresión microbiana apreciable, ni constituye terreno de cultivo adecuado para la proliferación de bacterias, hongos, etc...

Las bacterias reductoras de sulfatos existentes en el subsuelo no ejercen ninguna influencia sobre los tubos de polietileno.

El polietileno no es digerible por los roedores, por lo que no sufre el ataque de los mismos. Además, la superficie redondeada y lisa de las tuberías de polietileno no ofrece posibilidades a la mordedura de los roedores.

### **- Estabilidad a la intemperie**

Al igual que la mayoría de productos naturales y de plástico, el Polietileno puede deteriorarse si permanece durante mucho tiempo a la intemperie, debido principalmente al componente ultravioleta de la luz solar y al oxígeno del aire.

Para evitar tal inconveniente el Polietileno está protegido mediante la adición de negro de humo, junto con estabilizadores, como aminas aromáticas o derivados fenólicos, que contrarrestan su eventual envejecimiento térmico.

Los tubos de PE AD y BD sólo se suministran en color negro, debido a su contenido en negro de humo, que constituye la protección más eficaz contra la acción de las radiaciones UV. Ello garantiza que todas las tuberías de este material puedan almacenarse o utilizarse durante mucho tiempo a la intemperie, sin que sea de temer que sus características se alteren.

Los tubos de PE MD de color amarillo empleados para canalizaciones enterradas de distribución de combustibles gaseosos están provistos de estabilizadores adecuados que garantizan su estabilidad al componente ultravioleta de la luz solar durante 1 año como mínimo de exposición a la intemperie.

### **- Comportamiento frente a la acción de las llamas**

El PE se enciende bajo la acción del fuego, y continúa ardiendo con llama poco brillante, incluso después de haberlo apartado de aquél, y desprendiendo gotas de material inflamado. Como ocurre durante la combustión de los hidrocarburos, desprende CO, CO<sub>2</sub>, y agua.

### **- Bajo coeficiente de fricción**

El coeficiente de fricción del material de una tubería es un parámetro fundamental en el cálculo de pérdidas de carga en conducciones.

Las superficies internas de los tubos presentan irregularidades de diferentes alturas, el valor promedio de estas alturas se denomina rugosidad absoluta. La rugosidad determina el coeficiente de fricción del fluido con las paredes de la tubería y consecuentemente las pérdidas de carga por rozamiento.

El pequeñísimo coeficiente de fricción del tubo de polietileno le permite transportar más caudal de agua a igualdad de sección que un tubo de cualquier otro material.

<b>Material</b>	<b>k(mm)</b>
Polietileno	0,007
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01
Fundición con incrustaciones	1,5 a 3
Fundición oxidada	1 a 1,5
Fundición sin revestimiento (nueva)	0,5 a 1
Fundición revestida (nueva)	0,03
Fundición revestida (en servicio)	0,1
Acero comercial (nuevo)	0,05
Acero galvanizado (nuevo)	0,15

### **- Ausencia de incrustaciones**

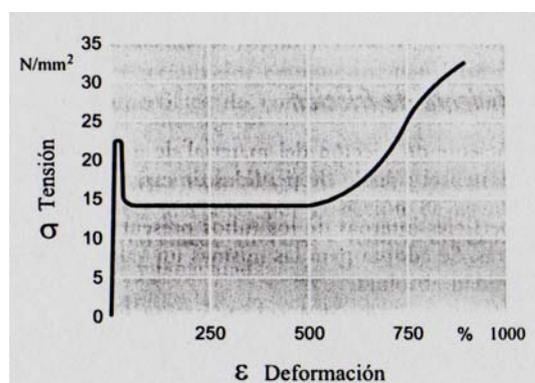
El carácter inalterable del PE y la baja reactividad química del polietileno impiden la formación de incrustaciones de cualquier tipo en la tubería. Asimismo, el volumen de sedimentaciones calcáreas o incrustaciones en las tuberías de polietileno es muy inferior al observado en tuberías metálicas, en las cuales se observa a veces una significativa reducción de la sección interior de la conducción.

Esta característica garantiza la invariabilidad del coeficiente de fricción de la tubería con el tiempo, no siendo necesario considerar posibles aumentos en las pérdidas de carga calculadas en primera instancia por reducción de la sección interior de paso.

### **- Módulo de elasticidad bajo**

El polietileno es un material que no es elástico ni plástico, por lo que no se le pueden aplicar las leyes puras de la mecánica clásica.

La **curva viscoelástica** tensión-deformación del ensayo de tracción para el polietileno tiene la siguiente forma:

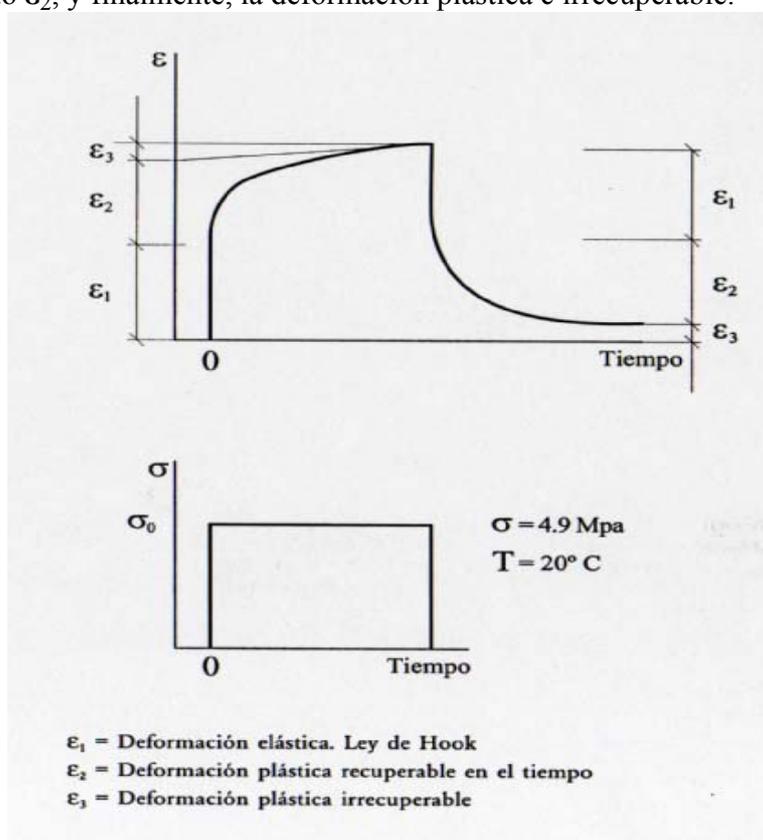


En pequeñas deformaciones el polietileno se comporta de forma elástica recuperando en gran medida sus dimensiones iniciales y son aplicables las leyes de Hook.

Llegado al punto de máxima deformación elástica se produce una deformación plástica sin aumento de tensión en la sección, esta deformación es irreversible.

Por su **carácter viscoelástico** la deformación sufrida por el polietileno no es directamente proporcional a la carga aplicada ni es independiente del tiempo de aplicación de la carga.

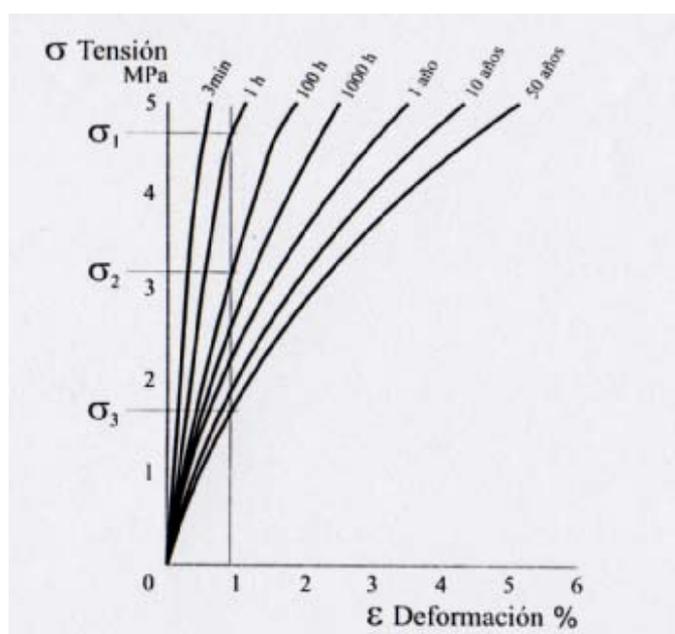
El polietileno sometido a una tensión  $\sigma_0$  constante sufre una deformación calculable y en gran parte recuperable  $\epsilon_1$  gracias a su comportamiento elástico. Si la tensión  $\sigma_0$  aplicada se mantiene constante a medida que transcurre el tiempo se produce otra deformación plástica recuperable en un plazo de tiempo determinado  $\epsilon_2$ , y finalmente, la deformación plástica e irrecuperable.



La principal propiedad, en lo que a comportamiento resistente se refiere, es la capacidad de relajación de la tensión interna, es decir, **la tensión soportada por el material disminuye al cabo de cierto tiempo al disminuir el módulo de elasticidad.**

$$\sigma(t) = E(t) \times \epsilon_0$$

El módulo de elasticidad  $E(t)$  varía con el tipo y duración de la carga y también con el tiempo, la energía de deformación es absorbida por la estructura molecular.



Para una deformación determinada, al cabo de una hora la tensión soportada es  $\sigma_1$  al cabo de 100 horas la tensión es  $\sigma_2$  y al cabo de 50 años  $\sigma_3$ .

El material, de esta forma, se adapta a la deformación y la tensión unitaria que soportan las paredes del tubo disminuye.

El polietileno sometido a una tensión muy alta pero durante escasos segundos, como es el efecto de los trenes de carga por tráfico rodado o golpes de ariete el polietileno, ofrece un módulo de elasticidad muy alto en esos primeros momentos. Esto significa un excelente comportamiento del polietileno a solicitaciones puntuales.

A título comparativo, se indican a continuación los módulos de elasticidad de algunos materiales.

	Módulo de elasticidad (MPa)	
	A corto plazo	A largo plazo
PEAD	900	200
PRFV	10.000	10.000
Fibro-cemento	25.000	25.000
Hormigón	1.500-40.000	1.500-40.000
Fundición	110.000	110.000
Acero	210.000	210.000

**- Golpe de ariete**

Si un líquido está circulando por una tubería con régimen permanente y en un momento dado se maniobra sobre algún elemento de la instalación (una válvula que se abre o cierra, variación del régimen de una bomba, etc.) sea instantáneamente o empleando cierto tiempo, se producen variaciones del caudal que llevan asociadas variaciones de presión, denominadas “golpe de ariete”.

La sobrepresión originada por el golpe de ariete se suma a la presión de servicio o trabajo. Por ejemplo, si a través de una maniobra en una conducción, hacemos que el caudal varíe instantáneamente desde una velocidad  $V_0$  a una velocidad  $V_1$ , provocaremos en la conducción una onda de sobrepresión de magnitud  $\Delta P$ :

$$\Delta P = \rho c(V_0 - V_1), \text{ donde}$$

$\Delta P$  : sobrepresión de “golpe de ariete”.

$\rho$  : densidad del fluido.

$V_0 - V_1$  : variación de la velocidad del fluido en la conducción.

$c$  ( celeridad ) : velocidad de propagación de la onda de sobrepresión  $\Delta P$ .

$$c = \frac{1}{\sqrt{\rho \left( k + \frac{d}{E \times e} \right)}}$$

donde

$\rho$  : densidad del fluido

$k$  : coeficiente de compresibilidad adiabático del fluido

$d$ : diámetro interior de la tubería

$e$ : espesor de la pared de la tubería

$E$ : Módulo de Young del material con que se halla fabricada la tubería.

Puesto que el valor de  $E$  del Polietileno es muy inferior al de los materiales no plásticos utilizados en la construcción de tuberías, la velocidad de propagación de las ondas de sobrepresión ( $c$ ) es también muy inferior para el caso de las tuberías de PE, y en consecuencia el valor de la sobrepresión de golpe de ariete  $\Delta P$  será claramente inferior ( del orden de 1/3 que el que se experimentaría para la misma maniobra en una tubería de igual diámetro fabricada de fundición).

Las variaciones de presión se propagan a través de toda la masa líquida. La velocidad de propagación de la onda se denomina usualmente celeridad y es función del módulo de elasticidad del material de la tubería.

Cuanto más bajo es el valor de la celeridad menor es la sobrepresión que pueda originarse en la tubería, de aquí que sea aconsejable el empleo de TUBERIAS DE POLIETILENO por su bajo módulo de elasticidad, pues en las mismas condiciones de funcionamiento **dan lugar a sobrepresiones muy inferiores a las que se producen con el empleo de materiales clásicos, considerablemente más rígidos.**

Presión Nominal	PE BD	PE AD
4	110	190
6	130	220
10	170	280

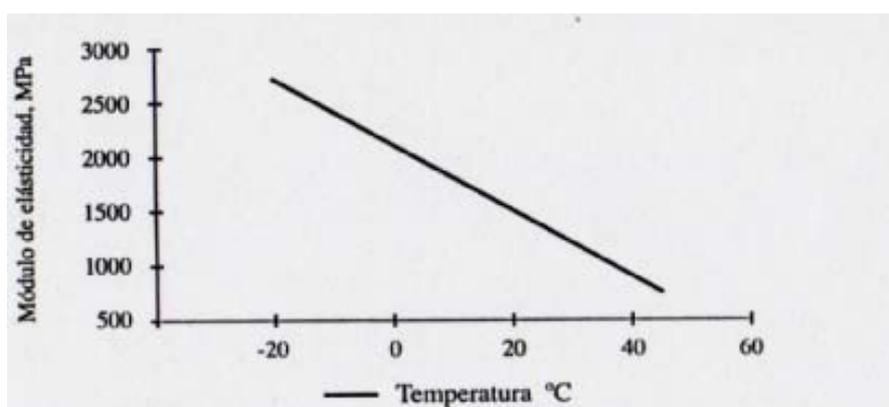
### - Características térmicas

El **elevado coeficiente de dilatación térmica lineal**,  $2 \cdot 10^{-4} \text{ m/m/}^\circ\text{C}$ , con respecto a otros materiales como el acero o la fundición dúctil queda contrarrestado por la flexibilidad del material.

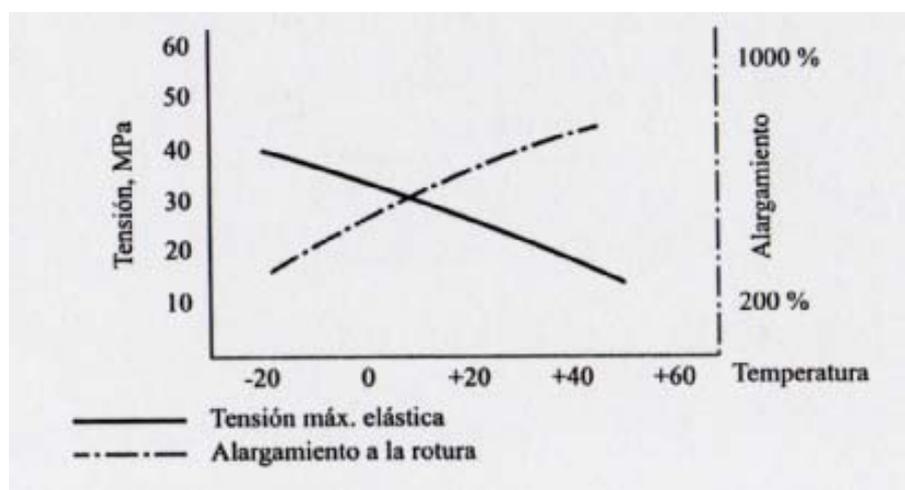
Las deformaciones térmicas son absorbidas por el material sin la creación de tensiones apreciables a lo largo de la conducción.

Por otra parte, el aislamiento térmico del polietileno reduce el riesgo de rotura frágil en caso de heladas. De cualquier manera, en caso de heladas fuertes, la capacidad elástica del material soporta condiciones mucho más desfavorables que otros materiales.

### *Evolución del módulo de elasticidad E en tracción en función de la temperatura*



### *Evolución de las propiedades en tracción en función de la temperatura:*



### - Resistencia al impacto

El bajo módulo de elasticidad del polietileno le confiere un carácter muy resistente a impactos bruscos, o elevadas tensiones instantáneas.

Incluso a muy bajas temperaturas, la tubería de polietileno resiste golpes e impactos sin problemas de fisuración.

Esta característica reduce también las posibilidades de rotura frágil en condiciones de funcionamiento de temperatura ambiente. La deformabilidad e inalterabilidad a bajas temperaturas protegen a la tubería de roturas frágiles por impacto o ciclos de carga y descarga.

El buen comportamiento de la tubería de polietileno ante un golpe de ariete es también un factor a tener en cuenta frente a otros materiales de mayor rigidez.

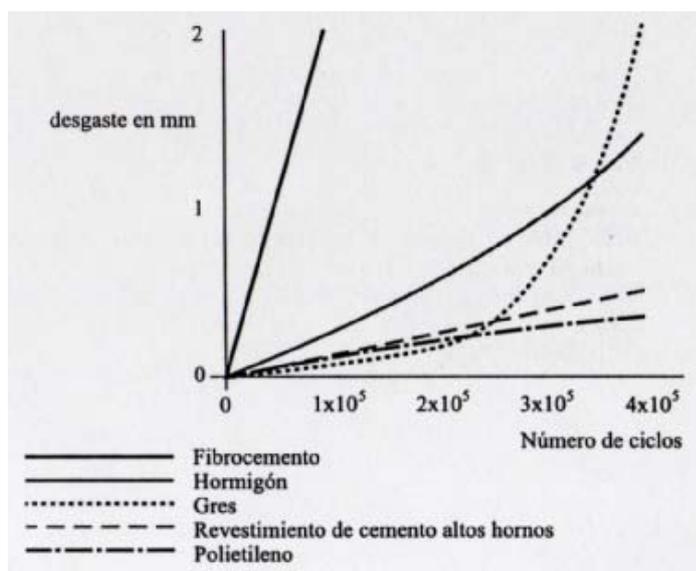
**La velocidad de propagación de las ondas de ariete es 5 veces menor que en el acero**, por lo que el peligro de sobrepresión por cierre rápido se reduce en la misma proporción.

### - Resistencia a la abrasión

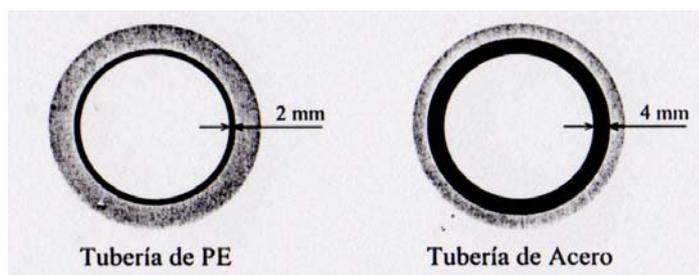
Las tuberías de polietileno demuestran una gran resistencia a la erosión por rozamiento con materiales abrasivos.

La escasa rugosidad del material reduce el coeficiente de rozamiento y, con ello, la abrasión de las superficies.

Numerosos ensayos realizados con mezclas de agua y arena circulando a gran velocidad en tuberías de polietileno demuestran un menor efecto de la abrasión en relación a tuberías fabricadas con otros materiales.



La reducción de espesor en las paredes por efecto de la erosión conlleva aumento de la tensión y, por tanto, menor durabilidad. En la figura siguiente se muestra la reducción del espesor de pared sufrida por abrasión



**- Características eléctricas**

El polietileno es un material no conductor eléctrico, lo que permite prescindir de protecciones catódicas en las instalaciones.

No se producen reacciones electrolíticas que provoquen corrosión por efectos de potenciales eléctricos diferenciales.

Las conducciones de polietileno no requieren por tanto en ningún caso protecciones contra corrientes galvánicas.

**- Inalterable en el tiempo**

Las características anteriormente descritas se ensayan en laboratorio simulando condiciones adversas de funcionamiento durante largos períodos de tiempo, comprobándose que **en un plazo de 50 años, las características se mantienen imperturbables o dentro de los márgenes de seguridad de diseño.**

**- Atoxicidad**

Las tuberías de polietileno son inodoras, insípidas y atóxicas, conservan por tanto las cualidades organolépticas del agua, intactas.

El polietileno es absolutamente inocuo y se considera insoluble y neutro frente a los humores del organismo humano.

Diferentes ensayos realizados en laboratorios oficiales y supervisados por comisiones ejecutivas de salubridad y uso alimentario certifican la inocuidad fisiológica del polietileno y demuestran que no hay nada que objetar al empleo de los estabilizadores adicionados al polietileno en su contacto con comestibles o agua potable.

**Valores de las características técnicas del PE**

Propiedad	Unidad	PE.32	PE.50 A	PE.50 B	PE.80	PE.100
Densidad	kg/m <sup>3</sup>	0,934	0,955	0,943	0,955	0,955
Resistencia a la tracción elástica	MPa	>10	>19	>15	>19	>19
Alargamiento a la rotura	%	>350	>350	>350	>350	>350
Tensión mínima requerida (MRS)	MPa	4,0	8,0	8,0	8,0	10,0
Módulo de elasticidad	MPa	220	900	400	900	900
Dureza Shore	Escala D	45	65	55	65	65
Coefficiente de dilatación lineal	mm/m °C	0,17	0,22	0,22	0,22	0,22
Índice de fluidez	g/10 min	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1
Contenido en negro de carbono	%	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Conductibilidad térmica	k <sub>w</sub> /m °C	0,35	0,37	0,25	0,37	0,37
Constante dieléctrica	--	2,4	2,5	2,4	2,5	2,5
Tiempo inducción oxidación 210 °C	minutos	>10	>10	>10	>10	>10
Comportamiento al calor	%	<3	<3	<3	<3	<3
Coefficiente de diseño	--	1,37	1,60	1,60	1,25	1,25
Tensión de diseño $\sigma_s$	MPa	3,2	5,0	5,0	6,3	8
Resistencia a la presión interna	MPa	Según UNE 53131	Según UNE 53131	Según UNE 53131	Según Especif. técnicas	Según Especif. técnicas

**En resumen, las ventajas de las tuberías de polietileno se resumen en:**

- La ligereza del material facilita un rápido montaje.
- La flexibilidad simplifica los trazados sinuosos.
- Flexibilidad y ligereza facilitan los trazados abruptos.
- Los sistemas de unión son variados, sencillos y garantizados.
- Se pueden suministrar en grandes longitudes, reduciendo el número de uniones.
- El montaje puede realizarse fuera de la zanja.
- Diversidad de tipo de uniones.
- Las condiciones de nivelación del lecho de zanja son menos exigentes.
- Permiten la instalación de tuberías subterráneas sin apertura zanja.
- No sufren ningún tipo de corrosión.
- Resistentes a la mayor parte de agentes químicos.
- No necesitan protección galvánica.
- No sufren el ataque ni acumulación de algas.
- No presentan incrustaciones ni sedimentaciones.
- El coeficiente de rozamiento es muy bajo y constante en el tiempo.
- Resiste tensiones y deformaciones altas con cargas instantáneas.
- A presión constante, la tensión unitaria se reduce con el tiempo.
- Su vida útil es calculada para más de 50 años.
- El coeficiente de dilatación es alto pero las tensiones inducidas son pequeñas.
- Admiten asentamientos del terreno sin perder la estanqueidad.
- Insensibles a la congelación.
- La resistencia a impactos es excelente
- La celeridad es mucho menor que en otros materiales, atenuando el golpe de ariete.
- La resistencia a la abrasión es mayor que la del acero.
- Aptas para uso alimentario.

## **2. COMPORTAMIENTO FÍSICO Y QUÍMICO DE LAS TUBERÍAS**

El polietileno es un material viscoelástico que como todos los termoplásticos, presenta la característica de irse plastodeformando con el tiempo, a temperatura ambiente y bajo carga. Cuando deja de actuar esta última, las piezas recuperan más o menos su forma original, según la magnitud de la carga y el tiempo que haya actuado.

La deformación recuperable corresponde al componente elástico, tanto en su componente de recuperación inmediata como la de recuperación con el paso del tiempo, y la deformación permanente se debe al comportamiento plástico.

### **2.1 Comportamiento físico en función del tiempo y temperatura**

El comportamiento del material y su límite de resistencia se valoran en función del tiempo al que se ve sometido a una tensión constante.

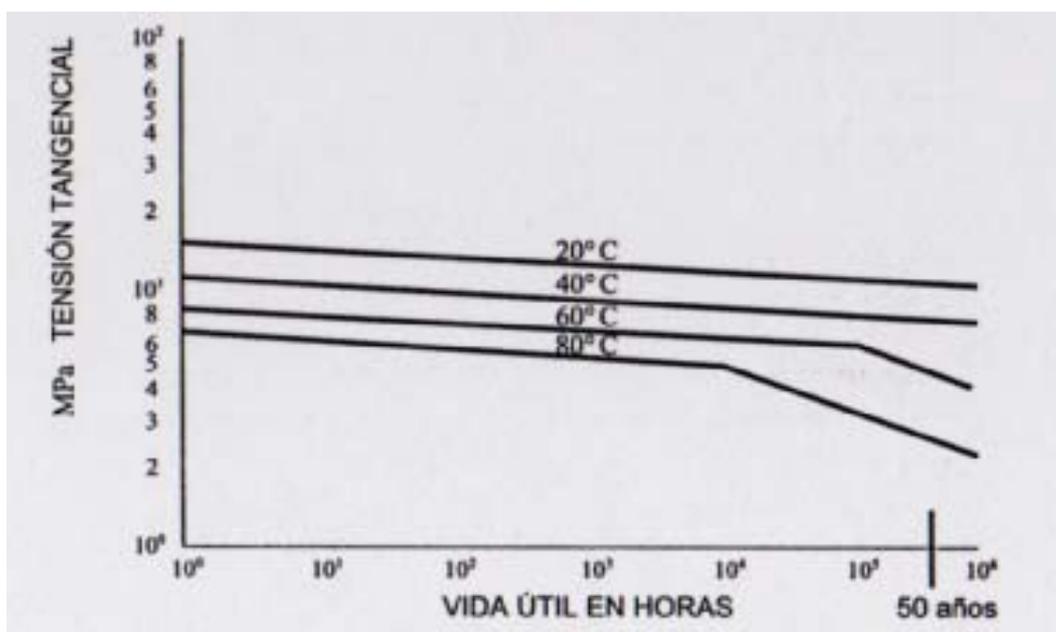
Los tubos se diseñan y calculan para una tensión mínima requerida de trabajo y un coeficiente de seguridad adecuado durante una vida útil de al menos 50 años.

Para establecer esta garantía de vida útil bajo presión y a 20°C se analiza la resistencia límite a la presión interna en función del tiempo a temperaturas de ensayo de 20°, 40°, 60° y 80°C.

Estos ensayos permiten obtener curvas que describen el comportamiento del material en función del tiempo y la temperatura.

A continuación, se reproducen las curvas obtenidas en ensayos realizados en tubos sometidos a presión interna a diferentes temperaturas y a lo largo del tiempo.

### **CURVAS DE REGRESIÓN DEL PE 80**



El gráfico con escalas logarítmicas en abscisas y ordenadas representa el tiempo resistido por la tubería antes de la rotura a una temperatura y presión dadas.

El eje de abscisas proporciona el tiempo resistido antes de la rotura.

El eje de ordenadas representa la tensión resultante para una presión interior dada. La tensión para diferentes diámetros de tubería se obtiene con la siguiente expresión:

$$\sigma = P \frac{dm}{2e}$$

$\sigma$  = Tensión circunferencial (MPa)

P = Presión interna de ensayo (MPa)

dm = Diámetro medio del tubo (mm)

e = Espesor del tubo (mm)

Del diagrama se obtienen las siguientes conclusiones:

a) Las diferentes temperaturas de ensayo no alteran la forma de la curva, solamente la desplazan.

A mayor temperatura disminuye el tiempo de resistencia a la rotura para una determinada tensión. Esta relación lineal deducida empíricamente, se utiliza para predecir el comportamiento a largo plazo de las tuberías.

Ensayando tuberías a temperaturas elevadas 65 y 80 °C durante períodos de tiempo razonables, de 100 y 500 horas, se pueden obtener las curvas correspondientes a temperaturas de funcionamiento habitual 20 y 35°C, pero a un período de tiempo de largo plazo como pueden ser 50 años.

Por tanto, las curvas para períodos largos de vida se han obtenido por extrapolación de curvas obtenidas a partir de ensayos de simulación a temperaturas elevadas y períodos razonables de ensayo.

b) Para una temperatura dada existen dos tramos lineales con pendiente diferente y separados por una zona curva descendente, que responden a una expresión del tipo:

$$\log \sigma = a + b \log t$$

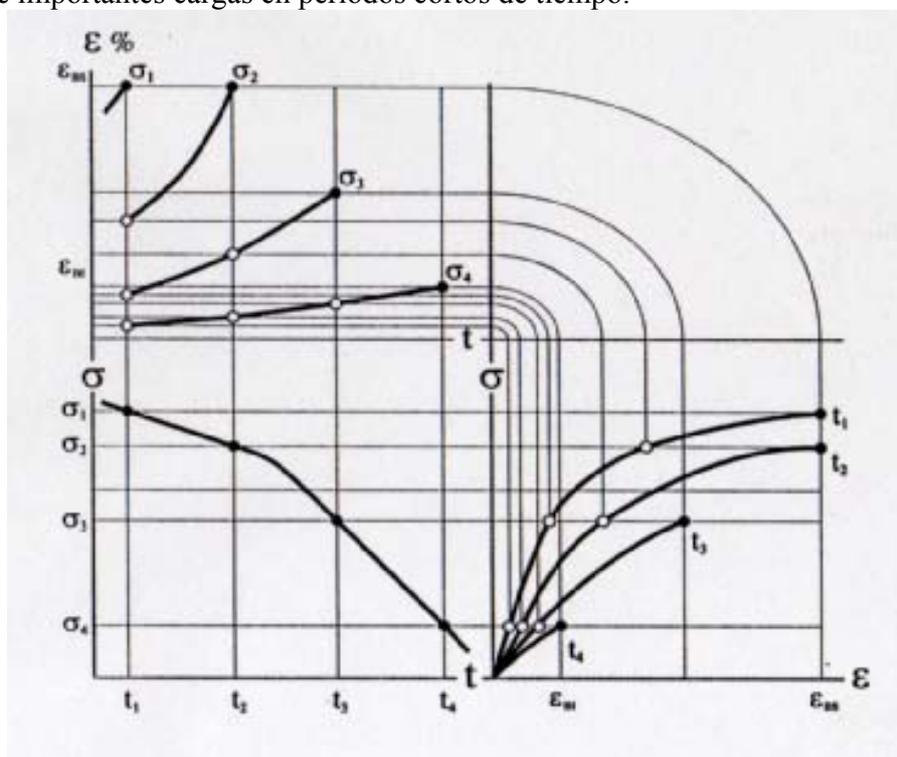
La rotura se puede producir para una tensión elevada en un corto plazo de tiempo y una gran deformación o bien se puede producir para una tensión menor pero aplicada durante largo tiempo sin que la deformación sea importante.

En la zona de tensiones de rotura elevada y duración corta, el fallo tiene lugar para deformaciones importantes debido a rotura de enlaces intermoleculares por deformación dúctil.

En la zona de tensiones de rotura bajas y duración larga, el fallo es debido a la rotura de cadenas principales que provoca la aparición de microfisuras que se crean sin deformación importante de la probeta, como consecuencia, una rotura frágil.

Las siguientes gráficas correspondientes a un PE 80 representan las diferentes relaciones entre la tensión, el tiempo de aplicación y la deformación sufrida en el momento de producirse el fallo.

Estas mismas curvas en un PE 100 demuestran que el alargamiento en la rotura es constante e independiente del tiempo de carga. La curva de regresión del PE 100 es una recta y por tanto su comportamiento corresponde al de las resinas anteriores en su tramo inicial. La rotura se produce en este tramo por aplicación de importantes cargas en períodos cortos de tiempo.



### 3. CONCEPTOS BÁSICOS EN DISEÑO DE TUBERÍAS

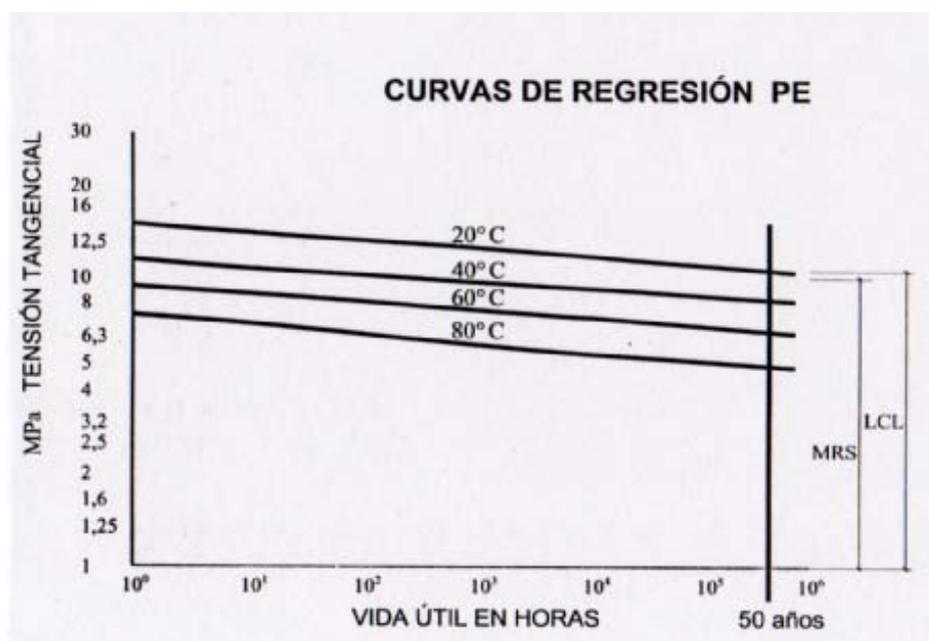
• **Presión nominal (PN):** Es la presión máxima de trabajo (atm) que puede ser mantenida a 20°C y durante al menos 50 años por una tubería dimensionada para la tensión de diseño del tipo de polietileno correspondiente.

En lo que respecta a las tuberías de polietileno de alta densidad, estos parámetros se relacionan de la siguiente forma.

Tipo PE según UNE	Tipo PE según CEN	MRS (MPa)	C	$\sigma_s$ (MPa)
—	PE 63	6,3	1,25	5,0
PE 50 A	—	8,0	1,6	5,0
—	PE 80	8,0	1,25	6,3
—	PE 100	10,0	1,25	8,0

• **Relación de Dimensiones Standard (SDR)** Es el cociente entre el diámetro exterior ó nominal ( DN ) y el espesor nominal ( e ) de las paredes del tubo.

Este valor se mantiene constante para diferentes diámetros, fijado un valor determinado de Presión Nominal, PN. -



***Tubos y accesorios de polietileno para la conducción de agua potable a presión: Características técnicas***

<b>PROPIEDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>PE 50B</b>	<b>PE 80</b>	<b>PE 100</b>
<b>Norma de aplicación</b>	-	UNE 53131	E.T.* (prEN 12201)	UNE 53496 (prEN 12201)
<b>Mín. tensión requerida, MRS</b>	MPa	-	8	10
<b>Tensión de diseño, <math>\sigma</math></b>	MPa	5	6,3	8
<b>Coefficiente de seguridad, C</b>	-	1,6	1,25	1,25
<b>Densidad</b>	g/cm <sup>3</sup>	0,945	0,945	0,955
<b>Resistencia a la tracción, min.</b>	MPa	15	15	19
<b>Alargamiento a la rotura, min.</b>	%	350	350	350
<b>Módulo de elasticidad</b>	MPa	400	400	1.100
<b>Coefficiente de dilatación lineal</b>	mm/m°C	0,22	0,22	0,22
<b>Contenido en negro de carbono</b>	%	2-2,5	2-3	2-2,5
<b>Conductividad térmica</b>	kcal/m°C	0,25	0,25	0,37
<b>Constante dieléctrica</b>	-	2,4	2,4	2,5

\* E.T. = Especificaciones Técnicas de AENOR, basadas en el proyecto europeo prEN 12201.

#### **4. CALIDAD, NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN**

##### ***Normalización de los tubos de polietileno***

###### **- Normas UNE**

El órgano de AENOR que desarrolla los trabajos de normalización en el campo de los plásticos y cauchos, en los que se incluye la tubería de polietileno, es el Comité Técnico de Normalización AEN/CTN 53 “Plásticos y caucho”.

Este comité tiene como misión fundamental, mantener actualizadas las 801 normas UNE existentes en el campo de los plásticos y los elastómeros, así como el enriquecimiento de este volumen de normas.

Las tuberías y accesorios de plástico se normalizan en el Subcomité 2, SC-2 “Tuberías y accesorios de plástico”.

En el caso de tuberías de Polietileno, existen 9 Normas elaboradas y dos Proyectos de elaboración PNE 53 964 y PNE 53 965, para materia prima de PE 100 y tubos de PE 100 respectivamente.

#### - Normas CEN

La Normalización europea se esta llevando a cabo, actualmente, en el seno del Comité Europeo de Normalización, CEN.

El Comité Técnico de Normalización del CEN que normaliza la tubería de polietileno es el CEN/TC 155 “Sistemas de tuberías y canalización de materiales plásticos”.

La incorporación al mercado único europeo supone algunos cambios en la normalización actual del tubo de polietileno.

Las Normas Europeas, EN, son de carácter, vinculante y deberán ser adoptadas por todos los miembros del CEN, entre los que se encuentra AENOR

En el siguiente cuadro se refleja la denominación utilizada según Norma UNE y CEN de los diferentes materiales y tuberías de polietileno de alta densidad.

NORMATIVA	Denominación		Mínima Resistencia	Tensión de diseño	Coeficiente de diseño
	Materia prima	Tubería			
CEN	PE-100	PE-100	10,00	8,00	1,25
CEN	PE-80	PE-80	8,00	6,30	1,25
UNE 53.131		PE-50 A	8,00	5,00	1,60

#### - Normas UNE para tuberías de polietileno

Las Normas UNE relacionadas con la tubería de polietileno, cuyo cumplimiento es exigido actualmente para la concesión de la Marca AENOR son:

- UNE 53-131: Tubos de polietileno para conducciones de agua a presión. Medidas, características y métodos de ensayo.
- UNE 53-188: Materiales termoplásticos a base de polietileno y copolímeros de etileno. Características y métodos de ensayo.
- UNE 53-218: Determinación de la resistencia al cuarteamiento por tensiones en ambientes activos, de los materiales plásticos de polietileno.
- UNE 53-331: Criterios para la comprobación de los tubos a utilizar en conducciones con y sin presión sometidos a cargas externas.
- UNE 53-333: Tubos de polietileno de media y alta densidad para redes subterráneas de distribución de combustibles gaseosos.
- UNE 53-365: Tubos y accesorios de Polietileno de alta densidad, usados para canalizaciones subterráneas o no, empleados para evacuación y desagües.
- UNE 53-367: Tubos de polietileno de baja densidad para ramales de microirrigación. Características y métodos de ensayo.
- UNE 53-381: Tubos de polietileno reticulado para la conducción de agua a presión fría y caliente.
- UNE 53-390: Tubos y accesorios de polietileno de baja densidad. Resistencia química a fluidos.
- UNE 53-404: Tubos y accesorios de polietileno de alta densidad. Resistencia química a fluidos.

- UNE 53-406: Uniones de tubos de polietileno con accesorios mecánicos, para conducción de fluidos a presión. Determinación de la estanqueidad a la presión externa.
- UNE 53-407: Uniones de tubos de polietileno con accesorios mecánicos para conducción de fluidos a presión. Determinación de la estanqueidad a la presión interna al estar sometidos a curvatura.
- UNE 53-490: Tubos de polietileno pigmentado (no negros) para conducciones subterráneas, empotradas u ocultas de agua a presión.
- UNE 53-966: Tubos de polietileno para conducciones de agua a presión. Medidas, características y métodos de ensayo.

### **Certificado de conformidad**

El certificado de conformidad se emite cuando el producto a certificar no dispone de Norma UNE y garantiza el cumplimiento de unas determinadas especificaciones técnicas basadas en Proyectos de Normas Europeas u otras normas internacionales.

El Certificado de Conformidad es concedido por AENOR tras el correspondiente procedimiento de control.

Actualmente, las tuberías de polietileno diseñadas y fabricadas según Normas o Proyectos de Norma del Comité Europeo de Normalización, CEN, cuentan con el Certificado de Conformidad expedido por AENOR.

Este Certificado de Conformidad avala a la tubería tras el correspondiente procedimiento de inspección, ensayos y decisión del correspondiente Comité de AENOR.

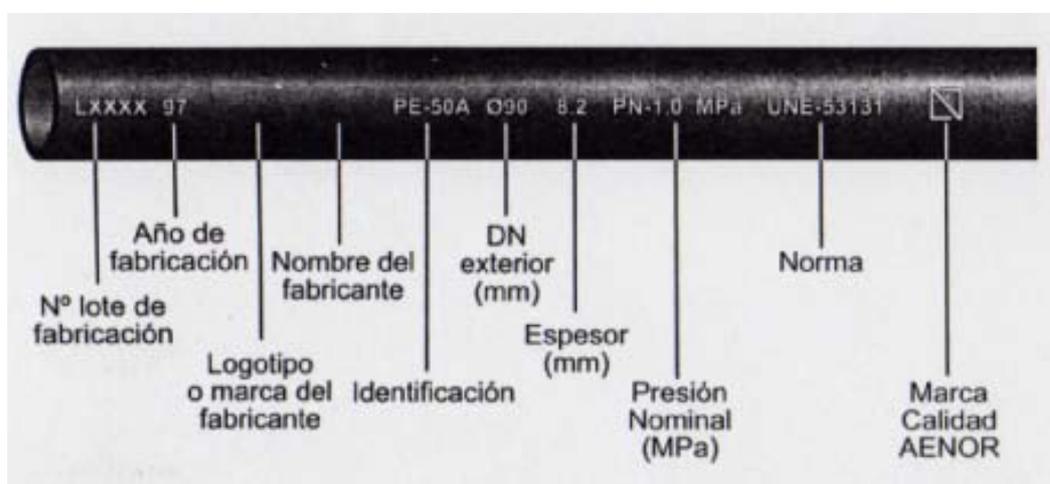
### **Certificados de conformidad para tuberías de polietileno:**

- CTC 06.05.97: Tubos de polietileno PE-100 y PE-80 para conducciones de agua a presión.
- CTC 24.05.96/CC 11.07.96: Materiales termoplásticos a base de polietileno y copolímeros de etileno para tubos PE-100 y PE-80 para conducción de agua a presión.

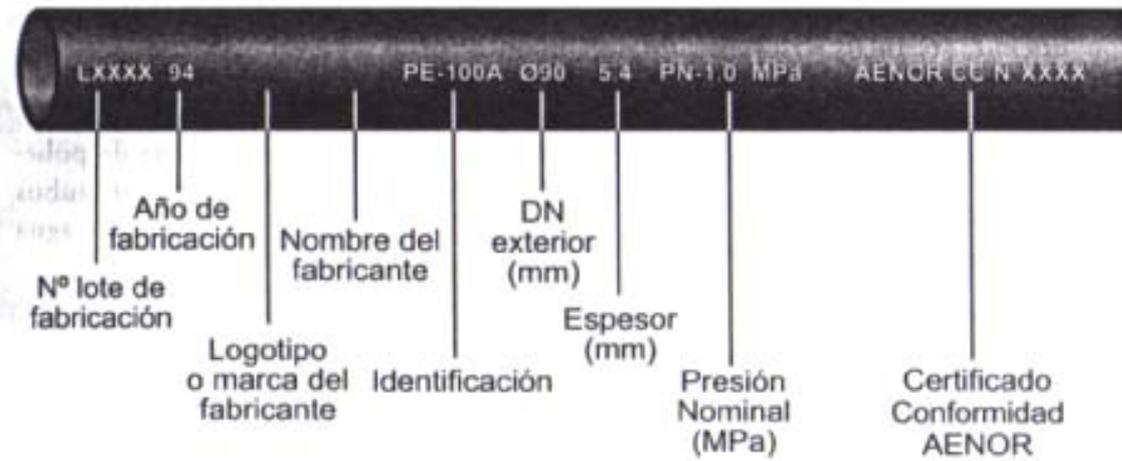
### **Marcaje de los tubos**

Los tubos de polietileno que han sido sometidos a controles y ensayos de aseguramiento de calidad y cuentan con la correspondiente certificación, están marcados de la siguiente forma:

#### **1) Tubos con marca de calidad AENOR**



2) Tubos con certificado de conformidad AENOR



## **6. BIBLIOGRAFÍA MATERIALES POLIMÉRICOS**

**- Ingeniería de los Materiales Plásticos**

*M.A. Ramos Carpio*

*M.R. De María Ruiz*

*( Ediciones Díaz de Santos, S. A.)*

**- Apuntes de la asignatura “Tecnología Química Orgánica”**

*V.J. Cortés Galeano*

*( E.S.I. Sevilla 2001/2002)*

**- Corrosión y Degradación de Materiales**

*Enrique Otero Huerta*

*( Editorial Síntesis)*

**- Introducción a la Ciencia e Ingeniería de Materiales**

*W.D. Callister, Jr.*

*( Editorial Reverté, S.A. 1.995)*

**- Tuberías de Polietileno**

*Manual ASETUB*

**- TUBERÍAS. Materiales, Cálculos Hidráulicos y Mecánicos**

*José María Mayol Mayorquí.*

*( Librería Editorial Bellisco)*